

Ч83 **Чугунное литье в станкостроении.** Под ред.
Г. И. Клецкина. М., «Машиностроение», 1975.
320 с. с ил.

На обороте тит. л. авт.: Г. И. Клецкин, Г. Г. Абрамов,
И. М. Воловик [и др.].

В книге обобщен отечественный и зарубежный опыт изготовления чугунных отливок для металлорежущих станков, приведены требования к микроструктуре и свойствам чугуна, описаны процессы получения жидкого чугуна, различные варианты технологии литейной формы, рациональной конструкции деталей, методы стабилизации размеров корпусных деталей, а также методы предотвращения литейных дефектов и их исправления.

Книга предназначена для инженерно-технических работников литейного производства станкостроения и других отраслей машиностроения.

Ч $\frac{31204-066}{038(01)-75}$ 066-75

6П4.1

Авторы:

Г. И. КЛЕЦКИН, Г. Г. АБРАМОВ, И. М. ВОЛОВИК, Э. Ч. ГИНИ,
М. И. ЖЕБИН, В. П. МИТРОВИЧ, В. Д. РАБИНОВИЧ, Н. Л. СОБОЛЬ

© Издательство «Машиностроение», 1975 г.

Григорий Ильич Клецкин, Геннадий Герасимович Абрамов,
Израиль Моисеевич Воловик, Энрико Чельсович Гини, Моисей Исаакович Жебин,
Вадим Петрович Митрович, Владимир Давидович Рабинович, Нюма Лейбович Соболев

ЧУГУННОЕ ЛИТЬЕ В СТАНКОСТРОЕНИИ

Редактор издательства И. Н. Жесткова
Технический редактор Е. П. Смирнова Корректор А. М. Усачева
Переплет художника Е. Г. Шубенцова

Сдано в набор 19/VI 1974 г. Подп. к печати 18/XII 1974 г. Т-21204 Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 20,0. Уч.-изд. л. 21,2
Тираж 7000 экз. Заказ № 1096 Цена 1 р. 22 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Чугун является основным материалом для изготовления корпусных литых деталей станков, общая масса которых составляет 70—80% массы станка. Корпусные литые детали, особенно станков высокой точности, должны обладать эксплуатационной надежностью и высокой износостойкостью.

Эксплуатационная надежность корпусных деталей станка зависит от сохранения ими стабильных размеров в процессе сборки и особенно эксплуатации станка, что, в свою очередь, зависит от технологичности конструкции детали, использования методов регулирования скорости охлаждения отливки в форме и других факторов.

На износостойкость деталей влияют микроструктура и твердость чугуна. Исследования механизма изнашивания деталей в условиях, имитирующих процессы, протекающие при эксплуатации станков, позволяют обосновать требования к структуре и свойствам чугуна. Чтобы удовлетворить этим требованиям, необходимо особое внимание уделять процессам получения жидкого чугуна.

Эффективность производства и качество отливок зависят также от конструкции детали с точки зрения литейной технологии. Практика показывает, что наиболее квалифицированно этот вопрос решается при совместной работе конструктора и литейщика, так как помимо общих рекомендаций необходимо учитывать особенности технологического процесса, степень механизации и другие факторы, характерные для конкретного литейного цеха.

Приведенные положения стали основой книги, при написании которой авторы стремились в максимальной степени использовать опыт передовых литейных заводов и цехов станкостроения, а также результаты исследований ряда институтов, что оказалось возможным благодаря содействию и помощи ведущих инженерно-технических работников этих организаций.

В книге описаны распространенные методы стабилизации размеров отливок — низкотемпературный отжиг и естественное старение, а также созданные на основе теоретических исследований новые процессы старения: с использованием вибрации, статического нагружения и термоудара. Широкое внедрение этих методов

позволяет повысить эффективность процесса старения. Рассмотрены способы совершенствования плавки в вагранках и электропечах, а также методы контроля и регулирования процесса плавки и экспресс-контроля чугуна.

Подробно изложены методы сварки чугуна для исправления литейных дефектов. Хотя это касается специалистов-сварщиков, но, как правило, участки исправления чугунных отливок находятся в литейных цехах, и знание основ технологии сварки чугуна, очевидно, необходимо работникам литейных цехов, непосредственно связанным со сварочными участками.

Авторы старались проиллюстрировать общие рекомендации и положения примерами, взятыми из практики передовых цехов станкостроения, чтобы помочь читателю найти правильный подход к решению отдельных технологических вопросов с учетом конкретных условий данного производства.

В книге гл. I написана В. П. Митровичем; гл. II, п. 1 — Г. И. Клецкиным и В. Д. Рабиновичем, п. 2 и 4 — Г. И. Клецкиным и Н. Л. Соболев, п. 3 и 5 — Г. И. Клецкиным; гл. III — М. И. Жебиным; гл. IV, п. 1—4 — И. М. Воловиком с участием М. И. Жебина, п. 5 и 6 — Г. И. Клецкиным; гл. V, п. 1 и 2 — Г. Г. Абрамовым, п. 3 — Г. И. Клецкиным; гл. VI — Э. Ч. Гини.

Глава I

Работоспособность и долговечность деталей станков

Работоспособностью в технике называют такое состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. Долговечность — свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Литые чугунные детали: станины, стойки, поперечины, кронштейны, шестерни, детали гидроаппаратуры и др., как правило, являются важными конструктивными элементами станков, выполняющими различные служебные функции. Они должны удов-

Т а б л и ц а 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ

Группа деталей	Основное требование к детали	Характеристика чугуна, определяющая работоспособность детали	Примеры	Примечание
I	Износостойкость	Микроструктура	Корпусные детали станков с монолитными направляющими: станины, стойки, поперечины, салазки, суппорты, планшайбы, каретки. Втулки, вкладыши	Детали обеих групп должны удовлетворять требованиям жесткости и стабильности геометрической формы
II	Прочность, герметичность	Временное сопротивление	Корпуса зажимных и поводковых патронов, кронштейны, станины и салазки с накладными направляющими, основания, фундаментные плиты, корпуса шпиндельных бабок и коробок подач детали гидро- и пневмоаппаратуры: цилиндры, корпуса насосов, золотников, фильтров, резервуары для масла	

летворять эксплуатационным требованиям: износостойкости, жесткости, стабильности геометрической формы, прочности, плотности и др. Некоторым деталям достаточно удовлетворять одному из перечисленных требований, однако большинству литых деталей необходимо удовлетворять комплексу требований. Например, корпусные детали станков (станины, стойки, поперечины, салазки и др.) должны быть жесткими, иметь износостойкие направляющие и не коробиться, детали гидроаппаратуры должны быть прочными, плотными и во многих случаях износостойкими.

Отмеченное осложняет выбор технологических вариантов получения литых деталей. Поэтому целесообразна классификация станочных деталей с учетом характеристик чугуна, обеспечивающих их работоспособность (табл. 1).

От корпусных деталей I группы в наибольшей степени зависит точность станка. Им будет уделено основное внимание в данной главе. Однако до рассмотрения условий, обеспечивающих работоспособность этих деталей, следует кратко остановиться на деталях различного назначения, входящих во II группу.

1. ДЕТАЛИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Характеристикой чугуна, преимущественно определяющей работоспособность деталей этой группы, является временное сопротивление. Прочность таких деталей, как корпуса зажимных и поводковых патронов, кронштейны и др., непосредственно определяет их работоспособность. Техническими условиями для отливок этих деталей рекомендуется чугун высших марок (так, для корпусов патронов — не ниже марки СЧ32-52). Получить прочные и плотные детали гидроаппаратуры, к которой предъявляют требования прочности, плотности и износостойкости, также невозможно без применения чугуна высоких марок, например СЧ28-48, СЧ32-52. Поскольку высокие значения прочности и плотности отливок достигаются при перлитной структуре и равномерно распределенных включениях графита средних размеров, то требования износостойкости обеспечиваются в этих случаях в значительной степени автоматически.

Необходимо отметить, что работоспособность деталей гидроаппаратуры и, в частности, их плотность зависят не только от временного сопротивления чугуна, но и от литейных дефектов (раковин, усадочной пористости, непровара жеребеек и др.). Эти вопросы в книге не рассматриваются, однако они заставляют обращать особое внимание на выбор технологического варианта литья.

Чугун для изготовления таких деталей, как станины и салазки с накладными направляющими, корпуса шпиндельных бабок, коробок подач и др., выбирают по величине временного сопротивления исходя из условий получения необходимой жесткости и стабильности геометрической формы детали. Во многих

Рис. 1. Влияние толщины стенки отливки на изменение временного сопротивления чугуна:

1 — СЧ15-32; 2 — СЧ21-40; 3 — СЧ28-48; 4 — СЧ32-52

случаях для этих деталей оказывается приемлемым чугун СЧ15-32 или СЧ21-40.

Таким образом, технические условия предусматривают для изготовления деталей различного назначения чугуны марок СЧ15-32 и выше. Однако при назначении конструктором марки чугуна для конкретных деталей возникают затруднения, связанные с общеизвестной чувствительностью чугуна к скорости охлаждения.

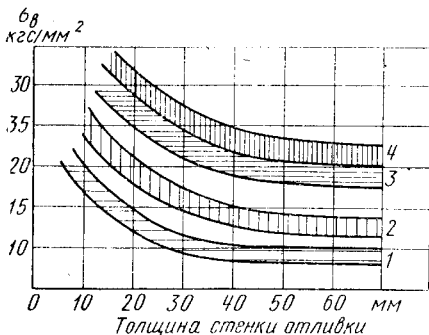
В большинстве случаев пользуются зависимостями, экспериментально установленными для определенных отливок, например зависимостями для отливок массой до 1000 кг (рис. 1). Но необходимо учитывать, что эти и аналогичные данные весьма ориентировочные, так как на скорость охлаждения и истинную прочность помимо толщины стенки влияют следующие факторы:

1) параметр, который можно охарактеризовать как объемную массу отливки, т. е. отношение массы к объему, определяемому по габаритным размерам отливки;

2) общая масса отливки;

3) технологические параметры, характеризующие интенсивность отвода теплоты в период кристаллизации и охлаждения отливки в форме.

Из-за сложности процессов, связанных с формированием прочностных свойств чугуна, предложить какие-либо универсальные зависимости не представляется возможным. Конструктор должен выбирать чугун соответствующей марки с учетом имеющихся данных и особенностей влияния различных факторов. В дальнейшем по мере накопления экспериментальных данных появится возможность давать рекомендации по величине коэффициентов, характеризующих изменение прочности в различных сечениях типовых отливок станков.



2. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ

Условия работоспособности корпусных деталей определяются требованиями к станку, как к технологической машине, которая должна обеспечивать обработку изделий с заданными точностью, шероховатостью поверхности и производительностью. Важнейшими среди этих требований являются требования к показателям

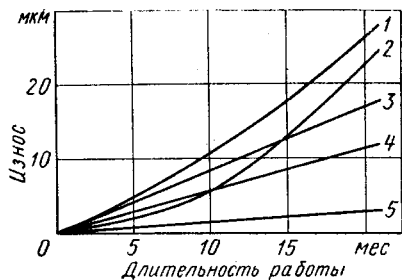


Рис. 2. Износ направляющих корпусных деталей станков мод. 2620А:
1 и 2 — нижние салазки; 3—5 — круговые направляющие столов

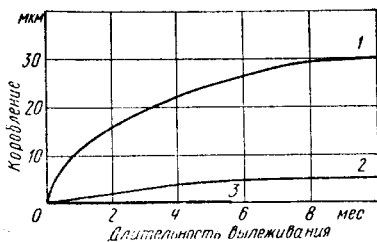


Рис. 3. Коробление при вылеживании деталей станка мод. 1Е61М:
1 — корпуса шпиндельной бабки; 2 — каретки [29]; 3 — станины [30]

динамического качества¹ и технологической надежности станков [90].

Показатели динамического качества характеризуют устойчивость системы: станок, приспособление, инструмент, обрабатываемая деталь по отношению к внешним воздействиям. Источниками последних являются нагрузки от массы заготовок и перемещаемых узлов станка, силы инерции и резания, нагрев системы теплотой, выделяющейся при резании и работе двигателей и т. д. Чем выше устойчивость системы, тем меньше отжатие инструмента при работе станка, меньше вибрации и скачки. Одной из основных причин ухудшения динамического качества являются упругие деформации системы. Увеличение жесткости системы средних токарных станков от 900 до 4500 кгс/мм снижает шероховатость обрабатываемой поверхности на 10—30% [103]. При одном и том же усилии резания точность обработки на тяжелых токарных станках пониженной жесткости уменьшается на два, а иногда на три класса по сравнению с точностью обработки на станках с достаточной жесткостью. Ориентировочно время обработки единицы поверхности пропорционально корню квадратному из величины жесткости, т. е. увеличение жесткости системы, например, в 4 раза позволяет уменьшить машинное время приблизительно в 2 раза [70, 103].

Жесткость упругой системы станок—деталь—инструмент зависит от жесткости корпусных деталей [93].

Технологическая надежность характеризует способность станка сохранять точность обработки и качество обработанной поверхности в течение заданного периода эксплуатации [90]. Она зависит от многих факторов, среди которых износ и коробление корпусных деталей имеют существенное значение.

Износ направляющих корпусных деталей развивается непрерывно и неравномерно на различных участках. В качестве при-

¹ Кудинов В. А. Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967.

мера непрерывности изнашивания могут служить результаты эксплуатационных испытаний деталей горизонтально-расточных станков (рис. 2).

Скорости изнашивания деталей станков различных типов и моделей колеблются в широких пределах (табл. 2). Сопоставление скоростей изнашивания направляющих с допусками на неточность перемещения деталей по ним (табл. 3) показывает, что износ корпусных деталей может довольно быстро привести к выходу станка за пределы норм точности.

Представление о характере и величине коробления, вызванного релаксацией остаточных напряжений при вылеживании деталей, дает рис. 3.

Коробление под действием внешних нагрузок исследовали на станинах токарных станков мод. 1Е61М [86]. Результаты измерения прямолинейности направляющих после окончательной обработки, свертывания станин с тумбами, полной сборки станка и последующей (через двое суток) разборки, показали, что в процессе сборки детали претерпели заметную деформацию, однако в собранном станке они находятся в допустимых пределах (рис. 4). В отдельных случаях отрицательные последствия коробления

Т а б л и ц а 2

СКОРОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ
ПРИ ДВУХСМЕННОЙ РАБОТЕ

Станок		Деталь	Скорость изнашивания, мкм/год
Тип	Модель		
Токарный	1А62	Станина	40—100
	1К62 *		10—50
	163		60—120
	163 *		20—35
	1Е61М		25—100
Токарный одношпиндельный автомат	1А10П	Станина Шпиндельная бабка	• 2—8 6—14
Расточной	2Б635	Станина Салазки нижние	5—30 5—30
	2620А	Станина Салазки нижние Салазки верхние Стол Стойка	8—24 12—17 2—11 4—13 1—3
Координатно-расточной	2А450	Станина	1—3

* Направляющие закалены.

НЕКОТОРЫЕ НОРМЫ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ

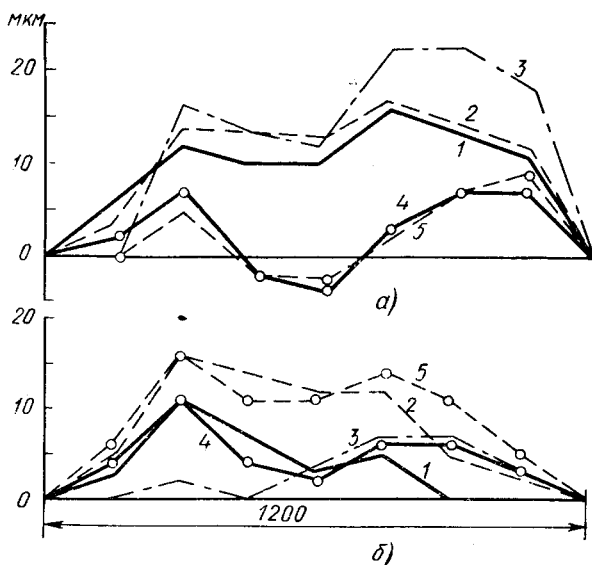
Станки	Проверяемая характеристика	Допуск, мкм	Примечание
Токарные и токарно-винторезные классов точности (ГОСТ 18097—72) Н П В	Прямолинейность продольного перемещения суппорта в плоскости: горизонтальной	20 12 8	При перемещении на 800—1250 мм
Н П В	вертикальной	30 20 12	
Горизонтально-расточные классов точности (ГОСТ 2110—72): Н П	Прямолинейность перемещения стола на станине в плоскости: горизонтальной вертикальной	20 12 20 12	При перемещении до 1250 мм
Автоматы одношпиндельные продольного точения точности (ГОСТ 8831—70): повышенной высокой	Параллельность оси вращения шпинделя перемещению бабки в вертикальной и горизонтальной плоскостях	10 8	При прутке диаметром 6—16 мм на всей длине хода шпиндельной бабки

устраняли дополнительной обработкой деталей в сборе. В дальнейшем силы, вызвавшие существенное начальное коробление деталей, практически не влияли на форму направляющих. Условия длительного нагружения, характерные для эксплуатации станин, имитировали с помощью грузов. Детали измеряли в течение нескольких месяцев, однако коробления обнаружено не было [30].

Приведенных данных недостаточно, чтобы определить, в чем реально может проявиться, а также в каких случаях и в какой мере опасно коробление литых деталей. Основой для таких выводов могли быть только надежные результаты исследования коробления деталей в собранных станках при эксплуатации. Тем не менее из сопоставления величин коробления деталей и допускаемых погрешностей формы направляющих видно, что при производственном цикле малой длительности отрицательные последствия коробления могут проявиться в первые месяцы после сборки станка и привести к снижению его геометрической точности. Коробление представляет наибольшую опасность для стан-

Рис. 4. Деформация станин станков мод. 1Е61М (непрямолинейность направляющих для каретки) в плоскости:

а — вертикальной;
б — горизонтальной;
1 — после шабрения;
2 — после свертывания с тумбами;
3 — после полной сборки станка и последующего демонтажа фартука, суппорта и задней бабки; 4 — после полного демонтажа станка; 5 — после вторичного свертывания с тумбами



ков высокой и особо высокой точности. Вопрос о короблении подробно рассмотрен в главе VI.

Таким образом, работоспособность и долговечность корпусных деталей зависят от их жесткости, износостойкости и стойкости против коробления.

ЖЕСТКОСТЬ

Жесткостью технологической упругой системы называют отношение составляющей усилия резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно изделия в том же направлении [104].

Методы расчета корпусных деталей на жесткость с учетом точности обработки на станке и обеспечения нормальных условий работы механизмов станка разработаны в ЭНИМС Д. Н. Решетовым и сотрудниками. Установлено, что при выборе марки чугуна и расчете размеров корпусных деталей по жесткости, условия прочности, как правило, удовлетворяются автоматически [40].

Литые детали современных металлорежущих станков имеют высокую жесткость. Жесткость станков значительно ниже. Поэтому в балансе жесткости станков собственная жесткость литых деталей в большинстве случаев не имеет значения. Основные причины отжати́й узлов и деталей станка под нагрузкой вызваны наличием подвижных и неподвижных стыков между деталями [23].

Однако в некоторых случаях деформация литых деталей имеет большое значение. Так, в токарных станках при обработке в центрах на деформацию станин приходится около 15%; в карусельных станках на деформацию поперечин — 25—40% [49]; в поперечно-строгальных станках на деформацию станин — 15%, ползуна — 20% и суппорта — 16% [82].

Повышение жесткости литых деталей достигается обычно конструктивными мероприятиями: уменьшением плеч изгибающих и скручивающих сил, введением дополнительных опор, связей, применением конфигураций поперечных сечений, хорошо сопротивляющихся изгибу и кручению. Для примера на рис. 5 приведены сечения станин токарно-винторезных станков различных моделей. Если принять жесткость станин станков мод. 1Д63 за 1, то жесткость станин станков мод. 163 будет 1,7, а станин станков мод. 1П63 — 4 [19].

Наибольшее влияние на жесткость станин оказывает ее ширина. Увеличение ширины станины с П-образными перегородками на 10% вызывает увеличение ее жесткости на 25—30%. Жесткость станины с диагональными перегородками примерно на 60% больше жесткости станины с П-образными перегородками.

Иногда жесткость корпусных деталей можно увеличить за счет использования чугунов с повышенными упругими свойствами. Эти свойства имеют большое значение, так как определяют жесткость конструкции, чувствительность к надразам и прочность

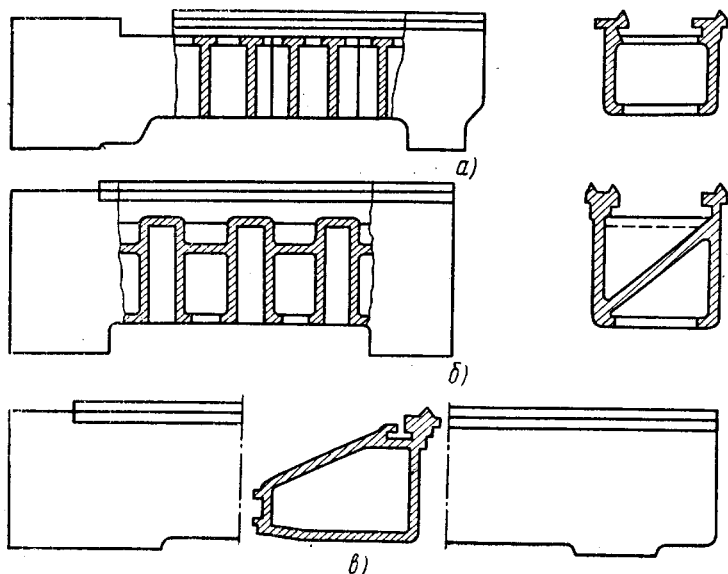


Рис. 5. Варианты конструкции станин токарных станков:

а — мод. 1Д63, перегородки диагональные; б — мод. 163, перегородки перпендикулярные; в — мод. 1П63

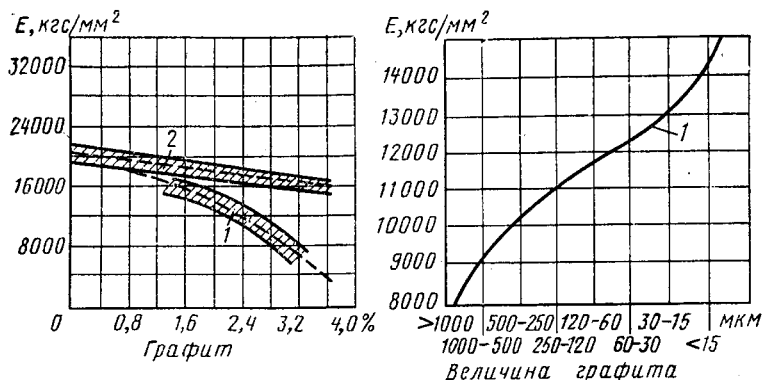


Рис. 6. Влияние количества и величины включений графита на модуль упругости чугуна с графитом:

1 — пластинчатым; 2 — шаровидным [32]

литых деталей, однако значения их, как правило, не оговариваются ГОСТами и техническими условиями. Особенностью упругих свойств чугуна является почти исключительная их зависимость от графита. Модуль упругости чугуна с пластинчатым графитом повышается при уменьшении количества включений графита и их размельчении (рис. 6). Характерно, что междендритное расположение графита на эту зависимость существенно не влияет. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высоким модулем упругости, менее зависящим от количества графита. Влияние матрицы сказывается на величине модуля упругости незначительно (табл. 4) [32].

Некоторое увеличение модуля упругости при перлитной матрице, по-видимому, можно объяснить уменьшением количества графита. Интересна возможность установления связи между временным сопротивлением и модулем упругости. Очевидно, четкой связи не будет, так как на временное сопротивление влияют величина, расположение и количество включений графита, а также матрица. В первом приближении такая связь возможна в чугунах с одинаковой матрицей.

Таблица 4
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МАТРИЦЫ НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ

Структура	E (кгс/мм ²) при длине графита (мкм)			
	25	95	380	750
Ферритная	11 935	10 890	9 180	7775
Перлитная	11 330	11 560	10 465	8745

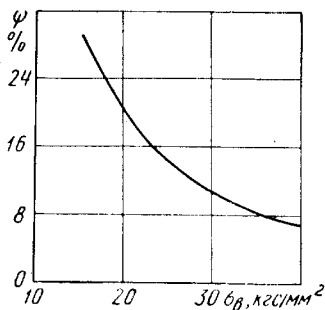


Рис. 7. Связь между относительным рассеянием энергии ψ колебаний и временным сопротивлением чугуна σ_b [94]

Представление о связи указанных параметров может дать следующая эмпирическая зависимость [64]:

$$\sigma_b = KENB,$$

где K — коэффициент, учитывающий влияние графита, для серого чугуна $K = (8,5 \div 12) \cdot 10^{-6}$.

Расчетом можно установить, что при изменении временного сопротивления чугуна от 20 до 30 кгс/мм² модуль упругости увеличивается от 10 000 до 13 500 кгс/мм². Это подтверждают и эксперименты.

Однако применение чугуна высоких марок нередко существенно ухудшает технологические свойства отливок, способствует появлению отбела и трещин в тонких сечениях, что сопровождается также уменьшением рассеяния энергии колебаний в деталях. Рассеяние энергии уменьшается с 20 до 11% при переходе от чугуна с временным сопротивлением 20 кгс/мм² к чугуну с временным сопротивлением 30 кгс/мм² (рис. 7). Но, поскольку в материале деталей станков рассеивается лишь небольшая часть энергии колебаний системы, в частности, в станинах токарных станков 2—3% [94], уменьшение рассеяния энергии колебаний не может быть препятствием применению чугуна высоких марок.

Таким образом, необходимую жесткость литых деталей обеспечивают в первую очередь конструктивными мероприятиями. В случаях, когда этими мероприятиями не удастся достигнуть необходимой жесткости, следует применять для изготовления отливок серый чугун высших марок или чугун с шаровидным графитом.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Износ корпусных деталей является результатом взаимодействия сопряженных поверхностей друг с другом и с твердыми частицами, попадающими в зазор между ними. В нормальных условиях изнашивание происходит при наличии смазки между поверхностями.

Практика показывает, что скорость изнашивания зависит от конструкции деталей, качества их изготовления, смазочных и защитных устройств, условий эксплуатации станков и от свойств чугуна. Вопреки распространенному мнению, твердость чугуна в отливке не может быть основной характеристикой, определяющей его износостойкость. Это подтверждают результаты испытаний на износ нижних салазок двух групп горизонтально-расточных станков мод. 2620А (табл. 5). Детали и сопряженные с ними

СКОРОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ НИЖНИХ САЛАЗОК
ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ МОД. 2620А
ПРИ ДВУХСМЕННОЙ РАБОТЕ

Группа станков	Номер станка	<i>НВ</i>	Скорость изнашивания, мм/год
Первая	1	204	33
	2	206	36
	3	201	60
Вторая	4	146	17
	5	140	30
	6	154	21

верхние салазки станков первой группы изготавливали из сурьмянистого чугуна, второй группы — из нелегированного чугуна.

Скорость изнашивания деталей станков первой группы оказалась более высокой несмотря на высокую твердость. Очевидно, что только после изучения процесса изнашивания и выявления его закономерностей, можно будет установить свойства чугуна, обеспечивающие износостойкость ответственных деталей.

Исследованию износостойкости чугуна посвящено много работ [133—136, 146, 149].

Однако влияние микроструктуры и твердости чугуна на скорость изнашивания направляющих при эксплуатации станков ранее не исследовали, а проведенные работы не выявили четких зависимостей. Возможно, что именно поэтому так существенно расходятся мнения исследователей о том, каким должен быть чугун износостойких корпусных деталей станков. С этой целью в ЭНИМСе при участии ряда станкозаводов были исследованы особенности и основные зависимости изнашивания направляющих [76—80].

Особенности изнашивания направляющих. Износ деталей машин является результатом сложных механических, механо-физических и механо-химических процессов. Однако условия службы направляющих корпусных деталей станков имеют свою специфику. Их трение происходит, как правило, при наличии смазки. Скорости скольжения малы и не приводят к заметному нагреву. В зазор между деталями нередко попадают твердые частицы посторонних загрязнений. Типичными повреждениями направляющих (рис. 8), обнаруживаемыми при осмотре, являются следующие:

1. Натирь — площадки, покрытые мелкими, едва различимыми и мало отличающимися друг от друга углублениями, обусловленными непосредственным взаимодействием через слой смазки выступов шероховатости сопряженных поверхностей.

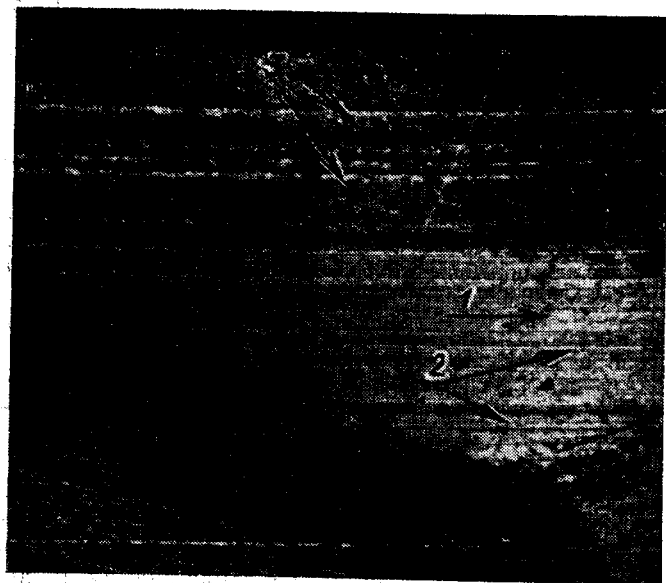


Рис. 8. Повреждения направляющих скольжения:

1 — натыры; 2 — канавки; 3 — царапины

2. Канавки — углубления значительной протяженности, разных размеров с гладкими краями, скругленного профиля с малым отношением глубины к ширине, являющиеся результатом взаимодействия направляющих и попавших между ними загрязнений, преимущественно металлической стружки. При соответствующей огранке и ориентировке частиц канавки могут возникать при защемлении песка и окалины.

3. Царапины — углубления значительной протяженности, разных размеров, остроугольного профиля со сравнительно большим отношением глубины к ширине, иногда с рваной поверхностью, возникающие преимущественно при защемлении абразивных материалов (корунда, карборунда и др.). При соответствующей огранке и ориентировке частиц они могут возникать при защемлении песка и окалины. Царапины — признак абразивного изнашивания. Механизм и закономерности абразивного изнашивания подробно описаны М. М. Хрущовым и М. А. Бабичевым в работах [120, 121].

4. Задиры — углубления различных размеров и форм с рваными поверхностью и краями, обусловлены молекулярным схватыванием и глубинным вырыванием объемов металла (рис. 9). Глубинное вырывание — аварийный и недопустимый вид разрушения, развивающийся при нарушении нормальных условий смазки [124]. Природа схватывания металлов и методы борьбы

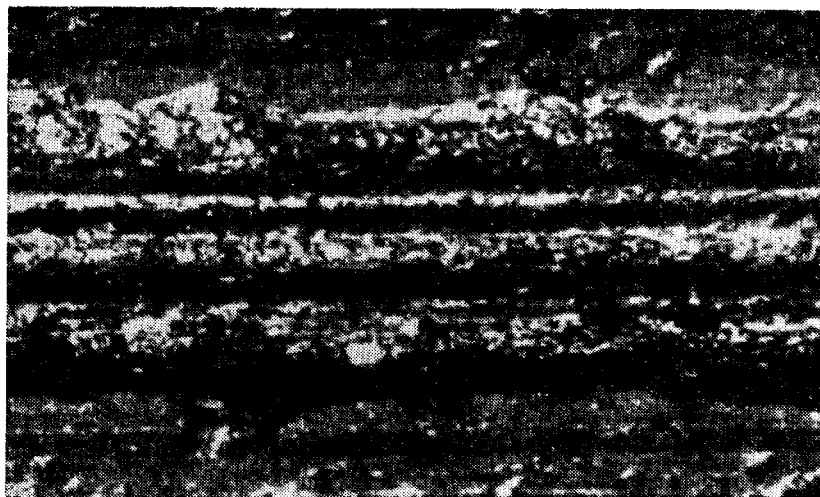


Рис. 9. Задир на направляющей ($\times 6$)

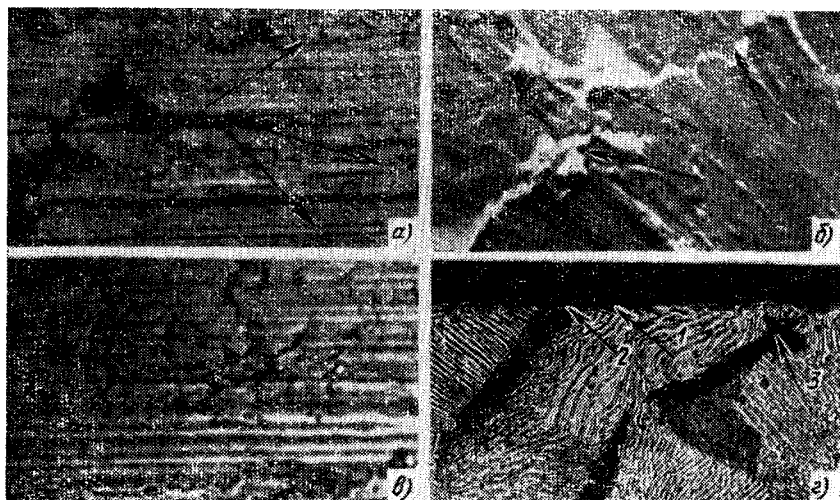


Рис. 10. Следы пластической деформации направляющих:

a — навалы ($\times 800$); *б* — навалы ($\times 20\ 000$); *в* — надрывы на поверхности трения направляющей ($\times 800$); *г* — следы в сечении; 1 — изогнутые пластины цементита в перлите; 2 — козырек деформированного металла, частично прикрывающий включение графита; 3 — включение графита, полностью закрытое пластически деформированным поверхностным слоем ($\times 800$)

с ним в деталях машин рассмотрены в работах А. П. Семенова [99] и К. Л. Голего [36].

В нормальных условиях эксплуатации для большинства типов станков наиболее распространенными повреждениями являются натир и канавки.

На участках, покрытых натирами и канавками, видны следы значительной пластической деформации: навалы (рис. 10, а и б); участки слоев металла с надрывами (рис. 10, в); с изогнутыми вдоль направления движения пластинами цементита и козырьками, образовавшимися над включениями графита и частично или полностью закрывающими их (рис. 10, г).

Повышенная микротвердость матрицы изношенных участков направляющих подтверждает наличие пластической деформации (табл. 6).

Напряженное состояние и особенности разрушения поверхностных слоев чугуна при изнашивании отличаются от напряженного состояния и особенностей разрушения чугуна при определении известных механических свойств (σ_b , σ_t , H , HV и др.), поэтому ни одно из них самостоятельно не может служить критерием износостойкости. Наиболее достоверную характеристику износостойкости чугуна можно получить только при эксплуатационных испытаниях. Однако такая характеристика сама по себе не даст информации о том, какой состав чугуна и какая технология литья должны быть выбраны для обеспечения долговечности деталей. Следовательно, необходимо установить хотя бы косвенную связь между износостойкостью чугуна при эксплуатации деталей и такими его характеристиками, средства воздействия на которые достаточно хорошо известны и которые без особого труда могут быть определены в процессе производства отливок.

Исследования показали, что износ направляющих станков большинства типов в нормальных условиях эксплуатации является результатом следующих процессов:

Т а б л и ц а 6

МИКРОТВЕРДОСТЬ МАТРИЦЫ ЧУГУНА НАПРАВЛЯЮЩИХ

Станок	Деталь	Микротвердость участков направляющих, кгс/мм ²		Повышение микротвердости при трении, %
		неизношенных	изношенных	
Горизонтально-расточной КУ-160	Стол	290	400	38
	Верхние салазки	330	413	25
Продольно-строгальный	Станина	375	446	20

избирательного разрушения пластически деформированных слоев;

отделения объемов, связь которых ослаблена включениями графита.

Так как пластическая деформация играет основную роль при избирательном разрушении поверхностных слоев, то сопротивление пластической деформации матрицы можно считать одной из характеристик, позволяющих косвенно определить износостойкость чугуна. Ее удобно оценивать по величине микротвердости.

На склонность чугуна к отделению объемов решающее влияние должна оказывать разобщенность матрицы включениями графита. Для оценки степени разобщенности матрицы автором предложена специальная характеристика микроструктуры — среднее расстояние между включениями графита a^* .

Интерес представляют также зависимости между скоростью изнашивания и размерами включений графита, а также между скоростью изнашивания и твердостью по Бринелю.

Первая зависимость обусловлена тем, что увеличение размеров включений графита приводит к увеличению размеров и количества частиц загрязнений, участвующих в изнашивании. Приблизленно размеры включений графита можно охарактеризовать их длиной $l_{гр}$.

Как указывалось выше, среди изготовителей и потребителей станков широко распространено мнение о том, что твердость чугуна является основным показателем износостойкости. В частности, величину твердости, как единственный показатель качества чугуна, оговаривают зарубежные фирмы, заказывая станки.

Отмеченное нередко влияет на выбор технологии станочного литья, поэтому важно выяснить действительную связь между твердостью и износостойкостью чугуна.

Связь между износостойкостью и некоторыми характеристиками чугуна. Влияние приведенных выше характеристик на износ направляющих исследовали в условиях эксплуатации деталей двух серий.

Первая серия включала 19 станин токарно-винторезных станков мод. 1Е61М и 33 станины токарно-винторезных станков мод. 1А62. Отливки получали без холодильников.

Вторая серия включала 60 станин и 60 нижних салазок горизонтально-расточных станков мод. 2А635 и 2Б635. В отличие от деталей первой серии при литье станин и части нижних салазок горизонтально-расточных станков применяли чугунные холодильники.

* Среднее расстояние a между включениями графита определяют под микроскопом при перемещении исследуемого шлифа. Его величину рассчитывают как частное от деления пути перемещения шлифа на число включений, пересекаемых центром перекрестия окуляра (точнее, на $n + 1$ включение). Общая величина базы измерения на одном шлифе 15 мм.

Все станки значительную часть времени использовали на черновых операциях. Изнашивание происходило при участии загрязнений в виде частиц чугуна, стали, чугуновой литейной корки (отбеленный чугун, песок) окалины и пр. Износ измеряли с помощью искусственных баз [122], методом вытертых лунок [77]. Микроструктуру чугуна исследовали на темплетях, вырезанных из рабочих участков направляющих полыми сверлами, или на шлифах, приготовленных непосредственно на направляющих.

Микротвердость перлита измеряли прибором ПМТ-3 при нагрузке 200 гс, твердость по Бринеллю — прибором Польди. Зависимость скорости изнашивания деталей u_3 от микротвердости H перлита, среднего расстояния a между включениями графита, длины $l_{гр}$ включений графита и твердости приведена на рис. 11.

Скорость изнашивания деталей первой серии уменьшается с увеличением микротвердости перлита и твердости. Увеличение среднего расстояния между включениями графита более 65 мкм и длины включений более 190 мкм повышает скорость изнашивания.

Увеличение микротвердости перлита и твердости деталей второй серии увеличило скорость изнашивания. Увеличение же среднего расстояния между включениями графита и длины

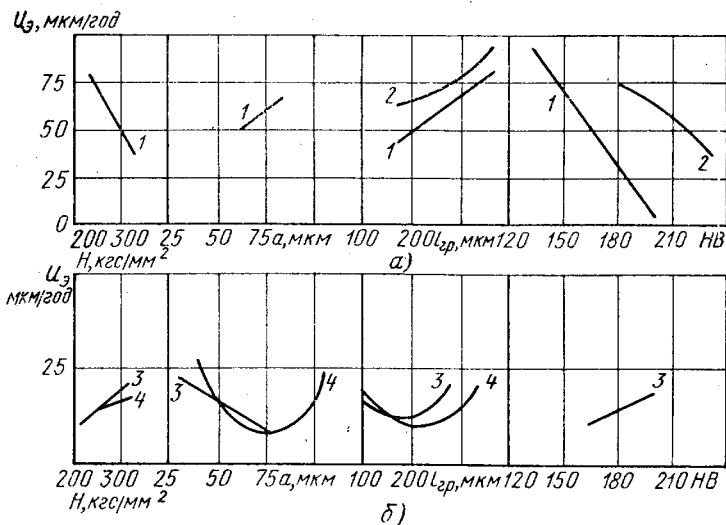


Рис. 11. Скорость изнашивания u_3 направляющих станков в зависимости от микротвердости H перлита, среднего расстояния a между включениями графита, длины включений графита $l_{гр}$ и от твердости HB :

a — заливка без холодильников (I серия); b — с холодильниками (II серия); 1 и 2 — станины станков соответственно моделей 1Е61М и 1А62; 3 и 4 — соответственно станины и нижние салазки станков моделей 2А635 и 2Б635

Рис. 12. Схема рабочего узла лабораторной установки для испытаний на износ

включений в диапазоне малых значений этих величин сопровождалось уменьшением скорости изнашивания. Дальнейшее увеличение параметров повысило скорость изнашивания.

Различие абсолютных величин скоростей изнашивания деталей обеих серий обусловлено конструктивными особенностями и условиями изнашивания деталей токарных и горизонтально-расточных станков. Для того чтобы уточнить, не обусловлен ли этими же причинами разный характер зависимостей скорости изнашивания деталей от микроструктуры и твердости, были проведены лабораторные испытания на образцах двух серий.

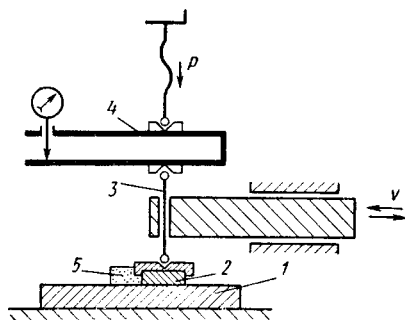
Для образцов первой серии, как и для деталей, разный характер этих зависимостей достигался изменением химического состава и размеров заготовок, для образцов второй серии — в основном применением чугунных холодильников.

По неподвижному образцу 1 (рис. 12) совершает возвратно-поступательное движение образец 2, закрепленный в обойме, вместе с нагружающим устройством. Нагрузка передается через стержень 3 и пружинный динамометр 4. С обоймой упруго связана камера 5, в которой находятся твердые частицы, загрязняющие смазку.

Испытания проводили при удельной нагрузке 20 кгс/см^2 , скорости скольжения $0,06 \text{ м/с}$ и смазке маслом индустриальное 20. В качестве загрязнений использовали смесь из 95% стружки серого и 5% белого чугуна. Размер частиц загрязнений $0,05\text{—}0,20 \text{ мм}$. Во всех испытаниях подвижные образцы были одинаковыми. Их изготовляли из нелегированного серого перлитного чугуна с включениями графита длиной $250\text{—}500 \text{ мкм}$ и твердостью $HB 170$. Включения структурно-свободного цементита отсутствовали. Неподвижные образцы изготовляли из исследуемого чугуна.

Зависимости скорости изнашивания u от микротвердости перлита, среднего расстояния между включениями графита, длины включений графита и твердости приведены на рис. 13. Скорость изнашивания образцов первой серии уменьшилась с увеличением микротвердости перлита и твердости, среднего расстояния между включениями графита и длины включений графита.

Скорость изнашивания образцов второй серии не изменялась с увеличением микротвердости перлита, возрастала с увеличением твердости и уменьшалась с увеличением среднего расстояния между включениями графита и длины включений.



Из сопоставления результатов эксплуатационных и лабораторных испытаний следует:

1. Зависимости скорости изнашивания деталей и образцов первой серии от микротвердости H перлита имеют одинаковый характер.

2. Увеличение среднего расстояния a между включениями графита и длины включений $l_{гр}$ в пределах малых значений этих параметров (детали и образцы второй серии) сопровождается уменьшением скорости изнашивания деталей и образцов. При некоторых значениях параметров эти зависимости меняют знак. В лабораторных испытаниях последнее не наблюдается.

Совпадение характера зависимостей скорости изнашивания от параметров, косвенно связанных с сопротивлением разрушению при трении (H и a), позволяет сделать вывод о том, что полученные зависимости обусловлены особенностями микроструктуры и свойств чугуна. При лабораторных испытаниях увеличение среднего расстояния между включениями графита и длины включений не вызывало роста скорости изнашивания. Однако это не снижает правомерности вывода, так как характер этих зависимостей обусловлен не изменением сопротивления разрушению при трении, а побочными факторами — изменением количества посторонних загрязнений, принимающих участие в изнашивании. Причина нечувствительности лабораторных испытаний к этому эффекту связана с методикой испытаний.

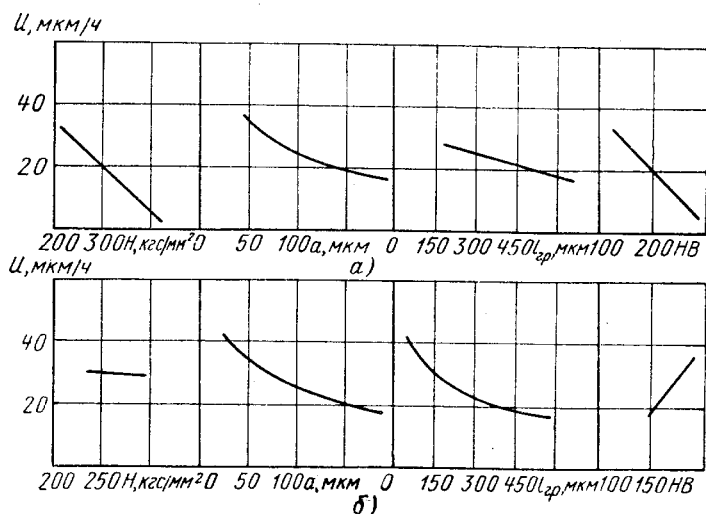


Рис. 13. Скорость изнашивания u_z образцов в зависимости от микротвердости H перлита, среднего расстояния между включениями графита a , длины включений $l_{гр}$ графита и от твердости HB :

a — заливка без холодильников (I серия); b — заливка с холодильниками (II серия).

Различный характер зависимостей у деталей обеих серий свидетельствует о различии процессов, обуславливающих износ направляющих.

В изнашивании деталей первой серии большую роль, по-видимому, играет пластическая деформация поверхностных слоев. Действительно, повышение сопротивления пластической деформации матрицы, проявившееся в увеличении микротвердости от 240 до 320 кгс/мм², уменьшило скорость изнашивания деталей приблизительно в 2 раза (рис. 11). Существенное значение имела также активизация изнашивания крупными включениями графита, что выразилось в повышении скорости изнашивания при увеличении длины $l_{гр}$. Процессы, связанные с отделением объемов металла, заметно не влияют на характер зависимостей. Причина ограниченного развития процессов отделения объемов связана с особенностями микроструктуры чугуна. Сравнительно крупные включения графита расположены на относительно больших расстояниях друг от друга, поэтому сопротивление отделению оказывается в деталях первой серии сравнительно высоким.

В изнашивании деталей второй серии пластическая деформация не играет большой роли. Действительно, изменение микротвердости заметно не влияет на характер зависимостей, который определяется отделением объемов при малых значениях a и $l_{гр}$ и активизацией изнашивания при крупных включениях графита и больших значениях a . Увеличение влияния отделения объемов у большинства деталей этой серии связано с малым значением a . Последнее обусловлено особенностями технологии получения литых деталей (применение холодильников).

Из изложенного следует, что решающее влияние на формирование процессов изнашивания направляющих оказывает микроструктура чугуна по графиту. Упрощенно, в первом приближении, оно может быть охарактеризовано длиной включений графита и средним расстоянием между ними.

Несмотря на то, что между параметрами a и $l_{гр}$ существует прямая зависимость (рис. 14), они по-разному влияют на износ. Последнее подтверждают результаты специально поставленных экспериментов.

Образцы получали в песчаных формах из нелегированных чугунов двух составов. Часть образцов получали в формах с чугунными холодильниками. При включениях графита одной и той же длины скорость изнашивания чугуна, залитого без холодильников, существенно ниже скорости изнашивания

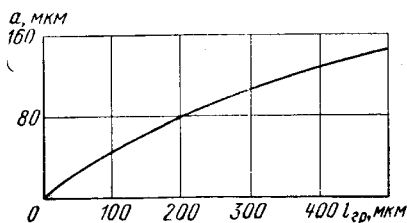


Рис. 14. Зависимость между средним расстоянием между включениями графита a и длиной включений $l_{гр}$ в сером чугуне

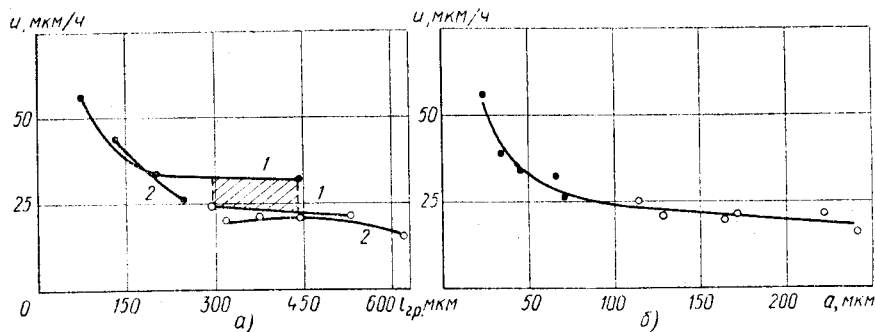


Рис. 15. Скорость u изнашивания чугуна:

a — в зависимости от длины включений графита $l_{гр}$; b — от среднего расстояния между включениями графита a . Состав чугуна:
 1 — 3,42% C; 1,68% Si; 0,46% Mn; 2 — 3,05% C; 1,79% Si; 0,72% Mn. (● — залито с холодильниками; ○ — без холодильников)

чугуна, залитого с холодильниками (рис. 15). Те же результаты испытаний в зависимости от среднего расстояния между включениями графита, приведены на рис. 15, б.

Вид полученных зависимостей свидетельствует о том, что величина среднего расстояния между включениями графита достаточно полно характеризует сопротивление отделению объемов, связь которых ослаблена включениями графита и может служить критерием износостойкости чугуна.

Длина включений графита не определяет однозначно износостойкость чугуна (рис. 15), однако характеризует способность активизировать процесс изнашивания чугуна при попадании на направляющие посторонних загрязнений.

Таким образом, при относительно малых размерах включений графита, когда активизация изнашивания вследствие попадания загрязнений не является решающей, увеличение расстояния a вызывает уменьшение скорости изнашивания из-за увеличения сопротивления отделению объемов чугуна.

При крупных включениях графита с увеличением расстояния a начинает превалировать фактор активизации изнашивания и скорость изнашивания возрастает (рис. 11, б), хотя сопротивление изнашиванию за счет отделения объемов продолжает увеличиваться.

Характер зависимостей скорости изнашивания от микротвердости матрицы и от твердости чугуна оказался практически одинаковым (рис. 11). Тем не менее и эти свойства не взаимозаменяемы при оценке износостойкости чугуна. Причиной этого является неопределенность характера зависимостей как между микротвердостью матрицы и твердостью, так и между твердостью и износостойкостью чугуна.

Микротвердость матрицы определяется сопротивлением пластической деформации ее микрообъемов; твердость — сопротивлением пластической деформации макрообъемов сплава, на величину которой влияет как микротвердость матрицы, так и количество и размеры включений графита. В случаях, когда применяемые технологические варианты литья так изменяют микроструктуру по графиту и микротвердость матрицы, что они влияют на твердость в противоположных направлениях, зависимость между твердостью и микротвердостью может быть любой. Это характерно, в частности, для случаев, когда повышение твердости по Бринеллю достигается резким повышением скорости охлаждения при эвтектическом превращении путем применения холодильников.

Неопределенность характера зависимости между твердостью и износостойкостью связана с тем, что влияние микроструктуры чугуна по графиту на твердость и износостойкость может быть разным. В случаях, когда изменения микроструктуры по графиту одинаково влияют на твердость и износостойкость чугуна, а также когда изменение твердости вызвано изменением микротвердости матрицы, между твердостью и износостойкостью наблюдается прямая зависимость (рис. 11, детали первой серии). В случаях, когда изменения микроструктуры по графиту по-разному влияют на твердость и износостойкость чугуна, зависимость между твердостью и износостойкостью чугуна может иметь любой характер (рис. 11, детали второй серии).

В связи с большой ролью пластической деформации в изнашивании направляющих и наличием четкой зависимости между скоростью изнашивания и микротвердостью матрицы (если эта зависимость не искажена влиянием микроструктуры по графиту), величина микротвердости матрицы может быть принята в качестве второго критерия износостойкости чугуна.

Твердость можно использовать для характеристики чугуна, когда известно, что при применяемом технологическом варианте литья изменения механических свойств матрицы и микроструктуры по графиту одинаково влияют на твердость и износостойкость. Это относится, в частности, к случаям, когда изменение свойств чугуна достигается варьированием его химического состава, легированием или модифицированием.

Влияние особенностей микроструктуры чугуна на износ сопряженных поверхностей. По данным Л. В. Елина и И. В. Крагельского, на износ твердых тел существенно влияет взаимное внедрение, обусловленное неоднородностью механических свойств сопряженных поверхностей. Поэтому с целью выяснения роли и особенностей проявления взаимного внедрения при изнашивании чугунных направляющих были проведены специальные исследования на неподвижных и взаимно перемещаемых образцах.

Неподвижные образцы из чугуна СЧ 24-44, приготовленные в виде микрошлифов, сжимали под удельными нагрузками 4, 12, 20, 28, 36 и 44 кгс/мм². Поверхности исследовали с помощью

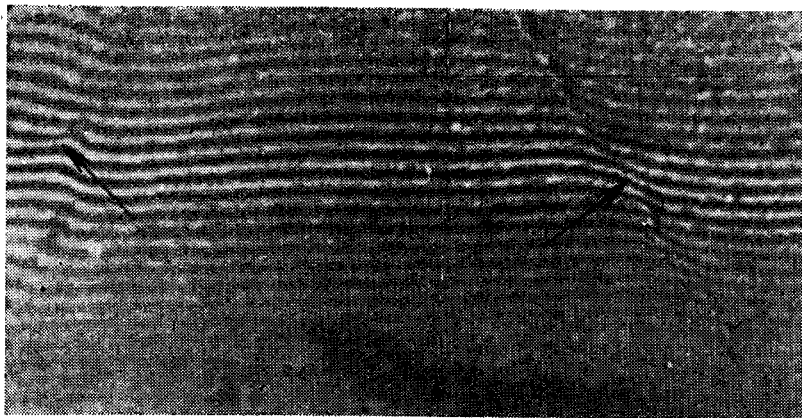


Рис. 16. Трещины и уступы в матрице после сжатия чугуна под удельной нагрузкой 44 кгс/мм^2 ($\times 290$)

интерференционного микроскопа. При нагрузках, меньших 12 кгс/мм^2 , рельеф поверхностей не изменился. При нагрузке 12 кгс/мм^2 появилась «рябь», свидетельствовавшая о сдвигах в ферритных прослойках перлита, кроме того, стало заметно выпучивание включений графита. При 20 кгс/мм^2 рябь уменьшилась, интерференционные линии стали четче, поверхность глаже; при 28 кгс/мм^2 в некоторых местах произошло выдавливание перлитных блоков, ограниченных включениями графита. Неровность поверхности увеличилась до $0,3\text{—}0,4 \text{ мкм}$, а в отдельных местах достигла 1 мкм . При нагрузке 44 кгс/мм^2 в матрице появилось много трещин, около которых были уступы высотой $0,25\text{—}0,50 \text{ мкм}$ (рис. 16). Ни в одном из случаев не наблюдалось вдавливания включений фосфидов или карбидов.

Рельеф, возникший при сдавливании поверхностей, виден на фотографии сечения (рис. 17). Помимо плавной неровности слоя заметно внедрение включений феррита в сопряженную поверхность. Иногда имело место внедрение перлита.

При испытании трением наличие твердых включений в одном из образцов уменьшило скорость его изнашивания (рис. 18), но вызвало повышенный износ сопряженной поверхности. Наличие твердых включений в обоих образцах вызвало повышенный износ пары.

Полученный результат может быть объяснен взаимным внедрением и, в частности, внедрением твердых структурных составляющих в сопряженную поверхность. Однако следует предположить, что внедрению твердых структурных составляющих в сопряженную поверхность предшествует возникновение рельефа, обусловленного неравномерным износом. В первую очередь изнашиваются более пластичные участки, в результате чего менее



Рис. 17. Сечение чугуновых поверхностей под удельной нагрузкой 44 кгс/мм^2 :

1 — стык сопряженных поверхностей; 2 — ферритовое включение, внедрившееся в сопряженную поверхность ($\times 100$)

пластичные участки и, в частности, твердые структурные составляющие несколько возвышаются над поверхностью. Это и создает условия для концентрации напряжений и внедрения выступающих участков в сопряженную поверхность. Следствием является увеличение износа. Очевидно, чем больше неравномерность сопротивления пластической деформации матрицы, тем более рельефной будет поверхность в результате износа и тем больший износ сопряженной поверхности она будет вызывать.

Это положение подтверждают результаты эксплуатационных испытаний верхних салазок и столов горизонтально-расточных станков мод. 2620А (табл. 7, рис. 19). Характеристикой неравномерности сопротивления пластической деформации слу-

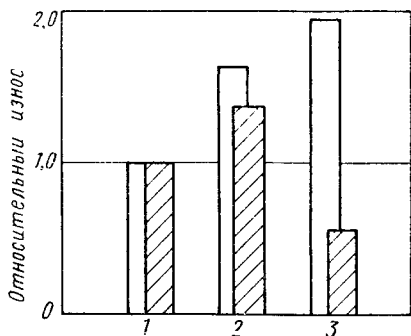


Рис. 18. Относительный износ образцов в зависимости от наличия в чугуне твердых включений:

1 — без включений; 2 — с включениями; 3 — верхний образец (незаштрихованные участки) без включений; нижний (заштрихованные участки) — с включениями

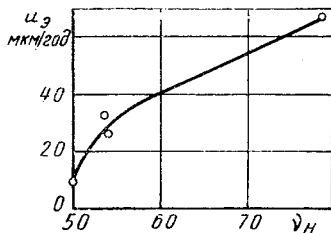


Рис. 19. Суммарная скорость изнашивания узлов «верхние салазки — стол» горизонтально-расточных станков мод. 2620А в зависимости от величины среднего отклонения H_N микротвердости матрицы

**СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ v_H
МИКРОТВЕРДОСТИ И СКОРОСТЬ u_z ИЗНАШИВАНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ**

№ станка	Деталь	HV	v_H	u_z , мкм/год	$\sum u_z$, мкм/год
1	Стол Верхние салазки	140	57	7	9
		146	43	2	
2	Стол Верхние салазки	129	58	10	26
		141	50	16	
3	Стол Верхние салазки	130	46	19	32
		152	61	13	
4	Стол Верхние салазки	185	57	33	66
		206	100	33	

жила величина среднего арифметического отклонения v_H микро-твердости матрицы (нагрузка 10 гс, расстояние между отпечатками 0,03 мм, число отпечатков 200).

Увеличение v_H даже одной из деталей пары повышало суммарную скорость изнашивания узла.

Следует отметить, что причиной высокой скорости изнашивания деталей станков первой группы (см. табл. 5) была именно повышенная неравномерность пластических свойств матрицы чугуна сопряженных деталей, связанная в значительной степени с присутствием в структуре сурьмянистого чугуна включений свободных карбидов. В этом случае несмотря на повышенную твердость чугуна сказалось отрицательное влияние неравномерности пластических свойств матрицы.

Влияние микроструктуры и твердости чугуна закаленных направляющих на износ. Влияние микроструктуры матрицы и твердости по Роквеллу закаленного чугуна на износ исследовали на лабораторной установке (см. рис. 12) по методике, аналогичной описанной ранее. В качестве загрязнений использовали смесь чугунной стружки и электрокорунда (2,5% по массе) с частицами размером до 0,1 мм. Состав и микроструктура чугуна приведены в табл. 8.

Неподвижные образцы изготавливали из этого чугуна, подвижные — из незакаленного серого чугуна с включениями графита длиной 250—500 мкм и твердостью HV 170.

Относительный износ исследованных чугунов до закалки колебался от 3,1 до 3,6, если износ чугуна плавки № 1 после его закалки на мелкоигольчатый мартенсит принят за 1.

СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРА ИССЛЕДОВАННЫХ ЧУГУНОВ

№ плав-ки	Состав, %						Микроструктура		HB
	C _{св}	C _{общ}	Si	Mn	Cr	Ni	графит	метал-лическая основа	
1	0,80	3,13	1,55	1,80	0,25	0,15	Гд7; Гр1; Гр4; Гф2	П	190
2	0,60	3,08	1,75	0,71	0,13	0,13	Гд7; Гр1; Гр4; Гф2	П	170
3	0,62	3,38	2,23	0,76	0,18	0,18	Гд8; Гр1; Гр4; Гф2	П85	150

Закалку выполняли с нагревом газовым пламенем. Этот метод и режим закалки выбраны с таким расчетом, чтобы можно было получить широкий диапазон структур, постепенно изменяющихся по глубине слоя. Перед испытанием образцы шлифовали. Микроструктура матрицы образцов после закалки приведена ниже:

Образец	Микроструктура матрицы
I	Крупно- и грубоигольчатый мартенсит + остаточный аустенит (20—40%)
II	Крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит (до 10%)
III	Мелкоигольчатый мартенсит
IV	Мартенсит, ориентированный по перлиту

При изменении микроструктуры металлической матрицы твердость чугуна каждой плавки изменяется мало, а износ — существенно (рис. 20). Это свидетельствует о том, что твердость не определяет износостойкости закаленного чугуна.

Износостойкость зависит от микроструктуры: наименьшему износу подвержен чугун со структурой мелкоигольчатого мартенсита, наибольшему — со структурой крупноигольчатого мартенсита при ограниченном количестве аустенита, а также чугун со структурой мартенсита, ориентированного по перлиту. Увеличение количества остаточного аустенита несколько снизило износ чугуна со структурой крупноигольчатого мартенсита. Но с помощью обычных методов закалки направляющих трудно получать структуру с заданным количеством аустенита. Кроме того, нелегированные чугуны при остаточном аустените обычно имеют структуру грубо- и крупноигольчатого мартенсита, обладающего пониженной износостойкостью. Поэтому для практических целей не следует рекомендовать структуру с повышенным содержанием аустенита.

Влияние длины включений графита на износ исследовали на закаленных направляющих токарно-винторезных станков

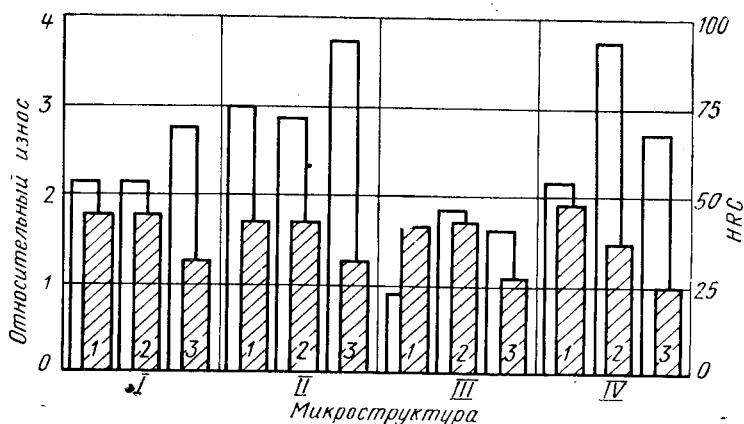


Рис. 20. Относительный износ (незаштрихованные участки) и твердость (заштрихованные участки) закаленного чугуна:

I—IV — образцы; 1—3 — номер плавки по табл. 8

мод. 1К62. Микроструктуру исследовали на шлифах, приготовленных непосредственно на направляющих, с помощью микроскопа с магнитным креплением. Матрица чугуна имела структуру мелко- и среднеугольчатого мартенсита. Длина включений графита находилась в пределах 150—370 мкм. Износ измеряли с помощью вытертых лунок.

Зависимость скорости изнашивания закаленных направляющих от размеров включений графита представлена на рис. 21. Уравнение линии регрессии имеет следующий вид:

$$u_3 = 42,3 - 0,28l_{гр} + 0,0008l_{гр}^2,$$

где u_3 — скорость изнашивания закаленных направляющих при двухсменной работе станка, мкм/год; $l_{гр}$ — длина включений графита, мкм. Корреляционное отношение $\hat{\rho} = 0,85$.

На рис. 21 для сравнения приведена зависимость, полученная при испытании станка мод. 1А62 с незакаленными направляющими.

При закаленных направляющих, как и при незакаленных,

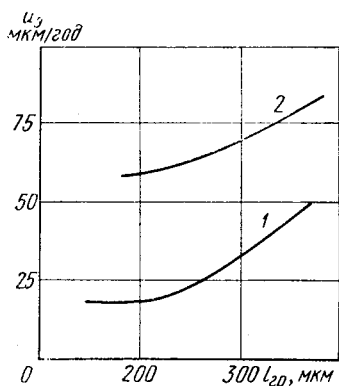


Рис. 21. Скорость изнашивания направляющих станков мод. 1К62 и 1А62 в зависимости от размеров включений графита:

1 и 2 — закаленные и незакаленные направляющие

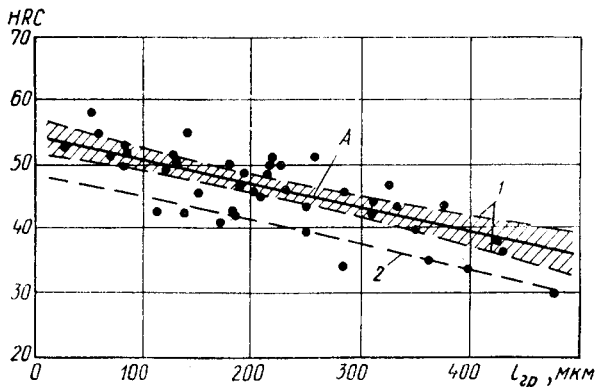


Рис. 22. Твердость закаленного чугуна в зависимости от размеров включений графита; *A* — линия регрессии, полоса между линиями:

1 — 90%-ная доверительная зона для истинной линии регрессии; 2 — нижняя 90%-ная доверительная граница для индивидуальных значений твердости

крупные включения графита активизируют износ. Уменьшение длины включений от 350—370 до 150—250 мкм снижает скорость изнашивания в 2 раза. Крупные включения графита в чугуне уменьшают эффект закалки направляющих. Так, при включениях графита длиной 150—250 мкм закалка снизила скорость изнашивания направляющих более чем в 3 раза, при включениях длиной 350—370 мкм — лишь в 2 раза.

Влияние размеров включений графита на твердость закаленного чугуна исследовали на образцах с включениями графита длиной 50—480 мкм, расположенными отдельно или колониями. Исходная структура матрицы преимущественно перлитная. В образцах с перлитно-ферритной структурой содержание феррита не превышало 10%. Твердость находилась в пределах *HV* 160—260.

Многие образцы подвергали объемной закалке по режиму: нагрев 870—900° С, охлаждение в воде (без отпуска); некоторые образцы — поверхностной закалке с нагревом т. в. ч. и газовым пламенем. Разница в твердости оказалась в пределах нормального рассеяния результатов.

Исследованные образцы имели структуру мелкоигольчатого мартенсита с микротвердостью 800—900 кгс/мм² при нагрузке 200 гс.

Твердость по Роквеллу определяли как средний арифметический результат из 10—15 измерений, без исключения выпадающих значений.

Зависимость между твердостью чугуна и длиной включений графита представлена на рис. 22. Линия регрессии, характеризу-

ющая связь между величинами HRC и $l_{гр}$, обозначена буквой A . Ее уравнение

$$HRC = 54,8 - 0,038l_{гр}; \hat{p} = 0,68.$$

Несмотря на практически одинаковые у всех образцов микроструктуру и микротвердость матрицы, твердость чугуна по Роквеллу изменяется в широких пределах в зависимости от длины включений. Связано это с особенностями метода измерения твердости по Роквеллу.

Чем крупнее включения графита, тем большие разрушения вызывает алмазный конус твердомера и тем меньше оказывается твердость чугуна по Роквеллу. Это, наряду с отмеченным выше, свидетельствует о том, что величина твердости по Роквеллу сама по себе не может быть показателем износостойкости. Но по этой величине можно ориентировочно судить о качестве и стабильности процесса закалки.

Твердость чугуна с графитом длиной 190 мкм (Гд7), когда активизирующее действие включений графита заметно не проявляется, составляет HRC 42 (линия 2, рис. 22). Очевидно, что при контроле стабильности процесса закалки эта величина может рассматриваться как нижний предел твердости направляющих с включениями указанных размеров.

Таким образом, закалка чугуновых направляющих является эффективным средством повышения долговечности корпусных деталей. Однако износ закаленных направляющих зависит от размеров включений графита. Наличие на поверхности трения включений графита длиной не более 250 мкм — первое условие высокой износостойкости чугуновых корпусных деталей.

Наименьшая скорость изнашивания чугуна наблюдается при мелкоигльчатом мартенсите. Наличие последнего на достаточно большой глубине — второе условие высокой износостойкости закаленных корпусных деталей. Это означает, что матрица исходного чугуна должна быть перлитная, а графит длиной 125—250 мкм.

Закалку направляющих можно осуществлять с нагревом газовым пламенем или т. в. ч. Выбор метода закалки при соблюдении условий, указанных выше, не влияет на износостойкость направляющих.

3. ВЫБОР ЧУГУНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ЛИТЬЯ

Важнейшие эксплуатационные свойства корпусных деталей (жесткость, износостойкость и стойкость против коробления) проявляются обычно во взаимодействии сопряженных деталей и узлов. Они зависят от конструкции детали, качества чугуна, видов упрочнения и окончательной его обработки, качества изготовления и сборки станков, условий эксплуатации и др. факторов.

Поэтому мероприятия по повышению работоспособности деталей наиболее эффективны тогда, когда их проводят комплексно и на таких этапах (проектирования, изготовления или эксплуатации станков), вмешательство на которых может оказаться наиболее результативным.

Выбор технологических вариантов литья, включающий выбор химического состава чугуна, методов плавки, условий охлаждения отливки и др., очень влияет на работоспособность деталей. Однако изменение свойств чугуна не позволяет в одинаковой степени повышать жесткость, износостойкость и стойкость против коробления деталей. Соответственно различна и относительная эффективность металлургического вмешательства.

Возможности для повышения жесткости деталей путем изменения качества чугуна ограничены, поэтому металлургическое вмешательство целесообразно в случаях, когда известно, что от жесткости детали зависит баланс жесткости станка, а ее повышение конструктивными мероприятиями затруднено. Примером таких деталей служат поперечины карусельных станков [49].

Износостойкость деталей зависит от качества чугуна значительно больше. Даже случайные колебания микротвердости перлита, среднего расстояния между включениями графита, длины включений графита и твердости чугуна по Бринеллю в деталях, изготавливаемых одним и тем же заводом, могут изменить скорость изнашивания в 1,5—3 раза.

В связи с зависимостью износостойкости от характеристик микроструктуры чугуна, улучшение последних следует считать одним из основных средств повышения износостойкости деталей станков. Для повышения износостойкости часто применяют чугун более высоких марок, чем необходимо для обеспечения достаточной жесткости и прочности деталей, поэтому при удовлетворении требований по износостойкости обычно удовлетворяются требования по жесткости и прочности корпусных деталей.

Стойкость против коробления деталей отливок из чугуна СЧ 21-40 и более высоких марок не зависит от качества чугуна [66]. Поэтому основным средством повышения стойкости деталей против коробления является стабилизация их размеров термическими, деформационными и деформационно-термическими методами (см. главу VI).

Из приведенного можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Когда износ корпусных деталей существенно влияет на работоспособность станка, технологический вариант получения отливок необходимо выбирать исходя из требований износостойкости, что обычно обеспечивает требуемые жесткость и прочность деталей и не сказывается отрицательно на стойкости против коробления.

Когда детали не работают на износ или их износ существенно не влияет на работоспособность станка, при выборе технологиче-

ских вариантов получения отливок следует учитывать только требования по жесткости, прочности и плотности деталей.

Если к корпусным деталям предъявляют особенно высокие требования по жесткости, причем последние не могут быть удовлетворены конструктивными мероприятиями, то выбор металлургического варианта должен отвечать требованиям по жесткости и износостойкости одновременно. При этом условия прочности, как правило, выполняются автоматически [51]. В случаях, когда применение чугуна с пластинчатым графитом не обеспечивает необходимой жесткости деталей, следует применять чугун с шаровидным графитом.

2. Высокая износостойкость деталей достигается мероприятиями, обеспечивающими получение соответствующих значений критериев износостойкости (микротвердости матрицы и среднего расстояния между включениями графита), а также соблюдением дополнительных требований (размер включений графита, твердость).

Микротвердость матрицы должна быть возможно более высокой. Микротвердость матрицы для деталей, не подвергаемых термической обработке, можно ориентировочно оценивать с учетом данных, полученных при эксплуатационных испытаниях станин станков мод. 1Е61М. В этом случае повышение микротвердости матрицы от 240 до 320 кгс/мм² снизило скорость изнашивания деталей в 2 раза. Высокая микротвердость матрицы достигается при перлитной, сорбитной, трооститной, бейнитной и мартенситной структуре. Ферритная структура, как правило, не допускается.

Среднее расстояние между включениями графита должно быть не менее 70 мкм (табл. 9). Ориентировочно, с учетом результатов испытаний станин и нижних салазок горизонтально-расточных станков мод. 2А635 и 2Б635, можно принять, что уменьшение среднего расстояния между включениями графита от 70 до 35 мкм увеличивает скорость изнашивания направляющих в 2 раза. Ограничение нижнего предела допустимых значений a исключает опасность появления структур, характерных для повышенной скорости охлаждения, мелких включений графита, а также распределений включений графита: междендритных или в виде колоний. Наиболее распространенными при этом структурами являются структуры с включениями графита длиной более 125 мкм, распределенными изолированно или в виде колоний при малой степени изолированности.

Оптимальные значения критериев износостойкости (микротвердости матрицы и среднего расстояния между включениями графита) — необходимое, но не достаточное условие высокой износостойкости чугуна любых корпусных деталей. Для гарантированного обеспечения высокой износостойкости необходимо также соблюдение требований, обусловленных особенностями эксплуатации деталей. Последние зависят прежде всего от усло-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУГУНА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ
ВЫСОКУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ

Загрязнения	H , кгс/мм ²	a , мкм, не менее	$l_{гр}$, мкм, не более	Свободные карбиды	Примеры деталей
Значительные	320—400	70	250	Допускаются ¹	Станины токарных, револьверных, фрезерных, горизонтально-расточных станков. Нижние салазки горизонтально-расточных станков
Незначительные			500	Не допускаются только при большом влиянии износа сопряженной детали на точность станка	Столы и верхние салазки горизонтально-расточных станков (кольцевые направляющие). Стойки и поперечины карусельных, горизонтально-расточных, продольно-строгальных и продольно-фрезерных станков. Детали станков различных типов с защитой направляющих

¹ Количество свободных карбидов лимитируется обрабатываемостью и склонностью чугуна к образованию трещин.

вий изнашивания направляющих и степени влияния износа сопряженных деталей на точность станка.

При всем многообразии условий изнашивания направляющих, в первом приближении, достаточен учет степени участия в изнашивании посторонних загрязнений (стружки обрабатываемых деталей, частиц окалины, песка и продуктов разрушения шлифовальных кругов).

При значительном количестве посторонних загрязнений включения графита длиной более 250 мкм увеличивают скорость изнашивания, поэтому длина включений графита на направляющих должна быть не более 250 мкм (верхняя граница диапазона Гд7 по ГОСТ 3443—57). При ориентировочных подсчетах можно исходить из того, что увеличение размеров графита от 220—250 до 320—350 мкм сопровождается ростом скорости изнашивания деталей в 1,6 раза. Эта величина получена в результате усреднения результатов эксплуатационных испытаний станин станков мод. 1К62, 1А62, 1Е61М, 2А635, 2Б635 и салазок станков мод. 2А635 и 2Б635.

При незначительном количестве посторонних загрязнений скорость изнашивания деталей зависит от длины включений гра-

фита значительно слабее, поэтому не требуется жесткого ограничения размеров последних. Длина включений графита в этом случае может достигать 500 мкм (верхняя граница диапазона Гд8).

Как отмечалось ранее, твердые включения (свободный цементит, карбиды, фосфиды, бориды и пр.) повышают износостойкость одной детали и увеличивают износ другой сопряженной с нею детали. Это явление наблюдается в случае, когда износ обусловлен главным образом взаимодействием сопряженных поверхностей, а посторонние загрязнения в нем почти не участвуют. Если износ обусловлен в основном взаимодействием твердых частиц загрязнений с поверхностями трения, то повышение износостойкости основной (неподвижной) детали за счет твердых структурных включений способствует уменьшению шероховатости поверхности, что снижает износ сопряженной детали.

Таким образом, при наличии на поверхности трения значительных количеств посторонних загрязнений твердые структурные включения в чугунах допустимы и, по-видимому, могут быть рекомендованы в количествах, при которых они не препятствуют нормальной обработке деталей. При незначительном количестве посторонних загрязнений в случаях, когда износ сопряженной детали значительно влияет на точность станка, твердые структурные составляющие недопустимы. Исключения составляют включения фосфидной эвтектики при содержании фосфора в чугунах в пределах норм, установленных техническими условиями.

3. Повышение твердости чугуна, достигаемое упрочнением матрицы путем рационального выбора химического состава, легирования и увеличения скорости охлаждения в период эвтектоидного превращения, увеличивает износостойкость. В то же время повышение твердости, обусловленное измельчением включений графита и уменьшением среднего расстояния между ними при увеличении скорости охлаждения сплава в период затвердевания и эвтектического превращения, сопровождается снижением износостойкости.

Поэтому твердость не может быть критерием, однозначно определяющим износостойкость чугуна. Однако на практике по ее величине можно судить о износостойкости чугуна в случаях, когда при литье деталей не применяют холодильников. При этом следует учитывать, что повышение твердости направляющих от *HВ* 160 до *HВ* 200 снижает скорость изнашивания в 2 раза. Высокая износостойкость деталей достигается при твердости направляющих *HВ* 200—240.

Значения характеристик, приведенных в табл. 9, и твердости чугуна по Бринеллю рекомендованы с учетом условий обеспечения высокой износостойкости деталей при эксплуатации.

Эффективность использования любых средств воздействия на чугун с целью повышения износостойкости деталей зависит

только от того, в какой мере использование этих средств позволяет приблизиться к характеристикам чугуна, приведенным в табл. 9.

4. Для повышения твердости направляющих, предотвращения графитовой пористости, а также для выравнивания скорости охлаждения отливок на многих заводах широко применяют холодильники. Однако повышение твердости, достигаемое применением холодильников, может приводить к увеличению износа. Из этого не следует, что холодильники во всех случаях оказывают отрицательное влияние на долговечность деталей.

Холодильники измельчают включения графита и увеличивают неравномерность их распределения в структуре. В предельном случае в непосредственной близости от поверхности отливок образуются структуры с междендритным распределением включений графита, повышенным содержанием феррита и свободных карбидов. Микротвердость перлита при применении холодильников обычно несколько уменьшается.

Низкая износостойкость структур с междендритным графитом широко известна. Однако исследования, проведенные в ЭНИМСе, показали, что отрицательное влияние холодильников на износостойкость чугуна связано не только с возникновением этих структур, но и с увеличением количества включений графита, уменьшением расстояний между ними и вытекающим из этого ослаблением матрицы.

Различие в износостойкости чугуна, залитого с холодильниками и без них, резко проявляется вблизи поверхности отливок. По мере удаления от поверхности оно уменьшается, однако еще существует на глубине 50 мм и более. На долговечность деталей, изнашивающихся без участия значительного количества загрязнений, холодильники влияют отрицательно.

Увеличение количества загрязнений обуславливает повышение скорости изнашивания деталей при увеличении значений a и $l_{гр}$ выше определенной величины. Для предотвращения этого процесса следует ограничивать размеры включений графита.

Применение холодильников может быть оправдано при большой массе деталей и больших толщинах направляющих, когда размельчение чрезмерно крупных включений графита не может быть достигнуто регулированием химического состава, воздействием на жидкое состояние и другими металлургическими методами. Выбором типа холодильника, величины припуска на механическую обработку или другими мероприятиями должно быть обеспечено получение структур со значением a не менее 70 мкм. Последнее требование действительно и в случаях, когда холодильники применяют для предотвращения пористости и выравнивания скорости охлаждения отливок.

Глава II

Получение жидкого чугуна

При получении жидкого чугуна для станочных отливок необходимо учитывать особенности этих отливок и требования к чугуну, обоснованные в предыдущей главе, т. е. должны быть обеспечены не только заданные механические свойства в образцах, но и микроструктура и твердость в рабочих узлах отливок, соответствующие требованиям технических условий.

Для корпусных отливок станков характерно сочетание массивных рабочих узлов с относительно тонкими стенками. Получение перлитной структуры, мелкого графита и высокой твердости в массивных сечениях отливки и исключение отбела в тонких стенках должны быть обеспечены при высокой квазиизотропии чугуна. Это достигается путем использования наиболее совершенной технологии получения чугуна.

При выборе технологии получения чугуна необходимо учитывать его химический состав, метод шихтовки и наследственные свойства шихтовых материалов, плавильные агрегаты (вагранки, электропечи) и режим плавки в них, а также внепечную обработку чугуна.

Эти вопросы, исходя из опыта и требований станкостроения, и рассматриваются в настоящей главе.

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧУГУНА И ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящем разделе рассматривается химический состав чугунов, используемых для базовых деталей станкостроения, и связь между ним, структурой и свойствами чугуна. В этом отношении представляет интерес сравнительное исследование ваграночных чугунов завода «Станколит» и ЛСО им. Свердлова и электропечного чугуна Каунасского Центролита [108]. Установлена зависимость структуры и свойств от химического состава чугуна.

На рис. 23 приведена зависимость длины графитовых включений от величин углеродного эквивалента C_e нелегированного чугуна в образцах различного сечения¹. В последних четко про-

¹ Шлиф для металлографического исследования вырезали на глубине 10—15 мм от поверхности образца.

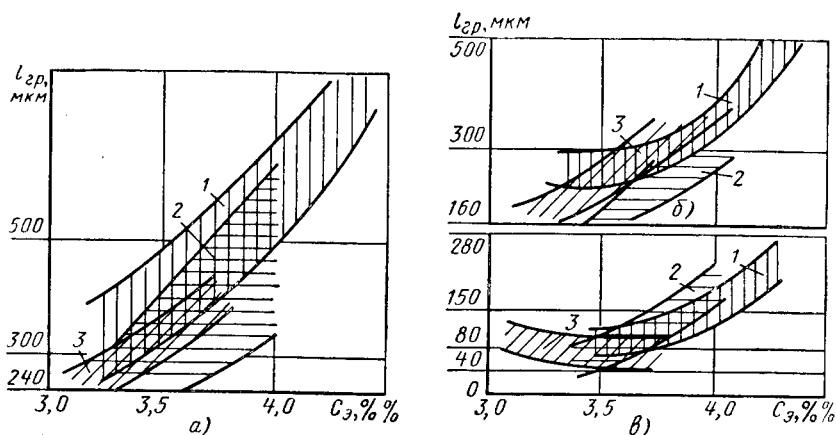


Рис. 23. Зависимость длины включений графита от углеродного эквивалента C_3 , Образцы сечением:

a — 100×116 мм; b — 60×77 мм; c — $\varnothing 30$ мм.

Данные заводов:

1 — Каунасского «Центролита»; 2 — «Станколита»; 3 — ЛСО им. Свердлова

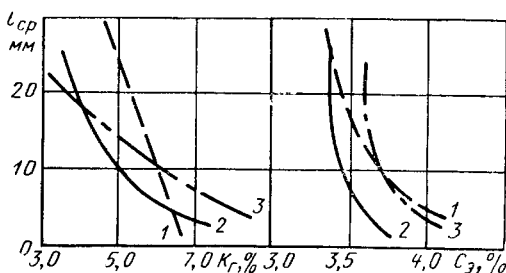
является известная закономерность — укрупнение включений графита при повышении углеродного эквивалента. Приведенная толщина и скорость охлаждения образцов сечениями 77×60 мм и 100×116 мм примерно соответствует данным параметрам направляющих большинства средних и крупных отливок.

Снижение углеродного эквивалента до 3,4 при принятом отношении C/Si в ваграночном и электропечном чугунах не обеспечивает получения относительно мелких включений графита ($l_{gp} < 250$ мкм), соответствующих требованиям ТУ.

При использовании шихты, состоящей в основном из собственных возвратов и 30% стальной стружки, даже при индукционной плавке не происходит существенного размельчения графита в образцах указанных сечений. Увеличение углеродного эквивалента значительно влияет на снижение склонности чугуна к отбеливанию (рис. 24), характеризуемой глубиной отбеленной зоны l_{cp} технологической пробы, представленной на рис. 59. Чугуны индукционной плавки того же химического состава, что

Рис. 24. Зависимость отбеливаемости чугуна от C_3 и K_r .
 $K_r = C [Si - 0,2 (Mn - 1,7S - 0,3) + 0,1P + 0,4Ni - 1,2Cr - 0,4Mo] \%$.
 Данные заводов:

1 — Каунасского «Центролита»;
 2 — «Станколита»; 3 — ЛСО им. Свердлова



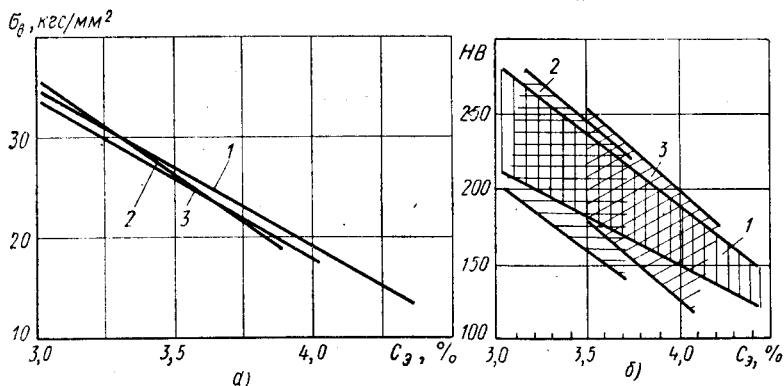


Рис. 25. Зависимость от C_z временного сопротивления (а) и твердости $HВ$ (б) чугуна. Данные заводов:

1 — Каунасского «Центролита»; 2 — «Станколита»; 3 — ЛСО им. Свердлова (границы верхние — образцы $\varnothing 30$ мм, нижние — образцы $\varnothing 100$ мм)

и ваграночные чугуны, обладают большей склонностью к отбеливанию.

Связь между механическими свойствами чугуна и величиной углеродного эквивалента представлена на рис. 25, а в виде корреляционных кривых, построенных на основе большого числа опытов.

При испытании образцов диаметром 30 мм различия в прочности чугунов ваграночной и индукционной плавки весьма незначительные. При испытании же образцов диаметром 60 мм обнаруживается некоторое преимущество чугунов индукционной плавки. Это можно объяснить тем, что чугуны, выплавленные в индукционных печах, отличаются более высокой квазиизотропией, т. е. менее чувствительны к скорости охлаждения.

На рис. 25, б приведена зависимость твердости чугуна от величины углеродного эквивалента при испытании образцов различных сечений. Для образцов толщиной 100 мм минимальные значения твердости, регламентируемые техническими условиями, достигаются при $C_z = 3,4—3,5$.

С учетом специфических условий выплавки чугуна, а также особенности технологии в каждом литейном цехе разрабатываются оптимальные варианты получения чугунов необходимых химических составов, которые приведены в табл. 10.

Для изготовления крупных отливок I и II классов группы б без холодильников в зависимости от массы и толщины направляющих используют чугун с пониженным содержанием углерода (2,9—3,1%), выплавленный на шихте, содержащей до 40—50% стального лома. Иногда этот чугун подвергают модифицированию. На большинстве заводов эти чугуны легируют 0,2—0,4% Cr, на заводе «Сиблитмаш» 0,15—0,3% Ni, на ЛСО им. Свердлова

$Ni + Cu = 0,4\%$. На заводе «Rudolf Harlos» (ГДР) для этой группы отливок чугуна легируют $1,0—1,5\%$ Cu.

При изготовлении отливок различной массы широко используют холодильники. В этом случае применяют чугун с относительно высоким содержанием углерода ($3,1—3,3\%$) и низким содержанием стального лома в шихте ($20—30\%$). Масса отливок и толщина направляющих, при которых целесообразно использовать холодильники, на каждом заводе разные. Сделать по этому вопросу какие-либо обобщающие выводы и дать рекомендации не представляется возможным.

Приведенные данные показывают, что для стабильного получения мелкого графита ($l_{гр} < 250$ мкм) в относительно толстых сечениях отливки применяют следующие методы:

1) снижение C_s и C/Si в чугуне (при ваграночной плавке это допустимо в известных пределах и связано с ухудшением литейных свойств чугуна);

2) повышение скорости охлаждения с помощью холодильников.

В ряде случаев литейщики вынуждены использовать второй метод, хотя он и связан с организационными трудностями, повышением трудоемкости и опасностью появления специфических дефектов в отливках (см. главу I).

В ЭНИМСе был исследован химический состав чугунов корпусных деталей станков, выпускаемых зарубежными фирмами и установленных на отечественных заводах.

По данным, представленным в табл. 11, содержание углерода ($2,92—3,03\%$) в чугунах, используемых для изготовления станин, соответствует нижнему пределу содержания углерода в чугунах, используемых отечественными заводами для аналогичных деталей.

В деталях фирмы «Maag» повышенное содержание кремния (до $2,7\%$) возможно связано с установкой холодильников. Только для трех деталей станка фирмы «Maag» применяют чугун, легированный никелем ($0,25—0,38$ и $0,69\%$).

В литейных цехах Швейцарии обычно корпусные детали изготавливают из нелегированных чугунов [59].

Одновременно с химическим составом на формирование структуры и свойств чугуна в отливке очень влияют шихтовые материалы, их свойства и содержание в шихте. В первую очередь это относится к стальному лому и доменным чугунам.

Стальной лом. При увеличении содержания стального лома в шихте уменьшается количество углерода в ней и в выплавленном чугуне. Однако при расчетах следует учитывать, что с увеличением содержания стали повышается степень науглероживания металла в процессе плавки.

Данные, приведенные на рис. 26, получены на основе статистической обработки анализов чугунов, выплавленных в коксовых и коксогазовых вагранках с копильниками и подогревом дутья

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧУГУНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Типовые отливки	Технологические особенности		Характеристика чугуна	
	Количество стального лома в шихте, %	Холодильники	Класс и группа по ТУ 2-024-708-67	Марка чугуна
Завод				
Крупные и средние отливки с массивными направляющими толщиной более 100 мм. Станины, салазки, столы	40—45	Нет	кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 32-52
Отливки среднего развеса для высоконагруженных деталей и отливки, работающие при высоких давлениях (свыше 80 кгс/см ²). Шпиндельные блоки, корпуса гидравлических прессов, токарные патроны	40—45		кл. 1 и 2, гр. б и в	СЧ 32-52
Крупные отливки с направляющими толщиной до 100 мм. Станины, колонки, каретки	30—35		кл. 1 и 2, гр. б кл. 1 и 2, гр. а и б	СЧ 28-48
Средние отливки с направляющими толщиной более 100 мм	30—35		кл. 1 и 2, гр. а и б	СЧ 28-40
Средние отливки с направляющими толщиной до 70 мм	25—30		кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 28-48
Крупные и средние отливки с направляющими толщиной до 50 мм и без направляющих. Средние отливки с направляющими толщиной до 70 мм	15—20		кл. 1 и 2, гр. а и б	СЧ 24-44
Мелкие отливки с направляющими толщиной до 40 мм	5—10		кл. 2, гр. б	СЧ 21-40

ОТЛИВОК В СТАНКОСТРОЕНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЗАВОДАХ

Состав чугуна, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Прочие элементы
			не более				
«Станколит»							
2,9—3,1	1,4—1,7 *	1,1—1,5	0,2	0,1	0,15— 0,25	—	—
3,0—3,2	1,5—1,8 *	1,0—1,3	0,2	0,1	0,15	—	—
3,1—3,3	1,5—1,8 *	1,0—1,3	0,2	0,1	0,15	—	—
3,1—3,3	1,4—1,7	0,8—1,2	0,2	0,1	0,15	—	—
3,2—3,4	2,0—2,3	0,7—0,9	0,3	0,1	0,15	—	—

Типовые отливки	Технологические особенности		Характеристика чугуна	
	Количество стального лома в шихте, %	Холодильники	Класс и группа по ТУ 2-024-708-67	Марка чугуна

Ленинградское станкообъединение

Тяжелые и крупные отливки с направляющими толщиной более 60 мм	35	Есть	кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 28-48
Крупные отливки со стенками толщиной 30—60 мм. Станины, стойки, столы	20		То же	СЧ 28-48
Крупные отливки со стенками толщиной 15—30 мм. Станины, основания	17		—	СЧ 28-48
Средние и мелкие отливки со стенками толщиной до 15 мм	4	Нет	—	СЧ 18-36

Завод «Тяжстанко»

Тяжелые и крупные отливки с направляющими толщиной 40—150 мм	25	Есть	кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 32-52
Тяжелые и крупные отливки с направляющими толщиной 40—80 мм	25		кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 21-40
Крупные отливки с направляющими толщиной 20—40 мм. Средние неотчетственные отливки с толщиной стенок 40—80 мм	25	Нет	кл. 1 и 2, гр. а и б	СЧ 21-40
Средние и мелкие отливки со стенками толщиной до 20 мм	18		кл. 1 и 2, гр. а	СЧ 21-40
Мелкие отливки со стенками толщиной до 20 мм	11		кл. 2 и 3, гр. а	СЧ 15-32

Состав чугуна, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Прочие элементы
			не более				

им. Я. М. Свердлова

3,0—3,2	0,9—1,3	0,8—1,1	0,25	—	0,3—0,5	0,2	0,2 Cu
3,1—3,3	1,4—1,6	0,8—1,1	0,25	—	0,3—0,5	0,2	0,2 Cu
3,2—3,4	1,6—1,8	0,8—1,1	0,25	—	0,2—0,3	0,1	0,1 Cu
3,3—3,5	1,8—2,2	0,5—0,8	0,25	—	—	—	—

гидропресс»

3,0—3,3	1,2—1,4 *	0,8—1,2	0,2	0,12	0,25— 0,40	—	—
3,0—3,3	1,3—1,5	0,7—1,0	0,3	0,12	0,2—0,3	—	—
3,0—3,3	1,6—1,9	0,6—0,9	0,3	0,12	0,15	—	—
3,1—3,5	1,8—2,2	0,5—0,8	0,3	0,12	—	—	—
3,2—3,7	2,0—2,4	0,5—0,8	0,3	0,12	—	—	—

Типовые отливки	Технологические особенности		Характеристика чугуна	
	Количество стального лома в шихте, %	Холодильники	Класс и группа по ТУ2-024-708-67	Марка чугуна

Завод

Крупные и средние высоконагруженные отливки с направляющими толщиной до 90 мм	—	Нет	кл. 1 и 3, гр. б	СЧ 32-52
Крупные и средние отливки с направляющими толщиной до 50 мм	—		кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 24-44
То же с направляющими толщиной до 90 мм	—	Есть		
Средние отливки с направляющими толщиной до 35 мм	—	Нет	кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 24-44
Крупные и средние отливки с направляющими толщиной до 70 мм	—		кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 24-44
Средние и мелкие отливки со стенками толщиной до 35 мм	—		кл. 1 и 2, гр. а	СЧ 21-40
Мелкие неотчетственные отливки	—		кл. 3 и 4	СЧ 15-32

Краснодарский станкостроительный

Средние высоконагруженные отливки (ползуны, планшайбы, шпиндели)	40—50	Нет	кл. 1 и 2, гр. а и б	СЧ 32-52
Мелкие высоконагруженные отливки (планки, клинья)	35—40	Нет	кл. 1 и 2, гр. б	СЧ 32-52

Состав чугуна, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Прочие элементы
			не более				

«Сиблитмаш»

2,9—3,1	1,5—1,7 *	1,0—1,2	0,2	0,12	0,2—0,3	0,15—0,3	—
3,0—3,2	1,5—1,6	0,9—1,1	0,2	0,12	—	—	—
3,0—3,2	1,5—1,8	0,6—0,8	0,2	0,12	—	—	—
3,2—3,4	1,7—2,0	0,5—0,7	0,2	0,12	—	—	—
3,3—3,5	1,9—2,3	0,4—0,6	0,3	0,12	—	—	—

завод им. Седина

2,9—3,2	1,4—1,6 *	0,8—1,2	0,35	до 0,15	—	—	—
2,9—3,2	1,6—1,9 *	0,8—1,0	0,35	0,12	до 0,15	—	0,05 Sb в ковш

Типовые отливки	Технологические особенности		Характеристика чугуна	
	Количество стального лома в шихте, %	Холодильники	Класс и группа по ТУ2-024-708-67	Марка чугуна
Крупные отливки с направляющими толщиной более 60 мм (станины, столы, колонны)	25—35	Есть	кл. 2, гр. б	СЧ 21-40
Мелкие отливки	10—20	Нет	кл. 2—4, гр. а, б	СЧ 18-36

Объединение

Тяжелые и крупные отливки с повышенными требованиями (станины, столы)	40	Есть		GG-320 легированный
Крупные и средние отливки для прецизионных станков при сочетании повышенной прочности с уменьшенной массой (столы, суппорты, салазки)	40	Нет	—	GG-30
Тяжелые и крупные отливки с направляющими толщиной до 60 мм (станины, колонны)	20		—	GG-25
Тяжелые и крупные отливки без направляющих (станины, основания) Крупные (до 3 т) и средние отливки с направляющими толщиной до 50 мм (станины, столы, траверсы, стойки) Мелкие ответственные отливки (каретки, суппорты)	18		—	GG-20

Состав чугуна, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Прочие элементы
			не более				
2,9—3,3	1,4—1,7	0,7—1,1	0,35	0,12	до 1,0	—	—
3,2—3,5	2,0—2,3	0,5—0,7	0,35	0,12	до 0,10	—	—

«Rudolf Harlas» (ГДР)

3,1—3,4	1,4—1,8 *	0,6—0,8	0,25	0,12	0,2—0,4	—	1,0—1,5 Cu
3,0—3,2	1,3—1,9 *	0,6—0,9	0,25	0,12	—	—	—
3,1—3,4	1,4—2,0	0,55—0,8	0,35	0,12	—	—	—
3,3—3,6	1,6—2,2	0,5—0,7	0,45	0,12	—	—	—

Типовые отливки	Технологические особенности		Характеристика чугуна	
	Количество стального лома в шихте, %	Холодильники	Класс и группа по ТУ 2-024-708-67	Марка чугуна

Завод «Buderus»

Тяжелые и крупные отливки для высоконагруженных базовых деталей станков с повышенной твердостью и износостойкостью	40	Есть	—	BE-30
Тяжелые и крупные отливки с повышенной прочностью (станины, траверсы, колонны). Отливки для гидравлики	30	Нет	—	GG-26
Крупные отливки для высоконагруженных деталей станков (станины, колонны)			—	GG-22
Тяжелые и крупные отливки без направляющих (станины, основания)			—	GG-18
Средние отливки для нагруженных деталей, работающих на износ (каретки, столы, суппорты)			—	GG-14
Мелкие неотчетливые тонкостенные отливки (корпуса коробок передач, рычаги, шкивы и пр.)	—			

«Eslingen maschin

Крупные отливки базовых деталей станков (станины, стойки, салазки)	—		—	—
--	---	--	---	---

«Wohlenbergen»

Тяжелые и крупные отливки для станин токарных станков	—	Есть	—	
---	---	------	---	--

«Rexroth»

Крупные и средние отливки (станины, салазки, столы, каретки)	—		—	
--	---	--	---	--

* Модифицированный ферросилицием.

Состав чугуна, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Прочие элементы
			не более				

(ФРГ)

2,6—3,0	1,2—1,8 *	0,8—1,2	0,2	0,12	—	—	—
2,8—3,0	1,2—1,6 *	0,7—0,8	0,3	0,12	—	—	—
3,2—3,4	1,6—1,8	0,6—0,8	0,4	0,12	—	—	—
3,3—3,5	1,8—2,0	0,6—0,8	0,5	0,12	—	—	—
3,3—3,6	1,8—2,4	0,5—0,7	0,8	0,12	—	—	—

fabrik» (ФРГ)

3,1—3,2	1,4—1,6 *	0,7—0,8	—	—	—	—	—
---------	-----------	---------	---	---	---	---	---

(ФРГ)

2,95—3,1	1,3—1,5 *	0,8—0,9	0,3	0,12	—	—	—
----------	-----------	---------	-----	------	---	---	---

(ФРГ)

3,0—3,2	2,0—2,7	0,6—0,8	0,15	0,10	—	—	—
---------	---------	---------	------	------	---	---	---

Таблица 11
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧУГУНОВ (%) В ДЕТАЛЯХ СТАНКОВ, ВЫПУСКАЕМЫХ ЗАРУБЕЖНЫМИ ФИРМАМИ

Страна, фирма	Станок	Деталь	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Швейцария «Maag»	Зубошлифовальный HSS-30	Станина	2,92	2,62	0,79	0,20	0,11	0,09	0,10	—
		Стойка	2,96	2,76	0,83	0,13	0,09	0,12	0,08	—
		Стол	3,02	2,04	0,88	0,14	0,08	0,08	0,04	—
		Каретка	2,97	1,90	0,62	0,21	0,07	0,09	0,69	—
		Траверса	3,05	2,11	0,56	0,10	0,05	0,08	0,38	—
		Суппорт	3,12	1,81	0,94	0,20	0,09	0,10	0,10	—
«Dixi»	Горизонтально-расточной 75 АН	Станина	—	1,44	0,40	0,25	0,13	0,06	0,02	—
«Sir»	Координатно-расточной «Hidroptik № 8p	Станина	2,93	1,50	0,92	0,25	0,09	0,08	0,09	0,15
		Стойка	2,93	1,57	0,75	0,24	0,09	0,07	0,22	0,08
		Траверса	2,93	1,41	—	—	0,09	—	0,09	—
ФРГ «Klingelberg»	Для затывовки зубьев чер- вячных фрез HSS-33A	Станина	3,19	1,77	0,89	—	0,11	0,09	0,04	0,10
		Стол	3,15	1,72	0,95	—	0,11	0,06	0,05	0,14
«Waldrich Coburs»	Шлифовальный	Станина	—	1,36	0,71	—	0,11	0,04	0,02	0,16
		Стойка	3,30	1,03	0,67	0,21	0,09	0,05	0,02	0,14
Япония «Токуо Japan»	Зубошлифовальный тип SV серия 8	Станина	3,02	1,27	0,62	0,12	0,10	0,04	0,02	0,15
		Стол	3,22	1,42	0,70	0,07	0,11	0,06	0,05	0,17
«Simamoto»	Токарно-винторезный пре- зионный M-40A	Станина	3,03	1,59	0,83	0,24	0,11	0,17	0,02	0,09

Рис. 26. Влияние количества стали в шихте на пригар углерода при ваграночной плавке:

1 и 2 — содержание углерода соответственно в шихте и в выплавленном чугуна; 3 — пригар углерода

от 300 до 450° С при расходе кокса 8—10% от металлической завадки.

Для расчета содержания углерода в выплавленном чугуна Н. Г. Гиршовичем предложена следующая формула [33]:

$$C = K + \beta C_{\text{ш}},$$

где K — коэффициент науглероживания; β — коэффициент, характеризующий величину остающегося углерода в результате окисления части его при плавке; $C_{\text{ш}}$ — содержание углерода в шихте.

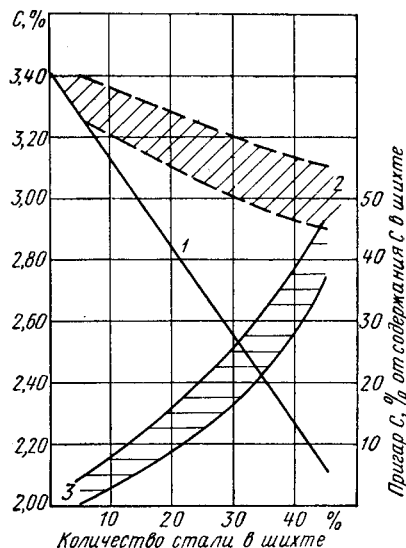
Для указанных выше условий плавки коэффициент $\beta = 0,5$, а коэффициент K зависит от содержания стального лома в шихте:

Содержание стального лома, %	5	20	25	30	45
K	1,7	1,76	1,79	1,82	1,94

На науглероживание стальной части шихты значительно влияют размеры кусков стального лома, так как этот процесс происходит главным образом в зоне вагранки выше фурм. Мелкие, тонкостенные куски стального лома плавятся в более высоких зонах печи, поэтому науглероживание увеличивается; массивные, толстостенные куски лома плавятся в более низких зонах и в результате науглероживание уменьшается. Этим объясняется установленное практикой правило — для выплавки низкоуглеродистых чугунов использовать толстостенные массивные куски стального лома.

Увеличение содержания стального лома в шихте способствует получению чугуна с более дисперсной структурой и более высокими механическими свойствами, чем у чугунов такого же химического состава, выплавленных с меньшим содержанием стального лома в шихте.

При близких значениях $C_{\text{ш}}$ более высокие механические свойства имеют чугуны, выплавленные с увеличенным содержанием стального лома в шихте (рис. 27). Эти чугуны отличаются дисперсным перлитом и мелким графитом. К аналогичным выводам пришли японские исследователи [148]. По данным некоторых литейных



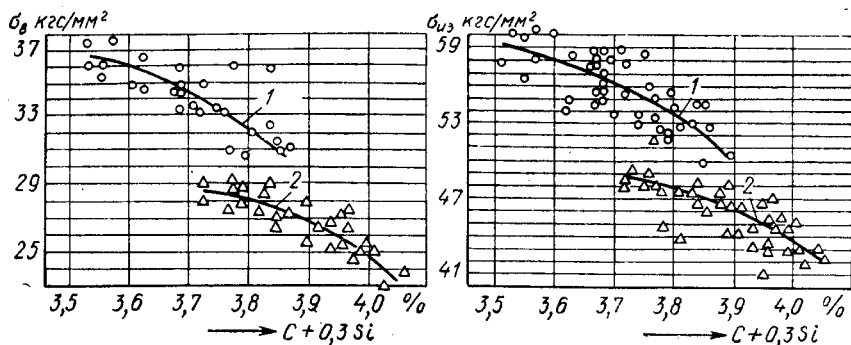


Рис. 27. Влияние на механические свойства модифицированного чугуна присадки в ваграночную шихту стального лома [56]:

1 — 60; 2 — 25%

цехов, ниже приведено примерное содержание стального лома в шихте, необходимое для выплавки чугуна требуемой марки:

Марка чугуна (ГОСТ 1412-70)	Содержание стального лома, %
СЧ 18-36	5—10
СЧ 21-40	10—20
СЧ 24-44	20—25
СЧ 28-48 *	25—35
СЧ 32-52 *	35—45
СЧ 36-56 *	45—55

* Применяется модифицирование.

Доменные чугуны. Качество отливок, литейные и механические свойства чугуна при прочих равных условиях зависят от происхождения и свойств доменного чугуна, используемого в шихте, — это установлено в ряде исследований [22, 32, 37, 71 и др.] и подтверждено многолетней практикой. Наследственность свойств сказывается в тем большей степени, чем больше содержание доменного чугуна в шихте.

Некоторые исследователи, изучая факторы, определяющие наследственность, указывают на содержание в исходном материале различного количества редких элементов, газов, неметаллических включений и разных комплексов, которые частично сохраняются при последующей переплавке [32]. При этом создается сравнительно устойчивая зародышевая фаза или происходит микролегирование, что влияет на кристаллизацию чугуна.

По данным Л. И. Леви, на механические свойства чугунов одинакового химического состава (по основным элементам) оказывает существенное влияние содержание в них азота, которое колеблется в значительных пределах в зависимости от происхождения доменного чугуна, используемого при плавке.

Исследования литейных доменных чугунов различных заводов показывают, что грубые включения графита в этих чугунах вызы-

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОМЕННЫХ ЛИТЕЙНЫХ ЧУГУНОВ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Исследуемые параметры	Металлургические заводы			
	Енаки- евский	Комму- нарский	Косого- рский	Ново- Тульский
Собщ., %	4,02	4,20	4,00	3,84
Ссвяз., %	0,44	0,45	0,64	0,49
Содержание газов, см ³ /100:				
N ₂	3,50	2,92	2,62	1,58
H ₂	9,24	4,77	8,01	10,35
O ₂	6,40	3,40	6,27	9,97
Оксидные включения, %:				
FeO	0,0002	—	—	0,0008
Al ₂ O ₃	0,0008	—	—	0,0015
Наличие спели	нет	—	—	есть
Раковины в изломе	нет	—	—	есть
Плотность, г/см ³	7,016	—	—	6,961

вают кристаллизацию чугуна вторичной плавки с повышенной степенью графитизации и крупным графитом [37]. Это объясняется значительной устойчивостью при плавке и перегреве включений графита исходных материалов, являющихся зародышевой фазой в жидком металле. В работе [22] приведены данные по содержанию микропримесей и газов в литейных чугунах семнадцати металлургических заводов страны. Наименее загрязнены микропримесями чугуны, выплавленные на Криворожских рудах. В других чугунах содержание примесей колеблется в значительных пределах.

В этом отношении представляет интерес исследование¹ доменных литейных чугунов различных заводов, проведенное Московским институтом стали и сплавов совместно с заводом «Станколит».

Данные, представленные в табл. 12, показывают, что доменные литейные чугуны марки ЛК2, выплавленные на различных заводах, существенно отличаются по структуре, газосодержанию и другим параметрам, могущим оказать влияние на характеристику чугуна вторичной плавки. По-видимому, это является причиной получения чугуна с более мелким графитом и высокой склонностью к отбелу при замене в ваграночной шихте доменного чугуна Ново-Тульского завода чугуном Енакиевского завода.

С помощью термовременной обработки жидкого чугуна можно изменять его свойства. Расплавление исследованных доменных чугунов и перегрев их в индукционной высокочастотной печи существенно влияют на газосодержание и микроструктуру, как бы

¹ Работа проведена под руководством д-ра техн. наук Л. И. Леви.

нивелируя эти параметры (рис. 28). Однако использование на практике подобного метода ограничено.

Весьма важно, чтобы каждый литейный цех получал доменный чугун с определенного металлургического завода. Но и в этом случае приходится считаться с тем, что на одном и том же металлургическом заводе при плавке в различных доменных печах или при изменении режима доменной плавки получают чугуны с различными наследственными свойствами. Для исключения влияния этого фактора в литейных цехах Швейцарии, где особое внимание уделяется качеству чугуна для станочного литья, в ваграночную шихту вводят, как правило, одновременно чугун двух-трех разных сортов, причем один из них гематитовый [59].

Такая многокомпонентная шихтовка связана с существенными производственными трудностями, поэтому можно рекомендовать следующий оправдавший себя метод. Поступающий на завод в вагонах доменный литейный чугун рассортировывают на отдельные партии, в каждую из которых подбирают чугуны одинакового класса и группы и с содержанием кремния, отличающимся не более $\pm 0,1\%$ от среднего для этой партии. Чугуны каждой партии укладывают так, что чугун из каждого вагона образует слой

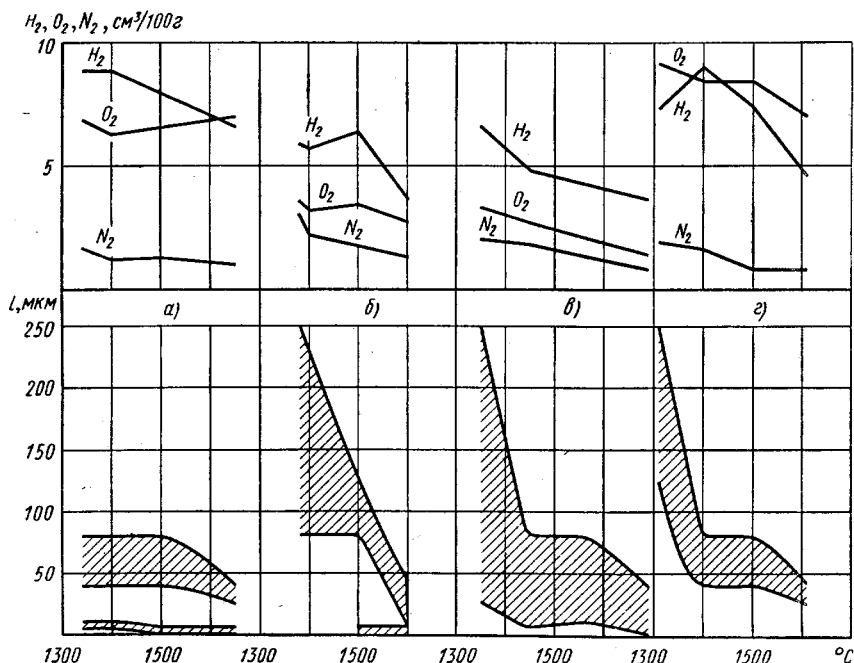


Рис. 28. Влияние температуры перегрева на размер графитовых включений l и газосодержание при переплавлении доменного чугуна заводов:

a — Енакиевского; *б* — Коммунарского; *в* — Косогорского; *г* — Ново-Тульского

в «пироге». Чугун со склада в литейный цех подается магнитной шайбой, которой стремятся забрать чушки из максимального числа различных слоев. Это обеспечивает при шихтовке наиболее полное перемешивание чушек из различных вагонов.

Вопрос о влиянии доменного чугуна на свойства чугуна ваграночной плавки приобретает еще большее значение в связи с заменой литейного доменного чугуна передельным.

Наиболее важным преимуществом использования передельного чугуна является улучшение технико-экономических показателей в металлургической промышленности, где снижение содержания кремния в выплавляемом доменном чугуне позволяет повысить производительность доменной печи (при переходе с чугуна ЛК2 на чугун МЗ примерно на 18—20%). При этом достигается экономическая эффективность и в литейном производстве.

В табл. 13 представлены два варианта шихтовки чугуна СЧ 21-40.

Для того чтобы при замене литейного доменного чугуна передельным обеспечить стабильные свойства выплавляемого чугуна и предотвратить ухудшение качества отливок, необходимо иметь

Т а б л и ц а 13

СОСТАВ ШИХТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ЛИТЕЙНОГО И ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУШКОВЫХ ЧУГУНОВ

Компоненты шихты	Состав компонент, %		Шихта с чугуном					
			литейным			передельным		
	C	Si	Содержание компонентов в шихте, %	Вносится компонентом в шихту, %		Содержание компонентов в шихте, %	Вносится компонентом в шихту, %	
				C	Si		C	Si
Чушковый чугун:								
литейный ЛК2 . . .	3,70	3,0	30,0	1,11	0,9	—	—	—
передельный М2 . . .	4,10	0,7	—	—	—	30,0	1,23	0,21
Стальной лом	0,3	0,3	5,0	0,015	0,015	5,0	0,015	0,015
Чугунный лом:								
покупной	3,15	1,5	30,7	0,97	0,46	30,7	0,97	0,46
собственного производства (литники, брак)	3,25	1,8	31,5	1,03	0,57	26,0	0,82	0,46
Ферромарганец ФМн75	7,0	2,0	0,3	0,021	0,006	0,3	0,021	0,006
Ферросилиций ФС 18	1,3	19,0	2,5	0,03	0,48	8,0	0,12	1,52
Итого	—	—	100,0	3,176	2,431	100,0	3,176	2,671 *

* Содержание кремния в шихте увеличивается, так как угар кремния в ферросилиции ФС 18 примерно в 2 раза превышает угар в остальных компонентах шихты с относительно низким содержанием кремния.

достоверные сведения о структуре и свойствах получаемых чугунов при использовании в шихте различных доменных чугунов. Анализ результатов исследований, опубликованных в работе [74], и производственный опыт использования передельного чугуна в литейных цехах станкостроения и других отраслях позволяют сделать следующие выводы.

При замене литейного доменного чугуна передельным:

1) существенно увеличивается жидкотекучесть чугуна (рис. 29);
2) несколько повышается склонность чугуна к отбеливанию (рис. 30).

3) несколько уменьшается количество графита, размельчаются его включения и повышается дисперсность перлита; эти изменения в основном относятся к «мягким» чугунам, по составу приближающимся к эвтектическим; микроструктура «жестких» чугунов ($C_3 = 3,5 \div 3,8$), используемых для корпусных отливок станков, существенно не отличается;

4) незначительно повышаются (на 5—8%) механические свойства «мягкого» чугуна; не отмечается сколь-либо существенного изменения прочности «жестких» чугунов.

Объяснить указанную разницу в наследственных свойствах можно тем, что в передельном чугуне по сравнению с литейным меньше содержится грубого первичного графита, который не успевает раствориться при расплавлении и перегреве чугуна. Эти включения графита могут являться центрами кристаллизации эвтектического графита. Данное предположение подтверждается также исследованием такого структурно-чувствительного свойства, как вязкость двух расплавов с одинаковым содержанием кремния: а) литейного чугуна ЛК2 и б) передельного чугуна МЗ и ферросилиция. Установлено, что вязкость литейного чугуна существенно выше, чем передельного. Это можно объяснить присутствием большого количества группировок графита, устойчивых при перегреве до 1520°C и выдержке 30 мин [74].

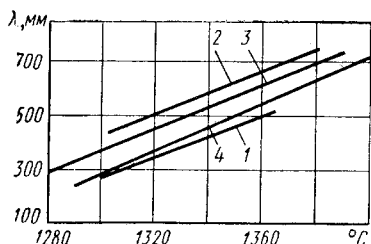


Рис. 29. Жидкотекучесть чугунов, выплавленных с применением в шихте литейных и передельных чугунов:

1 — ЛК2; 2 — М1; 3 — М3; 4 — ЛК1 (химический состав исследованных чугунов 3,3—3,4% С, 1,8—1,9% Si)

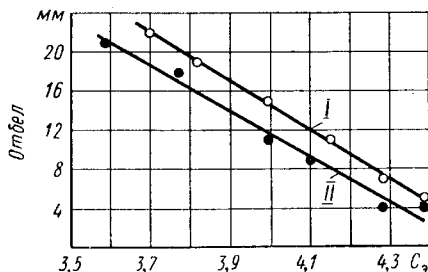


Рис. 30. Влияние литейного (II) и передельного (I) доменных чугунов в шихте на склонность серого чугуна к отбеливанию

Меньшее количество зародышей кристаллизации в расплаве, в шихте которого использован передельный чугун, способствует повышению устойчивости жидкой фазы и кристаллизации чугуна с большой степенью переохлаждения. Установлено, что в данном случае температура эвтектической кристаллизации ниже на 3—5° С. Это способствует повышению отбеливаемости, размельчению структуры и повышению механических свойств. Такое же влияние может оказать более высокое по сравнению с литейным чугуном содержание азота в передельном чугуне и низкое содержание нитридообразующих примесей.

Замена в ваграночной шихте литейного чугуна передельным заставляет кроме наследственных свойств учитывать и технологические особенности, которые влияют на полученные результаты.

Так, при введении в шихту относительно большого количества ферросилиция¹ с содержанием до 18—20% кремния возрастает опасность получения значительной неравномерности содержания кремния в выплавляемом чугуне. Избежать этого можно путем тщательного взвешивания предварительно раздробленного ферросилиция, уменьшения массы каждой завалки, усреднения состава в копыльнике достаточной емкости.

В отдельных случаях при переходе с литейного чугуна на передельный оказывается необходимым изменить химический состав чугуна (повысить содержание кремния для уменьшения отбеливаемости) или шихту (увеличить содержание стального лома в связи с повышенным количеством углерода в передельном чугуне). Опыт некоторых литейных цехов показал, что недоучет приведенных выше особенностей процесса плавки при переходе с литейного чугуна на передельный ухудшает обрабатываемость отливок и увеличивает брак литья.

2. ПЛАВКА В ВАГРАНКАХ

Получение высококачественного ваграночного чугуна с заданными свойствами возможно только при стабильном протекании процесса плавки, зависящего от большого числа факторов. К ним относятся качество шихтовых материалов (точность химического состава, габаритные размеры топлива), точность дозирования отдельных компонентов шихты, топлива и флюсов, рациональная конструкция вагранки, контроль и регулирование процесса и т. п.

ДОЗИРОВАНИЕ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Новые методы **дозирования металлической шихты** исключают ручной труд и обеспечивают высокую точность взвешивания. На ряде заводов применяют электромеханические дозаторы и

¹ Рекомендуются ферросилиций ФС18, так как при повышении содержания кремния более 18—20% материал становится немагнитным и транспортные операции усложняются.

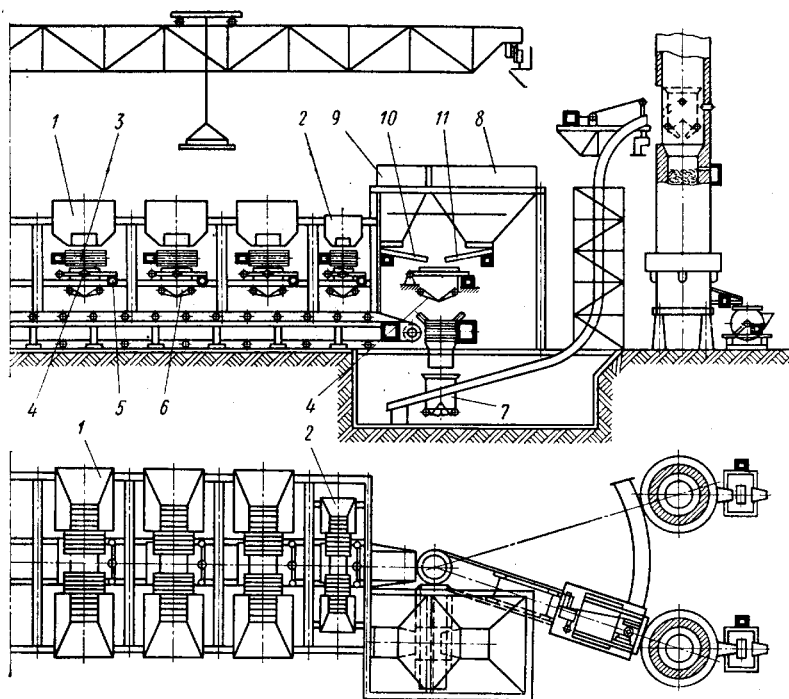


Рис. 31. Схема участка механизированного набора шихты с использованием весовых бункеров:

1 и 2 — расходные бункера соответственно для шихты и ферросплавов; 3 — траковые питатели; 4 — весовые бункера; 5 — весовой датчик; 6 — транспортер; 7 — бадейка; 8 и 9 — бункера для кокса и для флюса; 10 и 11 —вибропитатели

автоматизированные процессы взвешивания и транспортирования шихты.

На рис. 31 представлена схема участка с электромеханическим дозатором. Расходные бункера для основных шихтовых материалов 1 и для ферросплавов 2 имеют траковые питатели 3, подающие куски шихты в весовые бункера 4. Тензометрические датчики 5 фиксируют заданную массу и подают команду на остановку тракового питателя. Для предотвращения зависания шихты в бункере, последний имеет эксцентриковый механизм для встряхивания при работе тракового питателя.

Шихтовые материалы из бункеров 4 периодически выдаются на транспортер 6, передающий завалку в бадейку 7 скипового подъемника. Кокс и известняк из бункеров 8 и 9 вибропитателями 10 и 11 подаются в бункер 4, откуда транспортером — в бадейку 7.

Для обеспечения точности и надежности работы установки необходима тщательная разделка лома и возвратов на малогабаритные куски массой 10—20 кг.

Применяют и другой метод механизированного дозирования, основанный на использовании электромагнитного дозатора. Такой дозатор успешно работает на заводе «Станколит».

На рис. 32 приведена схема механизированного участка и шихтонагрузочной машины¹, которая состоит из двух перемещающихся по рельсовым путям стоек и моста с передвижной тележкой.

Шихта из закромов набирается магнитной шайбой с весовым тензометрическим датчиком. В кабине, кроме обычных устройств управления краном, находится автоматическая система для дозирования шихты, состоящая из регулятора тока в магнитной шайбе, весоизмерительного прибора и цифрового автомата. Весоизмерительный прибор, получив импульс от тензодатчика, показывает фактически набранную массу шихты. На цифровом автомате устанавливают по заданной программе массу отдельных компонентов шихты, счетно-решающее устройство автоматически корректирует массу дозы с учетом ошибки при дозировании предыдущей завалки и показывает на весоизмерительном приборе массу шихты для набора в последующем цикле.

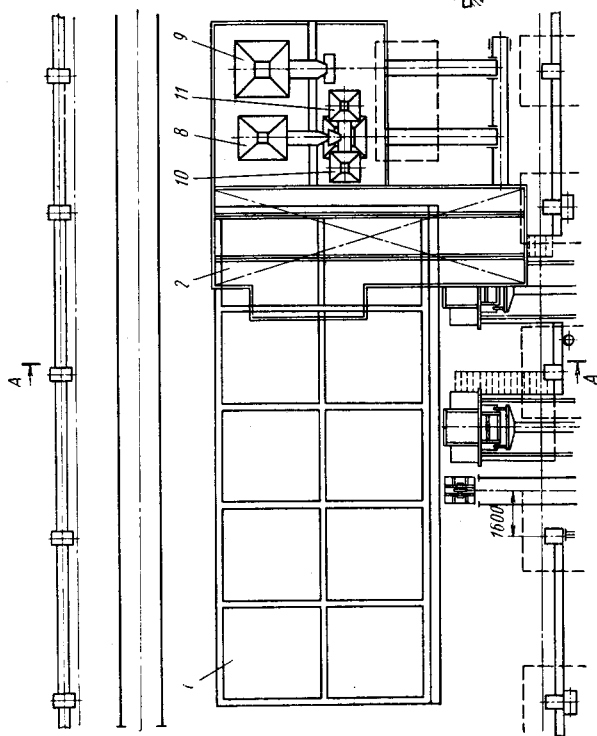
Установка обеспечивает набор, дозирование и транспортировку 15 пятикомпонентных завалок (масса каждой 1000 кг) с точностью дозирования каждой завалки $\pm 3\%$.

От установки, оборудованной электромеханическими дозаторами, описанная установка отличается меньшим числом механизмов и высокой производительностью, кроме того, занимает значительно меньшую площадь на шихтовом дворе, а расходные крома могут иметь объем, достаточный для создания одно-, двухсуточного запаса шихты. Установка может работать при относительно больших размерах шихтовых материалов.

Оператор-крановщик, регулируя ток в магнитной шайбе, согласует фактическую массу составляющей шихты с заданной на данный цикл. Очевидно, что при этом на точность дозирования материалов влияет субъективный фактор. Установка с электромеханическими дозаторами, где процесс набора, взвешивания и корректирования осуществляется автоматически, в этом отношении имеет преимущество.

Дозирование кокса и флюса. Как показала практика, содержание влаги в коксе при разгрузке на открытом складе колеблется от 2 до 7%. Весовой метод дозирования в этом случае является неприемлемым. Наиболее стабильные результаты достигаются при дозировании кокса по объему. Схема установки представлена на рис. 33. Кокс подается к установке в контейнере 1 и выдается вибропитателем с ситом 2 в дозатор 3, в котором на заданном уровне установлены две передвижные медные рейки, подключенные к электросети напряжением 12 В. При заполнении

¹ Шихтонагрузочная машина сконструирована на заводе «Станколит». Электровесовое устройство разработано Институтом проблем литья.



A-A

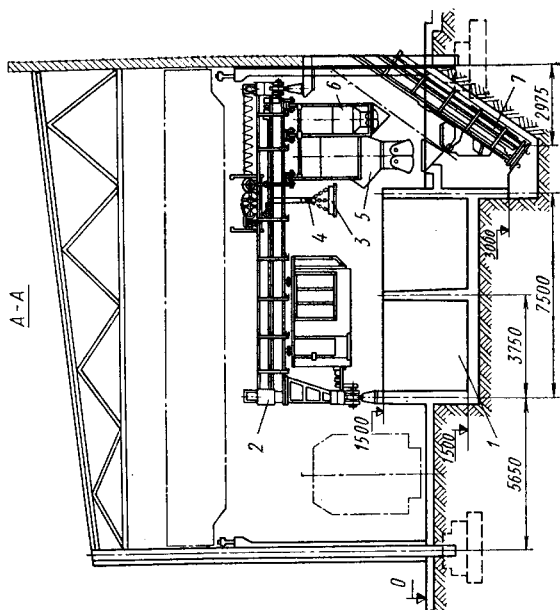


Рис. 32. Механизированный участок набора шихты с использованием магнитной шайбы:

1 — бункер для шихты; 2 — шихтонагрузочная машина ШН-30; 3 — магнитная шайба М-42; 4 — тензометрический весовой датчик ТВС-5; 5 — приемная емкость для металлической шихты; 6 — приемная емкость для ферросплавов, кокса и флюса; 7 — скиповый подъемник; 8, 9, 10 и 11 — бункера соответственно для флюса, кокса, ферросилиция и для ферромарганца

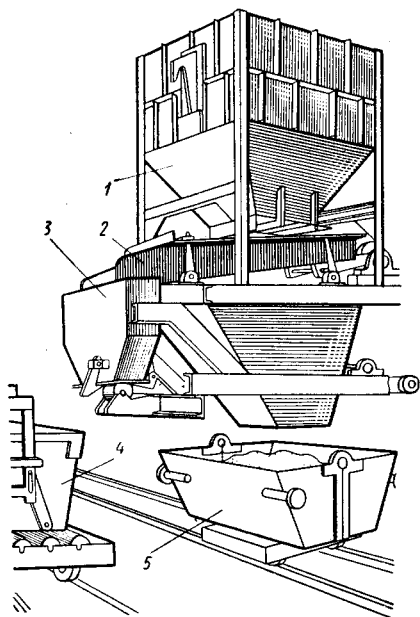


Рис. 33. Установка для дозирования кокса

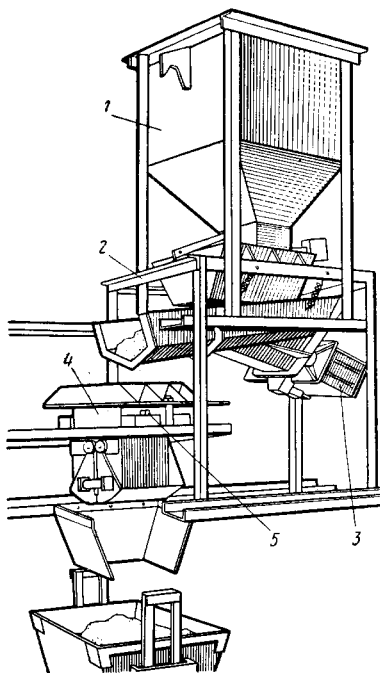


Рис. 34. Установка для дозирования ферросплавов

дозатора коксом до заданного уровня электрическая цепь через кокс замыкается, выключается сито и прекращается подача кокса в дозатор. При подходе тележки с бадьей 4 реечным механизмом выдвигается дозатор 3, раскрывается его днище, и кокс сыпается в бадью. Кокс мелких фракций сыпается в контейнер 5.

Дозирование ферросплавов. На рис. 34 приведена установка для автоматического дозирования ферросплавов. Контейнер 1 с ферросплавом в кусках массой 3—4 кг устанавливается на стенд 2. При включении электровибропитателя 3 из контейнера в весовой дозатор 4 начинают поступать куски ферросплава. После достижения заданной массы, фиксируемой тензометрическими датчиками 5 типа С4-0,2, работающими в комплекте с электронным потенциометром, срабатывает система, отключающая вибропитатель 3. Работа установки может быть полностью автоматизирована.

КОНСТРУКЦИЯ ВАГРАНОК

Конструкция современной вагранки должна обеспечивать:

- 1) механизацию и автоматизацию всех трудоемких и тяжелых операций обслуживания ее;
- 2) эффективную очистку дымовых газов;

- 3) получение чугуна с температурой при выпуске 1450—1500° С;
- 4) получение чугуна заданных химического состава и свойств (стабильные условия плавки в течение всей плавочной кампании и автоматическое управление плавкой);
- 5) максимальную надежность работы основного оборудования и вспомогательных устройств (системы газоочистки, водяного охлаждения, удаления шлака и т. д.) с применением автоматической блокировки и аварийной сигнализации.

Однако это требует значительного усложнения конструкции вагранки, оснащения ее большим числом механизмов и вспомогательных устройств, повышением затрат электроэнергии, воды и т. д.

Ниже приведены некоторые варианты конструкции вагранок, проверенные при эксплуатации в чугунолитейных цехах.

Вагранка с доменным профилем шахты для длительных плавочных кампаний. В вагранке с цилиндрическим профилем шахты питание воздухом по сечению холостой колоши неравномерное. Эта неравномерность тем больше, чем больше диаметр шахты. Интенсивность процессов горения кокса уменьшается от периферийных зон вагранки к центральным (т. е. к оси). Это, соответственно, приводит к неравномерному составу газовой фазы по сечению, к более высокой температуре и интенсивности плавления в периферийных зонах шахты по сравнению с центральными зонами. Поэтому в вагранках с цилиндрическим профилем шахты скорость «схода» шихтовых материалов в периферийных зонах больше. В результате куски шихты при опускании перераспределяются по сечению шахты — крупные куски перемещаются к периферийным зонам. Относительно большая протяженность зоны плавления в центре на более низком уровне шахты создает условия для неравномерного распределения кусков шихты нескольких завалок и затрудняет получение чугуна стабильного химического состава.

Этот недостаток тем ощутимее, чем больше диаметр вагранки, неоднородность химического состава и размеров кусков отдельных компонентов шихты.

Оптимальный профиль шахты определяли с помощью моделирования [38] и исследования плавки в лабораторных и производственных вагранках. Установлено, что указанные выше недостатки плавки в меньшей степени сказываются в вагранках с доменным профилем шахты.

При таком профиле фурмы располагаются ближе к оси шахты, что создает условия для увеличения удельного расхода воздуха и повышения температуры в зоне перегрева. Благодаря тому что плавление происходит в расширенной части шахты, где температура по сечению более равномерная, зона плавления имеет меньшую протяженность. Таким образом, меньшая протяженность и высокое расположение зоны плавления создают условия для последовательного расплавления отдельных завалок, получения чугуна с более стабильным химическим составом и с высоким перегревом, а также для уменьшения угара элементов.

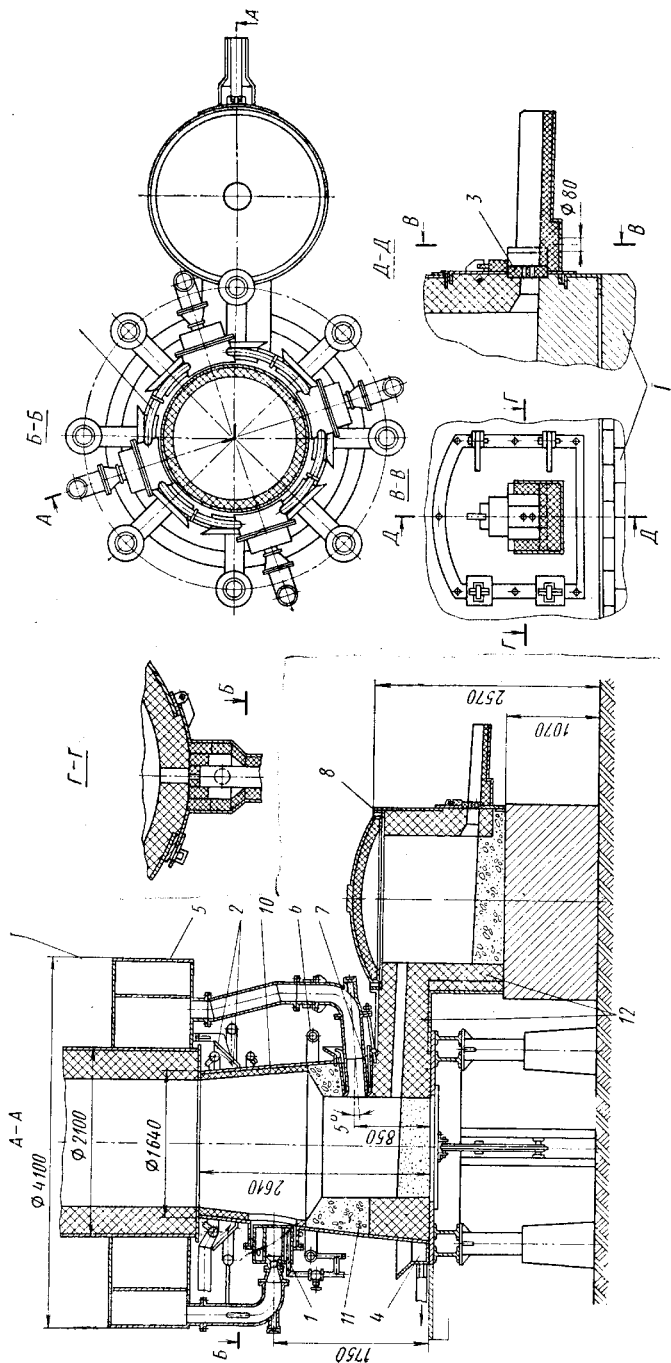


Рис. 35. Вагранка с доменным профилем шахты:

1 — водоохлаждаемый горелочный тоннель; 2 — коллектор для охлаждения плавильного пояса с направляющей воронкой; 3 — быстросменная летка; 4 — водосборник; 5 — водосборник для подачи воздуха в фурмы и горелки; 6 — коллектор для охлаждения фурмы и горелочных тоннелей; 7 — водоохлаждаемая медная фурма; 8 — стационарный копильник; 9 — водослив из горелочных тоннелей; 10 — шамотная футеровка; 11 — набивная шамотная футеровка; 12 — футеровка из высокоглиноземистых огнеупоров

При конструировании вагранки¹ (рис. 35) производительностью 15 т/ч был принят доменный профиль шахты, предусмотрено водяное охлаждение и футеровка, обеспечивающие длительные плавочные кампании.

Шахта в зоне повышенных температур и в горне вагранки охлаждается водой, которая от насосной станции поступает в нижний 6 (для охлаждения горелочных туннелей 1 и фурм 7) и в верхний 2 коллекторы. Через кольцевую щель в направляющей воронке и сопла в коллекторе 2 вода поступает равномерно на кожу вагранки.

Медные водоохлаждаемые фурмы 7 выдвинуты внутрь шахты. Для каждой из восьми фурм на подающей воду трубе предусмотрен пробковый кран для ручного регулирования ее подачи, а на сливной трубке установлена хромелькопелевая термопара ТХК. При температуре воды выше 60° С на табло зажигается соответствующая лампочка и подается звуковой сигнал. Вода от фурм 7 после охлаждения кожуха вагранки поступает в водосборник 4 и водослив 9, затем в градирию, откуда вновь возвращается к фурмам. Расход воды 75—90 м³/ч.

В начальный период в конической части шахты образуется гарнисаж толщиной 15 мм, сохраняющийся практически в течение всего периода плавки. Шамотная футеровка толщиной 70 мм предотвращает излишнее охлаждение чугуна при плавке (5—6 ч).

Наиболее интенсивный разгар футеровки происходит в шахте между фурмами 7, в конце переходного желоба и стенкой копильника. Эти участки вагранки футеруют высокоглиноземистым кирпичом марки МЛО-62 и блоками ДВ-5 с содержанием 62% Al_2O_3 . Ежедневно на ремонт вагранки расходуется 1,8 т высокоглиноземистых кирпичей и блоков.

Плавка в вагранке происходит непрерывно в течение 18—20 ч, после чего вагранка находится на горячем простое (4—6 ч). Перед остановкой проплавляется вся шихта и поддерживается постоянным слой раскаленного кокса холостой колоши высотой 800 мм над фурмами. Перед пуском вагранки после ночного простоя высоту холостой колоши доводят до заданного уровня, производят продувку и начинают загрузку шихты.

В вагранке во время простоя можно сменить летку для металла. С этой целью шамотный кирпич 3 (рис. 35) с леточным отверстием диаметром 38 мм устанавливают на желобе, на котором делают нишу из огнеупорного кирпича, обеспечивающего устойчивость леточного кирпича и предотвращающего прорыв металла из копильника.

Недельная работа вагранки без выбивки обеспечивает экономию огнеупоров и кокса, а также снижает трудоемкость ремонта футеровки. Годовая экономия на 1 т выплавленного чугуна составляет 1,5 руб.

¹ Конструкция разработана заводом «Станколит» и институтом Гипростанок.

Рис. 36. Типовая вагранка закрытого типа конструкции института «Гипростанок»

Вагранки с герметичным колошником.

Вагранки закрытого типа обеспечивают возможность отсоса всех отходящих газов в верхней части шахты и последующей их очистки, дожигания и использования в теплообменниках.

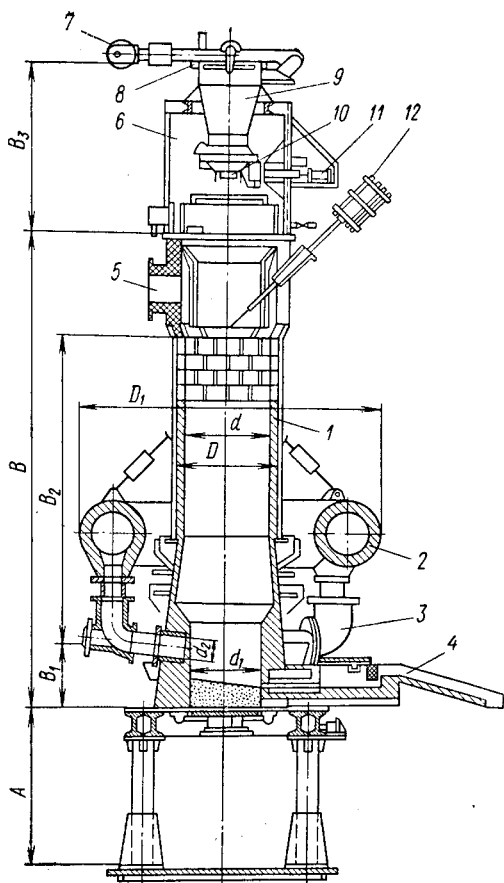
На рис. 36 приведена закрытая вагранка конструкции института «Гипростанок», принятая к серийному изготовлению, а в табл. 14 — размеры вагранок нормального ряда.

Вагранка имеет шахту 1 доменного профиля, фурменный пояс 2 и водоохлаждаемые фурмы 3. Кожух вагранки охлаждается водой из поливного устройства. Чугун в поворотный копильник поступает по желобу 4 с сифонным устройством, обеспечивающим непрерывный отбор шлака. Через патрубок 5 отсасываются ваграночные газы для их дальнейшей очистки, дожигания и использования в воздухоподогревателе. В верхней части шахты вагранки находится загрузочное шлюзовое приспособление 6 для шихты, кокса и известняка.

Тележка скипового подъемника при подъеме бадьи с шихтой поворачивает рычаг 7, открывается крышка 8 и шихта поступает в бункер 9 загрузочного устройства. Затем срабатывают конечные выключатели и закрывается крышка 8. Гидроцилиндр 11 открывает поворотный затвор 10 и шихта проваливается в шахту вагранки.

Для контроля уровня шихты в вагранке предусмотрен уровнемер 12, работающий по принципу щупа.

Очистка ваграночных газов от пыли и вредных примесей. В зависимости от условий плавки, применяемой шихты и качества



РАЗМЕРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАГРАНОК НОРМАЛЬНОГО РЯДА

Диаметр шахты вагранки, мм	Размеры, мм (рис. 36)										Произво- дитель- ность, т/ч	Расход воздуха, м ³ /ч	Число форм в ряду
	d	D	d ₁	d ₂	D ₁	A	B ₁	B	B ₃	B ₂			
850	850	1450	850	160	4100	2000—3000	650—850	8000	2850	5500	4—6	4 700	6
1100	1100	1600	1100	200	4300						6—9	6 200	
	1350	1860	1100	240	4550			8750	3150	6000	10—14	8 650	8
1700	1700	2400	1450	240	5000			9800	3500	6500	15—21	17 000	
2100	2100	2700	1700	—	5500	2500—3500	750—900				25—33	22 000	10
2650	2650	3300	—	—	6300			—	—	—	30—35	36 000	

Примечания: 1. Конструктивные особенности и основные технологические размеры приняты с учетом ведения плавки на дутьевом воздухе, нагретом до 500° С (температура в воздухе в фурмах), и расхода кокса 8—12%;

2. Цугун из вагранки выдается в поворотный копыльник.

кокса ваграночные газы содержат 5—50 г/м³ пыли, 12—25% окиси углерода и другие примеси. Обеспечение санитарных норм¹ возможно только при применении соответствующих устройств, которые, как правило, связаны с устройствами для использования теплоты ваграночных газов для нагрева дутьевого воздуха.

В основном применяют две схемы очистки газов.

Первая схема: грубая очистка от относительно крупных включений в сухих аппаратах без снижения температуры газов; дожигание газа; использование теплоты газа в теплообменнике; тонкая очистка в аппаратах типа скрубберов или пенных; удаление газа в атмосферу.

Вторая схема: грубая очистка газа; тонкая очистка влажным методом (скруббер, труба вентури и т. п.) со снижением температуры газа до комнатной; дожигание газа; использование химической теплоты газа в теплообменнике; удаление газа в атмосферу.

Очистка по второй схеме имеет существенные преимущества. Хотя во второй схеме не используется физическая теплота ваграночных газов, опасность взрывного хлопка на находящейся под разрежением трассе меньше. Объем газов, подвергающихся очистке по второй схеме значительно меньше, чем по первой. Это снижает капитальные затраты на строительство очистных сооружений, уменьшает энергоемкость и потребность в производственной площади. Кроме того, использование газов после тонкой очистки уменьшает возможность засорения элементов рекуператора.

В институте «Гипростанок» разработано устройство (рис. 37), в котором перемещение и мокрая очистка ваграночных газов производятся эжекторным скруббером. В системе не создается разрежения и исключается подсос воздуха. Ваграночные газы через патрубок 1, расположенный ниже герметичного загрузочного устройства, попадают в бункер-пылеосадитель 2, где они освобождаются от наиболее крупных частиц пыли и охлаждаются водой.

Затем ваграночные газы перемещаются при помощи эжектора 3 через бак-каплеосадитель 4 в топочную камеру воздухоподогревателя для дожигания.

Горячее дутье позволяет повысить температуру в зоне холодной колоши, получить более высокий перегрев чугуна и создать менее окислительные условия в зоне плавления и перегрева. При этом снижается угар основных элементов и улучшаются технологические свойства чугуна. Горячее дутье не оказывает охлаждающего действия на шлак вблизи фурменных отверстий и предотвращает образование настывей и зашлаковывание фурм, что способствует стабилизации процесса плавки. Перевод вагранок с холодного дутья на горячее позволяет снизить расход топлива. Ниже описаны конструкции воздухоподогревателей рекупера-

¹ По действующим санитарным нормам (СН245—63), в ваграночных газах, выбрасываемых в атмосферу, допускается максимально 100 мг/м³ пыли; 0,1% окиси углерода; 0,085 мг/м³ окиси азота.

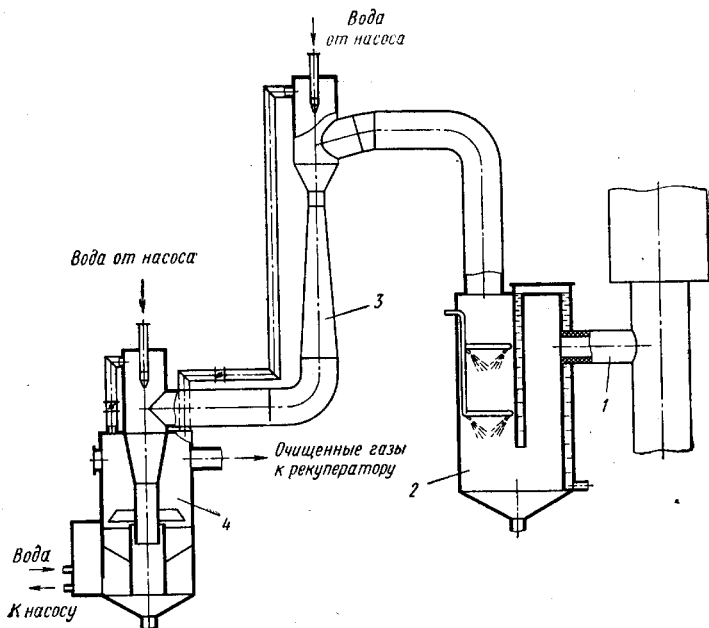


Рис. 37. Схема системы очистки ваграночных газов

тивного типа, испытанные в производстве и доказавшие свою надежность.

Воздухоподогреватели, встраиваемые в дымоотводящие трубы вагранок, используют теплоту колошниковых газов, закончивших теплообмен в шахте вагранки и дожигаемых в зоне загрузочного окна за счет регулируемого притока воздуха. Такие воздухоподогреватели можно монтировать только на вагранках открытого типа.

Примером может служить петлеобразный воздухоподогреватель конструкции завода «Станколит» (рис. 38), который состоит из цельнотянутых труб из жаростойкой стали, соединенных в отдельные секции. Воздух от вентилятора поступает по трубе 1 в коллектор холодного воздуха 2, далее по левой ветви трубчатых секций 3 в правую часть 4 воздухоподогревателя, затем в коллектор горячего воздуха 5 и по трубе 6 в воздушный коллектор вагранки. Особенностью этой конструкции является свободная подвеска трубчатых секций, которая обеспечивает беспрепятственное удлинение и перемещение труб при их термическом расширении. Сварные соединения (коллектор, соединения труб) вынесены из наиболее горячей зоны в искроуловитель.

Ваграночные газы, выходящие из шахты, поджигаются в зоне, находящейся под трубами воздухоподогревателя газовой горелкой. Для уменьшения поступления воздуха через загрузочное

окно предусмотрена дверь 7. Ниже приведена характеристика воздухоподогревателя вагранки производительностью 15 т/ч:

Количество нагреваемого воздуха, м ³ /ч	16 000
Размеры труб подогревателя, мм	Ø 89×5
Число трубчатых секций	42
Общая длина всех труб, м	765
Общая поверхность нагревательных элементов, м ²	202
Общий коэффициент теплопередачи, ккал/(м ² ч·°С)	17,3
Температура нагрева воздуха, °С	280—350

Описанный воздухоподогреватель прост по конструкции, удобен для обслуживания при эксплуатации и не требует специальной производственной площади.

Рассмотрим конструкцию отдельно стоящего воздухоподогревателя, использующего теплоту ваграночных газов, на примере радиационно-конвективного воздухоподогревателя конструкции института «Гипростанок» (рис. 39).

Ваграночные газы, дожигаемые с помощью горелки 1 в камере 2, проходят через шахты 3 и 12, отсасываются в дымосос через отверстие 13. В шахте 3 предусмотрены две секции 5 и 7 трубчатых

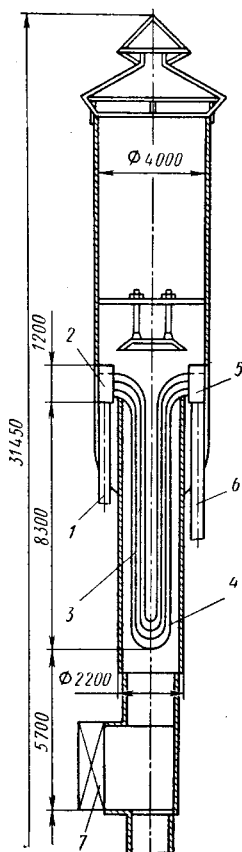


Рис. 38. Петлеобразный воздухоподогреватель конструкции завода «Станколит»

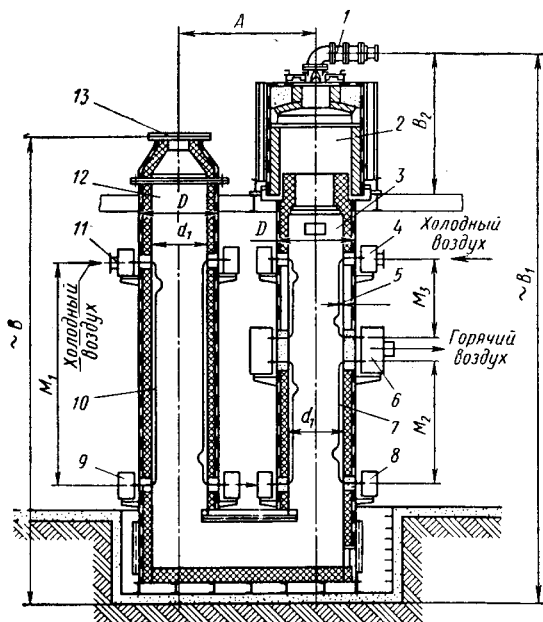


Рис. 39. Воздухоподогреватель конструкции института «Гипростанок»

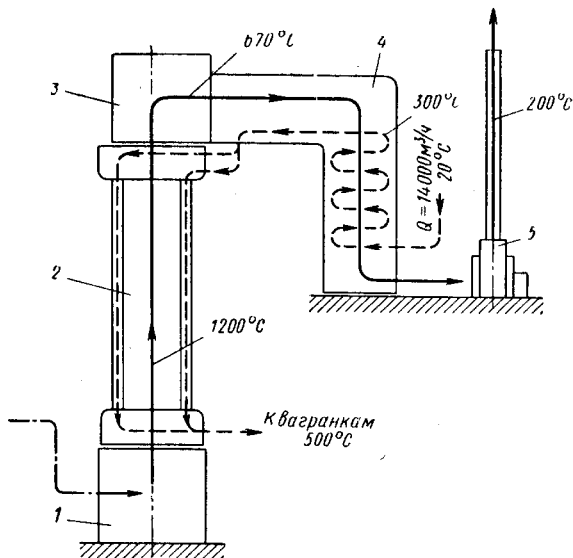


Рис. 40. Схема движения дымовых газов в воздухоподогревателе:

— дымовые газы; — — — воздух от воздуходувки;
— · — · — природный газ

подогревателей, а в шахте 12 — одна секция 10. Холодный воздух от воздуходувки подается в коллекторы 4 и 11, из коллектора 4 по трубчатым секциям 5 — в коллектор 6 горячего воздуха. Из коллектора 11 воздух по трубчатым секциям 10 подается в коллектор 9, затем в коллектор 8 и проходит по трубчатым секциям 7 в коллектор 6 горячего воздуха.

Размеры и характеристика воздухоподогревателя приведены в табл. 15.

Радиационно-конвективный воздухоподогреватель, приведенный на рис. 40, успешно работает на многих заводах. Он состоит из топки 1, радиационного щелевого подогревателя 2, переходной камеры 3, конвективного трубчатого подогревателя 4 и дымососа 5. В качестве теплоносителя в нем используются только продукты сгорания природного газа, сжигаемого в отдельной топке.

Природный газ сжигается в топке 1, и продукты его сгорания при 1100—1200° С поднимаются внутри радиационного щелевого подогревателя 2 в переходную камеру 3. Температура газов снижается до 670° С, затем по трубам конвективного подогревателя они проходят к дымососу при температуре 150—200° С.

Воздух от вентилятора поступает в конвективный подогреватель, где нагревается до 300° С, затем по обводной трубе попадает в верхний коллектор радиационного подогревателя, откуда по кольцевой щели между двумя цилиндрами поступает в нижний

РАЗМЕРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Диаметр шахты вагранки, мм	Размеры, мм (рис. 39)										Максимальное количество дутья, м³/ч	Объем дымовых газов, м³/ч	Поверхность двух радиационных подогревателей, м²
	d ₁	D	M ₁	M ₂	M ₃	A	B ₂	B	B ₁				
850	1700	2300	7	3,5	3,5	3510	4600	9 800	14 800	6 000	7 750	100	
	2200	2800	7,5			3860				8 000	10 220	135,5	
1350		2800	8,5	4,0	3960	4600	10 000	12 500		14 520	161		
1700	2700	3400	9,5	4,5	4900	5300	13 200	22 000		29 000	293		
	3400	4100						30 000		37 600	393		
2100	5000	5700						6700	50 000	61 850	640		

П р и м е ч а н и я: 1. Температура стенок трубчатых секций воздухоподогревателей данных конструкций не превышает 500° С. Благодаря этому используются трубы из нелегированной стали;
2. Температура воздуха в сборном коллекторе воздухоподогревателя составляет 550—600° С с учетом теплопотерь в воздушном тракте до вагранок 50—100° С.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОГО
ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Параметры	Подогреватель	
	конвектив- ный	радиацион- ный
Количество нагреваемого воздуха, м ³ /ч	14 000	14 000
Потери давления воздуха, кгс/см ³	120	460
Температура воздуха, °С:		
начальная	20	300
конечная	300	500
Поверхность нагрева, м ²	245	45
Расход газа, м ³ /ч	—	250
Коэффициент теплопередачи, ккал/(м ² ·ч·°С)	13	40,6
Горелки инжекционные (2 шт.), м ³ /ч	—	200

коллектор радиационного подогревателя, нагреваясь при этом до 500° С.

Характеристика воздухоподогревателя приведена в табл. 16.

Преимущества воздухоподогревателя этого типа по сравнению с воздухоподогревателем, использующим теплоту ваграночных газов, следующие:

обеспечение условий, исключающих взрыв смеси ваграночных газов на трассе;

большая свобода в выборе места установки воздухоподогревателя относительно вагранки вследствие отсутствия трассы ваграночных газов;

простота автоматического регулирования теплового режима и стабилизация нагрева воздуха независимо от изменения теплового режима вагранки;

исключение операции очистки труб.

Таким образом, наиболее ощутимый эффект от применения горячего дутья достигается при подогреве воздуха не ниже чем 450—500° С. С учетом этого, встраиваемые воздухоподогреватели целесообразно использовать в случаях, когда выносной воздухоподогреватель по каким-либо причинам смонтировать невозможно (например, из-за отсутствия площади). Наибольшее предпочтение следует отдавать воздухоподогревателю выносному, использующему теплоту отходящих газов в комплексе с газоочисткой. Однако условия производства столь многообразны, что дать определенные рекомендации не представляется возможным. При выборе типа и конструкции воздухоподогревателя необходимо учесть эти особенности и результаты технико-экономических расчетов.

При выборе воздухоудвки необходимо учитывать дополнительное сопротивление, оказываемое дутьевому воздуху, которое в зависимости от скорости его движения и местных сопротивлений доходит до 600—1000 мм вод. ст.

Коксогазовые вагранки. Вагранки, использующие в качестве топлива кокс и газ, называют коксогазовыми.

При частичной замене кокса природным газом схема процесса плавки чугуна и конструкция вагранки изменяются немного. Вагранка (рис. 35) имеет один ряд фурм 7, площадь которых составляет 8—10% площади сечения шахты, фурменную коробку 5, разделенную вертикальной перегородкой на две камеры для раздельной подачи воздуха в фурмы и газовые горелки 1, расположенные на расстоянии 900 мм от оси фурм.

Коллектор предусмотрен для подачи природного газа в горелки.

Исследования состава газов у выхода их из тоннелей вагранки производительностью 10 т/ч при соотношении расходов природного газа и воздуха 1/10 показали, что происходит полное сгорание их и что газы содержат 9,5% CO_2 , 3,7% O_2 , 0,06% CO и 86,74% N_2 . Кроме того, в результате сгорания метана и тяжелых углеводородов газы содержат около 20% H_2O . Количество влаги, поступающее в вагранку с воздухом через фурмы, составило 70 кг/ч, с продуктами горения природного газа — 580 кг/ч.

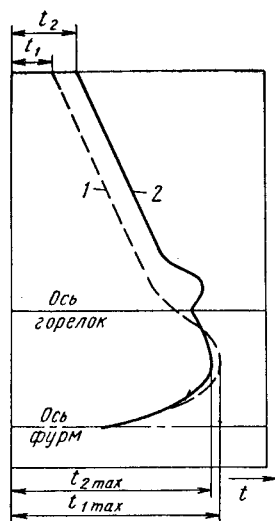
Реакция взаимодействия H_2O с CO в верхней зоне холостой колоши увеличивает содержание водорода в отходящих газах коксогазовых вагранок до 2,5—4%.

С увеличением расхода природного газа производительность вагранки, температура чугуна и содержание CO в отходящих газах повышаются до некоторого максимального значения, а затем снижаются [62]. Максимальные значения температуры металла, производительности вагранки и содержания CO находятся соответственно в одних и тех же оптимальных пределах расхода газа (20—25 м³ на 1 т выплавленного чугуна).

Полученные данные можно объяснить следующим. В коксогазовых вагранках обычно уменьшается расход кокса на 25—35%, соответственно уменьшается количество воздуха, поступающего в фурмы. Это снижает максимальную температуру в зоне холостой колоши t_{max} . Вследствие поступления в вагранку продуктов сгорания природного газа изменяется кривая распределения температур по ее высоте и удлиняется зона высоких температур (рис. 41).

В результате увеличения количества сжигаемого газа и повышения температуры на уровне расположения горелок и в зоне подогрева шихты зона плавления металла перемещается выше, путь капель металла по раскаленному коксу удлиняется и количество теплоты, передаваемой жидкому металлу, увеличивается. Это до определенного предела повышает температуру перегрева чугуна, компенсируя отрицательное влияние снижения t_{max} . Кроме того, в вагранке создаются благоприятные условия для развития эндотермических реакций разложения H_2O и восстановления CO_2 из продуктов горения кокса и газа. Повышение рас-

Рис. 41. Схема изменения температуры газов в коксовой (1) и коксогозовых (2) вагранках



хода углерода кокса на эти реакции способствует более быстрому сходу колош и росту производительности вагранки.

При дальнейшем увеличении расхода газа сверх оптимального наряду с повышением температуры начинают существенно сказываться аэродинамические факторы. Напор газовых потоков начинает значительно затруднять отрыв капель чугуна от поверхности кусков шихты, снижая производительность вагранки. Движение капель малого объема вниз затрудняется, а укрупнение капель уменьшает их удельную поверхность и ухудшает условия теплообмена между каплями и окружающей средой. Газы покидают

зону перегрева чугуна, отдав меньше теплоты, в результате температура чугуна понижается, а удлинение пути капли по кускам кокса не компенсирует ухудшения условий теплообмена.

Содержание углерода, а также угар кремния и марганца практически не изменяются по сравнению с коксовыми вагранками. Несколько увеличивается содержание водорода в чугуне в связи с увеличением его содержания в ваграночных газах. Однако практика показывает, что это не влияет на качество литья.

Частичная замена кокса природным газом дает следующие преимущества:

1. Расход кокса на рабочие колоши уменьшается на 25—35% при работе с оптимальным расходом газа, уменьшается расход флюса.
2. Удельная производительность вагранки увеличивается на 10—20%.
3. Содержание серы в чугуне уменьшается на 0,02—0,03%.
4. Общее количество шлака уменьшается, а также снижается расход теплоты на шлакообразование.

К недостаткам следует отнести необходимость наблюдения за газогорелочными устройствами, согласно правилам Гостехнадзора, и некоторое усложнение системы автоматического регулирования.

На заводе «Станколит» в течение ряда лет исследовали коксовые и коксогозовые вагранки, работающие на холодном и горячем дутье. Результаты исследований и производственные данные, приведенные в табл. 17, показывают, что наибольший эффект достигается при плавке в коксогозовых вагранках на горячем дутье. При этом не только снижается почти в 2 раза расход кокса, но облегчаются условия эксплуатации вагранок на горячем дутье.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ
КОКСОВЫХ И КОКСОГАЗОВЫХ ВАГРАНОК

Вагранка	Дутье	Максимальная производительность, т/ч	Расход кокса, %	Расход воздуха, м ³ /ч		Расход газа ¹ , м ³		Стоимость топлива, руб.			Экономия по сравнению с коксовой вагранкой, руб.
				на фурмы	на горелки	для вагранки	для воздухоподогревателя	Кокс	Газ	Всего	
Коксовая	Холодное	10,0	15,0	10 000	—	—	—	8,2	—	8,2	—
	Горячее (500° С) **	10,0	10,0	7 000	—	—	12,5	5,45	0,26	5,71	2,49
Коксогазовая	Холодное	10,0	10,0	5 500	2500	25,0	—	5,45	0,52	5,97	2,23
	Горячее (300° С) *	15,0	8,5	10 000	2500	25,0	—	4,65	0,52	5,17	3,03
	Горячее (500° С)	10,0	7,5	4 500	2500	25,0	12,5	4,1	0,78	4,88	3,32

¹ На 1 т выплавленного чугуна.

* Подогревается за счет теплоты отходящих ваграночных газов.

** Подогревается в рекуператоре, отапливаемом природным газом.

Газовые вагранки. Наиболее совершенными конструкциями газовых вагранок являются вагранки, разработанные и внедренные в производство на Пензенском компрессорном заводе. Газовая вагранка производительностью 7 т/ч имеет уступы в шахте и много-сплошную горелочную систему (рис. 42). В конической шахте находится камера сжигания газа и перегрева металла, откуда чугун стекает в копильник.

В шахте вагранки имеются два уступа с водоохлаждаемыми кессонами, полукольцевое поднутрение и разделительный барьер. В бассейне происходит перегрев жидкого металла за счет продуктов горения природного газа, сжигаемого в горелках.

Система смешения газа с воздухом и многофакельное сжигание газозоудшной смеси позволяют получать требуемые для плавки и перегрева чугуна тепловые условия в камере перегрева, где температура превышает 1700° С.

Продукты горения природного газа, имеющие сильноокислительный характер, взаимодействуют с жидким чугуном, окисляя основные компоненты. Угар кремния и марганца и окисление углерода больше, чем в коксовых и коксогазовых вагранках. Кроме того, в газовых вагранках не происходит науглероживания металла. Вследствие этого для компенсации повышенного угара углерода увеличивается расход чушкового чугуна и ферросплавов по сравнению с коксовыми и коксогазовыми вагранками.

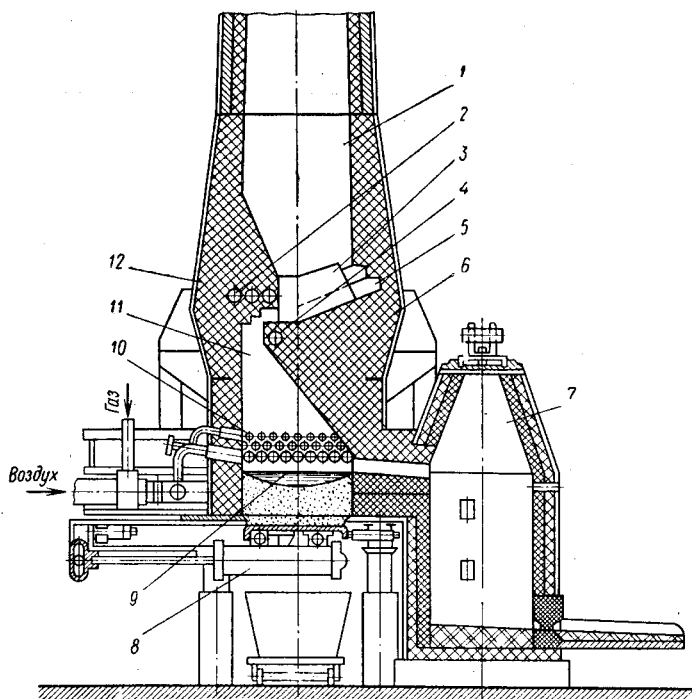


Рис. 42. Газовая вагранка

1 — шахта; 2 и 4 — водоохлаждаемые кессоны; 3 — поднутрение; 5 — разделительный барьер; 6 и 12 — уступы; 7 — копильник; 8 — механизм открывания днища; 9 — бассейн; 10 — горелки; 11 — камера сжигания газа и перегрева

Миксер с газовым подогревом. Когда нельзя или нецелесообразно использовать электромиксер, являющийся наиболее совершенным агрегатом, следует использовать миксер с газовым подогревом. Миксер емкостью 3,5 т (рис. 43) состоит из футеро-

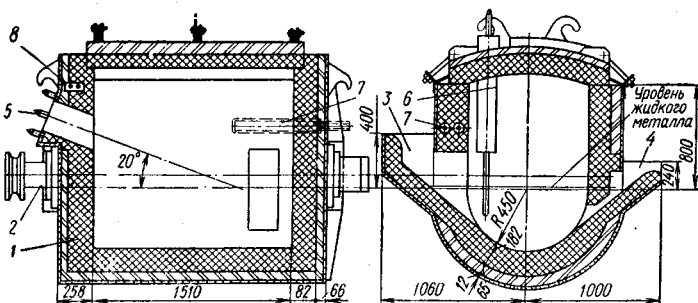


Рис. 43. Миксер для хранения и подогрева чугуна емкостью 3,5 т

ПРИБОРЫ И РЕГУЛЯТОРЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕССА

Параметры	Название приборов и регуляторов	Тип прибора и регулятора	Примечание
Контролируемые параметры			
Давление воздуха перед фур- мами	Мембранный напоромер	НМП-1	Стандартная методика работы
Давление природного газа	Манометр корабельный	МТК-150	Стандартная методика работы
Расход природного газа	Диафрагма	ДП-64	Перепад давления в диафрагме преобразуется в дифманометре с вторичным прибором в электрический импульс
Температура ваграночных газов	Дифманометр мембранный	ДМИ	Отосная водоохлаждаемая термомпара ус- танавливается на различных уровнях по высоте шахты вагранки
Состав ваграночных газов	Вторичный прибор	ВФС	Действие оптико-акустических анализаторов основано на изменении поглощения газом инфракрасной радиации, которая зависит от концентрации измеряемого компонента газа
	Отосная термомпара	ТХА-VIII	Действие кондуктометрического анализатора основано на использовании зависимости теплопроводности газовой смеси от содержания в ней водорода. Может быть также применен хроматограф ГСТД для определения содержания СО и Н ₂
	Милливольтметр	ПС1-07	
	Оптико-акустический газоанализатор для определения: СО СО ₂ СН ₄	ОА-2109 ОА-2209 ОА-2309 ТГ-1120	
	Термокондуктометрический газоанализатор Н ₂		
Температура чугуна в переходном желобе копильника	Термомпара	Вр10/20	При остановке шаржирного загрузочного крана (или скипового подъемника) в определенном месте срабатывает конечный выключатель и замыкаются специальные контакты, которые передают импульс на счетчик завалок и вторичный прибор
Число завалок, поступивших в вагранку (по времени)	Потенциометр электронный им- счетчик электрических импульсов	ЭПД-107 СЭИ-1	
	Конечный выключатель (исполнение 1)	ВК-211	
	Самопишущий милливольтметр	КСП-3	

Параметры	Название приборов и регуляторов	Тип прибора и регулятора	Примечание
Уровень шихты в шахте вагранки	Сборная панель		Контактный уровнемер замыкается шихтой на заданном уровне в шахте вагранки и подает электрический сигнал
Регулируемые параметры			
Расход горячего воздуха перед фурмами	Диафрагма Дифманометр мембранный Вторичный прибор Дистанционный задатчик Бесконтактный регулятор Дроссельная заслонка Бесконтактный исполнительный механизм	ДП-6 ДМКК ВФС ДЗФМ Бр-11 ЗД-25 БИМ2,5/120	Дифманометр с вторичным прибором вносят автоматическую поправку при изменении температуры и давления воздуха
Температура подогрева воздуха	Термопара Электронный потенциометр Бесконтактный регулятор Бесконтактный исполнительный механизм	ТХА-VIII ЭПД-107 Бр-11 БИМ2,5/120	Регулирование осуществляется по расходу природного газа и подосу вторичного воздуха в толку воздухоподогревателя
Давление газа	Заслонка малого сопротивления Регулятор давления прямого действия	ЗМС-80 25Ч10НЖ	Стандартная методика работы
Соотношение расхода газа и воздуха в горелке	Дифманометр мембранный Вторичный прибор Повторитель электрических сигналов Бесконтактный регулятор Дистанционный задатчик Дифманометр мембранный	ДМКР ВФС ПЭС Бр-11 ДЗФМ ДМКК	Постоянное соотношение газ—воздух в горелках поддерживается регулированием количества воздуха, поступающего в них, в зависимости от изменения расхода газа

Параметры	Название приборов и регуляторов	Тип прибора и регулятора	Примечание
Температура охлаждающей воды	Регулятор температуры	РПД-Т	Регулируется по расходу воды
Разрежение в топке рекуператора	Температурное реле	Тр-200	
	Дифманометр-тягомер	ДКФ-Т	
	Вторичный прибор	ВФС	
	Задатчик дистанционный	ДЗФМ	
	Бесконтактный регулятор	Бр-11	
	Бесконтактный исполнительный механизм	БИМ2,5/120	
	Шибер регулирующий	Стандартный	
Дистанционное управление шиберами на воздухопроводах и газопроводах	Исполнительный механизм	КДУ	
	Поворотные заслонки	Стандартные	
Параметры, обеспечивающие автоматику безопасности	Сигнализаторы падения давления	СПДМ-800 СПДС-1,5	
	Электромагнит ПВ-100%	ЭС-1-5111	
	Исполнительный механизм	КДУ	
	Предохранительный клапан	ПКА-100	

ванного корпуса 1, механизма поворота 2, воронки 3 для слива в него чугуна, летки с желобом 4 для выдачи чугуна в разливочные ковши, газовой двухпроводной горелки 5 производительностью 150 м³/ч и приспособления 6 для контроля температуры жидкого чугуна и регулирования ее путем изменения расхода природного газа. Водоохлаждаемые кессоны 7 и 8 увеличивают стойкость футеровки в наиболее разгораемых местах. Воздух для горения газа в горелке подается от вентилятора ВД-4.

Описываемый миксер на заводе «Станколит» расположен вдали от вагранок и чугун к нему подается в ковшах емкостью 1 т. Температура чугуна при заливке в миксер 1340—1350° С.

Регулированием количества сжигаемого в горелке природного газа можно поддерживать температуру чугуна при выдаче его из миксера в ковши в пределах 1360—1380° С.

КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕССА

Большое число факторов и сложная взаимосвязь между отдельными параметрами ваграночного процесса значительно затрудняют создание комплексных систем автоматического управления ваграночным процессом. Поэтому более целесообразно внедрять сравнительно простые, локальные схемы полуавтоматического контроля и регулирования отдельных параметров процесса. Эти схемы в дальнейшем смогут послужить основой для разработки комплексных автоматических систем с управляющими вычислительными устройствами.

В табл. 18 приведены различные приборы для контроля и регулирования основных параметров плавки в водоохлаждаемых коксогозовых вагранках с нагревом дутья в воздухоподогревателе с самостоятельным отоплением.

3. ПЛАВКА В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

В станкостроении, как и в других отраслях машиностроительной промышленности, непрерывно расширяется использование электропечей для плавки чугуна. Многолетний опыт показал существенные преимущества выплавки чугуна в электропечах, а также применения их в дуплекс-процессе с вагранкой.

Основным преимуществом электроплавки является расширение возможности получения высококачественных чугунов путем использования методов, недостижимых при ваграночной плавке. Например, при электроплавке может быть получен чугун практически любого химического состава, в частности с весьма низким содержанием серы.

При индукционной плавке повышается однородность чугуна благодаря электродинамическому перемешиванию, расширяется возможность регулирования термовременной обработки жидкого

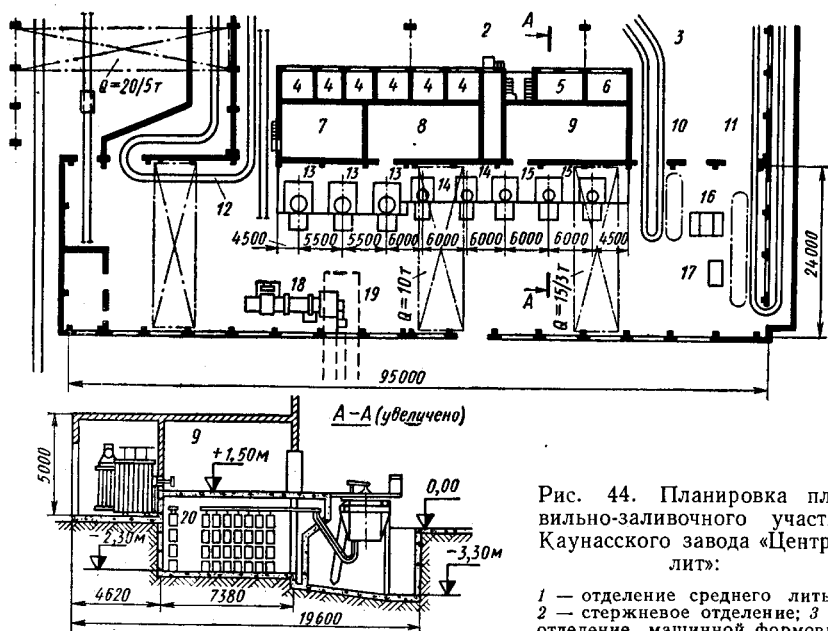


Рис. 44. Планировка плавильно-заливочного участка Каунасского завода «Центролит»:

1 — отделение среднего литья; 2 — стержневое отделение; 3 — отделение машинной формовки мелкого литья;

4 — помещение для трансформаторов печей ИЧТ-6 и ИЧТ-10; 5 — помещение для трансформатора печи LFD-8; 6 — помещение для щитов управления печей ИЧТ-6, ИЧТ-10; 9 — помещение для щитов управления печи LFD-8; 10, 11 и 12 — конвейеры для мелкого и среднего литья; 13 — печи ИЧТ-10; 14 — печи ИЧТ-6; 15 — индукционные печи LFD-8; 16 — поворотный стэнд; 17 — стэнд для ковша; 18 — печь для обжига стружки; 19 — туннель для подачи шихты; 20 — конденсаторные батареи печи LFD-8

чугуна, обеспечиваются оптимальные условия для модифицирования.

При электроплавке возможно получение экономической эффективности за счет снижения стоимости шихтовых материалов, снижения брака литья и повышения эксплуатационных свойств чугуна в отливке. Ряд зарубежных фирм считает целесообразным при реконструкции существующих и строительстве новых литейных цехов предусматривать дуплекс процесс вагранка—электромиксер.

В СССР широко используется электроплавка в сочетании с электромиксерами в литейных цехах автомобилестроения (ГАЗ, ВАЗ, ЗИЛ и др.).

На Каунасском заводе «Центролит» весь чугун для отливок обширной номенклатуры выплавляется в индукционных печах промышленной частоты. Планировка плавильно-заливочного участка этого завода представлена на рис. 44.

В качестве плавильных агрегатов в чугунолитейных цехах в основном нашли распространение индукционные тигельные печи промышленной частоты благодаря следующим преимуществам: печи не требуют преобразователей тока и относительно просты

по устройству, а электрический коэффициент полезного действия их высок (66—75%). Расход электроэнергии на плавку и перегрев чугуна составляет 650—700 кВт·ч/т. Теплота генерируется равномерно в самом металле без местного его перегрева, и жидкий металл интенсивно перемещивается благодаря воздействию электромагнитных сил. Это обеспечивает минимальный угар элементов, быстрое растворение добавок и равномерность металлической ванны по химическому составу.

К числу недостатков этих печей относится малая скорость плавления твердой завалки, что снижает ее к. п. д.

Поэтому наиболее эффективным с точки зрения производительности и расхода электроэнергии является метод плавки на «болоте», т. е. при каждом выпуске из печи выдается в разливочный ковш количество чугуна, составляющее 30—40% ее емкости. Затем в жидкую ванну загружают соответствующее количество твердых шихтовых материалов. При этом уровень жидкого металла поднимается до верха тигля, и печь непрерывно работает с высоким к. п. д.

К числу недостатков индукционных печей промышленной частоты относится большая потребность в производственной площади, чем при установке вагранок с такой же общей производительностью. Это объясняется значительной площадью, занимаемой трансформатором и батареей конденсаторов.

Для дуплекс-процесса наиболее широко используют канальные индукционные печи промышленной частоты. Вследствие особенностей конструкции и метода генерирования теплоты эти печи при работе на жидкой завалке обеспечивают оптимальные технико-экономические показатели. К. п. д. печей достигает 90—95%; занимаемая площадь и стоимость установки значительно меньше, чем тигельных печей. Расход электроэнергии для поддержания температуры чугуна порядка 1400°С составляет примерно 20 кВт·ч/т. Для расплавления твердой шихты такие печи, как правило, не используют.

За последние 15—20 лет накоплен значительный опыт индукционной плавки чугуна, изучено влияние различных факторов на стабильность технологического процесса, безаварийность работы оборудования и на получение максимальной экономической эффективности. Этим вопросам посвящены многочисленные исследования, наиболее полный обзор которых приведен в работе [89].

Изготовление тиглей. При изготовлении тиглей широко применяют кислую сухую набивную массу. В качестве исходных материалов используют молотые кварциты или кварцевые пески, содержащие более 97% SiO_2 . Для спекания добавляют борную кислоту 1,5—2,0% массы огнеупорного материала.

Расход набивной массы составляет 1,5—2,5 кг на 1 т выплавляемого чугуна, стойкость тигля печи емкостью 6—10 т достигает 250—300 плавов.

Исследованием [46] карельского кварцита (месторождение Тетчанчярва) как футеровочного материала установлено, что качество его не уступает шведским кварцитам, пользующимся мировой известностью. Практика подтвердила, что стойкость этой футеровки в печах емкостью 8 т достигала 440 плавов.

На заводе «Водоприбор» нашла применение высокоглиноземистая набивная футеровка, состоящая из 35—40% электроплавленного корунда, 60—65% дистен-силлиманита и 1,0—1,5% борной кислоты [116]. Считают, что несмотря на высокую стоимость, высокоглиноземистая футеровка имеет следующие преимущества — меньший угар легирующих элементов, широкая возможность регулирования процесса шлакообразования, снижение себестоимости жидкого чугуна, высокая стойкость и надежность футеровки.

Практика показывает, что одновременно с качеством футеровки на стойкость тигля влияют технология подготовки, уплотнения и спекания футеровочной массы, сушки и условия эксплуатации тигля.

Эти вопросы освещены в работе [89], где и приведены подробные рекомендации.

Подготовка шихтовых материалов. Одним из методов повышения производительности индукционных печей, сокращения расхода электроэнергии, снижения стоимости жидкого чугуна является предварительный подогрев шихтовых материалов. Теоретический расчет показывает, что при нагреве шихты до 700° С производительность электропечи увеличивается на 50%, при нагреве до 400° С на 15—20%. Для нагрева кусковой шихты используются установки различной конструкции.

На рис. 45 представлена установка фирмы «Brown Boveri». Бадья с шихтой 3 по рольгангу 5 транспортируется внутрь корпуса 1 и устанавливается так, чтобы патрубки для отходящих газов в бадье и корпусе совпали. Топочная камера 2 опускается и прижимается к верхней части бадьи. Продукты горения проходят между кусками шихтовых материалов, нагревают их и удаляются в дымовую трубу 7.

Нужно подчеркнуть, что этот метод неприменим для легковесных материалов, в частности стружки.

Преимуществом индукционной плавки является возможность эффективного использования в качестве шихты легковесных материалов — листовой высеки, обрезки, стружки, переплав которых в других печах, например в вагранках, сопряжен с высоким угаром. Однако при этом нужно учесть, что стружка загрязнена техническим маслом, выделяющим при сгорании углекислый газ, пары воды, сажистый углерод, а также сернистый газ. В среднем 1 т стружки содержит 30 кг масла и выделяет при расплавлении около 90 м³ газа и 3 кг дисперсной сажи. Поэтому необходима предварительная очистка стружки от масла промывкой в щелочных растворах или нагревом до 550—650° С. Наибольший эффект

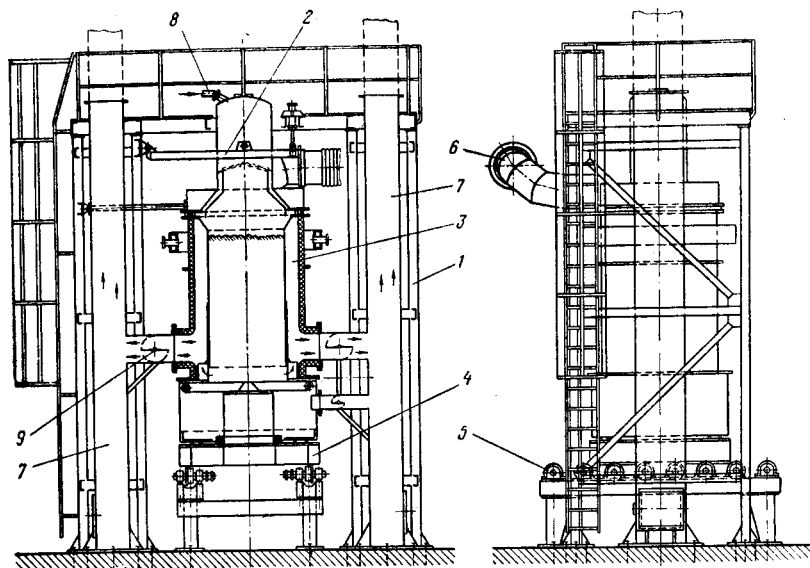


Рис. 45. Устройство для нагрева шихты:

1 — корпус; 2 — топочная камера; 3 — бадья для шихты; 4 — плита — подставка для транспортирования бадьи; 5 — рольганг; 6 — подача воздуха; 7 — труба для отходящих газов; 8 — подача газового топлива; 9 — шибер

может быть достигнут при совместном применении обоих методов очистки. На Каунасском заводе «Центролит» имеется установка для очистки стружки обоими методами (рис. 46).

Некоторые процессы, проходящие при электроплавке. При плавке в индукционных печах необходимо учитывать изменение химического состава чугуна, в первую очередь связанное с окисли-

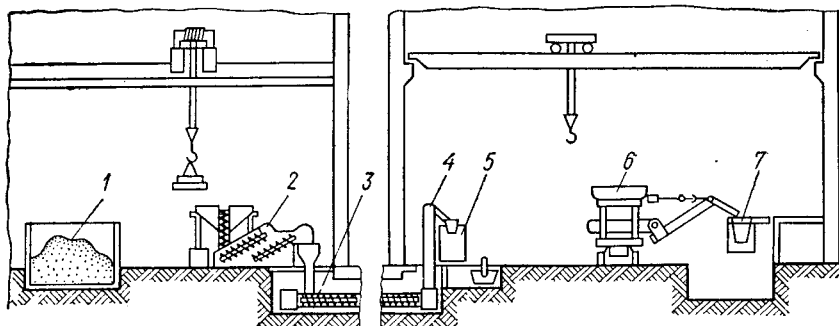
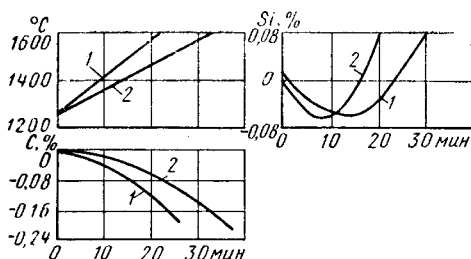


Рис. 46. Схема подготовки стружки к плавке на участках шихтового и плавильного цеха Каунасского завода «Центролит»:

1 — бункер; 2 — установка обезжиривания стружки; 3 — шнек транспортировки стружки из шихтового двора в плавильный цех; 4 — элеватор; 5 — барабанная печь для обжига стружки; 6 — агрегат подачи стружки в плавильные печи 7

Рис. 47. Влияние скорости нагрева на изменение состава чугуна



тельными реакциями, а также с взаимодействием металла с футеровкой (так называемая «тигельная реакция»). Скорость этих реакций велика в индукционных печах промышленной частоты вследствие интенсивного перемешивания расплава. На протекание этих реакций очень влияют состояние шихтовых материалов, температурный режим плавки и т. д. По данным работы [89], общий угар при переплавке шихты из легковесных материалов колеблется от 5,6 до 7,8%, что связано с загрязнением шихты. Угар собственно металла находится в пределах 1%, но он может значительно возрастать при использовании сильно окисленной шихты.

Своевременное науглероживание способствует раскислению металла, сопровождающемуся образованием «пузыристого» шлака. При этом увеличивают расход карбюризатора на 8—10%.

Как видно из рис. 47, скорость нагрева, характеризуемая кривыми 1 и 2, влияет на изменение состава чугуна. При температуре равновесия реакции восстановления кремния углеродом (примерно 1400° С) содержание кремния имеет минимальное значение.

Изотермическая выдержка нелегированного чугуна при относительно невысокой температуре (1350—1400° С) не вызывает существенного изменения химического состава. Выдержка при температурах выше равновесной приводит к развитию реакции восстановления кремнезема футеровки углеродом расплава (тигельная реакция). Одновременно происходит окисление углерода на поверхности ванны. Обе реакции ускоряются при интенсивном электромагнитном перемешивании расплава. Поэтому величина угара выше при нагреве (перемешивании) и ниже при выдержке (без перемешивания).

После расплавления ванны производят доводку чугуна по химическому составу введением в него науглероживателя (карбюризатора) и ферросплавов.

Одним из наиболее важных этапов получения синтетического чугуна является процесс науглероживания, зависящий от интенсивности перемешивания, температуры и характеристики карбюризатора.

Сравнительные исследования и практика показали преимущества использования в качестве карбюризатора электродного порошка (полупродукт электродного производства), обеспечивающего стабильное усвоение углерода (90—95%).

Текущую концентрацию углерода в расплаве при науглероживании можно рассчитать по формуле

$$C = C_d - K(C_d - C_0),$$

где C_d — предельная концентрация углерода, %; C_0 — то же начальная, %; K — коэффициент науглероживания [128].

Чем меньше коэффициент K , зависящий главным образом от температуры и интенсивности перемешивания металла в тигле, тем больше скорость науглероживания. При плавке в индукционных печах промышленной частоты K изменяется в пределах 0,1—0,4, причем большие значения соответствуют низкой температуре сплава, слабому перемешиванию, повышенной окисленности шихты. Наиболее стабильные результаты процесса науглероживания достигаются при загрузке 70% заданного количества карбюризатора вместе с шихтой и 30% после наплавления ванны металла в период доводки чугуна по химическому составу. При этом отклонение не превышает $\pm 0,1\%$ C [128].

Чугуны индукционной плавки характеризуются меньшим содержанием растворенных газов (рис. 48) по сравнению с чугунами ваграночной плавки [108]. Вероятно это связано с более высоким перегревом чугуна и его раскислением.

После расплавления чугуна, доводки по содержанию углерода, кремния, марганца и легирующих элементов необходимо произвести гомогенизацию расплава, выдержку при заданной температуре перегрева и подготовить его к разливке.

Перегрев влияет непосредственно на жидкое состояние сплава, количество и состав чужеродных зародышей, определяющих характер эвтектической кристаллизации. Регулированием степени перегрева чугуна и выдержки его при заданных температурах можно добиться разрушения структуры ближнего порядка, диспергирования микрогруппировок углерода графитного типа, изменения количества неметаллических включений, служащих чужеродными зародышами. Все это предопределяет характер последующей

кристаллизации чугуна, степень графитизации и размер включений графита. При этом нужно учесть, что длительная низкотемпературная выдержка в основном способствует удалению неметаллических

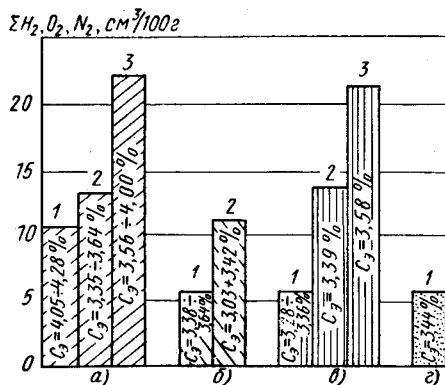


Рис. 48. Среднее содержание экстрагированных газов из чугунов:

а — немодифицированного; б — модифицированного; в — легированного; г — чисто синтетического; 1 — индукционная печь; 2 и 3 — вагранки соответственно с горячим и холодным дутьем.

включений, не оказывая существенного влияния на изменение структуры ближнего порядка и дисперсность микрогруппировок углерода. Во много раз интенсивнее на эти параметры влияет повышение температуры перегрева, в связи с чем рекомендуется перегревать чугун до 1520—1550° С и осуществлять кратковременную его выдержку при этой температуре.

Вследствие уменьшения числа потенциальных зародышей графита при таком перегреве повышается склонность чугуна к метастабильной кристаллизации. Для стимулирования графитизации, как правило, высокому перегреву должно сопутствовать модифицирование.

На практике процесс осуществляют следующим образом [89]. После перегрева до 1550° С и выдержки в течение 10—12 мин сплав охлаждают до 1420° С путем добавки чистого, неокисленного стального лома (10% массы жидкого сплава). При этой температуре чугун модифицируют ферросилицием или силикокальцием. Интенсивность электромагнитного перемешивания сплава при его перегреве и выдержке должна быть минимальной для предотвращения перехода в сплав кремнезема из футеровки и шлака, а также меньшего растворения газов.

Использование сильно окисленных и загрязненных шихтовых материалов удлиняет термовременную обработку и снижает эффект модифицирования.

Структура и механические свойства чугуна индукционной плавки. К числу факторов, обеспечивающих повышенное качество чугуна, выплавленного в индукционных печах, относятся более широкие, по сравнению с вагранками, возможности использования различных шихтовых материалов. По данным исследований и практики, технологические резервы индукционной плавки используются тем в большей степени, чем больше стали содержится в шихте.

Влияние шихтовых материалов на механические свойства чугунов, выплавленных в вагранке и в индукционной печи при различной шихте, показано в табл. 19

Как видно из этих данных, плавка в индукционных печах способствует некоторому повышению механических свойств чугуна, выплавленного на шихте из чушковых чугунов или смеси чугуновой и стальной стружки. Однако наиболее высокие показатели относительного предела прочности и относительной твердости получены в чугунах, **Г**выплавленных при использовании 100% стальной стружки или преобладании стальной составляющей в шихте. Это подтверждается также результатами работ японских исследователей (рис. 49). Увеличение количества стали в шихте способствует повышению механических свойств чугуна ваграночной плавки (см. рис. 27). Но этот фактор еще в большей степени сказывается на чугуне индукционной плавки.

Предполагают, что на механические свойства может влиять различное содержание азота в исследованных чугунах. По мере

СВОЙСТВА ЧУГУНОВ, ВЫПЛАВЛЕННЫХ В ВАГРАНКАХ
И В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ШИХТЕ [132]

Чугун	Относительный предел прочности при растяжении (ОП)	Относительная твердость (ОТ)
Ваграночный	0,985	0,976
Индукционной плавки из чушковых чу- гунов	1,11	1,21
Синтетический:		
из отходов мягкой стали	1,03	0,95
из листовых отходов	1,28	0,97
из отходов стали (0,12% С)	1,34	1,03
из стальной и чугунной стружки в со- отношении:		
50% и 50%	1,16	1,23
75% и 25%	1,44	1,42
из 100% стальной стружки	1,48	1,34

Примечание:

$$\text{ОП} = \frac{\sigma_{\text{в}} (\text{факт})}{\sigma_{\text{в}} (\text{расч})},$$

$$\text{ОТ} = \frac{HB_{\text{факт}}}{HB_{\text{расч}}}.$$

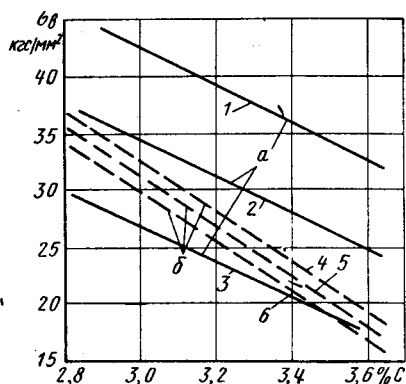


Рис. 49. Влияние содержания стали в шихте на механические свойства чугуна:

а — из индукционной печи; б — из вагранки.

Содержание стали в шихте:
1 и 4 — 40%; 2 и 5 — 20%; 3 и 6 — 0%

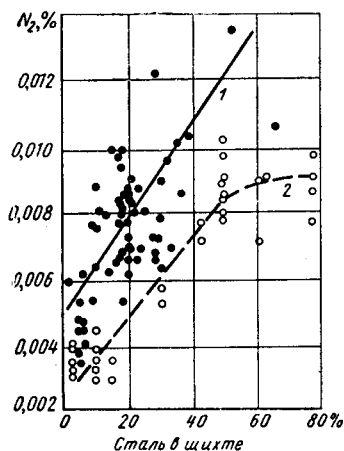


Рис. 50. Содержание азота в чугуне индукционной (1) и ваграночной (2) плавки в зависимости от содержания стали в шихте

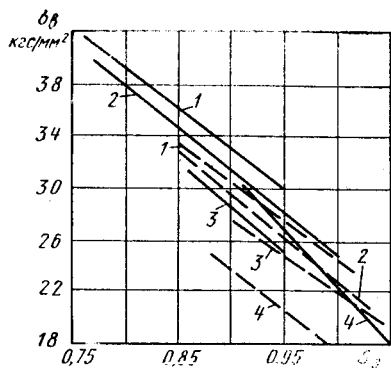


Рис. 51. Влияние шихтовых материалов на механические свойства чугуна индукционной плавки ($S_э$ — степень эвтектичности):

1 — стальная стружка; 2 — обрызг динатной стали; 3 — чугунная стружка; 4 — ваграночный переплав;
 — — — модифицированный чугун;
 - - - немодифицированный чугун

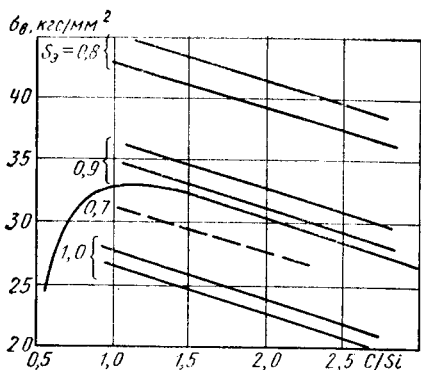


Рис. 52. Механические свойства индукционного чугуна в зависимости от C/Si и $S_э$

увеличения содержания стали в шихте растет содержание азота в выплавленном чугуне (рис. 50). Но в работе [148] не приводятся объяснения, почему в ваграночных чугунах при одинаковой шихтовке концентрация азота ниже. Влияние азота на повышение механических свойств чугуна ранее было установлено в работе [71].

Данные Каунасского «Центролита» также подтверждают благоприятное влияние стали в шихте на механические свойства чугуна (рис. 51). Максимальные значения, полученные при использовании стальной стружки, связаны с наличием в ней легирующих примесей.

В чугуне индукционной плавки характер зависимости структуры и свойств от степени эвтектичности и отношения углерода к кремнию остается таким же, как и в чугунах ваграночной плавки. Однако при индукционной плавке появляется возможность широкого варьирования отношением C/Si и достижение благодаря этому высокой прочности. Это подтверждается результатами работ различных исследователей, представленными на рис. 52. При одинаковой величине степени эвтектичности уменьшение отношения C/Si значительно повышает механические свойства чугуна. По-видимому, в зависимости от конфигурации, толщины стенок и других характеристик отливки имеется предел снижения C/Si , когда ухудшение литейных свойств препятствует получению здоровой, плотной отливки.

К сожалению, мало работ посвящено изучению технологических резервов электроплавки в отношении специфических требований, предъявляемых к станочным отливкам. Это относится в первую очередь к возможности повышения износостойкости чугуна путем получения оптимальной микроструктуры в массивных рабочих узлах отливки.

В работах, посвященных этому вопросу, имеются разнообразные и зачастую противоречивые выводы. Ограничимся ссылкой на результаты производственного исследования, представленные на рис. 53 [89]. Повышение перегрева чугуна в интервале $1350\text{—}1550^\circ\text{C}$ способствует размельчению графита и повышению твердости. Кривая зависимости прочности от температуры имеет максимум при определенных значениях — дальнейшее повышение перегрева приводит к дендритной кристаллизации графита и снижению прочности. Было установлено, что изотермическая выдержка существенно не влияет на структуру и свойства чугуна.

Однако в тех случаях, когда по условиям производства оказывается необходимой длительная выдержка (ночные смены, выходные дни), приходится считаться с существенными изменениями, если температура изотермической выдержки превышает $1350\text{—}1400^\circ\text{C}$. Так, по данным работы [138], изотермическая выдержка в тигельной печи в течение 6 ч при температурах $1450\text{—}1500^\circ\text{C}$ приводит к уменьшению содержания углерода и кремния, повышению склонности к отбеливанию, снижению твердости и предела прочности при растяжении. Анализируя характер отклонений контрольных показателей и величину брака в литейном цехе, оборудованном индукционными тигельными печами промышленной частоты, делаем вывод, что получение высоких качественных показателей и преимуществ по сравнению с ваграночной плавкой возможно лишь при жестком контроле за шихтовкой и всеми техническими параметрами электроплавки [138].

Этот вывод подтверждают многие исследователи. Например, в работе [147], посвященной обзору состояния электроплавки, подчеркивается необходимость четкого контроля и обеспечения стабильности всех параметров технологического процесса. Несоблюдение этих условий привело к тому, что некоторые фирмы

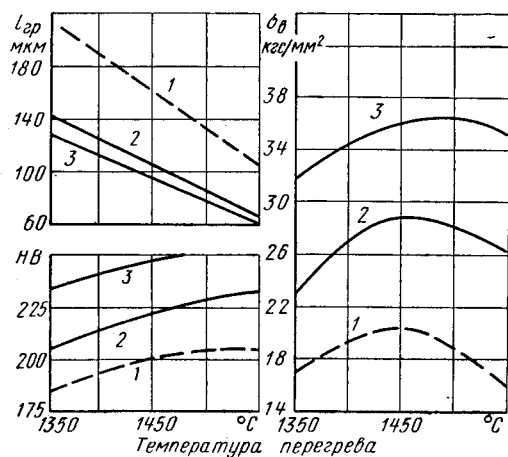


Рис. 53. Влияние перегрева на механические свойства и микроструктуру индукционного чугуна:

1 — модифицированного при $S_3 = 1,03$; 2 и 3 — немодифицированного соответственно при $S_3 = 0,90$ и $S_3 = 0,78$

в США вернулись к ваграночной плавке, так как не получили от электропечей ожидаемого эффекта.

Приведенные данные о зарубежном опыте представляют для нас большой интерес, так как, намечая значительное развитие электроплавки в станкостроительной отрасли, необходимо особое внимание уделять подготовке и дозированию шихтовых материалов, контролю процесса, контролю химсостава чугуна, а также автоматизации управления. Только при этих условиях, определяющих высокую культуру производства, можно в полной мере использовать все преимущества, которые дает процесс электроплавки чугуна.

Экономическая эффективность индукционной плавки чугуна. Для оценки экономической эффективности в народном хозяйстве перехода на индукционную плавку чугуна необходимо рассмотреть отдельно изменение технико-экономических показателей:

в литейном цехе;

в смежных отраслях, обеспечивающих литейное производство шихтовыми материалами, топливом, электроэнергией;

при эксплуатации литых деталей.

Технико-экономическая эффективность в смежных отраслях основана на возможности снижения расхода доменного литейного чугуна и кокса, а также на использовании в литейном производстве дешевых шихтовых материалов (стружки, обрезки и т. д.).

Не поддается точному учету экономическая эффективность при эксплуатации литых деталей, так как увеличение работоспособности и долговечности деталей, изготовленных из чугуна индукционной плавки, должно способствовать сохранению заданной точности станка в течение длительного времени и удлинению межремонтных периодов.

О долговечности литой детали и станка в целом можно судить по показателям износостойкости чугуна при его исследовании по специальной методике. Такое сравнительное исследование износостойкости ваграночных и электропечных чугунов одинаковых марок и химического состава не показало преимущества последних [108]. По-видимому, методика таких сравнительных исследований должна быть иной. Она должна основываться на изучении в условиях эксплуатации поведения станков, корпусные детали которых изготовлены из чугуна индукционной плавки. Высокое качество этого чугуна может быть обеспечено получением чисто синтетического чугуна на базе стали, значительным снижением отношения C/Si и другими методами, использовать которые при ваграночной плавке невозможно или весьма затруднительно.

Только при этих условиях можно судить о преимуществах чугуна индукционной плавки и получить данные для расчета экономической эффективности, связанной с увеличением долговечности деталей.

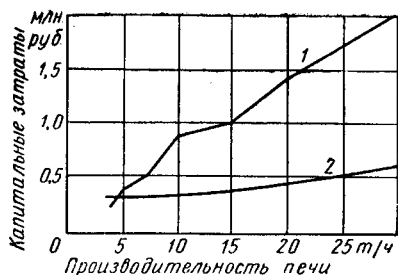


Рис. 54. Капитальные затраты на оборудование плавильного участка в зависимости от производительности печи:

1 — индукционной; 2 — вагранки с подогревом дутья

Но отсутствие таких данных, которые позволили бы точно рассчитать экономическую эффективность перехода на чугун индукционной плавки в сфере эксплуатации, ни в коей мере не является доводом против внедрения этого чугуна. Как было сказано выше, технологические возможности индукционной плавки несомненно позволяют получать чугун с высокими свойствами.

Возможность и эффективность уменьшения толщины стенок отливок обычно увязывают с повышением прочностных свойств электропечного чугуна по сравнению с ваграночным чугуном.

По-видимому, и эта экономия является реальной в том случае, когда нельзя получить ваграночный чугун с такими же механическими свойствами или при использовании такого ваграночного чугуна увеличивается число дефектных отливок.

Практика показывает, что возможность уменьшения толщины стенок отливок в большинстве случаев лимитируется не прочностными свойствами чугуна, а параметрами технологии формы (точность, допуски) и опасностью получения дефектов (трещины в отливках). Вопросы эти подробно будут рассмотрены ниже.

Наиболее четко экономическую эффективность можно определить при сравнении себестоимости чугуна, выплавленного в индукционных тигельных печах и других плавильных агрегатах, зависящей в основном от следующих факторов:

- капитальных затрат на приобретение и установку оборудования (амортизационные отчисления);
- стоимости энергии, расходуемой на плавку;
- стоимости шихтовых материалов;
- трудозатрат на обслуживание плавильных агрегатов.

В работе [53] приведен расчет капитальных затрат на плавильных участках различной производительности, оборудованных индукционными печами промышленной частоты и закрытыми вагранками с горячим дутьем и очисткой газов. В капитальные затраты включали стоимость оборудования, а также вспомогательной и производственной площади. Сравнение суммарных капитальных затрат представлено на рис. 54. При производительности участка до 4—5 т/ч жидкого чугуна капитальные затраты на установку индукционных печей ниже, чем на установку вагранок.

При дальнейшем повышении производительности участка капитальные затраты на индукционные печи превышают затраты на вагранки и тем больше, чем выше производительность участка.

Стоимость энергоресурса в значительной мере зависит от географического и других факторов. Например, стоимость 1 т кокса в Европейской части СССР существенно отличается от стоимости кокса в Восточной части. Стоимость электроэнергии в ночное время может быть ниже по сравнению с дневным.

Возможность использования дешевых шихтовых материалов — стружки, высеки и т. д., получаемых вблизи от места использования, является основным фактором, способствующим снижению себестоимости жидкого чугуна, выплавленного в индукционных печах.

В табл. 20 представлена сравнительная калькуляция себестоимости 1 т жидкого чугуна по данным завода «Станколит» и Каунасского завода «Центролит» при различных способах плавки.

Эти данные подтверждают, что благодаря применению дешевой шихты чугун индукционной плавки оказывается дешевле чугуна, выплавленного в коксогозовых вагранках, работающих на горячем дутье. Очевидно, при сравнении с коксовыми вагранками на холодном дутье эта разница будет еще больше.

При технико-экономических расчетах выявляется, что в условиях каждого завода могут быть и другие источники экономии. Например, при использовании электромиксеров большой емкости вместе с вагранками снижаются простои конвейеров и уменьшается брак литья в результате выравнивания химического состава и свойств жидкого чугуна.

В одном из литейных цехов ФРГ при потребности 100 т жидкого чугуна и двухсменной работе наибольший экономический эффект

Т а б л и ц а 20

СЕБЕСТОИМОСТЬ 1 Т ЖИДКОГО ЧУГУНА
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ПЛАВКИ, РУБ.

Статьи затрат	Затраты при плавке	
	ваграночной	индукционной
Металлическая шихта	65,55	41,60
Флюсы	0,14	—
Карбюризаторы	—	0,13
Топливо на плавку	7,51	—
Электроэнергия на плавку	—	19,32
Заработная плата	0,75	2,34
Содержание и эксплуатация оборудования	3,97	11,25
Цеховые расходы	1,30	2,34
И т о г о	79,22	76,98

был получен при установке вагранки производительностью 12,5 т/ч и канальной индукционной печи емкостью 60 т [137]. Вагранка работала одну первую смену, а во второй смене производили заливку чугуном, накопленным в миксере в течение первой смены.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что в каждом отдельном случае при выборе плавильных агрегатов необходим всесторонний технико-экономический анализ всех факторов, могущих влиять на себестоимость годного литья.

Технико-экономическая эффективность в сфере эксплуатации готовой продукции и в смежных отраслях (обеспечение шихтой, топливом, электроэнергией) может решающе влиять на выбор плавильных агрегатов. Очевидно, на основе всесторонних исследований и разработок будет получен фактический материал, которым можно будет руководствоваться при соответствующих расчетах.

4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЧУГУНА

Все методы контроля условно можно разделить на три группы:

1. Определение свойств или показателей, характеризующих чугун, которые можно использовать для корректировки процесса плавки (экспрессное определение химического состава, склонности к отбеливанию, температуры, жидкотекучести и т. п.).

2. Определение структуры и механических свойств чугуна в нормализованных образцах (определение механических свойств чугуна в отдельно отливаемых стандартных образцах диаметром 30 мм, в приливных образцах различного сечения и т. д.).

3. Определение структуры и свойств чугуна в отливке (твердость на направляющих корпусных отливках, микроструктура на плоскостях трения, подвергающихся износу).

Ниже приведены данные о некоторых методах контроля, эффективность которых доказана практикой передовых заводов.

Химический состав. Контроль химического состава чугуна осуществляется заводской лабораторией в двух направлениях:

а) экспресс-контроль чугуна по ходу плавки;

б) контроль для оформления сертификатов на готовую продукцию, арбитражный и для выявления причин брака.

В некоторых случаях лабораторию для экспресс-контроля выделяют в самостоятельное отделение, расположенное вблизи литейного цеха.

Имеются и другие решения. Например, на заводе «Станколит» цилиндрические образцы диаметром 6 и длиной 30 мм, залитые в металлическую пробку и имеющие структуру белого чугуна, направляют пневмопочтой в центральную химическую лабораторию, расположенную на расстоянии 120 м, где производят анализ на содержание четырех элементов: С (сжиганием), Si, Mn, Cr

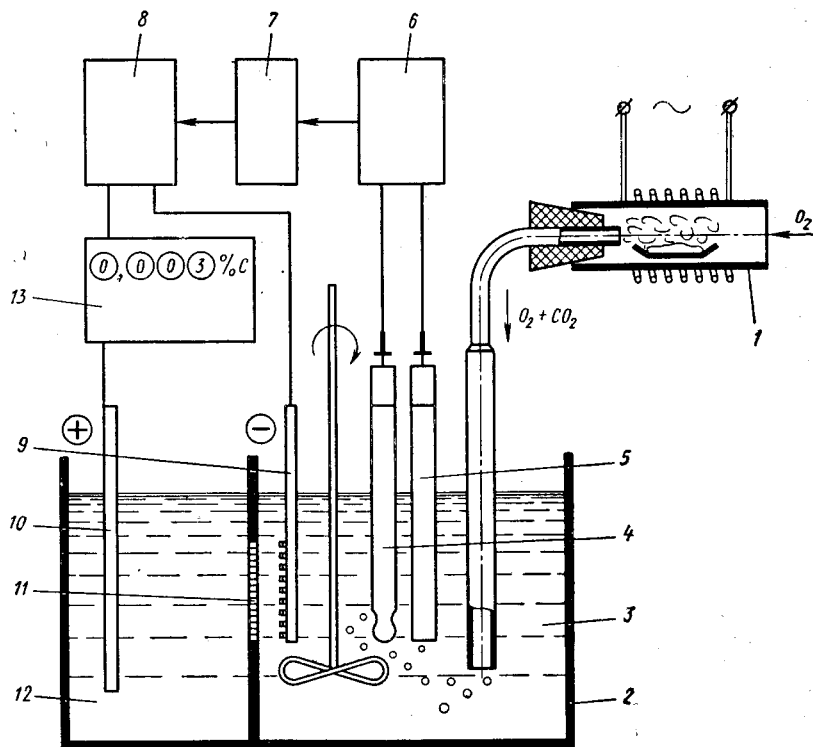


Рис. 55. Схема экспресс-анализатора АН-29:

1 — трубчатая печь; 2 — электролитическая ячейка; 3 — поглотительный раствор; 4 — стеклянный электрод; 5 — вспомогательный электрод; 6 — рН-метр; 7 — регулятор; 8 — источник генераторного тока; 9 — катод; 10 — анод; 11 — проницаемая для тока перегородка; 12 — вспомогательный раствор; 13 — интегратор тока

(спектральным методом). Ответ из химической лаборатории обратной пневмопочтой мастер получает через 20 мин после отправления образца.

В настоящее время созданы приборы спектрального анализа, обеспечивающие быстрое определение основных элементов.

Ряд литейных цехов массового производства имеет квантометры зарубежных фирм. Отечественные многоканальные вакуумные фотоэлектрические спектральные приборы типа ДФС-31 позволяют в течение 2—3 мин определить содержание в чугуном образце углерода, кремния, марганца, фосфора, серы, хрома никеля и других элементов.

В последнее время применяют анализатор АН-29, который предназначен для определения содержания углерода в стали и чугуне и рассчитан на непрерывную круглосуточную эксплуатацию. Производительность его позволяет делать до 1000 анализов в сутки.

Навеска чугуна сжигается в трубчатой печи 1 (рис. 55) в потоке кислорода. Образующийся при сгорании углерода углекислый газ поглощается раствором 3, находящимся в электролитической ячейке 2, что изменяет э. д. с. индикаторной электродной системы рН-метра 6. При этом включается источник 8 генераторного тока, который протекает через датчики — катод 9 и анод 10. На катоде 9, погруженном в раствор 3, выделяется щелочь, нейтрализующая образовавшуюся при поглощении углекислого газа кислоту. Количество электричества, потребовавшегося для нейтрализации, однозначно связано с количеством поглощенного углекислого газа; оно фиксируется интегратором 13 тока, на выходе которого включены неоновые цифровые индикаторные лампы.

Работа этого прибора на заводе «Станколит» показала, что в течение 1 мин производится анализ углерода, точность которого выше, чем при обычном методе.

Большой интерес представляет термографический метод определения содержания углерода и кремния в чугуне по изменению температуры начала кристаллизации или температурного интервала кристаллизации чугуна. Метод основан на том, что температура ликвидуса t_d и интервал кристаллизации Δt чугуна зависят от углеродного эквивалента C_s . Эти параметры определяют при охлаждении образца массой 1 кг в форме 1 (рис. 56) из стержневой смеси с помощью платино-платинородиевой термопары 2 с термоэлектродами диаметром 0,5 мм, спай которых находится в центре образца. Термопара защищена кварцевым наконечником диаметром 3 мм.

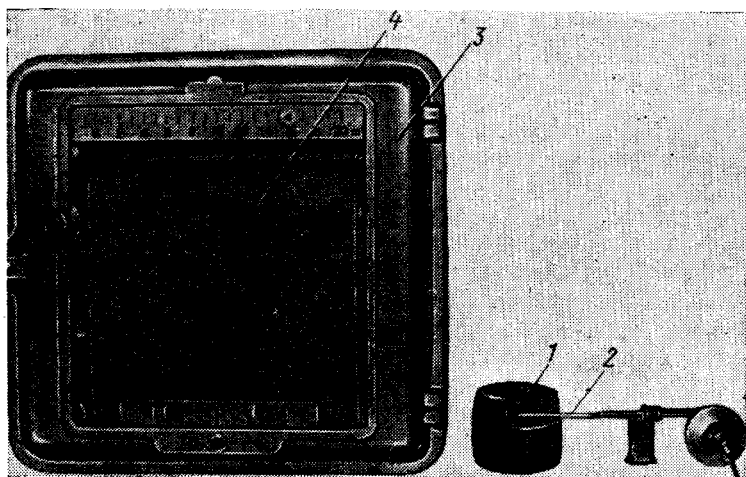


Рис. 56. Форма со встроенной термопарой для определения C_s термографическим методом

Кривая охлаждения чугуна фиксируется на ленте быстродействующего потенциометра ЭПП-0,9-(3) с временем пробега всей шкалы кареткой за 1,5 с. Подвижная линейка из плексигласа 4, проградуированная в значениях C_3 , позволяет получить быстро ответ. Определение C_3 по $t_{\text{л}}$ занимает 40 с, а по Δt — 4 мин.

Потенциометр можно установить непосредственно возле плавильной печи или в пульте контроля, расположенном на некотором отдалении от места заливки образца. В последнем случае, обеспечивающем лучшие эксплуатационные условия для прибора, его включает рабочий, заливающий образец. Результаты определения C_3 фиксируются в соответствующем журнале. Для получения стабильных показателей C_3 необходимо следующее:

качественная термопара (правильная скрутка, соответствие т. э. д. с. градуировочной характеристике);

точная установка спая термопары и защитного колпачка;

достаточно высокая температура чугуна при заливке образца, обеспечивающая четкую фиксацию $t_{\text{л}}$ на диаграмме.

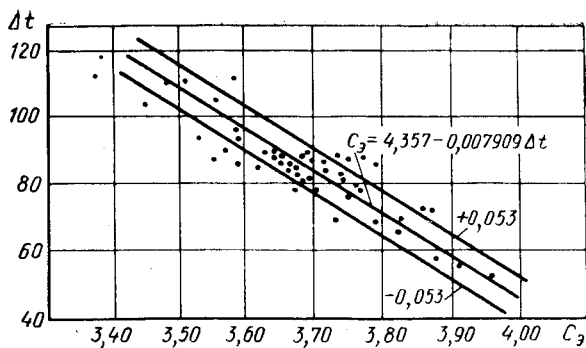
За рубежом для определения C_3 применяют формы с вмонтированными в них термоэлектродами с защитным покрытием спая. Открытые концы термоэлектродов при установке на специальный стенд контактируют с токопроводом, передающим импульс на потенциометр. При этом отпадает необходимость перед каждым замером вставлять в форму колпачок и термопару, что исключает ошибки, связанные с неправильной установкой. Термопара в таком виде служит только для одного замера, поэтому ее изготавливают из дешевого и недефицитного хромель-алюмелевого проволоки диаметром 0,35 мм с требуемой стабильностью т. э. д. с. подобная система сможет найти широкое распространение.

Доказано, что термографический метод дает возможность наряду с определением C_3 определять $\sigma_{\text{в}}$ испытываемого чугуна [73]. Необходимо отметить, что характер связи C_3 и $\sigma_{\text{в}}$ с Δt зависит от параметров, определяющих жидкое состояние чугуна. Кривые $C_3 = f(\Delta t)$ имеют различный характер для модифицированного и немодифицированных чугунов (рис. 57).

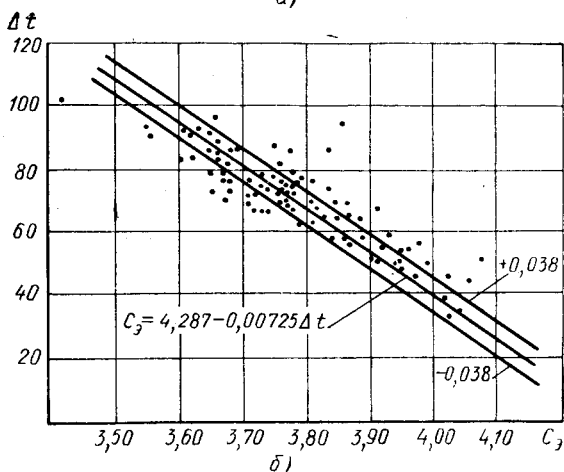
В связи с этим нельзя считать универсальными уравнения регрессии, предложенные исследователями, описывающими зависимость C_3 и $\sigma_{\text{в}}$ от Δt чугуна. Очевидно, в каждом цехе необходимо разработать градуировочные кривые для чугунов основных групп.

Значительный интерес представляет термоэлектрический метод экспресс-определения кремния, основанный на том, что при контакте горячего электрода с испытываемым образцом возникает т. э. д. с., величина которой определяется концентрацией кремния в образцах и температурой горячего электрода.

Если поддерживать точно постоянной температуру электрода, то т. э. д. с., образующаяся в точке контакта с образцом, будет



а)



б)

Рис. 57. Определение C_3 по интервалу затвердевания чугуна (Δt):

а — модифицированного; б — немодифицированного

фиксироваться электронным потенциометром, шкала которого отградуирована в процентах содержания кремния.

На рис. 58 представлен прибор, серийно выпускаемый фирмой «Richards Foundries Ltd» (Англия). Этим прибором определяют содержание кремния в процентах через 2 мин после получения литого образца. Очевидно, наиболее ценным является совместное использование двух экспрессных методов: термографического для определения C_3 и термоэлектрического для определения содержания кремния.

Склонность чугуна к отбелу. Определяется по величине отбела прямоугольной пробы, одна сторона которой при заливке соприкасается с металлической плитой 1 и затвердевает с образованием отбела (рис. 59). Пробу выбивают из стержневой формы 2 через 1,5—2 мин после заливки, охлаждают в воде и разбивают

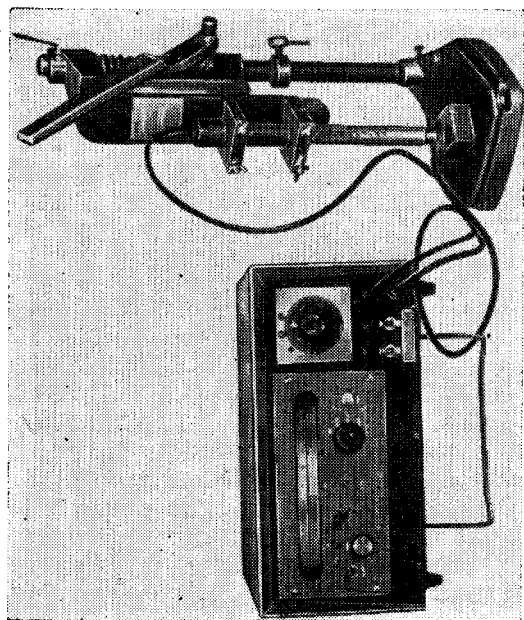


Рис. 58. Прибор фирмы «Richards» для определения кремния термoeлектрическим методом

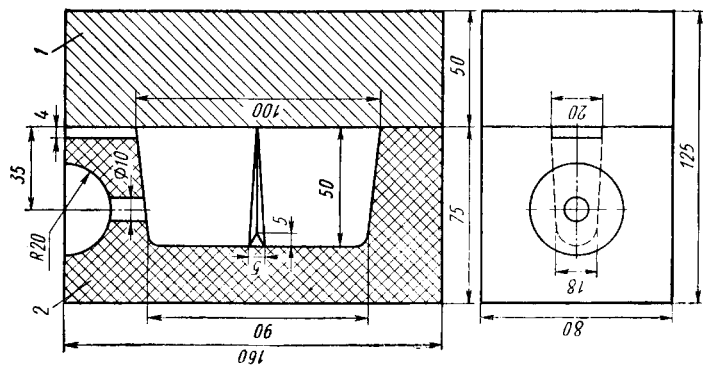


Рис. 59. Форма для заливки пробы на отбеливаемость

по пережиму. Величину отбела измеряют линейкой от плоскости соприкосновения пробы с холодильником до середины переходной зоны.

Помимо пробы толщиной 20 мм, показанной на рис. 59, используют также аналогичную пробу толщиной 8 мм. Рассматриваемая проба может характеризовать только склонность чугуна к отбелу. Была сделана попытка установить связь между глубиной отбела пробы и механическими свойствами, а также химическим составом [73]. Однако коэффициенты корреляции выведенных уравнений регрессий оказались настолько малыми, что эти уравнения не имели практической ценности.

Измерение температуры жидкого чугуна. Все известные методы измерения температуры жидкого чугуна можно разделить на две группы: а) бесконтактное измерение оптическими, радиационными и фотоэлектрическими пирометрами; б) контактное измерение термопарами погружения с различной термоэлектродной проволокой.

Основными недостатками наиболее распространенного метода измерения температур оптическими пирометрами является зависимость показаний от квалификации оператора. Кроме того, влияние факторов, искажающих показания, делает этот метод оценки температуры весьма приближенным. Радиационные и фотоэлектрические пирометры пока не нашли широкого распространения при плавке чугуна. Наиболее точную оценку температуры чугуна обеспечивают контактные методы с использованием термопар погружения.

Разработанный и внедренный в производство контактный метод¹ позволяет обеспечить непрерывное автоматическое измерение температуры жидкого чугуна и ее регистрацию.

Исследования термопар с термоэлектродами Pt—PtRh, МР20/50, ЦНИИЧМ-1, Вр5/20 показали, что при непрерывной их работе более 5—10 ч резко снижается точность измерений, термоэлектроды становятся хрупкими и термопара выходит из строя. Хорошие результаты получены при использовании вольфрамо-рениевых термоэлектродов ВР 10/20. Погрешность при непрерывном измерении температуры чугуна термоэлектродами ВР 10/20 в течение 20 ч не превышает $\pm 10^\circ \text{C}$.

Схема установки термопары ВР 10/20 в футеровке приведена на рис. 60, где термоэлектрод 1 диаметром 0,34 мм защищен синоксалевой соломкой 2 с корундовым колпачком 3 диаметром 5 мм и корундовым колпачком 4 диаметром 10 мм, вставленным в стальную трубку 6, которая находится в футеровке 5.

Выступающий из футеровки конец термопары находится в ванне чугуна, скапливающегося в копильнике, или в струе чугуна на переходном желобе из вагранки в копильник.

¹ «Литейное производство», 1966, № 7.

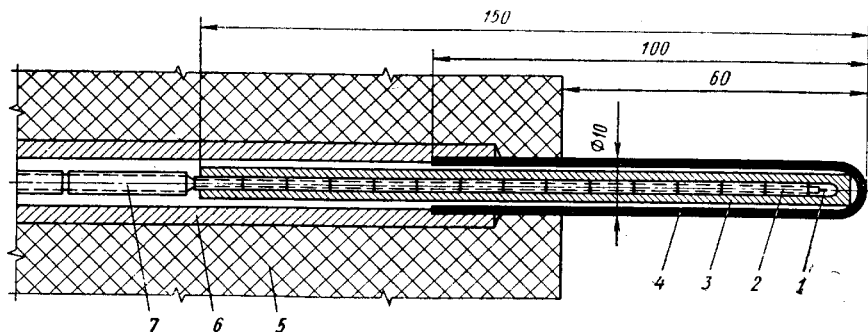


Рис. 60. Схема установки термопары для измерения температуры чугуна в ко-
пильнике вагранки

Импульс от термопары передается на потенциометр, на котором стрелка показывает текущую температуру в данный момент, а запись на диаграмме фиксирует температуру чугуна в течение всей плавочной кампании.

Микроструктура чугуна в отливке. Существующая на большинстве машиностроительных заводов методика контроля микроструктуры чугуна в стандартном отдельно залитом образце диаметром 30 мм, а также в образце из отливки, вырезанном из случайного места или из приливной пробы, не могут дать полное представление о структуре в рабочей части отливки.

Наиболее достоверным методом является определение микроструктуры непосредственно в чугуне отливки. Изготовление шлифа на отливке и изучение его специальным переносным микроскопом весьма трудоемко и не обеспечивает надлежащей точности. Надежным методом определения структуры чугуна является высверливание проб для шлифов из рабочих мест отливки на заданной глубине при помощи трипковой фрезы или сверла (рис. 61). В этом случае может быть изучена структура чугуна непосредственно рабочей поверхности.

Практически, для оценки микроструктуры поверхности отливки, подвергающейся износу, высверливают пробу высотой, приближающейся к припуску на обработку. Иногда, при малом припуске на обработку, в месте, где высверливают пробу, предусматривают платик высотой 5—8 мм.

В соответствии с ГОСТ 3443—57 за величину графитовых включений принимают среднюю длину из трех наиболее крупных включений графита, видимых под микроскопом при увеличении в 100 раз.

Вышеуказанный метод в ряде случаев не обеспечивает требуемую точность в связи с неравномерным распределением включений графита. Для установления влияния числа измерений на точность определения были исследованы образцы с включениями графита

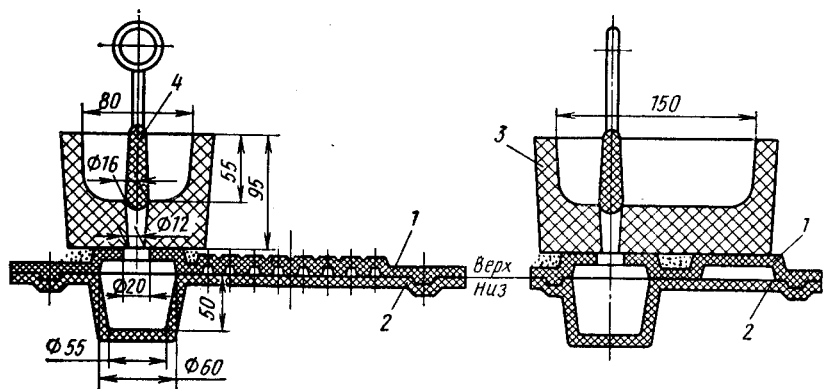


Рис. 62. Спиральная проба для определения жидкотекучести чугуна:

1 и 2 — верхняя и нижняя оболочки; 3 — заливочная чаша; 4 — графитовая пробка

длиной Гд7—Гд8, характерной для массивных направляющих станочных отливок [125].

Была определена зависимость между числом измерений длины графитовых вclusions и ошибкой среднего значения по результатам n измерений:

Число измерений n	1	3	5	10	15
Ошибка, $\pm \%$	33	19	15	10,5	8,5

С учетом требуемой точности по этим данным можно выбрать необходимое число измерений длины включений графита.

Жидкотекучесть. От жидкотекучести чугуна в решающей степени зависит качество отливки. Для определения жидкотекучести применяют различные пробы, которые, однако, часто дают несопоставимые результаты. Наиболее распространенной пробой на жидкотекучесть является спираль, для которой предложены различные методы заполнения металлом. Один из таких вариантов, предложенный на заводе «Станколит», был испытан при проведении исследований и повседневного контроля. Он показал высокую степень воспроизводимости результатов.

Особенностью представленной на рис. 62 оболочковой формы является заливочная чаша 3 емкостью 600 см³, отверстие в которой закрывается предварительно прогретой до 600—800° С графитовой пробкой 4. Сначала металл после подъема пробки сливается в зумпф объемом 250 см³, а затем плавно заполняет спираль.

Используя различные ковшовые добавки и изменяя их порцию, можно регулировать в широких пределах свойства и структуру чугуна, выплавленного по единой шихте. Эта возможность особенно важна при выплавке чугуна в вагранке и при плавке в индукционных печах «на болоте» при использовании единой шихты.

В то же время этим методом можно производить «доводку» чугуна в тех случаях, когда непредвиденные изменения металлургического процесса плавки влияют на свойства выплавленного чугуна.

Усвояемость ковшовых добавок. Вне зависимости от того, какие ковшовые добавки используются, к числу показателей, характеризующих эффективность процесса, относятся: 1) коэффициент усвоения, являющийся отношением фактического изменения количества исследуемого элемента к количеству элемента, введенному в чугун; 2) равномерность растворения используемого в качестве добавки сплава во всем объеме чугуна в ковше.

Для изучения этих показателей определяли концентрацию введенного в чугун элемента в различных участках отливки или в пробах, отобранных со струи металла в процессе заливки формы.

Рассмотрим, какие технологические параметры оказывают влияние на коэффициент усвоения и равномерность растворения ковшовых добавок.

Температура чугуна в момент ввода ковшовых добавок очень влияет на процесс. Высокая температура чугуна способствует наиболее полному растворению добавок, а снижение вязкости более равномерному распределению легирующих элементов благодаря интенсификации конвекционных потоков и диффузионных процессов. Повышение температуры чугуна необходимо еще и потому, что на нагрев и растворение ковшовых добавок затрачивается теплота жидкого чугуна.

Для изучения влияния этого фактора определяли температуру чугуна в копильнике и в ковше при введении ковшовых добавок в струю металла на желобе и без ковшовых добавок. Обработка большого числа данных показала, что при введении 1% различных добавок снижение температуры чугуна составляет от 6 до 10° С.

При этом необходимо также учитывать влияние перегрева на свойства чугуна. Так, в табл. 21 показано влияние перегрева и модифицирования ферросилицием на состав, структуру и механические свойства чугуна.

При повышении температуры чугуна увеличивается склонность его к отбелу. Объяснить это только снижением содержания углерода нельзя. Очевидно, решающую роль играет степень перегрева чугуна. Действенным методом снижения склонности к отбелу является модифицирование, интенсивность которого увеличивается при повышении степени перегрева чугуна (табл. 21).

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРЕВА И МОДИФИЦИРОВАНИЯ
ФЕРРОСИЛИЦИЕМ НА СОСТАВ, СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ЧУГУНА [41]

Исследуемые параметры	Температура перегрева ¹ , °C			
	1350		1550	
	Чугун			
	немоди- фициро- ванный	модифи- цирован- ный	немоди- фициро- ванный	модифи- цирован- ный
Содержание, %:				
С	3,37	3,35	3,14	3,16
Si	1,77	2,03	1,79	2,12
Глубина отбела пробы, мм	11,5	8	30	14
Число эвтектических зерен на 1 см ²	90	144	25	100
δ _в , кгс/мм ²	19,2	18,5	21,5	24,3

¹ Выдержка 30 мин.

С увеличением размеров кусков ферросплавов уменьшается его усвояемость металлом:

Размер кусков, мм	Усвояемость, %
20—10	54,6
10—4	61,7
4—1	89,1

Эксперименты показали, что в зависимости от размеров кусков, например ферромolibдена, вводимого в ковш емкостью 3 т, изменяется и равномерность растворения молибдена по объему чугуна (табл. 22).

Очевидно, оптимальный размер кусков зависит от физических свойств добавки, метода ее ввода и т. д. и в каждом случае должен быть уточнен.

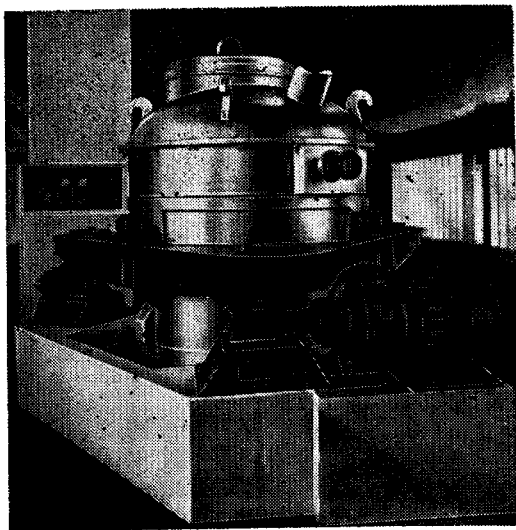
Учитывая указанное влияние на эффективность использования ковшовых добавок, зарубежные фирмы поставляют модифи-

Таблица 22

ЗАВИСИМОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ МОЛИБДЕНА
ОТ РАЗМЕРОВ КУСКОВ ФЕРРОМОЛИБДЕНА

Размер кусков, мм	Содержание Мо (%) в пробах жидкого чугуна, взятых на различной высоте ковша (мм)				Максимальный разброс, %
	300	600	900	1200	
20—10	0,37	0,42	0,56	2,50	2,13
10—4	0,36	0,41	0,50	1,65	1,29
4—1	0,50	0,49	0,50	0,51	0,02

Рис. 64. Установка для перемешивания металла в ковше



цирующие добавки для чугуна с величиной зерна от 0,2—1 мм (90%).

Метод ввода ковшовых добавок в чугун.

Скорость растворения твердых добавок в жидком сплаве лимитируется транспортировкой

частиц внутри сплава [123]. Разрушение кристаллической решетки, разрыв старых и образование новых связей происходит относительно быстро. Поэтому для ускорения растворения добавки важно не только увеличение поверхности взаимодействия (размельчение), но и интенсивное перемешивание сплава.

Для этой цели за рубежом разработаны установки различной конструкции, одна из которых представлена на рис. 64. Ковш с металлом устанавливается и закрепляется на стенде, который приводится во вращение. Металл в ковше начинает вращаться и интенсивно перемешивается. Подобной обработке подвергают чугун в ковшах емкостью до 25 т.

На рис. 65 представлен участок плавильного отделения, на котором чугун из вагранки 1 попеременно выдается в один из ковшей 2. После введения добавок ковш устанавливается на перемешивающий стенд 3, затем на разливочный стенд 4, где чугун заливается в ковши, транспортируемые по монорельсу 5.

В ФРГ на станкостроительном заводе Manesmann—Meyer чугун, перегретый до 1520° С, из вагранки выпускается в ковш емкостью 15 т и перемешивается на стенде. В цехе используется единая шихта и в соответствии с последовательностью заливки различных отливок в чугун вводят по расчету разные добавки и получают легированные и нелегированные чугуны требуемых составов.

Широко распространен способ перемешивания чугуна после введения в него добавок продувкой его азотом через пористые корундовые пробки, установленные в днище ковша (gasal — процесс) [144].

Когда нецелесообразно использовать специальные устройства, эффективность процесса можно повысить путем равномерного ввода мелко раздробленных добавок в струю чугуна на желобе печи. Равномерность ввода добавок достигается при использовании вибрационных дозаторов. При этом происходит предварительный прогрев добавки до попадания ее в ковш и равно-

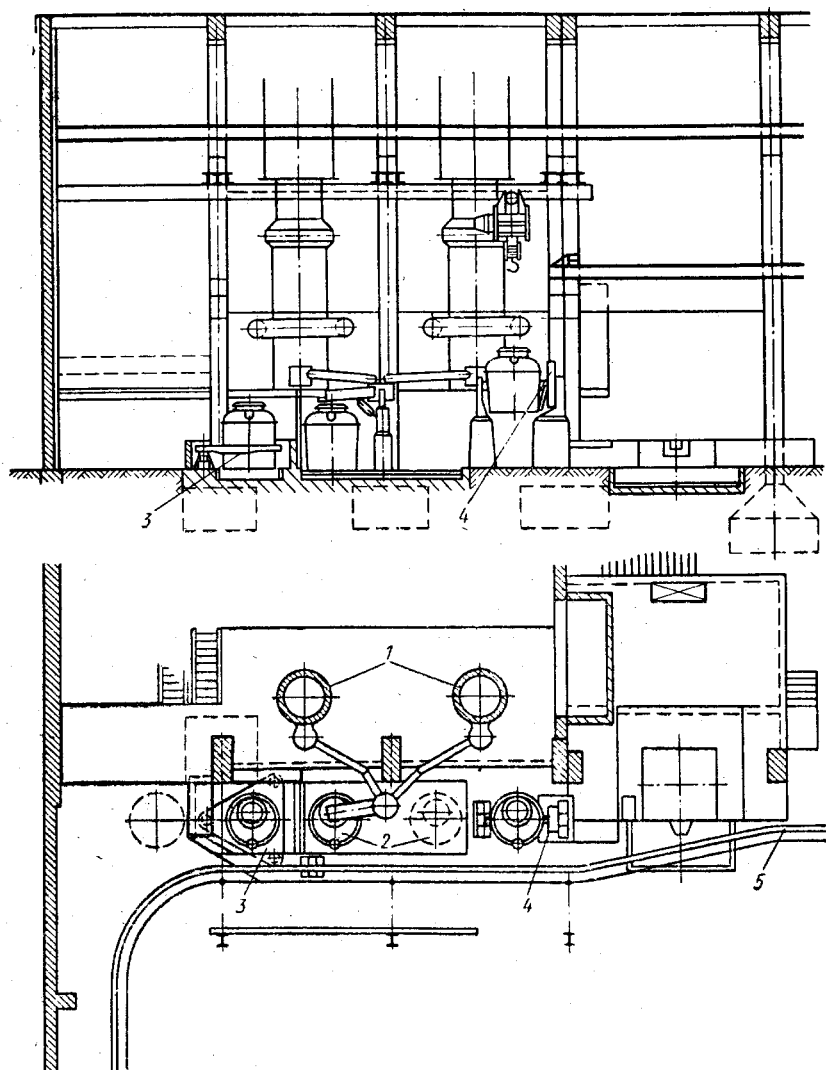
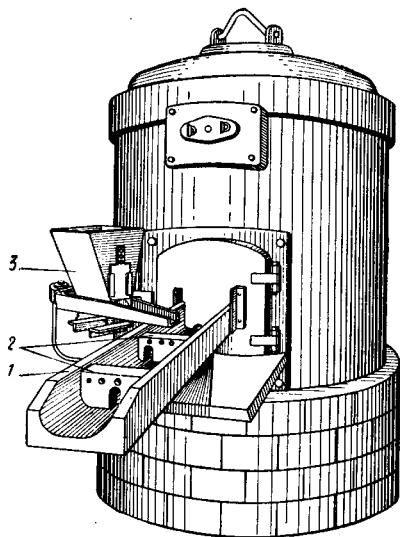


Рис. 65. Плавильно-заливочное отделение с установкой для перемешивания металла в ковше

Рис. 66. Шлюзовое устройство на желобе копильника

мерное растворение в момент падения струи на поверхность чугуна в ковше.

В случае введения трудно растворимых добавок хорошие результаты достигаются при применении представленного на рис. 66 шлюзового устройства 2 на желобе копильника 1, обеспечивающего интенсивное перемешивание металла и растворение равномерно подаваемых дозатором 3 добавок. Шлюзовое устройство используют для введения таких добавок, как ферромolibден, феррохром, никель в количестве до 1,5—2,0% от массы чугуна.



МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫМИ ФЕРРОСПЛАВАМИ И МАЛОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ

В качестве модифицирующей добавки в большинстве случаев используют ферросилиций (ФС75), а в качестве легирующих добавок такие ферросплавы, как феррохром, ферросиликохром, ферромарганец и др.

Количество вводимых сплавов относительно велико, поэтому в ряде случаев добавки оказывают модифицирующее и легирующее действие. Например, при введении обычной порции ФС75 (0,4—0,8%) содержание кремния в чугуне увеличивается на 0,25—0,50%. Такое существенное изменение состава чугуна исключает возможность выявления эффективности собственно модифицирования путем сравнения свойств чугуна до и после введения в него добавки. Для этой цели нужно сравнить модифицированный и немодифицированный чугун с одинаковым содержанием кремния и других элементов.

Таким методом исследования установлено, что в основном модифицирование ферросилицием обеспечивает снижение склонности чугуна к отбелу, предотвращение кристаллизации междендритного графита и уменьшение величины эвтектического зерна.

Рассмотрим области рационального применения модифицирования для различных групп станочного литья. Отливки малой

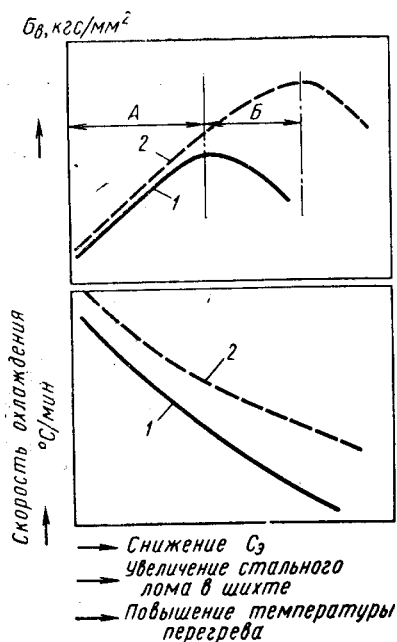


Рис. 67 Схема влияния основных технологических параметров (критической скорости охлаждения и др.), а также модифицирования на механические свойства и отбеливаемость чугуна

массы в ряде случаев имеют стенки толщиной до 4—5 мм, и для предотвращения отбела необходимо применять чугун с высоким содержанием углерода и кремния. Но это вызывает затруднение, когда тем же чугуном, выплавленным в одном агрегате, по единой шихте, приходится одновременно заливать отливки большей массы. Подобная трудность возникла в одном из литейных цехов станкостроения, где из чугуна, содержавшего 3,3% С и 2,0% Si, получали на конвейере отливки массой до 100 кг, что

обеспечивало требуемое качество (НВ 180, перлитная структура). При использовании этого же чугуна на конвейере мелкого литья отливки с толщиной стенки до 6—7 мм и массой до 2 кг систематически получали с отбелом на кромках и в тонких стенках. В этом случае модифицирование чугуна добавкой 0,2—0,3% ФС75 в разливочный ковш емкостью 200 кг полностью устранило отбел и позволило использовать один базовый чугун для обоих конвейеров.

Наиболее распространен метод модифицирования высококачественных чугунов с $\sigma_b = 28 \text{ кгс/мм}^2$ и выше. Основой технологии получения таких чугунов является введение стального лома в шихту, снижение величины углеродного эквивалента, высокий перегрев чугуна. Каждый из этих факторов в отдельности способствует увеличению количества и повышению дисперсности перлита, размельчению графита и повышению прочности. Но при этом увеличивается склонность чугуна к отбелу и междендритной кристаллизации графита. Модифицирование позволяет в определенных пределах предотвращать эти отрицательные явления.

Как видно из схемы, представленной на рис. 67, указанные выше факторы до определенного предела (область А) обеспечивают повышение прочности немодифицированного чугуна 1.

В этой области модифицирование не способствует повышению прочности контрольного сечения, в котором получается нормальная структура серого чугуна. Следовательно, если в контрольном

сечении нужно получить прочность не выше $\sigma_{в(1)}^{\max}$, то модифицирование на прочность не влияет (кривая 2). Положительно влияет модифицирование в основном на повышение критической скорости охлаждения (т. е. скорости охлаждения, при которой начинается выделение структурно-свободного цементита). Это относится, в частности, к приведенному выше примеру модифицирования чугуна для мелких отливок.

В области Б, когда скорость охлаждения чугуна в контрольном сечении превышает критическую, в немодифицированном чугуне появляется структурно-свободный цементит и междендритный графит, ухудшающие механические свойства. Модифицирование предотвращает выделение этих структурных составляющих и позволяет использовать влияние указанных факторов в более широком интервале значений для повышения прочности до $\sigma_{в(2)}^{\max}$.

При изготовлении отливок для корпусных деталей станков, где требуются по техническим условиям заданные микроструктура и твердость в массивных рабочих сечениях, модифицирование часто является наиболее рациональным методом, позволяющим применять низкоуглеродистые ваграночные чугуны, выплавленные с высоким содержанием стального лома в шихте, или синтетические электропечные чугуны, предотвращающие образование отбела в тонких стенках отливок.

Рациональной областью использования метода ковшовых добавок является также малое легирование такими элементами, как марганец, хром, молибден, медь, никель и др. Это расширяет возможности широкого использования единой шихты. На базе чугуна с $C_s = 3,6 \div 3,75$ путем введения феррохрома, ферросиликохрома, ферромарганца можно повысить прочность при растяжении с 28 до 32 кгс/мм² (рис. 68). Введение в виде ковшовой добавки ферромolibдена позволяет получить чугун с $\sigma_s = 40$ кгс/мм².

Однако использование таких дорогих и дефицитных материалов, как ферромolibден, никель и медь, допускается лишь в исключительных случаях (например, для станин станков особо высокой точности), когда другими методами обеспечить заданные свойства не представляется возможным.

Т а б л и ц а 23

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О РАВНОМЕРНОСТИ РАСТВОРЕНИЯ
ФЕРРОХРОМА И ФЕРРОСИЛИКОХРОМА В ЧУГУНЕ

Ферросплав, его состав	Содержание Cr (%) в пробах жидкого чугуна, взятых на разных высотах ковша (мм)				Максимальный разброс, %
	300	600	900	1200	
Феррохром ФХ650: 71,6% Cr; 7,8% C; 1,3% Si	0,24	0,36	0,32	0,29	0,12
Ферросиликохром ФСХ30: 46,4% Cr; 1,5% C; 30,6% Si	0,32	0,34	0,34	0,34	0,02

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ПОЛУЧЕ

Шихта	Химический состав, %					Содержание стального лома в шихте, %	Ковшовые добавки	
	C	Si	Mn	Cr	другие элементы		Ферросплавы	Количество, % массы жидкого чугуна
A1 (базовая)	3,4	2,15	0,8	до 0,1	—	5—8	—	—
A2	3,4	2,25	0,8	0,3—0,4	—	5—8	Ферросиликохром ФСХ30	0,6
A3	3,4	2,65	0,8	до 0,1	—	5—8	Ферросилиций ФС75	0,8—0,9
B1 (базовая)	3,2	1,55	0,9	0,25	—	15—20	—	—
B2	3,2	1,65	0,9	0,25	—	15—20	Ферросиликохром СФХ30 Ферросилиций ФС75	0,5 0,2—0,5
B3	3,2	1,85	0,9	до 0,1	—	15—20	Ферросилиций ФС75	0,4—0,6
B1 (базовая)	3,1	1,65	1,1	до 0,1	—	25—30	Ферросилиций ФС75	0,4—0,7
B2	3,1	1,55	1,1	0,15	1 Ni 0,35 Mo	25—30	Ферросилиций ФС75 Ферромолибден Ферросиликохром ФСХ30 Никель	0,25 0,7 0,25 1,0
B3	3,1	1,85	1,1	0,15	1 Ni 0,35 Mo	25—30	Ферросилиций ФС75 Ферромолибден Ферросиликохром ФСХ30 Никель	0,7 0,7 0,25 1,0
B4	3,1	1,65	1,1	0,15	1 Ni	25—30	Ферросилиций ФС75 Ферросиликохром ФСХ30 Никель	0,4 0,25 1,0
G1 (базовая)	3,0	1,65	1,15	до 0,1	—	30—35	Ферросилиций ФС75	0,4—0,6
G2	3,0	1,55	1,15	0,25	—	30—35	Ферросиликохром ФСХ30	0,45
D1	2,9	1,55	1,2	0,20	—	35—45	Ферросиликохром ФСХ30 Ферросилиций ФС75	0,3 0,6—0,8

* Проба на отбеливаемость размером 50×8 мм, в остальных случаях размеры проб

НИИ ЧУГУНА ДЛЯ СТАНОЧНЫХ ОТЛИВОК

Глубина отбела пробы, мм	Минимальная толщина стенки отливки без отбела, мм	Марка получаемого чугуна	Характеристика отливок			Примечания	
			Классификация по ТУ 2-024-708-67	Масса, кг, не более	Толщина направляющих, мм, не более		
4—8 *	8	СЧ 21-40	Классы 2 и 3 — группа а и класс 4	50	—	При малых толщинах стенки в рабочих узлах можно получить твердость и структуру, удовлетворяющие требованиям классов 2 и 3 группы б	
8—15 *	10	СЧ 21-40		300	—		
До 2 *	5	СЧ 18-36		2	—		
10—20	12	СЧ 24-44	Класс 1 — группа б, класс 2 — группы а и б, класс 3 — все группы	1500	60	—	
15—22	12	СЧ 28-48			60—90		
5—10	8	СЧ 21-40	Класс 3 — все группы		40	Отливки сложной конфигурации со склонностью к трещинообразованию	
10—15	12	СЧ 28-48	Класс 1 — группы а, б и в, класс 2 — группы б и в		60	—	
10—15	14	СЧ 36-56			100	Чугун, легированный никелем и молибденом, используется только для изготовления деталей особо точных станков при значительной разнице в толщине стенок и повышенных требованиях к прочности и износостойкости	
8—12	10	СЧ 32-52		6000			70
10—15	12	СЧ 28-48					
15—20	14	СЧ 28-48		до 3000	60	—	
18—22	16	СЧ 28-48					75
20—25	17	СЧ 32-52	Класс 1 — группы а, б и в, класс 2 — группы б	6000	100	—	

50×20 мм.

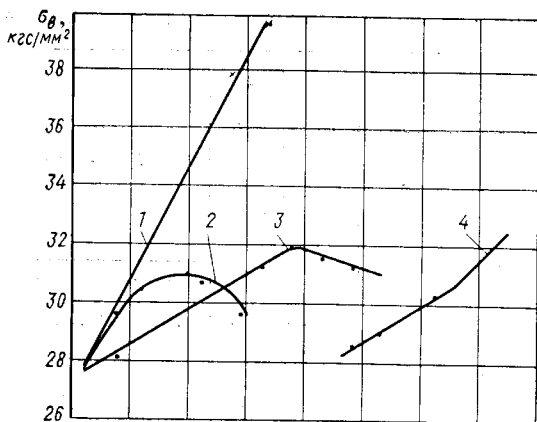
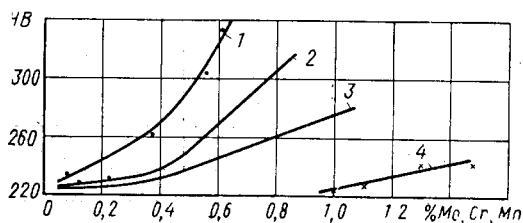


Рис. 68. Влияние легирования на механические свойства чугуна:

1 — ферромolibден; 2 — феррохром; 3 — ферросиликохром ФСХ30; 4 — ферромарганец



При легировании чугуна хромом наиболее рационально использовать в виде ковшовой добавки ферросиликохром ФСХ30 или ФСХ40, так как модифицирующее и легирующее действие кремния уменьшает опасность выделения структурно-свободного цементита в тонких стенках отливки при повышении содержания хрома (рис. 68).

Как видно из данных, представленных в табл. 23, ферросиликохром имеет преимущество перед феррохромом и в отношении равномерности растворения, которое можно объяснить более низкой температурой плавления.

Преимуществом ферросиликохрома является также возможность получения этого материала в гранулированном виде. При поставке в кусках дробление его осуществляется значительно легче, чем феррохрома.

При изготовлении отливок с относительно большой толщиной стенок, когда нет опасности получения отбела, целесообразно в качестве ковшовой добавки использовать ферросиликохром ФСХ18 (18% Si).

На основе исследований различных ковшовых добавок, проведенных на заводе «Станколит», разработаны технологические варианты получения чугунов для деталей станков массой до 5 т (табл. 24).

Использование нескольких технологических вариантов получения чугуна одной и той же марки связано со специфическими условиями завода и дает возможность:

а) выбирать для данной отливки такой чугун, который обеспечивает не только требуемую прочность образца, но и заданную структуру и твердость рабочего сечения отливки.

б) из чугуна, выплавленного в вагранке по базовой шихте, получать отливки различной массы, конфигурации при различных требованиях к структуре и твердости в рабочих сечениях. В качестве примера можно привести чугуны с индексом «А», используемые на четырех конвейерах для отливок массой 0,2—250 кг со значительной разницей в толщинах стенок.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ И МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ

Использование ферросилиция в качестве модификатора и малое легирование ковшовыми добавками наряду с преимуществами, о которых говорилось выше, имеют и следующие недостатки.

1. Существенно повышается содержание кремния, что ухудшает структуру и снижает твердость массивных рабочих узлов (направляющих) станочных отливок.

2. При введении сравнительно большого количества ферросплава снижается температура чугуна. Чем меньше разливочные ковши и ниже перегрев чугуна, тем большую опасность это представляет.

Проведено много исследований по замене ферросилиция многокомпонентными сплавами, обладающими более сильным модифицирующим действием (комплексные модификаторы), а также использованием элементов, введение которых в небольшом количестве (до 0,1%) значительно влияет на свойства чугуна в отливке (микролегирующие).

В ряде исследований изучалось влияние различных элементов на повышение эффективности действия модификаторов, в которых основным элементом является кремний. Установлено, что эффективность действия промышленного ферросилиция определяется содержанием в нем кальция $\sim 0,8\%$ [41].

Введение в промышленный силикокальций 3—5% Ва значительно повышает модифицирующую способность ферросплава [154].

В работах [139, 141] описан модификатор, представляющий собой ферросилиций с 2% Sr. Преимуществом нового модификатора перед другими комплексными модификаторами является более интенсивное снижение склонности к отбелу и дендритной кристаллизации графита. В то же время этот модификатор не содержит алюминия, способствующего образованию пористости.

В табл. 25 приведены составы некоторых комплексных модификаторов, применяемых за рубежом.

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕКОТОРЫХ КОМПЛЕКСНЫХ
МОДИФИКАТОРОВ, %**

Модификатор	Si	Ca	Al	Ce	Ba
Синергетический	36	18	2,5	8	—
MB-1	35—45	10—15	5—15	—	7—15
MB-2	60—65	2—4	7—8	—	6—8
MB-3	60—65	10—15	7—12	—	1—2
MC	60—65	8—9	2,6—2,8	—	—
FeSi—Sr	60—75	—	—	—	—
Эскалой	52	9	1,5	—	—
CaSi—Ba	55—60	28—25	—	—	3—5
Si—Mn—Ca—Ba	62,5	2,1	1,3	—	5
Si—Mn—Zr—Ba	62,5	2,5	1,5	—	2,5

Модификатор	Mg	Zr	P. З. М	Fe	Прочие элементы	Литера- турный источник
Синергетический	—	—	4% La	23	4,5 Ti	[114]
MB-1	—	—	—	10—40	—	} [153]
MB-2	—	0,4—0,6	—	—	—	
MB-3	1—2	0,4—0,6	—	8—11	—	
MC	0,2—1,2	—	—	Модификатор с высоким содержа- нием углерода		
FeSi—Sr	—	—	—	23—35	2% Si	[141]
Эскалой	0,3	—	—	10	25% C	} [154]
CaSi—Ba	—	—	—	Осталь- ное	—	
Si—Mn—Ca—Ba	—	—	—		10% Mn	
Si—Mn—Zr—Ba	—	6	—	—	6% Mn	[150]

Сравнительное исследование различных комплексных модификаторов проводится в ЭНИМСе совместно с заводом «Станколит». Предварительные данные показывают, что индукционный чугун, модифицированный силикомишметаллом, обладает более высокой прочностью, меньшей склонностью к отбелу и меньшей величиной графитовых включений по сравнению с чугуном, модифицированным ферросилицием. Высокая эффективность достигнута также при использовании модификатора, содержащего 9% бария, 5% кальция, 6% алюминия и 52% кремния. Однако имеющиеся данные недостаточны для окончательного суждения об эффективности и области применения различных комплексных модификаторов при получении чугуна для станочных отливок.

Микролегирование чугуна является перспективным процессом для станкостроения в связи с тем, что получение микроструктуры и твердости, обусловленной ТУ, в толстых сечениях крупного и тяжелого литья представляет большие трудности. В этом случае

такие методы, как снижение C_s , перегрев чугуна и др., оказываются недостаточно эффективными. Увеличение массы отливки ограничивает и эффективность действия холодильников относительно небольшим по толщине слоем чугуна, иногда находящимся в пределах припуска на механическую обработку.

В этих условиях легирование элементами, способствующими увеличению количества и повышению дисперсности перлита, размельчению графита и повышению твердости является весьма актуальным. В лабораторных и промышленных исследованиях было показано, что при литье деталей массой 6000—15 000 кг добавки хрома, никеля, меди и титана отдельно и в комплексе существенно не влияют на структуру чугуна и твердость в направляющих после их механической обработки [18]. Использование чугуна, комплексно легированного молибденом, никелем и хромом (например, чугуны В2 и В3 в табл. 24), ограничено в связи с высокой стоимостью и дефицитностью ферромолибдена и никеля.

Поэтому делались попытки использовать микролегирование элементами, оказывающими сильное карбидизирующее влияние на чугун [18, 19, 72, 109 и др.]. В чугун, содержащий 0,3% Cr и 0,3% Ni , вводился в виде ковшевой добавки ферробор в количестве, обеспечивающем содержание бора до 0,08%. Установлено, что при этом размельчаются графитовые включения, повышается дисперсность перлита и появляется равномерно распределенная фосфидоборидная эвтектика. Твердость направляющих отливок массой 2800—15 500 кг после механической обработки получается в пределах HV 190—220, в то время как в нелегированном чугуне соответственно HV 160—180.

Результаты исследования влияния бора (0,01—0,1%) на структуру и свойства чугуна для станочных отливок представлены в работе [72]. Установлено, что бор способствует увеличению количества и размельчению перлита и эвтектического зерна. Не подтверждаются данные работы [18] о размельчении графитовых включений. В зависимости от величины C_s и скорости охлаждения, при определенном содержании бора, в структуре появляется сплошная сетка цементитной эвтектики, располагающаяся по границам зерен. При этом в 1,5—2 раза повышается износостойкость чугуна. Использование чугуна, микролегированного бором, допустимо лишь в тех случаях, когда повышенный износ сопряженной пары не сказывается на точности работы станка (см. главу I). Микролегирование бором (0,04—0,05%) целесообразно производить в виде ковшевых добавок ферробора или ферроборала на струю чугуна на желобе.

В исследованиях чугуна, микролегированного бором, отмечается эффект графитизации и ферритообразования при введении малых количеств бора (0,001—0,002%), что может быть объяснено взаимодействием бора с азотом, растворенным в чугуне. Для проверки этой гипотезы были проведены опыты по следующей методике. Чугун с $C_s = 3,3 \div 3,4\%$, содержащий

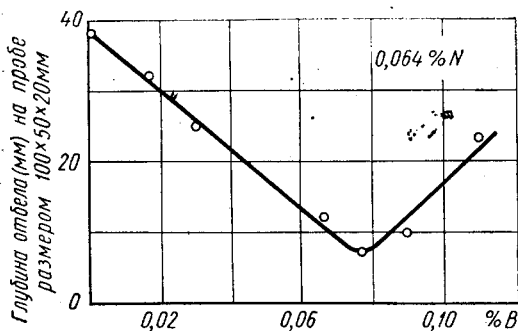


Рис. 69. Влияние совместного введения бора и азота на макроструктуру чугуна

азот до 0,1%, микролегировали бором, который вводили в виде ферробора с содержанием 7,9% В. Склонность к отбелу определяли по технологической пробе (см. рис. 39).

Результаты одной серии опытов с чугуном, содержащим 0,064% N, представлены на рис. 69. Подобные кривые получены при исследовании чугунов с различным содержанием азота. Эти исследования показывают, что при определенных соотношениях бора и азота, близких к стехиометрическому, соответствующему образованию нитрида бора, резко интенсифицируется графитизация чугуна. Можно предположить, что нитриды бора, имеющие гексагональную кристаллическую решетку с параметрами, близкими к решетке графита, могут служить центрами графитизации. Предварительные опыты показали, что на основе смеси ферросплавов, содержащих бор и азот, можно разработать новый комплексный модификатор.

ЖИДКИЕ КОВШОВЫЕ ДОБАВКИ

Во многих работах описан опыт ряда литейных цехов по использованию жидких ковшовых добавок для регулирования структуры и свойств чугуна. Обычно этот метод называют «жидким модифицированием», хотя, по мнению автора, в опубликованных работах недостаточно теоретических предпосылок или экспериментальных данных, подтверждающих эффект модифицирования.

Сущность метода заключается в том, что в двух плавильных агрегатах выплавляются чугуны, существенно отличающиеся величиной S_g . Смешивание в различных количествах «жесткого» и «мягкого» чугунов позволяет получать чугуны различных марок и регулировать склонность чугуна к отбеливанию. Эта технология не получила широкого распространения из-за трудностей, связанных с синхронизацией работы двух плавильных агрегатов.

Представляет значительный интерес процесс, разработанный и внедренный в литейном цехе Краснодарского станкостроительного завода им. Седина, где смешивали мягкий ваграночный чугун ($S_g = 0,9 \div 0,95$) с синтетическим чугуном ($S_g = 0,6 \div 0,7$), выплавленным в индукционной печи емкостью 1 т. [42].

Увеличение количества синтетического чугуна от 20 до 80% позволяет повысить прочность при изгибе с 35 до 60 кгс/мм², а твердость с HB 170 до HB 220. Свойства повышаются благодаря размельчению графита и получению более дисперсного перлита.

Глава III

Технологичность литых деталей станков

1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОТЛИВОК

При анализе технологичности литой детали учитывают опыт изготовления подобных отливок.

Технологичными считают детали, конструкции которых отвечают требованиям как технологии механической обработки, так и технологии литейного производства, а также всем условиям эксплуатации.

Технологичные литые детали должны иметь:

1) простые и прямолинейные общие контуры, облегчающие изготовление модельных комплектов, а также процессы формовки, сборки форм и очистки отливок;

2) рациональную толщину стенок в различных сечениях, что обеспечивает необходимую прочность конструкции и возможность заполнения формы металлом;

3) плавные переходы в сопряжениях различных сечений, способствующие снижению внутренних напряжений в отливке;

4) достаточное число окон для удобной и надежной проставки стержней, вывода из них газов и очистки внутренних полостей отливки;

5) конструктивные уклоны, обеспечивающие изготовление формы без усложняющих приемов и искажения контуров отливки формовочными уклонами;

6) возможность транспортирования различными средствами.

Литые детали не должны иметь выступающих частей, тонкостенных ребер, глубоких впадин, закрытых полостей и поднутрений, затрудняющих формовку (из-за увеличения числа стержней) и механизацию процессов.

Выполнение этих требований способствует предотвращению дефектов в отливках, достижению заданной точности и минимальной трудоемкости изготовления отливок.

При конструировании литых деталей необходимо учитывать литейные свойства металлов: жидкотекучесть, усадку, ликвацию, склонность к образованию газовых раковин и т. д. Только с учетом этих свойств можно создать правильную конструкцию и в значительной степени предотвратить возникновение дефектов в отливках.

Условия получения отливок с минимальными внутренними напряжениями. Линейная усадка металла отливок — основная причина появления в них остаточных напряжений. Для станочных отливок, имеющих сложные контуры и большую разностенность, характерна затрудненная усадка из-за механического или термического торможения ее, а также совместного их действия. В результате в отливках при определенных температурах возникают остаточные напряжения.

При температуре около 900°C чугун не имеет пластических и прочностных свойств (рис. 70), что определяет образование в этой температурной зоне горячих трещин в отливках. С понижением температуры пластичность чугуна возрастает, достигая максимума при 800°C , затем резко уменьшается (до 700°C) и становится незначительной около 300°C . Одновременно происходит повышение прочностных свойств, достигающих максимума примерно при 400°C . В случае превышения внутренними напряжениями в результате торможения усадки отливки прочностных свойств чугуна в отливке при $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ образуются холодные трещины.

Выполнение плавных переходов и выравнивание скорости охлаждения различных сечений уменьшают внутренние напряжения в отливках, а увеличение толщины их стенок и введение ребер жесткости повышают прочность опасных сечений и сопротивляемость отливки возникновению холодных трещин.

Для оценки склонности отливки к образованию трещин С. А. Шевчук, Н. Д. Егоркина и В. С. Дьяконов предлагают критерий трещинообразования (рис. 71):

$$K_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{ст}}}{F_{\text{отл}}} \left(1 + \frac{l_{\text{м}}}{L} \right),$$

где $F_{\text{ст}}$ — суммарная площадь поперечных сечений внутренних полостей отливки; $F_{\text{отл}}$ — площадь поперечного сечения отливки;

$l_{\text{м}}$ — расстояние между центром тяжести отливки (ц. т.) и центром давления стержней (ц. д.); L — габаритный размер отливки [126].

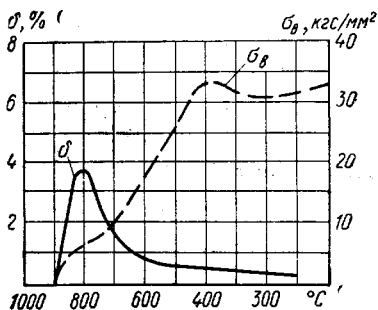


Рис. 70. Зависимость механических свойств серого чугуна от температуры (данные Л. С. Константинова)

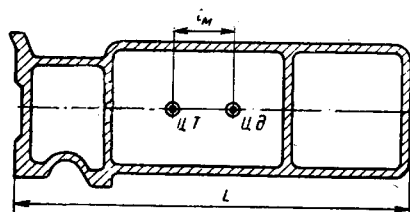


Рис. 71. К определению критерия трещинообразования

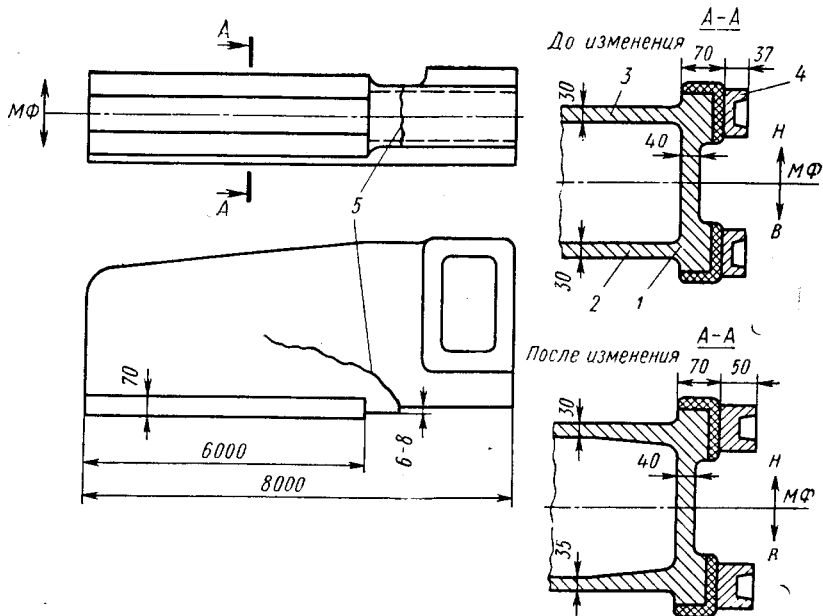


Рис. 72. Стойка карусельного станка с трещиной, образовавшейся в процессе охлаждения:

1 — направляющая; 2 и 3 — верхняя и нижняя стенки; 4 — холодильник; 5 — трещина

Центр тяжести отливки учитывает несимметричное расположение массивных направляющих, вызывающее изгибающие усилия при охлаждении отливки. Центр давления стержней определяется, как центр тяжести площади поперечных сечений внутренних полостей отливки.

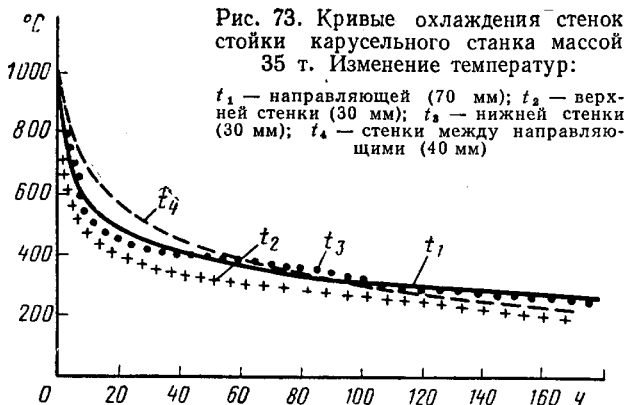
Авторы работы [126] предлагают считать отливки не склонными к образованию трещин при

$$K_{\text{тр}} < 6.$$

Этот параметр рекомендуется учитывать при предварительной оценке технологичности конструкции отливки.

В станочных отливках трещины часто появляются в местах перехода сплошных длинных массивных частей (направляющих) к тонким стенкам, являющимся их продолжением. Эти массивные части, затвердевающие более длительное время, отрываются от застывшей ранее тонкой стенки и разрушают ее. Чем крупнее отливка, тем вероятнее такой отрыв и образование трещин.

Для примера на рис. 72 приведена стойка карусельного станка массой 35 т [63]. Толщина вертикально расположенных в форме направляющих 1 с припусками на обработку — 70 мм, горизонтальных (верхней 2 и нижней 3) стенок — 30 мм (указано положение в форме).



Для повышения плотности чугуна на направляющих устанавливали холодильники 4 толщиной 37 мм. Отливка стойки остывала в кессоне в течение 200 ч. Через 4 ч после извлечения из кессона в стенке отливки, являющейся продолжением направляющей, образовалась холодная трещина 5, которая распространилась на верхнюю 2 и нижнюю 3 стенки. Направляющие деформировались и сместились относительно стенки на 6—8 мм.

Изучение условий охлаждения отливки (рис. 73) показало, что скорости охлаждения направляющих 1 и нижней стенки 3 примерно одинаковы [63]. Верхняя же стенка 2 охлаждается значительно быстрее. Температура ее, например, достигает 400° С за 20 ч, а нижней стенки — за 40 ч.

Для устранения трещин в конструкцию отливки были внесены следующие изменения: увеличена толщина верхней стенки на 5 мм и толщина холодильников до 50 мм, выполнен более плавный переход от направляющих к стенкам, а также увеличено время охлаждения отливки в кессоне до 250 ч. Эти изменения позволили устранить трещины в отливках стоек.

На рис. 74 показаны изменения в одной из конструкций стоек карусельных станков [11, 63]. С целью предупреждения образо-

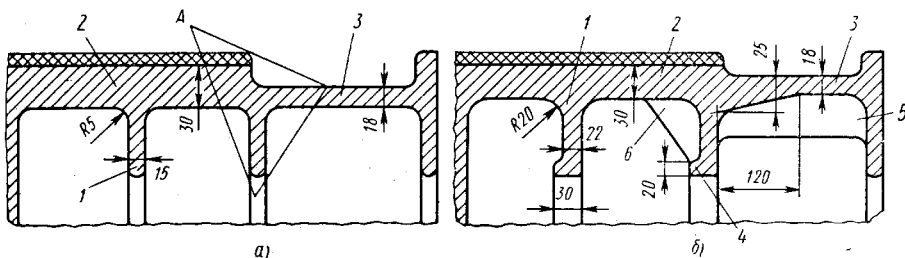


Рис. 74. Сечение стойки крупного карусельного станка:

а и б — до и после изменения конструкции (А — места образования трещин)

вания холодных трещин в отливке увеличена толщина перегородок 1 до 22 мм, выполнен конический переход от направляющих 2 толщиной 30 мм к тонкой стенке 3 толщиной 18 мм, увеличены радиусы закруглений до 20 мм во всех сопряжениях, сделаны отбортовки 4 в окнах и выполнены ребра жесткости 5 и 6 в опасных сечениях.

Таким образом, для уменьшения термических напряжений и предотвращения появления трещин в отливках необходимо стремиться к выравниванию скорости охлаждения их различных сечений. При этом следует иметь в виду, что припуски на обработку, технологические напуски, отверстия и пазы, не получаемые литьем, могут значительно изменить соотношения размеров сечений по сравнению с чертежными размерами готовой детали.

Условия получения отливок без усадочных дефектов. Усадочные раковины образуются в узлах с наибольшей концентрацией металла; в углах, в местах подвода металла или местах с затрудненным отводом теплоты. Конструкция отливки, при прочих равных условиях, определяет условия затвердевания металла и распределение температур по сечению, а следовательно, распределение и форму усадочных раковин.

В зависимости от условий эксплуатации и технических условий необходимо принять за основу один из двух принципов получения отливок — равномерного (одновременного) или направленного (последовательного) затвердевания.

Первый принцип заранее допускает возможность существования мелкой межкристаллической усадочной пористости, возникающей в центре всех сечений вследствие их затвердевания от периферии к центру. Этот принцип наиболее экономичный, применяется при изготовлении большинства станочных отливок, так как вследствие небольшой величины усадки чугуна понижение общей прочности и жесткости сечений незначительное. Массивные, направляющие станин кареток, суппортов, в центральной зоне которых возможно максимальное развитие усадочных явлений, работают на износ лишь с поверхности.

Второй принцип обеспечивает получение плотных отливок, без усадочных раковин и пористости. Это достигается применением дополнительных источников питания отливки горячим металлом: прибылей, бобышек, компенсирующих объем усадочной раковины или рыхлот.

Такой принцип увеличивает трудоемкость, поэтому его применяют только при изготовлении ответственных чугунных деталей, которые должны обладать высокими герметичностью, плотностью и прочностью. По этому принципу изготавливают отливки корпусов гидронасосов высокого давления, цилиндров, золотников и других ответственных деталей из низкоуглеродистых, модифицированных и легированных чугунов.

На заводе «Станколит» изготавливают отливки корпусов насосов (см. рис. 143) типа НРМ125, НРМ250, НРМ500 и др., в массив-

ной части которых выполняют каналы, являющиеся цилиндрами высокого давления (до 400 кгс/см^2). Плотность этого узла обеспечивается установкой прибыли на верхнюю часть массива, а направленное затвердевание — установкой холодильника в нижней части узла.

Установка прибыли и холодильника стала возможной после изменения конструкции детали. Верхняя по заливке поверхность, расположенная над ответственным массивным узлом, выполнена как ровная механически обрабатываемая площадка,

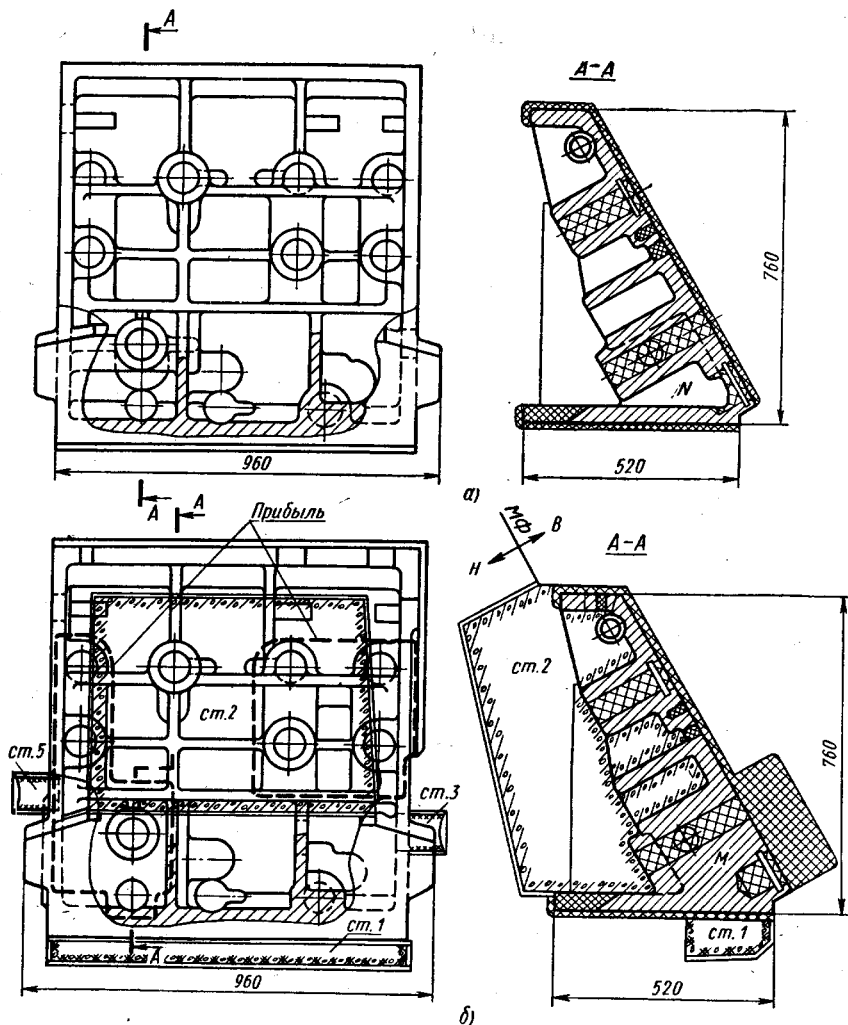


Рис. 75. Отливка корпуса приспособления:

а и б — до и после изменения

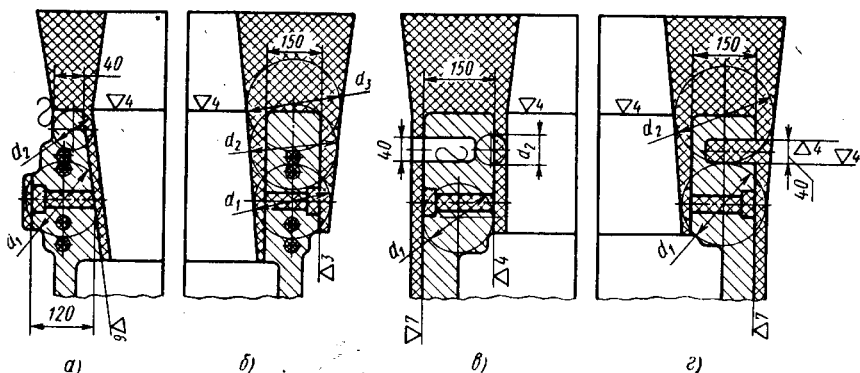


Рис. 76. Изменения в конструкциях деталей, обеспечивающие направленное затвердевание отливок

а криволинейный контур внутренней части массива заменен ровной площадкой для установки холодильника.

В корпусе приспособления, приведенного на рис. 75, а, с целью уменьшения массивов металла, конструктором выполнены полости N , получение которых практически неосуществимо.

Для устранения этих технологически не выполнимых полостей были созданы массивы металла M , в результате появилась необходимость в питании многочисленных расточек, расположенных в этих узлах за счет прибылей (рис. 75, б, прибыли в плане показаны штриховой линией).

Оптимальной является установка прибылей на ровных обрабатываемых поверхностях, что учитывается при конструировании отливок.

Надежное питание обеспечивается при увеличении сечения отливки от питаемого узла к прибыли. Поэтому недопустимо уменьшение сечения или выполнение литых углублений, расположенных между прибылью и питаемым массивным узлом.

Например, питание ответственного узла d_1 (рис. 76, а) из прибыли невозможно из-за меньшего сечения промежуточного узла d_2 . Изменение конструкции, приведенное на рис. 76, б, обеспечивает соотношение $d_3 > d_2 > d_1$ и надежное питание узла d_1 .

На рис. 76, в питание узла d_1 препятствует получаемый в отливке паз (40 мм). Выполнение этого паза механической обработкой (рис. 76, г) обеспечивает соотношение $d_2 > d_1$ и питание узла d_1 .

Иногда необходимые припуски и напуски для создания направленного затвердевания отливки значительно усложняют механическую обработку и повышают ее стоимость. В этих случаях сложные отливки делят на более простые, которые соединяют в процессе сборки.

Например, в корпусе механизма переключения скоростей шпиндельной бабки (рис. 77) находится массив металла, в котором имеется большое число отверстий для прохода рычагов переключения скоростей. Из-за малых размеров отверстий выполнить их в отливке нельзя, а при их сверлении и расточке вскрываются недопустимые рыхлоты. Питание этого массива прибылью, установленной на фланце, вызывает большие расходы металла и непроизводительные дополнительные затраты на механическую обработку. Более рационально разделить корпус на две детали с отделением фланца диаметром 300 мм от массивного прилива. Изготовление отливки упростилось, а затраты на соединение деталей были перекрыты в результате применения более прогрессивных методов механической обработки двух простых деталей. Брак по рыхлотам в отверстиях был устранен.

Условия получения отливок без неметаллических включений. Конструкция отливки может способствовать, а может затруднять удаление неметаллических включений. Так, выступающие части конструкции, образованные узкими полостями формы, не связанными с системой выпоров, являются часто местами скопления неметаллических включений.

Весьма сложно бывает получить чистыми также большие горизонтальные плоскости в отливках типа разметочных плит, столов и др., поэтому их лучше заменять наклонными.

Конструкции, обеспечивающие направленное затвердевание отливок, наиболее благоприятны для удаления включений. В них различные включения свободно всплывают, размещаются в прибыли и удаляются вместе с ней.

Часто неметаллические включения встречаются в отливках, выполняемых с помощью стержней, если из последних не обеспечен свободный отвод газов.

Большое давление газов может вызвать образование газовых и песочных раковин. Поэтому газы должны свободно удаляться

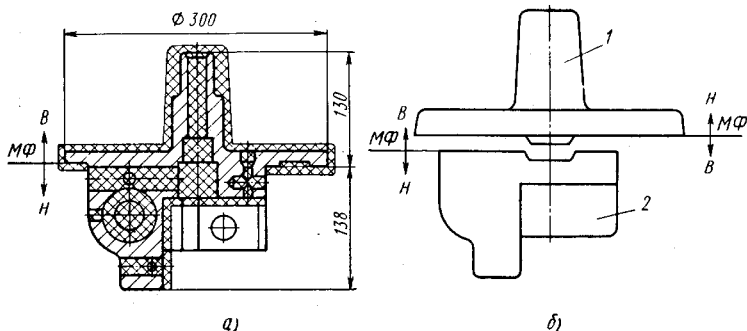


Рис. 77. Отливка корпуса механизма переключения скоростей шпиндельной бабки:

а — цельная; б — сборная из деталей 1 и 2

Рис. 78. К выбору размеров окон в отливках

из каждого стержня через окна максимально возможных размеров.

В табл. 26 приведены рекомендации по выбору размеров окон (рис. 78). При недостаточном размере окон затруднено и крепление стержней. В конструкциях, где это не учтено, приходится крепить стержни с помощью жеребеек, которые могут быть причиной брака, особенно при наличии полостей, работающих под давлением и подвергаемых гидроиспытаниям.

В первоначальном варианте конструкции одной из унифицированных шпиндельных коробок для агрегатных станков (рис. 79) было предусмотрено только одно окно. Стержень приходилось крепить жеребейками со всех сторон, чтобы увеличить устойчивость его (он не мог держаться на одном боковом знаке) и устранить смещение стержня при повороте опоки для вертикальной заливки. В результате при расточке отверстий часто вскрывалась пористость в местах установки жеребеек, и отливки браковались при гидроиспытаниях.

Введение в конструкцию дополнительно двух окон позволило устанавливать стержень без жеребеек, что устранило причину брака. В случае необходимости применения жеребеек их следует устанавливать на неответственных, необрабатываемых местах. С этой целью во внутренних перегородках делают дополнительные окна и соединяют соседние стержни, что дает возможность

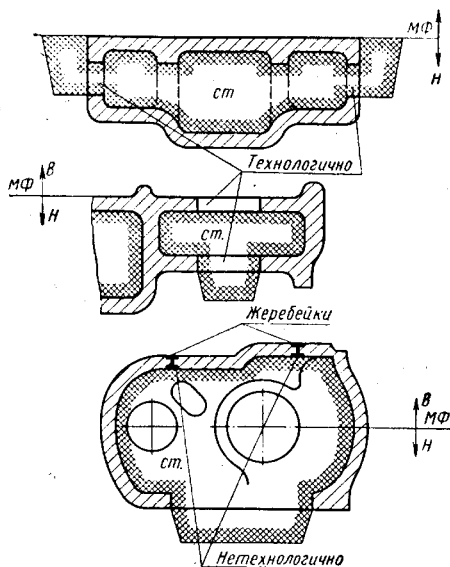


Таблица 26
МИНИМАЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ НАРУЖНЫХ ОКОН В ОТЛИВКАХ [11]

Объем внутренних полостей, дм ³	Минимальная площадь наружных окон, см ²	Объем внутренних полостей, дм ³	Минимальная площадь наружных окон, см ²
До 0,5	30	25,1—50	350
0,51—1,0	70	50,1—100	450
1,1—3,0	100	101—250	700
3,1—5,0	150	251—500	1000
5,1—10	200	501—1000	1400
10,1—25	250	Свыше 1001	1800

изменить центр тяжести стержня и место установки жеребеек или отказаться от них.

Например, при выполнении отливки переднего суппорта три внутренние камеры, разделенные перегородками, оформляли тремя стержнями (рис. 80, а). Стержень *см. 2* устанавливали на свой знак, а крайние стержни *см. 1* и *3* — на жеребейки. Устойчивость стержней *см. 1* и *3* обеспечивалась при установке жеребеек в непосредственной близости от направляющих. В ряде случаев при обработке направляющих в зоне жеребеек вскрывалась пористость. После того как в перегородках были сделаны окна *1*, объединили все стержни в один, который установили в форме на свой знак без жеребеек (рис. 80, б). Кроме того, небольшие изменения конструкции кронштейна *2* позволили отказаться от стержня *см. 4*.

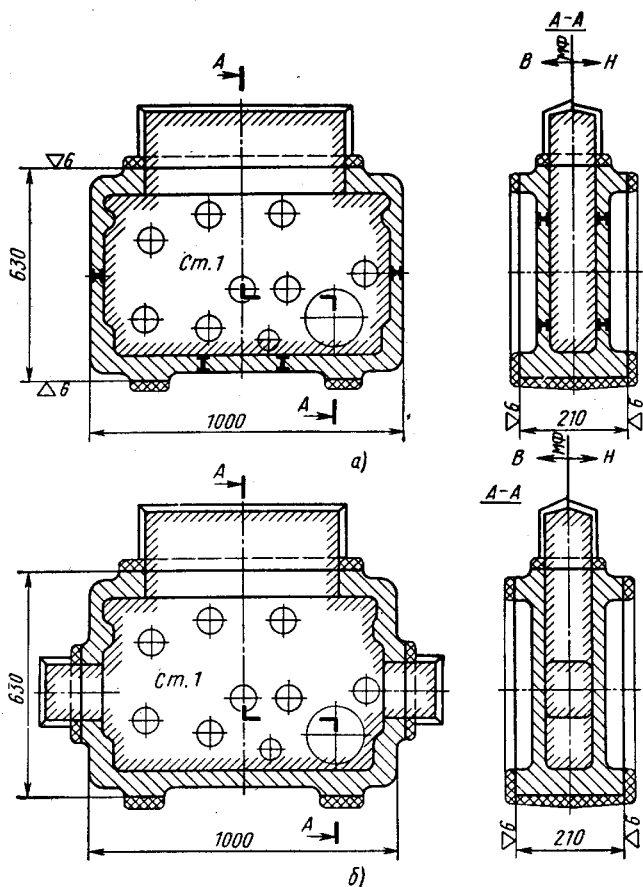


Рис. 79. Отливка шпиндельной коробки:

а и б — до и после изменения

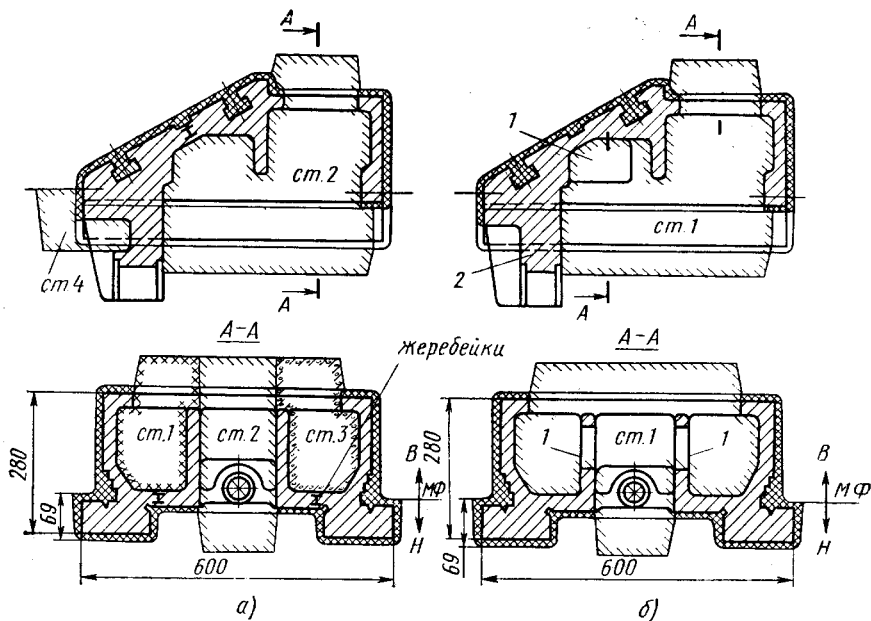


Рис. 80. Отливка переднего суппорта:

а и б — до и после изменения

В ряде случаев причиной образования песчаных раковин являются узкие полости отливки. Узкие полоски стержневой или формовочной смеси (особенно болваны при формовке по-сырому), выполняющие эти полости, не обладают достаточной прочностью и при заливке разрушаются потоком металла. Место разрушения заполняется металлом, а смытая формовочная смесь образует засоры в отливке. Кроме того, узкие, окруженные металлом полоски смеси сильно перегреваются. Это усиливает газообразование при затрудненной вентиляции указанных мест, что также способствует повышению газового давления, разрушению смеси и появлению песчаных и газовых раковин.

При конструировании отливок можно заранее предусмотреть и устранить такие узкие опасные полости.

Отливки стола сверлильного станка браковали вследствие поломки и перегрева стержней, выполняющих узкие, глубокие, облегчающие полости 1 над направляющими (рис. 81, а).

Процесс изготовления стержней был очень трудоемким из-за сложности крепления и вентиляции тонких выступающих частей его. При этом стабильность качества не обеспечивалась.

После того как узкую закрытую внутреннюю полость сделали открытой и выполнили ее в верхней полуформе (рис. 81, б), брак устранили. Наиболее высокая точность отливок обеспечивается при выполнении окон и отверстий песчаными болванами. Однако

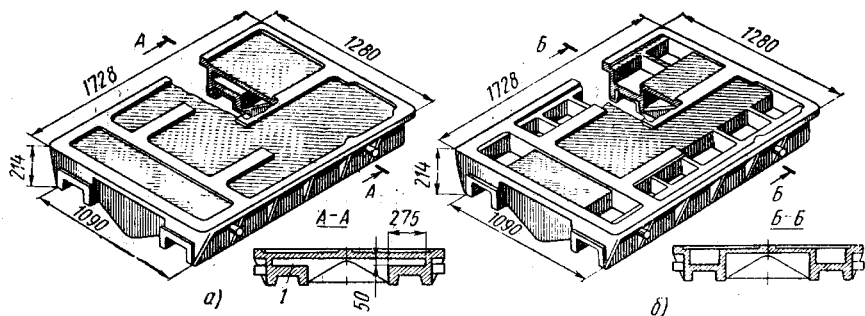


Рис. 81. Стол сверлильного станка с программным управлением

для выполнения отверстий малых размеров и относительно большой глубины прочность болванов бывает недостаточной, чтобы выдержать напор металла. Минимальные диаметры литых отверстий в чугунных станочных отливках, которые можно выполнять песчаными болванами, приведены в табл. 27.

Выбор оптимальной толщины стенок отливки. Толщину стенки детали устанавливает конструктор исходя из необходимости обеспечения достаточной жесткости, прочности и других служебных свойств.

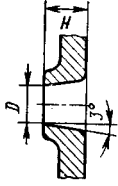
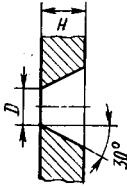
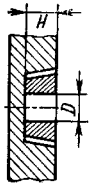
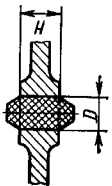
При выборе оптимальных толщин стенок необходимо учитывать литейные свойства чугуна, а также снижение прочностных свойств чугуна при увеличении толщины стенки отливки. Выбор толщины стенки определяется также размерами и сложностью отливки, влияющими на условия заполнения формы металлом.

Следовательно, оптимальная толщина стенки наиболее существенно зависит от состава сплава и габаритных размеров отливки (табл. 28). Для обеспечения условий равномерного затвердевания отливки толщину внутренних стенок и ребер, охлаждающихся медленнее, принимают обычно на 10—20% меньше толщины наружных стенок.

Рекомендации ЭНИМСа по выбору толщины стенок различных чугунных станин, приведенные в табл. 29, несколько занижены по сравнению с данными табл. 28. Данные, приведенные в табл. 29, являются результатом прочностных расчетов, в которых не всегда учитывают технологические особенности (например, состав сплава), поэтому их следует рассматривать как минимально допустимые.

Приведенные рекомендации нельзя считать универсальными. Анализ показывает, что в различных литейных цехах для аналогичных отливок устанавливают различные, с точки зрения технологичности, минимально допустимые толщины стенок. Очевидно, что такие факторы, как повышение перегрева чугуна и температуры заливки, эффективное модифицирование, скоростная заливка форм и т. д., позволяют значительно уменьшить толщину стенок отливки без опасности получения брака.

МИНИМАЛЬНЫЕ ДИАМЕТРЫ ЛИТЫХ ОТВЕРСТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГЛУБИНЫ И СПОСОБА
 Таблица 27
 ВЫПОЛНЕНИЯ [20]

Эскиз	Технологический вариант	Способ выполнения отверстия в отливке	Минимальные диаметры отверстий (мм) при глубине отверстия H (мм) не более							
			10	20	30	40	50	60	75	100
	I	Песчаным болваном в металлических моделях и стержневых ящиках . .	1,7H	1,6H	1,5H	1,45H	1,4H	1,35H	1,3H	1,2H
			0,8H	0,75H	0,7H	0,65H	0,6H	0,55H	0,5H	—
	II	Песчаным болваном в металлических и деревянных моделях и стержневых ящиках	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—
	III	Песчаным болваном в моделях и стержневых ящиках с применением вытряхных вставок	—	1,15H	1,1H	1,05H	H	0,95H	0,9H	0,85H
			—	—	—	—	—	—	—	—
	IV	Стержнем	8	10	12	12	16	18	20	20

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТОЛЩИНА СТЕНКИ ОТЛИВОК
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ
И МАРКИ ЧУГУНА [111]**

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Примерная масса отливки, кг не более	Чугун					
		СЧ400—СЧ18-36		СЧ21-40—СЧ24-44		СЧ28-48—СЧ32-52	
		Минимальная толщина стенки, мм					
		на- руж- ной	внут- ренней	на- руж- ной	внутрен- ней	на- руж- ной	внутрен- ней
До 250	5	6	5	10	8	12—16	12—16
251—500	25	8	6	12	10		
501—750	100	10	8	14	12	16—18	16—18
751—1000	250	12	10	15	14		
1001—1500	500	14	12	16	15	18	16—18
1501—2000	750	16	14	18	16	20	
2001—2500	1500	18	16	20	18	22	20
2501—3000	3000	20	18	20	20	22	22
3001—5000	5000	22	20	22	20	22	22
более 5000	свыше 5000	25	22	25	22	25	22

Толщина стенок в одной отливке должна быть по возможности одного-двух близких размеров и соответствовать высоте стандартных жеревеек (ГОСТ 9062—59). Это упрощает процессы сборки форм и подготовки производства.

Выполнение переходов сечений. Характерной особенностью станочных отливок типа станин, кареток, суппортов и др. деталей является сочетание массивных направляющих с относительно тонкими стенками, широкое применение ребер жесткости, разветвленных внутренних полостей, разделенных перегородками. Поэтому исключительно важное значение имеет правильное выполнение переходов от тонких к массивным частям. Все угловые сопряжения стенок выполняют с помощью внешних и внутренних радиусов закруглений. Радиусы закругления угловых сопряжений стенок одинаковой толщины s выполняют из одного центра, причем внутренний радиус принимают равным толщине стенки $r = s$, а наружный $R = 2s$.

Примеры переходов от массивных к тонким сечениям приведены на рис. 82.

При различной толщине соединяемых стенок, если соотношение их толщины меньше 1,75, переходы выполняют радиусами закруглений из разных центров. Наружный радиус принимают равным $\frac{1}{2}$ суммы толщин сопрягаемых стенок, а внутренний радиус — $\frac{1}{4}$ суммы толщин сопрягаемых стенок. Если соотношение толщин сопрягаемых стенок больше 1,75, то переход рекомендуется выполнять с помощью сочетания клина с галтелью.

Толщина стенки отливки должна включать припуски на механическую обработку и другие технологические отступления от

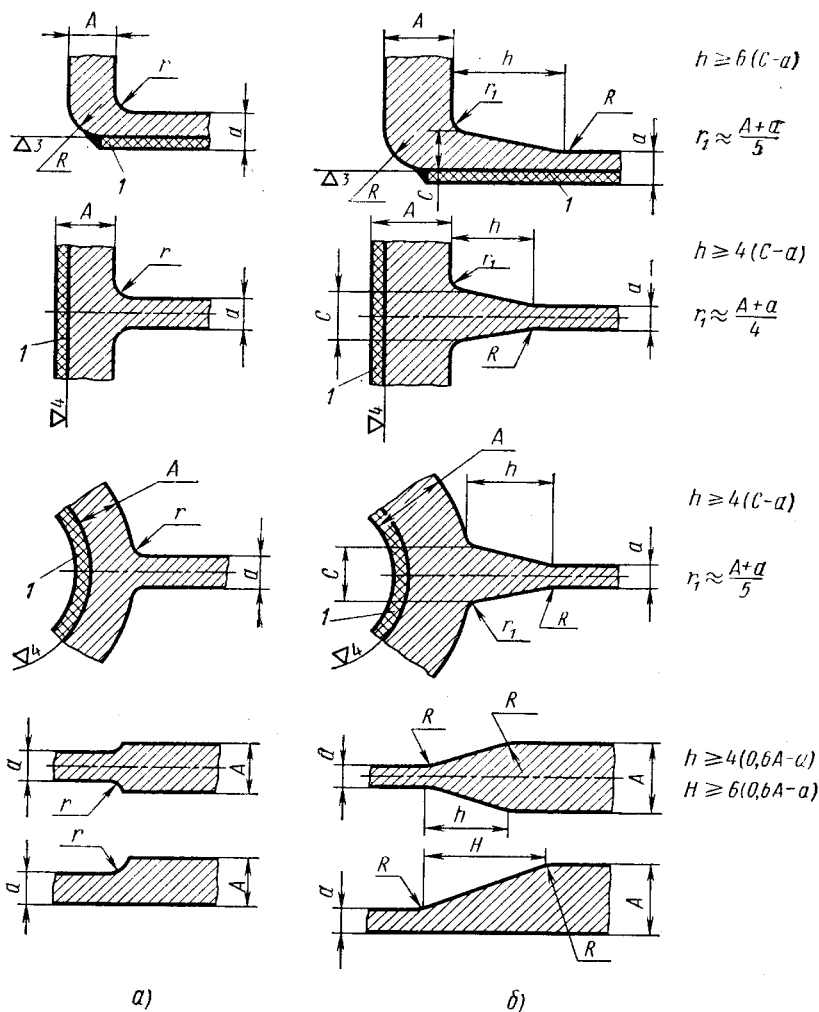


Рис. 82. Рекомендуемые переходы от массивных к тонким сечениям отливок при соотношении толщин стенок:

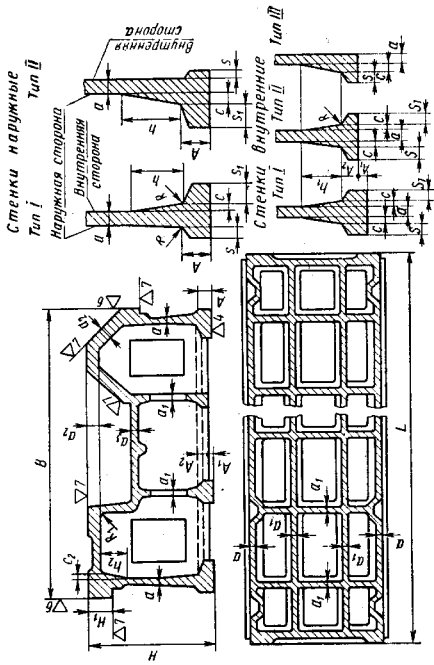
a — $A/a \leq 1,75$; *б* — $A/a \geq 1,75$

$$\left(C \approx 0,6A; r \approx \frac{A+a}{4}; R \approx \frac{A+a}{2} \right)$$

чертежного размера детали, а также отверстия, пазы и выточки, не выполняемые в отливке и вследствие этого увеличивающие скопления металла.

Рекомендуемые толщины стенок и сопряжения при построении станин металлорежущих станков с учетом жесткости и особенностей их конструкции приведены в табл. 29.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК И СОПРЯЖЕНИЙ
В ЧУГУННЫХ ОТЛИВКАХ СТАНИН СТАНКОВ, мм

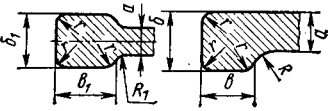


L	H	B	Стенки вертикальные										Направляющие и горизон- тальные стенки							
			наружные					внутренние												
			a	R	s	s ₁	A	a ₁ =a	s=s ₁	A ₂	A ₁	a ₂						H ₁	a ₃	R ₁
600—1000	300	$\begin{matrix} <400 \\ >400 \end{matrix}$	10	5	10	30	25	8	12	14	8	18	25	14	10					
			12					10												
1000—1500	400	$\begin{matrix} <700 \\ >700 \end{matrix}$	12	8	12	35	30	10	12	16	8	20	30	16	10					
			14					12												

1500—2250	500	<1000 >1000	14 14	8	12	35	35	12 14	14	18	8	25	35	16	10
2250—3000	500	<1200 >1200	16 18	10	15	40	40	14 16	14	20	10	25	40	18	15
3000—4000	600	<1400 >1400	18 20	10	15	40	40	16 18	16	22	10	30	45	18	15
4000—5000	600	<1600 >1600	20 22	10	20	45	45	18 20	16	24	12	30	45	20	15
5000—6500	700	<1800 >1800	22 24	10	20	45	45	20 22	20	26	12	35	50	22	15
6500—8000	700	<2000 >2000	24 26	15	20	55	50	22 24	20	28	15	35	55	24	15
8000—10000	800	<2000 >2000	26 28	15	20	55	50	24 26	20	30	15	40	60	26	20

Примечания: 1. Размеры уклонов для стенок станин, мм: наименьшего размера $C = C_1 = 4 \div 6$, $h = 50$, $h_1 = 35$; остальных размеров: $C = C_1 = 6 \div 8$, $h = 70$, $h_1 = 50$; первых трех размеров $C_2 = 8$, $h_2 = 70$; для остальных $C_2 = 10$, $h_2 = 60$.
2. Припуски на обработку выбирают по ГОСТ 1855—55; при составлении данной таблицы их не учитывали.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗМЕРЫ ОТБОРТОВОК ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОКОН, мм
[20, 111]

Эскиз	Толщина стенки детали, мм	Отбортовки							
		односторонние				двусторонние			
		b	e	R	r	b_1	e_1	R_1	r_1
	4	7	10	5	1	8	10	3	2
	5	8	10	5	1	10	12	3	2
	6	10	10	6	2	12	14	3	2
	7	12	12	8	3	14	16	5	3
	8	14	12	8	3	16	18	6	3
	10	16	15	10	3	18	20	6	3
	12	20	18	12	5	22	25	8	5
	14	22	20	15	5	25	28	8	5
	16	25	22	16	6	28	30	8	5
	18	28	25	16	6	30	32	8	6
	20	30	28	20	8	32	32	8	6
	22	32	30	20	8	35	35	10	8
	25	35	32	20	10	38	35	10	8
	28	38	35	20	10	40	36	10	8

Усиливающие отбортовки, ребра и перемычки. В стенках литых деталей, внутренних полостях и перемычках обычно предусматривают окна различного размера, предназначенные для крепления стержней, удаления газов, очистки внутренних полостей отливок. Поэтому, как указывалось выше, размеры окон должны быть максимально возможными. Однако окна при малых размерах перемычек между ними ослабляют сечения и в ряде случаев приводят к возникновению трещин в отливках. Для усиления окон и отверстий края их необходимо усиливать отбортовками (см. рис. 74, б). Размеры односторонних и двусторонних отборонок, рекомендуемые для станочных отливок, приведены в табл. 30, а размеры перемычек между окнами — в табл. 31.

Таблица 31

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗМЕРЫ ПЕРЕМЫЧЕК МЕЖДУ ОКНАМИ [20]

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Минимальная ширина перемычки, мм	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Минимальная ширина перемычки, мм
До 125	30	1501—2000	100
126—250	35	2001—2500	110
251—500	40	2501—3000	120
501—750	60	3001—5000	125
751—1000	75	Свыше 5000	130
1001—1500	90		

Ребра жесткости создают местные скопления металла, вызывающие образование усадочных пороков и трещин. Чтобы устранить последнее, пересечения ребер должны обеспечивать по возможности минимальные скопления металла. С этой целью рекомендуется Х-образные пересечения заменять Т-образными, соединять ребра со стенками отливок под прямым углом.

В случае пересечения в одной точке нескольких ребер рекомендуется делать кольцевое ребро и присоединять к нему радиальные ребра на достаточном расстоянии друг от друга.

2. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Точность габаритных размеров, сечений и массы чугунных отливок регламентируется ГОСТ 1855—55. Получение отливок заданной точности зависит от точности модельно-опочной оснастки, технологии изготовления форм и стержней, числа стержней, колебаний величины фактической усадки сплава и т. д. Эти факторы, в свою очередь, зависят от конструкции детали. Например, упрощение общих контуров отливки, исключение выступающих частей и приливов позволяют уменьшить число стержней, обеспечить удобную и надежную установку, а также и крепление их в форме, что способствует повышению точности и стабильности размеров отливки.

Не все размеры отливки могут быть получены с одинаковой точностью, например, размеры между частями отливки, выполненными в одной полуформе, точнее размеров между частями, выполненными в разных полуформах; размеры, полученные с помощью модели, точнее размеров, полученных с помощью стержней, и т. д. Следовательно, конструкция детали должна обеспечить возможность применения оптимального с точки зрения точности отливки варианта технологии.

Базы разметки. Базы разметки, указанные на чертеже детали, должны быть исходными базами как при изготовлении и контроле модельных комплектов, форм и отливок, так и при механической обработке деталей. Базы разметки следует указывать на чертеже по трем осям координат, причем базой разметки могут быть необрабатываемые поверхности или геометрические оси отливок. Базу разметки следует выбирать в таком месте детали, где сосредоточены наиболее важные для конструкции размеры между необрабатываемыми и обрабатываемыми поверхностями, и так, чтобы расстояние от базы разметки до базы механической обработки было наименьшим. Наибольшая точность достигается при расположении базы разметки в одной полуформе с наиболее ответственными частями отливки.

Необрабатываемые поверхности связываются размерами с базой разметки. На рис. 83 приведены примеры простановки размеров детали от баз разметки [111]. Если важно выдержать после обработки размер a бобышки, то за базу разметки прини-

мают плоскость *А*. Базой механической обработки будет плоскость *Б*, от которой обрабатывают плоскость *В*. Толщина δ фланца является замыкающим звеном, т. е. переменным, так как зависит от допусков на размеры a , b и z (рис. 83, *а*). Толщину δ фланца можно проставлять на чертеже только как справочный размер.

Если важно выдержать толщину δ фланца, то за базу разметки принимают плоскость *Г*, а за базу механической обработки — плоскость *В*. В этом случае уже размер a бобышки будет замыкающим звеном (рис. 83, *б*), компенсирующим неточность размеров δ , b и z , и может быть только справочным размером.

Взаимная увязка процессов контроля модельных комплектов, готовых отливок и механической обработки повышает точность отливок и предотвращает возникновение брака в механических цехах.

Конструктивные уклоны предусматриваются конструктором на необрабатываемых поверхностях, перпендикулярных плоскости разъема формы. Направление конструктивного уклона зависит от принятой плоскости разъема модели и во избежание ошибок должно быть согласовано с технологом-литейщиком. При отсутствии конструктивных уклонов технолог назначает в необходимых местах формовочные уклоны, которые искажают контуры отливки и требуют дополнительной механической обработки.

Величина и направление конструктивных уклонов сопрягаемых деталей должны быть согласованы с разъемами моделей и между собой.

При изготовлении отливки крышки по варианту, приведенному на рис. 84, *а*, необходимо делать формовочные уклоны поверхностей диаметрами 280, 275 и 110 мм, а отверстие диаметром 90 мм получать с помощью стержня.

Назначение конструктивных уклонов на все соответствующие поверхности (рис. 84, *б*) облегчило процесс изготовления формы

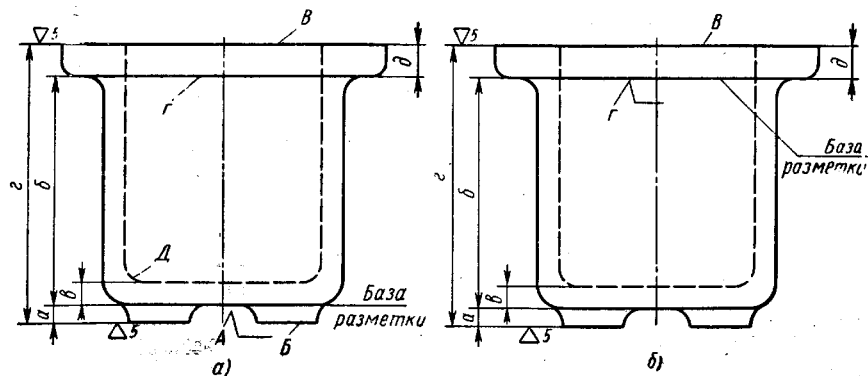


Рис. 83. Примеры простановки размеров на чертеже детали

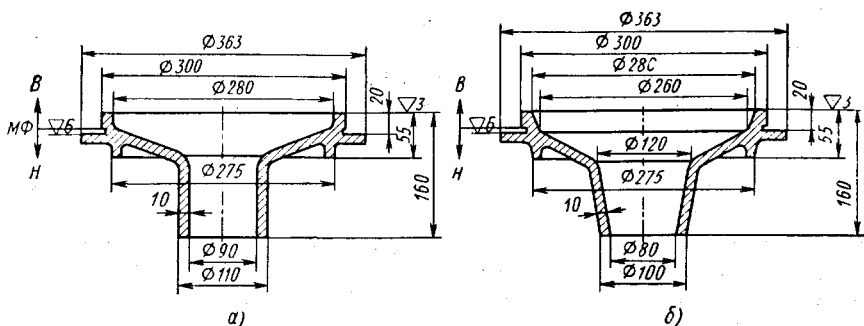


Рис. 84. Крышка для спуска эмульсии из станка

и одновременно позволило выполнить отверстие диаметром 80 мм с помощью песчаного болвана.

Рекомендуемая величина минимальных конструктивных уклонов для станочных деталей приведена в табл. 32. Конструктивные уклоны на местных невысоких утолщениях стенок, платиках, бобышках следует увеличивать до 30—50%.

Выполнение приливов. Выполнение отдельных приливов, платиков или бобышек на поверхностях, перпендикулярных плоскости разъема, возможно с помощью стержней или отъемных частей. И в том и в другом случае, например при смещении стержня во время сборки, сдвиге отъемной части при формовке и т. д., возникают погрешности в размерах отливки. Кроме того, если высота платика или бобышки входит в общий габаритный размер крупной детали, то возможны случаи, когда вследствие допустимых отклонений в габаритах отливки припуск на механическую обработку платика отсутствует, а в других случаях пластик полностью срезается при механической обработке.

Таблица 32

МИНИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ УКЛОНЫ h
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ L ДЕТАЛИ [111]

Эскиз	L , мм	h , мм
	До 20	3
	21—50	5
	51—100	10
	101—200	12
	201—300	15
	301—500	18
	501—800	20
	Свыше 800	25

Формовочные уклоны по ГОСТ 3212—57

Незначительные изменения, внесенные в чертеж, весьма эффективны. Во всех случаях, когда это возможно, высота платика должна быть указана от необрабатываемой поверхности его основания и не входить при разметке в общий габаритный размер отливки.

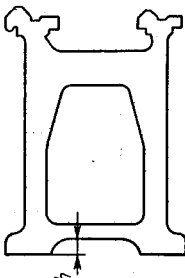
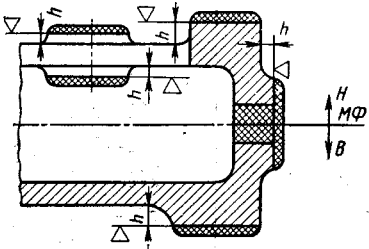
Высоту платика следует согласовывать с габаритным размером отливки, для чего рекомендуются данные, приведенные в табл. 33.

Отдельные бобышки и приливы необходимо объединить в один общий прилив и довести до плоскости разъема или основания.

Например, боковые поверхности отливки корпуса передней бабки токарно-револьверного станка имели бобышки 1, 2 и 5 платики 3 и 4, которые вынуждали применять стержни или отъемные части, снижающие точность отливки (рис. 85, а). Затем бобышки 1, 2 и пластик 3 объединили в общий пластик 6; контур платика 4 заменили контуром 7, а бобышку 5 с отверстием для сливной пробки технологическими платиками 8, являющимися базой ме-

Т а б л и ц а 33

РЕКОМЕНДУЕМАЯ МИНИМАЛЬНАЯ ВЫСОТА ПЛАТИКОВ

Пластики	Наибольший габаритный размер детали, мм	Рекомендуемая высота платиков h , мм
<p>Обрабатываемые</p> 	До 120	3
	120—250	5
	250—500	8
	500—1250	10
	1250—3500	12
	3500—5000	15
	свыше 5000	18
<p>Фундаментные</p> 	До 500	6
	500—1000	10
	1000—1500	12
	1500—2000	14
	2000—3000	16
	3000—5000	20
	свыше 5000	22

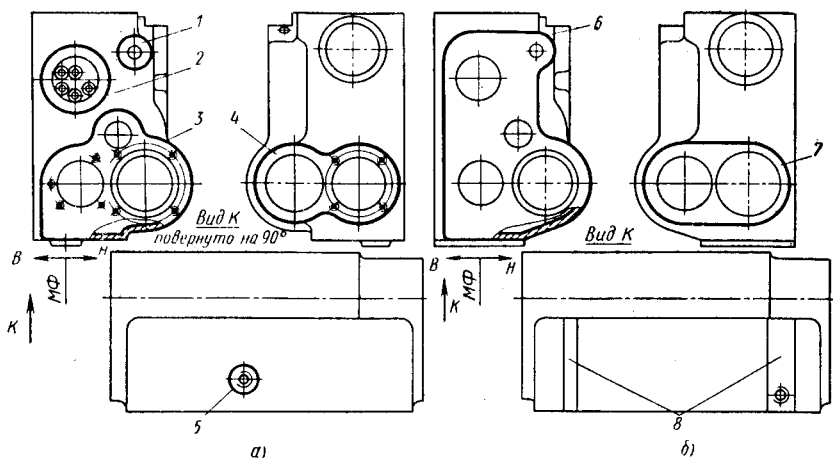


Рис. 85. Корпус передней бабки токарно-револьверного станка

ханической обработки, где разместили и отверстие для сливной пробки (рис. 85, б).

Внесенные изменения позволили отказаться от стержней для выполнения боковых наружных стенок, повысить точность отливки с одновременным снижением трудоемкости ее изготовления.

Сопрягаемые детали. Внешний вид и точность изделий существенно зависят от конструктивного оформления и точности сопрягаемых литых деталей. Для облегчения пригонки сопрягаемых деталей конструктор должен предусмотреть такую их форму, которая позволяла бы компенсировать допустимые отклонения в размерах отливок и производить пригонку с минимальными затратами. Это достигается различными приемами, например с помощью сопряжения по отбортовкам, прилитым поясам и т. д.

В конструкции станины фрезерного станка мод. 6Т11 предусматривались три крышки: 1, 2 и 3, сопрягаемые со станиной по сложному контуру всей высоты станка поверхностью узкого бортика окна (рис. 86, а). Согласование сложных контуров литого окна с контуром литой крышки при высоте окна около 2000 мм практически невозможно и требует сложной пригонки.

Вариант конструкции, показанный на рис. 86, б, выполнен так, что контуры отбортовки окон расширены и не требуют точного согласования с контурами крышек. Некоторое изменение плоскости сопряжения окон и крышек позволяет получаемые погрешности компенсировать небольшим смещением крышек по плоскости прилегания станины, не требует специальной пригонки и не ухудшает внешний вид станка.

Если решения, аналогичные приведенному, невозможны, то приходится производить механическую обработку всей поверхности или наиболее ответственных участков сопрягаемых контуров.

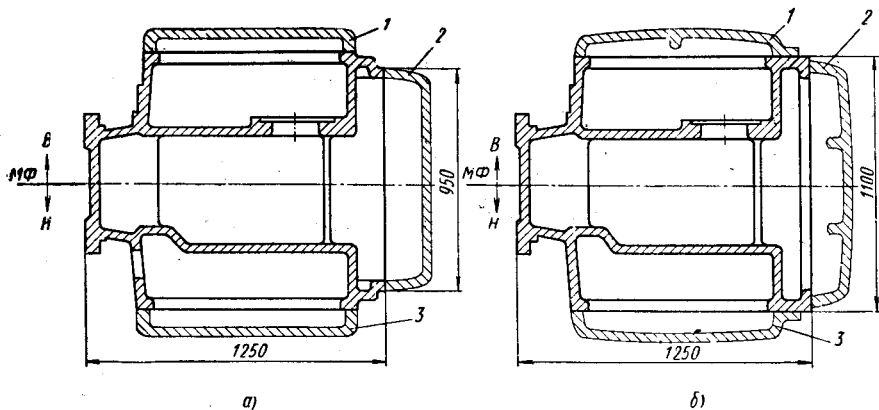


Рис. 86. Станина фрезерного станка мод. 6Т11

Предотвращение искажения контуров отливки по разъему. Наибольшая точность изготовления отливки достигается при размещении всей модели в одной полуформе. В этих случаях устраняются погрешности спаривания моделей, сборки форм и т. д. При размещении модели в двух полуформах допустимые зазоры при сборке формы по штырю ($\sim 0,27$ мм) и погрешности монтажа ($\pm 0,2$ мм), даже без учета износа штырей, точности изготовления самой модели, колебаний в размерах формы и др., могут вызвать смещение отливки до 1 мм.

В реальных условиях эти смещения бывают значительно больше. Последствиями такого смещения являются искажение внешнего вида отливок, нарушение точности размеров и большая трудоемкость финишных операций.

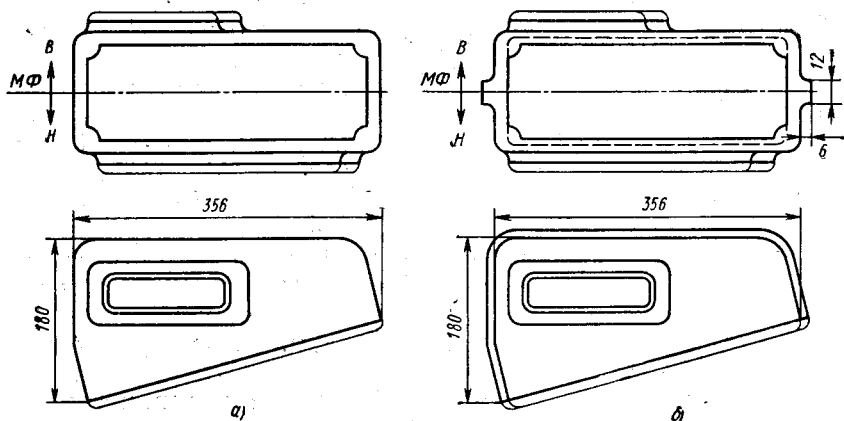
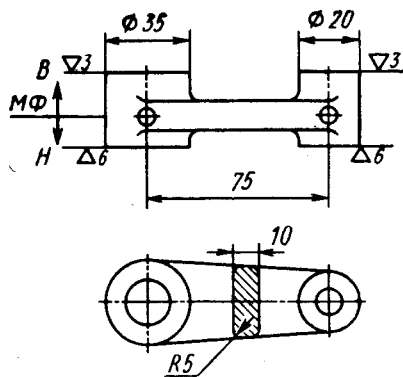
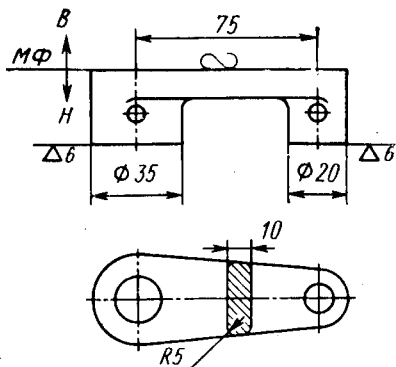


Рис. 87. Корпус пульта токарного вертикального полуавтомата



а)



б)

Рис. 88. Рычаг круглошлифовального станка

Например, при изготовлении отливки корпуса пульта токарного вертикального полуавтомата мод. 1К62 разъем формы проходил по оси симметрии корпуса (рис. 87, а). На вертикальных стенках был выполнен формовочный уклон.

Получаемое смещение по разьему по разным причинам фактически достигало 2—3 мм и ухудшало внешний вид отливки. Затраты на финишные операции были значительные. Чтобы устранить этот дефект, изменили конструкцию детали. По ее контуру на линии разьема сделали декоративный поясик высотой 6 и шириной 12 мм (рис. 87, б). Смещения, видимые только на пояске, не влияют на внешний вид отливки и легко устраняются при заточке наждачным кругом.

Иногда, чтобы расположить всю отливку в одной полуформе, требуются незначительные изменения в ее конструкции. Так, рычаг круглошлифовального станка (рис. 88, а) имеет две втулки, соединенные плоским полотном, незначительно смещенным к центру втулок. Линия разьема, необходимая при этой конструкции, определяет возможность смещения полуформ и искажения контуров отливки.

Смещение полотна рычага к концам втулок (рис. 88, б) позволяет изменить линию разьема и получить этот рычаг без искажений по неразъемной модели с размещением ее в одной полуформе.

3. СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Трудоемкость изготовления отливки является комплексным показателем, включающим в той или иной мере все вопросы технологичности. Приведенные выше требования к технологичности

отливки с целью уменьшения трудоемкости ее изготовления можно дополнить следующими:

- 1) обеспечение возможности применения машинных методов изготовления форм и стержней;
- 2) уменьшение трудоемкости обрубных и очистных работ;
- 3) сокращение затрат на механическую обработку детали и сборку изделия.

Снижение трудоемкости изготовления отливок обычно приводит к повышению точности их, улучшению внешнего вида, устранению причин брака и т. д. Например, уменьшение числа стержней, кроме непосредственной экономии на их изготовлении и сушке, способствует упрощению сборки форм, повышению точности отливки, уменьшению протяженности швов и заливов, предотвращению образования газовых и песчаных раковин.

Таким образом, весь изложенный выше материал, как правило, в той или иной мере имеет непосредственную связь с вопросами трудоемкости.

Целесообразность разделения сложных, либо объединения простых отливок. Объединение нескольких литых деталей в одну с целью снижения стоимости их изготовления или разделение сложных деталей на более простые подчиняется требованиям получения качественных отливок и условиям наиболее рационального использования машин и оснастки на данном предприятии.

Примером разделения литой детали на простые может быть разделение отливки встряхивающего стола формовочной машины (рис. 89, а). Раньше стол выполняли заодно с поршнем, что значительно усложняло изготовление отливки и ее механическую обработку. Формовку стола производили вручную в вертикальном положении. При этом особенно сложно было осуществить крепление стержня, образующего внутреннюю полость поршня, и вывод газов из него.

На рис. 89, б показан стол измененной конструкции, состоящий из двух деталей — собственно стола и поршня. Раздельное изготовление стола и поршня значительно упрощает получение отливки и механическую обработку. Обе формы уплотняются на формовочных машинах, повышается производительность, упрощаются процессы сборки форм и значительно сокращается брак отливок. Большая экономия, получаемая в литейном цехе, оправдывает расходы на дополнительную механическую обработку и крепление поршня в столе машины.

Примером рационального объединения отдельных деталей в одну может быть механизм поворотной головки станка мод. 1Б95. Раньше три отдельных отливки 1, 2 и 3 (рис. 90, а) соединяли болтами. После изменения конструкции эти отливки объединили в одну (рис. 90, б). Габаритный размер объединенной отливки 990 мм не препятствовал машинной формовке. Выполнение одного крупного стержня вместо трех более мелких также не вызвало трудностей вследствие простоты его контуров. Таким образом,

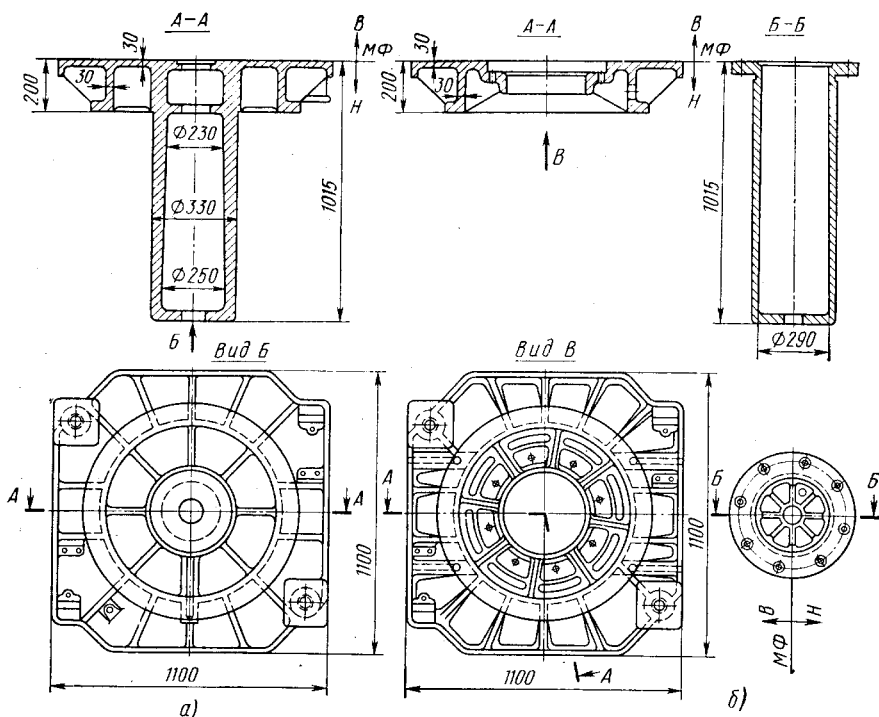


Рис. 89. Встряхивающий стол формовочной машины

объединение трех отливок в одну повысило производительность на формовочных, стержневых и сборочных участках, а также уменьшило расход формовочных и стержневых смесей. Дополнительные преимущества, полученные в результате исключения механической обработки плоскостей сопряжения, подтвердили целесообразность принятого решения.

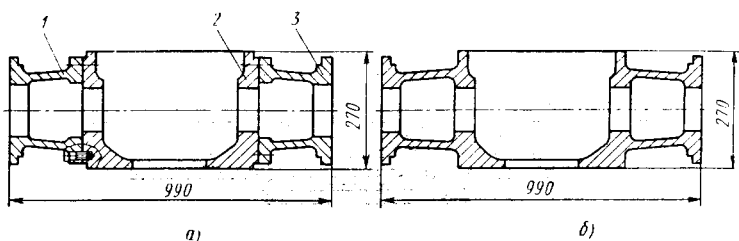


Рис. 90. Механизм поворотной головки станка мод. 1Б95

Изменение линии разъема формы. Линия разъема существенно влияет на трудоемкость изготовления отливок, габариты опок, эффективность использования формовочных машин, трудоемкость изготовления стержней, а также сборочных и очистных работ.

Фланец станка мод. 2620 (рис. 91) состоит из втулки и обода, соединенных между собой диском. Толщина диска меньше толщины втулки и обода, вследствие чего обод и втулка выступают над диском. При расположении линии разъема формы, показанном на рис. 91, *а*, образуется шов на наружном контуре обода, внутренней поверхности четырех необрабатываемых отверстий и отверстия втулки.

Швы на обрабатываемом обode и во втулке устраняются сравнительно легко при механической обработке, однако вырубка и зачистка шва на внутренних поверхностях необрабатываемых отверстий являются трудоемкими операциями.

Смещение диска к верхнему краю обода и втулки позволяет изменить линию разъема формы (рис. 91, *б*). В этом случае значительно проще устранить шов как по контуру отливки, так и в отверстиях, а следы шва снять при последующей механической обработке без увеличения ее трудоемкости.

Соответствие конструкции литых деталей условиям механизации процессов изготовления стержней. При механизированном процессе изготовления форм для сложных отливок объем стержневых работ значительно превышает объем формовочных. В этих случаях на общую трудоемкость изготовления отливки влияет уровень механизации процессов изготовления стержней. Возможность перевода изготовления стержней на машины зависит от наличия в стержне плоской поверхности, которая будет стороной набивки стержня, а также опорной поверхностью для устойчивого и удобного положения стержня на сушильной плите.

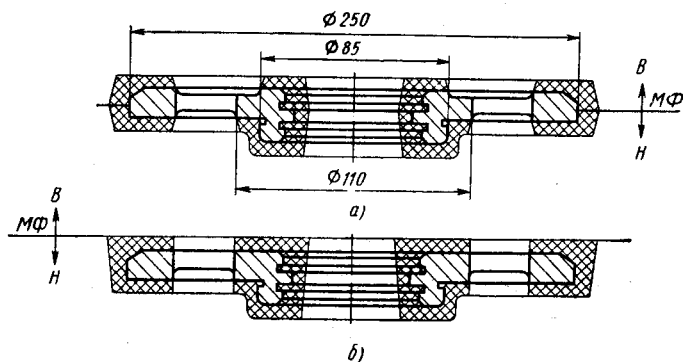


Рис. 91. Фланец станка мод. 2620

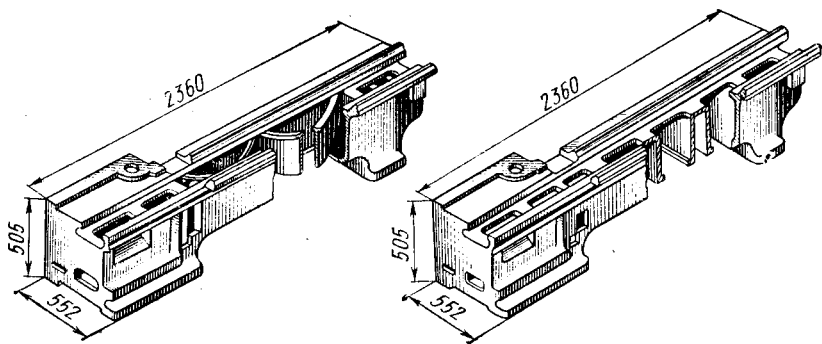


Рис. 92. Станина токарного станка с диагональными (а) и П-образными (б) ребрами

Стержни не должны иметь ребра, бобышки и другие элементы, выполняемые вручную. Сложные контуры внутренней полости отливки препятствуют изготовлению неразъемного стержня. В этих случаях изготовляют сборные стержни.

А. Я. Волынский приводит пример изменения конструкции станин токарно-винторезных станков с целью механизации процессов изготовления стержней. В первоначальной конструкции станин (рис. 92, а) противоположные стенки скреплялись диагональными ребрами жесткости. При этом очень сложными в изготовлении были два центровых стержня, выполняющие диагональные ребра. Эти стержни получали по деревянным ящикам, в каждый из которых вставляли по 12 отъемных частей.

После снятия коробки ящика и удаления отъемных стенок, диагональные ребра вытягивали в стороны под острым углом к боковой поверхности стержня. Выбранная плоскость набивки не обеспечивала устойчивого положения стержня на сушильной плите, так как высота стержня была в 4 раза больше ширины его основания. Кроме того, вызывали затруднения и процессы отделки, окраски и транспортировки сырых стержней.

Переход к изготовлению стержней на машинах требовал изменения конструкции отливки. По предложению литейщиков диагональные ребра были заменены П-образными (рис. 92, б). При этом стержни, разделенные пополам по оси станины, изготовляются на машине в алюминиевых ящиках, не имеющих отъемных частей.

Готовые половинки стержней сушат, зачищают по разьему, а затем спаривают с проверкой высоты по шаблону. Кроме того, упростились армирование, вентиляция и окраска стержней.

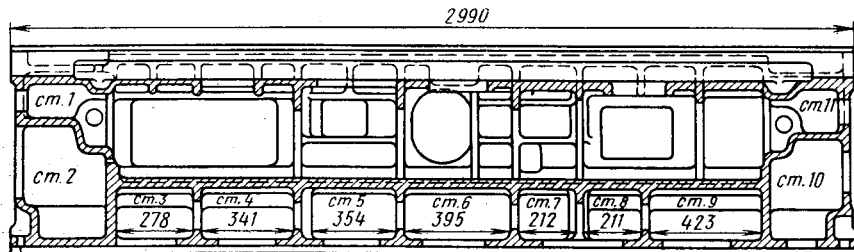
Однако при изменении конструкции отливки с целью механизации процессов изготовления стержней следует отдавать предпочтение конструкциям, обеспечивающим изготовление неразъем-

ных стержней, так как при изготовлении разъемных стержней увеличиваются затраты на каркасы, спаривание, подсушку и др., а также увеличивается необходимая площадь сушильных плит, что должно быть компенсировано экономией от механизации процесса и снижения брака.

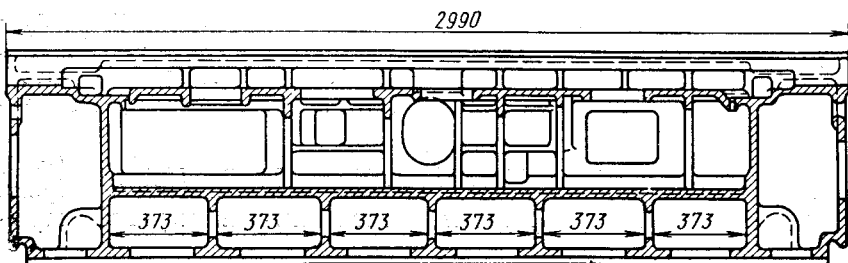
Унификация стержней. Снижение трудоемкости изготовления отливок определяется не только числом стержней, но и числом стержневых ящиков. Это имеет особое значение при изготовлении деревянных модельных комплектов для крупных единичных и мелкосерийных отливок, так как в этом случае значительная часть всех затрат рабочего времени и материалов приходится на изготовление стержневых ящиков.

Унификация стержней и изготовление группы стержней по одному ящику сокращает расходы на изготовление модельных комплектов, повышает производительность труда стержневых и сборочных участков, благоприятно сказывается на точности отливок и снижении брака. Основным условием уменьшения числа стержневых ящиков является унификация внутренних полостей отливок, что создает условия для выполнения стержней по одному и тому же ящику.

Например, анализ конструкции станины плоскошлифовального станка (рис. 93, а) показал, что нижняя ее полость служит только опорой вышележащей части станка [11]. Несмотря на это, конструктор разбил эту полость на семь совершенно разных от-



а)



б)

Рис. 93. Станина плоскошлифовального станка

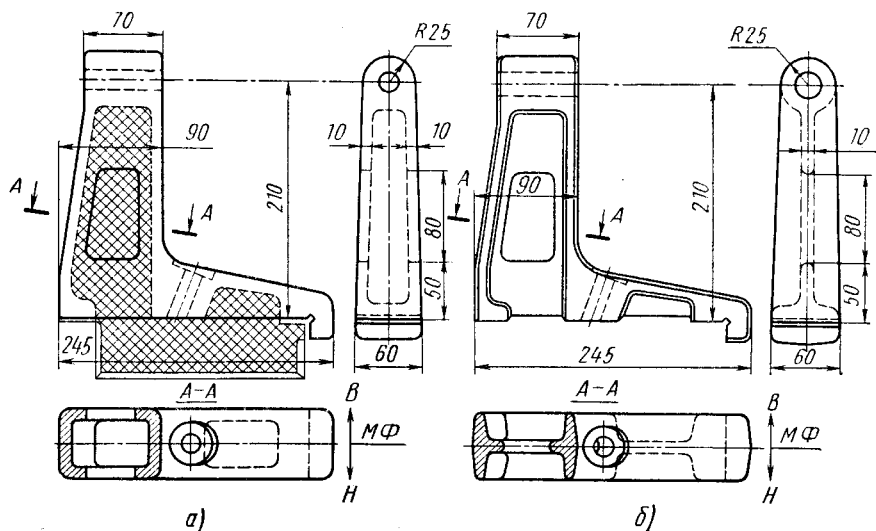


Рис. 94. Стойка круглошлифовального станка

секов, выполняемых стержнями *ст.3—ст.9*. Кроме того, по разному оформлены и торцовые полости, выполняемые стержнями *ст. 1, 2, 10 и 11*. Таким образом, изготовление станины требует изготовления одиннадцати различных ящиков. Усложняется процесс сборки формы и увеличивается вероятность различных погрешностей при установке стержней.

После изменения конструкции станины (рис. 93, б) нижнюю полость разделили на шесть одинаковых отсеков, для выполнения которых стержни изготавливаются по одному ящику. Вместо четырех торцовых полостей сделали только две одинаковых размеров, для выполнения которых стержни также изготавливаются по одному ящику. Таким образом, вместо одиннадцати стержневых ящиков после изменения конструкции станины требуется только два, что значительно снижает стоимость модельного комплекта и упрощает сборку формы.

Уменьшение числа стержней. В ряде случаев незначительные изменения конструкции отливки дают возможность уменьшить число применяемых стержней. Так, стойка круглошлифовального станка (рис. 94, а) имела коробчатую форму с полуоткрытыми внутренними полостями, выполняемыми с помощью стержня. Замена коробчатой формы стойки двутавровой (рис. 94, б) позволила отказаться от стержней и получить отливку более дешевой за счет снижения стоимости стержневых и сборочных работ, а также очистки внутренней полости отливки.

Корпус станка мод. 6Т81Г, предназначенный для крепления блоков шестерен в расточках *I, II, III*, выполнял одновременно

и роль кожуха, кроме того, закрывался крышкой по плоскости *A* верхнего прилива (рис. 95, *a*).

Для получения этой отливки необходим был крупный и неудобный в изготовлении стержень. Исследование конструкции отливки показало, что кронштейны под расточку *I* не обеспечивают достаточной жесткости при сверлении отверстий, а плоскость *B* требует сложной механической обработки по всему контуру.

После изменения конструкции корпусу придавали только силовые функции, крышку изменили и выполнили из пластмассы, кронштейны под расточки *I*, *II*, *III* замкнули ребром жесткости *B* (рис. 95, *б*). Уменьшился объем механической обработки по плоскости *B* и объем стержневых работ. Одновременно упростились процессы изготовления оснастки, формовки и сборки. Размещение всей отливки в одной нижней полуформе повысило ее точность.

При анализе технологичности деталей наибольший эффект можно получить, если технолог-литейщик будет ознакомлен не только с конструкцией отдельной детали, но и с ее служебным назначением и расположением в станке, так как в этом случае можно смелее и эффективнее решать вопросы рационального изменения конструкции детали.

Рассмотрим пример анализа конструкции литых деталей точного станка мод. 2620, выполненного сотрудниками Оргстанкинпром. Станок массой 12 000 кг включает 239 литых деталей общей массой около 10 000 кг. Производство отливок механизированное. Рассмотрим примеры изменения конструкции некоторых деталей.

Корпус блочника — отливка размерами $792 \times 320 \times 165$ мм, массой 120 кг. Блочник устанавливают на верхнем торце колонны.

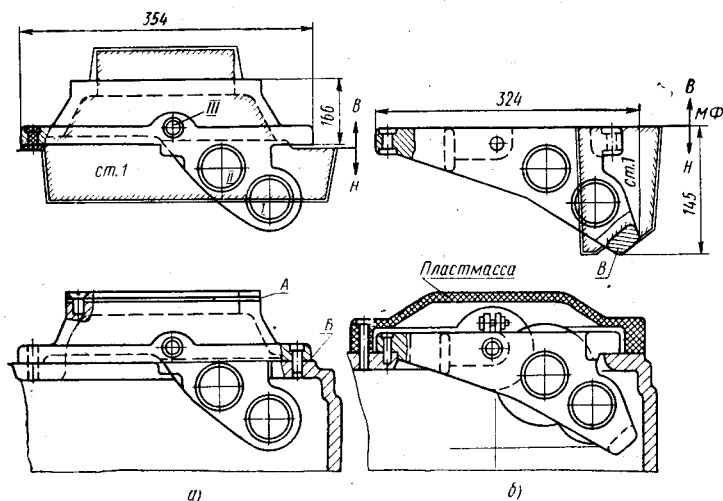


Рис. 95. Корпус станка мод. 6Т81Г

Концы детали в виде вилок служат для закрепления роликов, по которым перемещается трос противовеса. Нагрузка на деталь около 3 тс.

Закрытая внутренняя полость *М* отливки и форма приливов *N* для осей роликов вынуждают применить три стержня; *ст. 1* и *ст. 3* для выполнения вилок и *ст. 2* для выполнения внутренней полости (рис. 96, *а*). Боковое расположение стержня *ст. 2* при наличии консоли затрудняет его крепление в форме и требует применения жеревеек. При незначительном изменении конфигурации приливов *N* и замене закрытой полости *М*, не имеющей служебного назначения, открытой с ребрами жесткости можно изменить положение плоскости разъема, что позволит разместить всю отливку в одной нижней полуформе и исключить применение стержней (рис. 96, *б*).

Плита для крепления электродвигателя — отливка размерами 500 × 270 × 70 мм, массой 42 кг. Плита прилегает к станине прямоугольным фланцем и крепится четырьмя болтами. Площадка с резьбовыми отверстиями необходима для крепления электродвигателя, внутренняя полость *N* — для размещения проводов.

Внутренние отбортовки в полостях *М* и *N* и перегородки между ними вынуждают применять для изготовления отливки два стержня (рис. 97, *а*).

Устранение отборонок по периметру полостей *М* и *N* и незначительное изменение конструкции приливов под болты (рис. 97, *б*) не сказываются на служебном назначении детали, но позволяют отказаться от стержней и значительно упростить формовочные, сборочные и очистные работы.

Поворотный стол — отливка размерами 1300 × 1120 × 150 мм, массой 1200 кг. С одной стороны отливки находится кольцевая направляющая *A*, а с другой — плоскость стола с Т-образными пазами для крепления деталей (рис. 98).

Со стороны направляющей *A* к столу крепят стальной зубчатый венец, служащий для перемещения стола вокруг оси.

При изготовлении отливки наиболее ответственная ее часть — зеркало стола должно находиться внизу. В этом случае восемь стержней *ст. 1—ст. 8*, необходимых для выполнения внутренних камер, и шесть стержней *ст. 10—ст. 15* — для наружного кольцевого лабиринта крепят в верхней полуформе. Такое решение весьма сложно и не гарантирует стабильности качества отливки вследствие возможности засоров и газовых раковин.

Совместная работа конструктора и технолога позволила значительно упростить отливку без снижения ее жесткости и других эксплуатационных показателей.

При этом были сделаны открытыми восемь закрытых камер, введены дополнительные кольцевые и радиальные ребра жесткости, опорные бобышки для крепления зубчатого венца, незначительно изменено оформление направляющей. Данные изменения позволили полностью исключить 14 стержней (рис. 98, *б*),

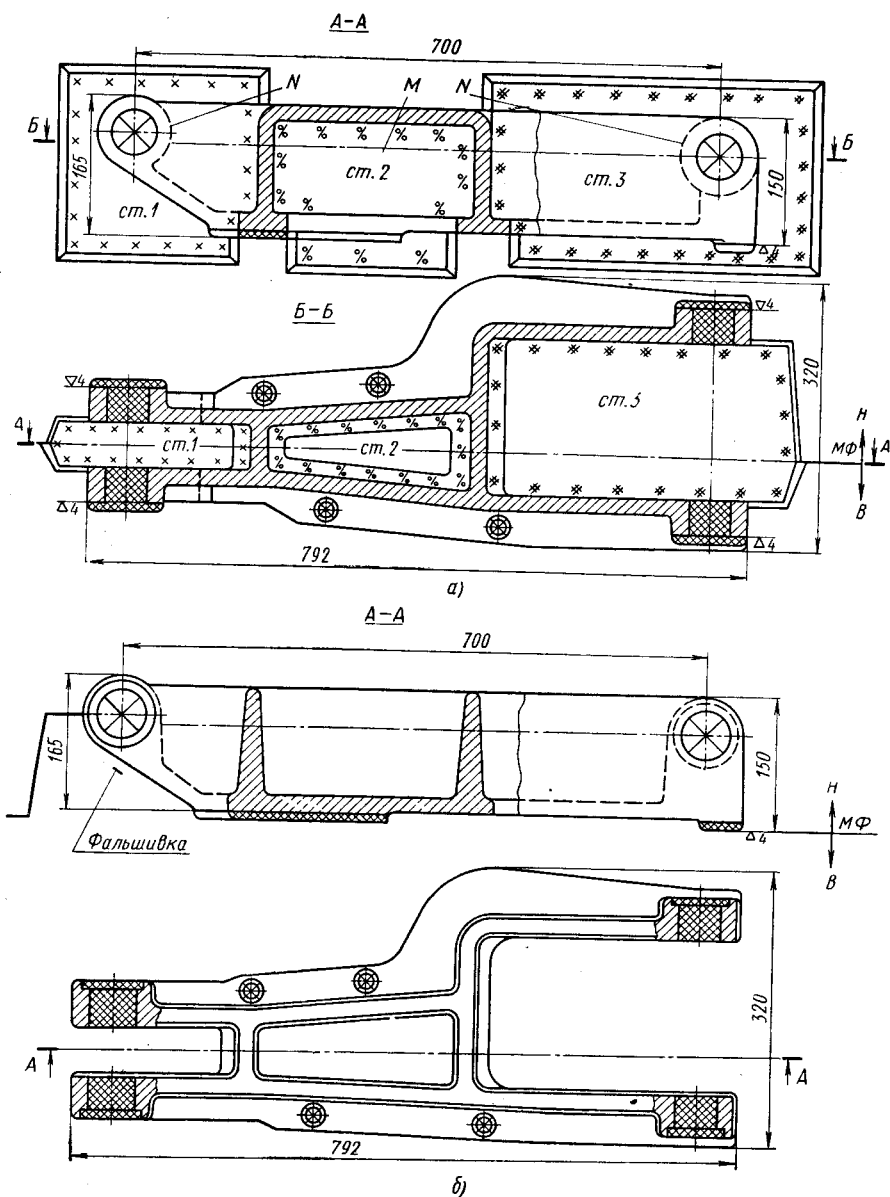


Рис. 96. Корпус блочника

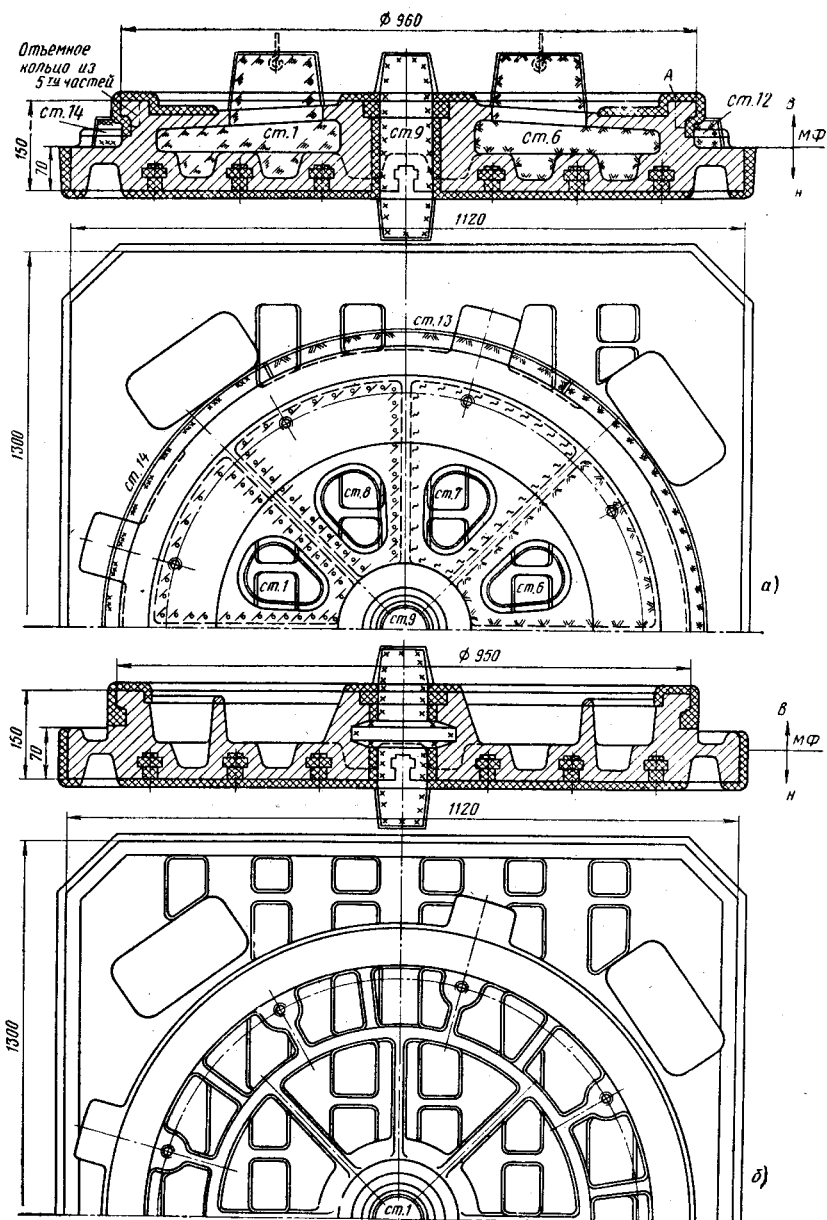


Рис. 98. Поворотный стол

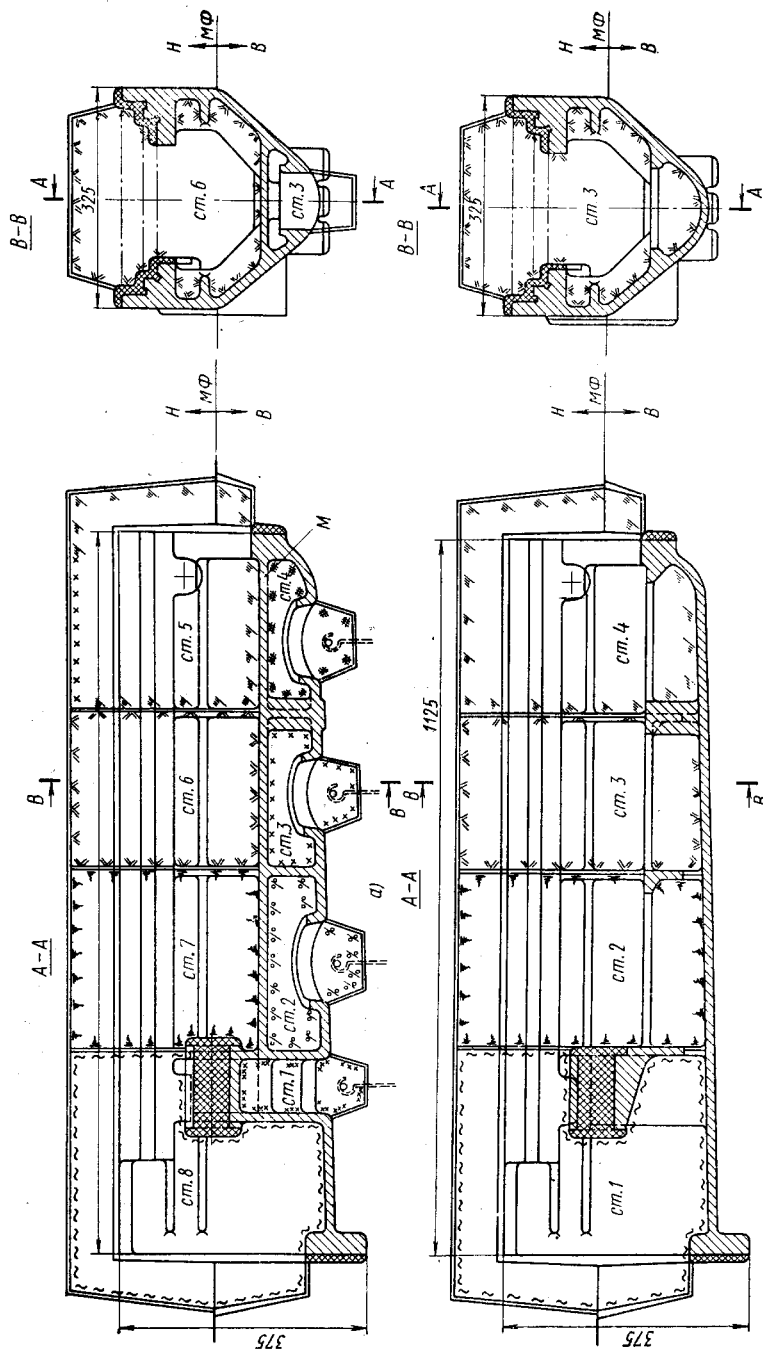


Рис. 99. Корпус хвостовика

облегчить изготовление и сборку формы, операции обрубки и очистки, гарантировать минимальный брак, а следовательно, значительно снизить трудоемкость (табл. 34).

Корпус хвостовика. Корпус хвостовика размерами $1125 \times 375 \times 325$ мм и массой 250 кг воспринимает усилия от шпинделя станка. Продольная стенка *М*, проходящая по всей длине детали, разделяет ее на две части и вынуждает применить для ее изготовления восемь стержней, из которых четыре *ст. 1—ст. 4* необходимо крепить в верхней полуформе (рис. 99, *а*). Выше этой стенки находилась маслосборная полость, которую без ущерба для эксплуатации можно выполнить и в нижней части отливки.

Объединение обеих полостей в одну общую полость и выполнение ее с помощью четырех стержней, закрепленных в нижней полуформе (рис. 99, *б*), значительно снизило трудоемкость изготовления на всех этапах производства и повысило качество отливки.

Станина. Станина размером $4075 \times 1525 \times 450$ мм и массой 4000 кг является деталью станка, выдерживающей основные нагрузки и обеспечивающей жесткость и стабильность размеров при длительной эксплуатации.

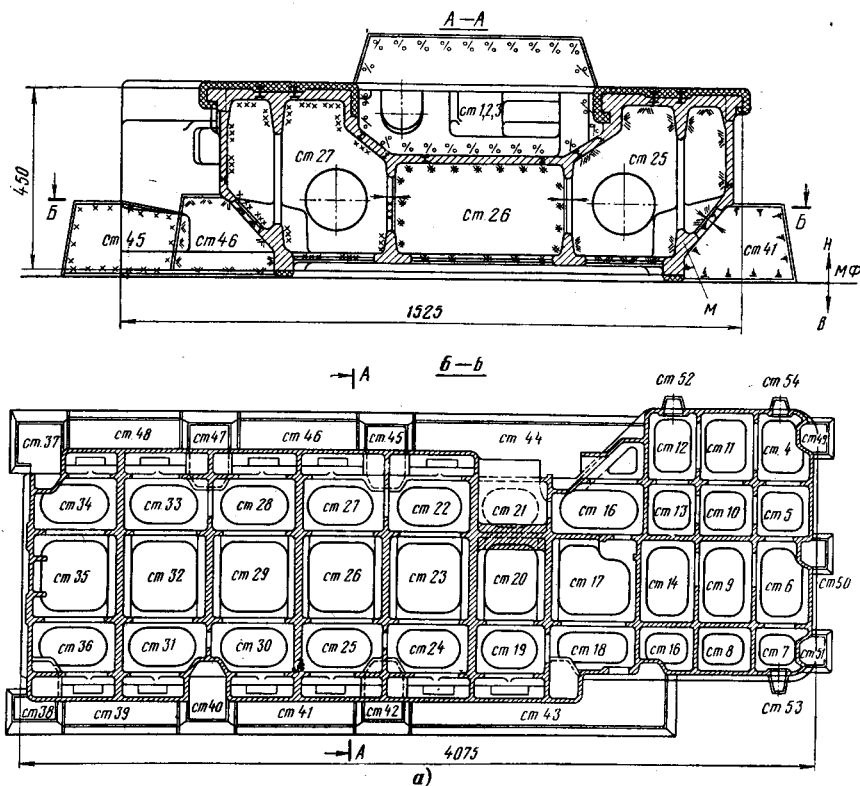
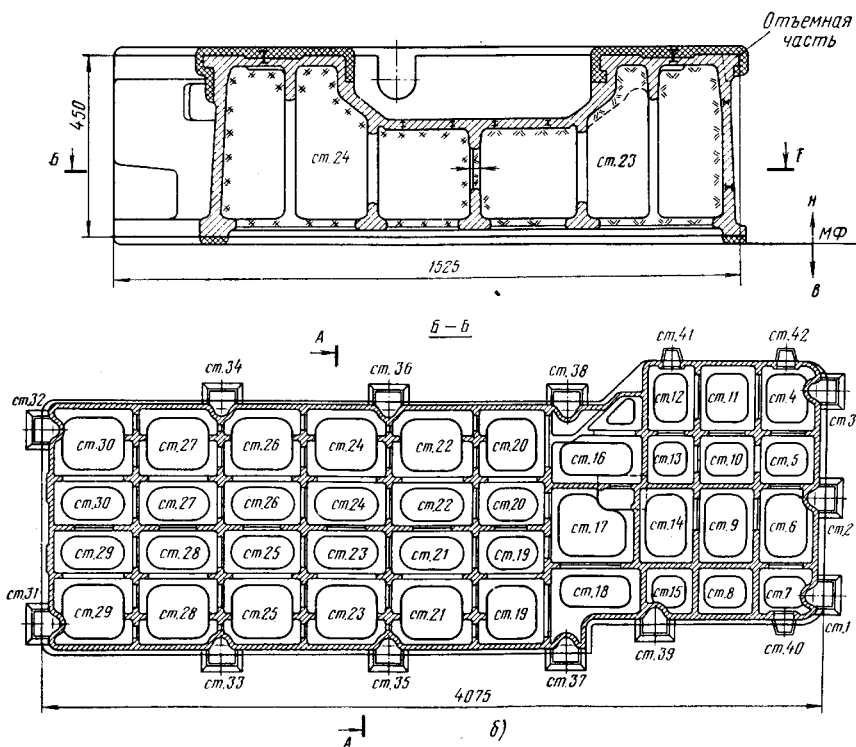


Рис. 100. Станина

Основными недостатками конструкции являлись скосы M по всей длине отливки и окна на наружных продольных стенках в этих скосах, различная толщина стенок 16—22 мм, малые размеры окон. Наиболее рациональное расположение отливки в нижней опоре направляющими книзу вынуждало оформлять наружные стенки стержнями *ст. 37—ст. 48* (рис. 100, *а*). Внутренние стержни, например *ст. 25* и *ст. 27*, были неустойчивые и не имели надежного крепления. В отливке образовывалось около 12 м наружных швов, требующих тщательной зачистки.

При анализе конструкции выявили, что форма наружных стенок, расположение окон и перемычек и др. выбраны необоснованно, вследствие чего нашли возможность устранить скосы наружных стенок с окнами, принять равномерную толщину стенок 18 мм, изменить положение внутренних перемычек и увеличить размеры окон (рис. 100, *б*). Это позволило избавиться от наружных стержней, объединить и уменьшить число внутренних стержней при более надежном их креплении, устранить наружные швы от стержней, значительно снизить трудоемкость изготовления отливки (табл. 34) и улучшить ее качество. Пересмотр конструкций всех 239 литых деталей станка мод мод. 2620 и соответ-



ТРУДОЕМКОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОТЛИВОК
РАСТОЧНОГО СТАНКА МОД. 2620 ДО И ПОСЛЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ

Отливка	Масса отливки, кг	Трудоемкость операций, мин			
		изготовления и сборки форм		изготовления стержней	
		до изме- нения	после из- менения	до изме- нения	после из- менения
Корпус блочника	120	46,0	31,5	23,2	—
Плита для крепления элек- тродвигателя	42	12,0	9,1	10,3	—
Поворотный стол	1200	154,0	73,0	102,2	2,8
Корпус хвостовика	250	122,0	62,0	59,8	54,0
Станина	4000	1394,0	1183,0	1860,0	1470,0
Итого	—	1728,0	1358,6	2055,1	1526,8
Экономия, мин		369,4		528,3	

Отливка	Масса отливки, кг	Трудоемкость операций, мин			
		очистки и обрубки отливок		всего	
		до изме- нения	после из- менения	до изме- нения	после из- менения
Корпус блочника	120	9,8	6,3	79,0	37,8
Плита для крепления элек- тродвигателя	42	7,8	5,4	30,1	14,5
Поворотный стол	1200	58,0	26,0	314,2	101,8
Корпус хвостовика	250	25,0	18,0	206,8	134,0
Станина	4000	497,0	376,0	3751,0	3029,0
Итого	—	597,6	431,7	4381,1	3317,1
Экономия, мин		165,9		1064,0	

ствующие расчеты дали экономию при изготовлении одного комплекта отливок около 28 нормо-часов и соответствующую условную экономию при изготовлении партии станков 2000 шт. около 125 тыс. р.

Глава IV

Изготовление форм и стержней

При выборе технологии изготовления форм и стержней должны быть учтены факторы, обеспечивающие изготовление отливок в соответствии с техническими условиями и требованиями чертежа детали и позволяющие получать высокие технико-экономические показатели в литейном производстве.

К основным факторам относятся масса отливок, серийность, регламентируемая точность размеров и чистота поверхностей, требования к свойствам металла, зависящим от назначения литой детали и т. д. Отливки можно разделить по массе на четыре группы:

- I — мелкие до 100 кг;
- II — средние 100—1000 кг;
- III — крупные 1000—5000 кг;
- IV — тяжелые более 5000 кг.

Технологический процесс изготовления форм и стержней характеризуется способом механизации процесса, состоянием формы (сырая, сухая, с поверхностной подсушкой) и применяемыми смесями.

Выбор технологического процесса зависит как от указанных выше факторов, так и от условий производства (имеющихся формовочных и стержневых машин, вспомогательного и грузоподъемного оборудования и др.).

Производство станочных отливок носит в основном единичный и мелкосерийный характер.

По состоянию на 1971 год 30% форм было изготовлено вручную, 59,9% форм — на машинах и пескометах, 4,7% форм — из ЖСС и 5,8% форм — спецвидами литья.

Внедрение автоматических линий и пескометов для изготовления форм позволит значительно снизить удельный вес ручных процессов. Методы быстросменного монтажа моделей обеспечат экономичность машинного изготовления мелкосерийных и даже единичных отливок.

Повышение технико-экономических показателей, значительное снижение трудоемкости и улучшение условий труда может быть достигнуто при использовании новых самотвердеющих смесей: жидких ЖСС, пластичных ПСС, сыпучих СТС.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ РАЗРАБОТКИ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Объем разработки определяется в основном серийностью заказа. Содержание разработки должно обеспечивать информацией изготовление отливок на всех стадиях технологического процесса.

Технологическая документация содержит необходимые данные для изготовления модельного комплекта, формы и стержней, сборки формы; устанавливает шихты и составы формовочных и стержневых смесей в соответствии с заводской нормалью; дает указания по финишным операциям и контролю технологического процесса и готовых отливок.

Объем разработки литейной технологии при серийном, мелко-серийном и единичном производстве, а также параметры, указы-

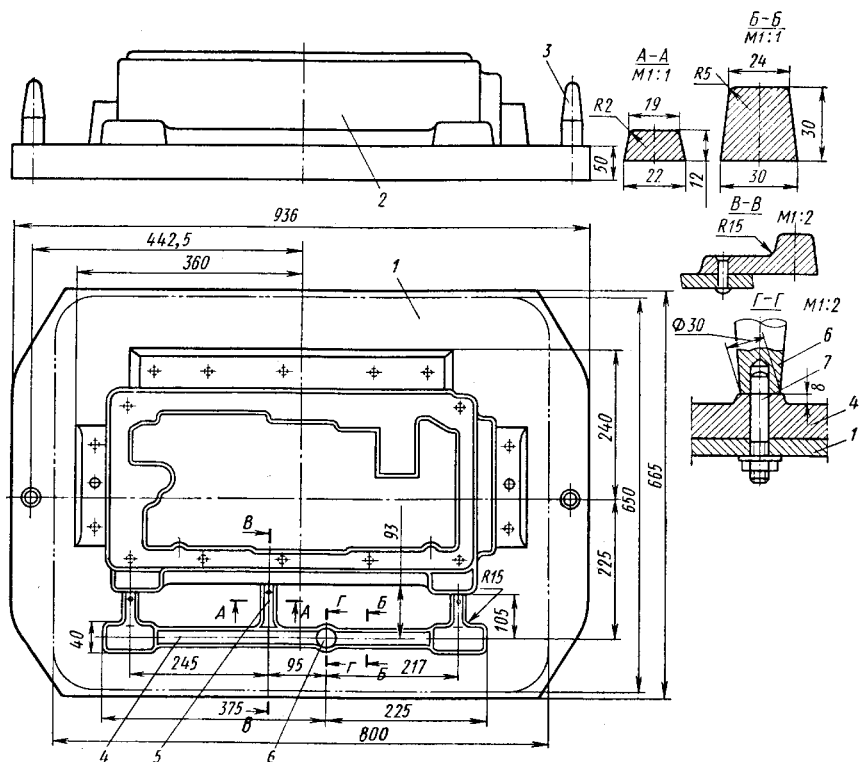


Рис. 102 Верхняя часть модели с литниковой системой на модельной плите:

1 — модельная плита; 2 — модель; 3 — штырь; 4 — шлакоуловитель; 5 — питатель; 6 — стояк; 7 — шпилька под стояк

ваемые на чертеже детали, приведены соответственно в таблицах 35 и 36.

Технологические карты (штампы) в основном применяют двух типов. Для мелкого среднего и крупного литья используют технологическую карту, разработанную на заводе «Станколит».

В этой карте, выполняемой обычно в виде штампа, находят отражение данные, необходимые как для изготовления отливок и их транспортировки, так и расчета оптовых цен по общесоюзному прейскуранту. При изготовлении мелкосерийных и единичных отливок эту карту заполняют не полностью: не указывают массу литниковой системы, число испытаний на твердость, массу чугунных каркасов и некоторые другие характеристики.

При изготовлении крупных и тяжелых отливок можно использовать технологическую карту, разработанную на ЛСО им. Свердлова.

Для крупных и тяжелых отливок, получаемых в опоках, кессонах и в почве, большое значение имеют вопросы скрепления форм перед заливкой и времени охлаждения отливки в форме до выбивки.

В соответствии с этим дополнительно устанавливают и указывают на обороте рабочего чертежа детали: способ скрепле-

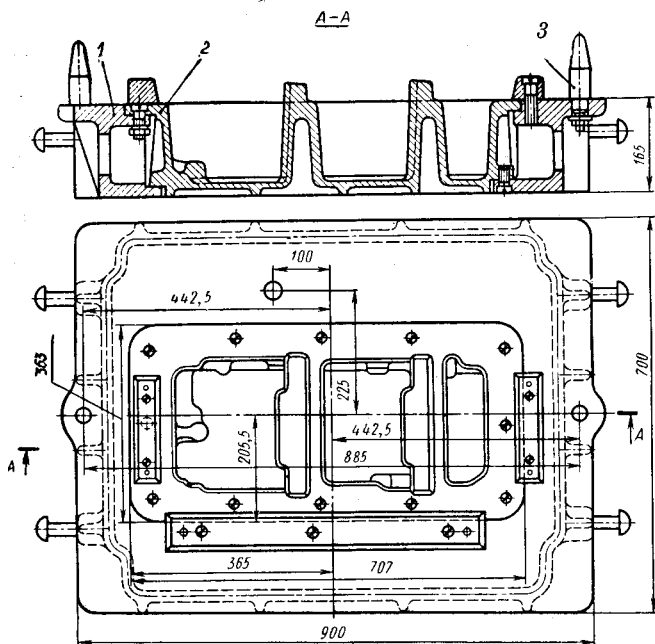


Рис. 103. Нижняя часть модели на модельной плите:

1 — модельная плита; 2 — вкладыш (специальная плита); 3 — штырь

ОБЪЕМ РАЗРАБОТКИ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СЕРИЙНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Технологический документ	Производство			Примечание
	серийное и крупносерийное	мелкосерийное	единичное	
Чертеж детали (синька) с нанесенными технологическими указаниями	+	+	+	См. табл. 36
Технологическая карта (штамп)	+	+	+	
Монтажные эскизы для верхней и нижней частей модели с расположением литниковой системы и выпоров, ее конструкции и размерами	+	+	+	Возможна формовка без монтажа под песком-метами, на установках ЖСС, вручную. Размеры литниковой системы обязательны
Чертежи металлических моделей, стержневых ящиков, фальшивок	+	—	—	Выполняются без рабочих размеров детали
Чертеж собранной формы в разрезе и в плане	+	—	—	Число разрезов должно быть достаточным для полного представления процесса сборки формы
Чертежи шаблонов для изготовления и контроля стержней, форм, сборки форм, отливок	+	+	+	Для мелкосерийного и единичного производства вычерчивают эскизы на обороте чертежа детали
Чертежи холодильников, скоб или цапф для транспортировки отливок. Чертежи моделей каркасов и оправок	+	+	+	

ПАРАМЕТРЫ, УКАЗЫВАЕМЫЕ НА РАБОЧЕМ ЧЕРТЕЖЕ ДЕТАЛИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Параметры	ГОСТы и нормал
Разъем формы (модели) в основных проекциях (положение при формовке и заливке)	РТМ 1—59; ГОСТ 2.423—73
Величина припусков на механическую обработку, технологические напуски для питания отливок	ГОСТ 1855—55
Формовочные уклоны	ГОСТ 3212—57
Границы стержней с условной штриховкой по контуру каждого стержня и порядковыми номерами во всех проекциях	РТМ 1—59; ГОСТ 2.423—73
Размеры и уклоны знаков, величина зазоров, фиксаторы и метки стержней	ГОСТ 3606—57
Вывод газа из стержней. Плоскость набивки стержней	РТМ 1—59; ГОСТ 2.423—73
Отъемные части на модели	МН 2041—61; ГОСТ 2.423—73 РТМ 1—59; МН 3527—62
Фальшивки (места подрезки)	РТМ 1—59; ГОСТ 2.423—73
Литниково-выпорная система, при- были	—
Поверхности, на которые устанавли- вают холодильники	—
Специальные приливы для опреде- ления микроструктуры отливки	По ТУ 2—024—708—67 для отливок 1 и 2-го классов группы 6
Места датирования и нормаль даты для корпусных отливок станков	—
Окна или специальные приспособ- ления для транспортировки отливок	—
Технологические стяжки для увели- чения жесткости модели или отливки	—

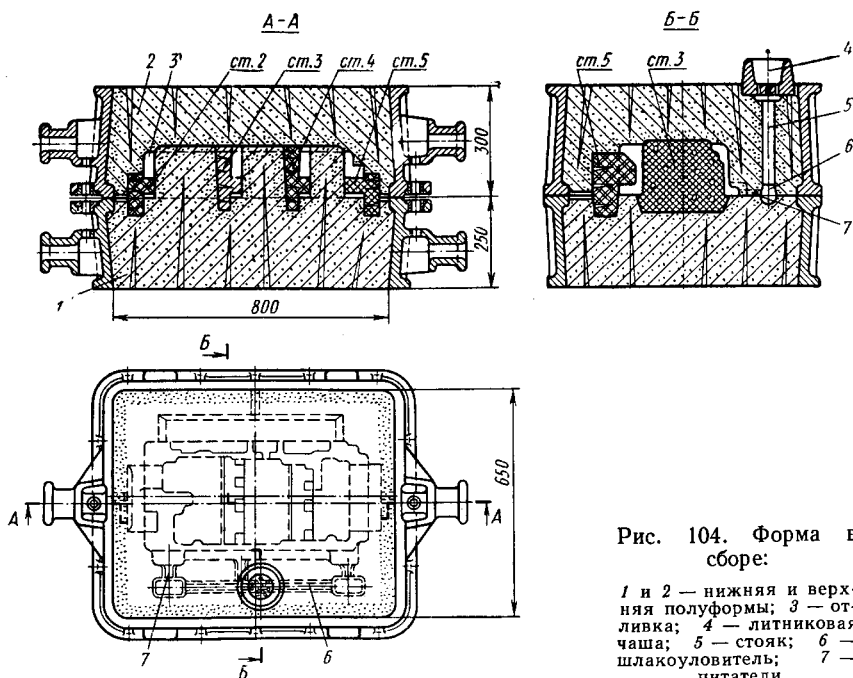


Рис. 104. Форма в сборе:

1 и 2 — нижняя и верхняя полуформы; 3 — отливка; 4 — литниковая чаша; 5 — стояк; 6 — шлакоуловитель; 7 — питатели

ния или нагружения формы перед заливкой, а также массу грузов, модели, верхней и нижней полуформ, собранной залитой формы, нижней полуформы с отливкой и отливки со стержнями.

Чтобы представить объем разработки литейной технологии при крупносерийном производстве, на рис. 101 приведен пример разработки технологии отливки корпуса коробки подач токарно-винторезного станка мод. 1К62, на рис. 102 и 103 — монтаж верхней и нижней частей моделей, а на рис. 104 — собранная форма для той же отливки.

ВЫБОР ПЛОСКОСТИ РАЗЪЕМА ФОРМЫ

Положение формы при заливке и выбор плоскости разъема формы существенно влияют на качество отливки и экономичность процесса. При этом учитывают возможность расположения наиболее ответственных поверхностей внизу при заливке и возможность направленного затвердевания отливки и «питания» массивных ответственных узлов ее.

Принятая плоскость разъема формы определяет совпадение положения формы при заливке и формовке, возможность расположения всей отливки или наиболее ответственных ее частей в одной полуформе, минимальное число стержней, минимальную протяженность швов, удобство процессов сборки формы и т. д.

Одновременное удовлетворение всех этих требований на практике оказывается невозможно, поэтому технологу приходится выбирать такие из них, которые обеспечивают получение качественной отливки с наибольшей экономией.

Ниже приведены примеры, показывающие, как на выбор плоскости разъема влияют серийность заказа, особенности формы и положение при заливке ответственных поверхностей отливки.

При единичном производстве отливок корпуса унифицированных салазок для агрегатных станков и автоматических линий плоскость разъема формы делают параллельно направляющим и всю отливку размещают в нижней полуформе направляющими книзу (рис. 105, а). В результате достигаются минимальная трудоемкость изготовления модельной оснастки и повышенная чистота направляющих.

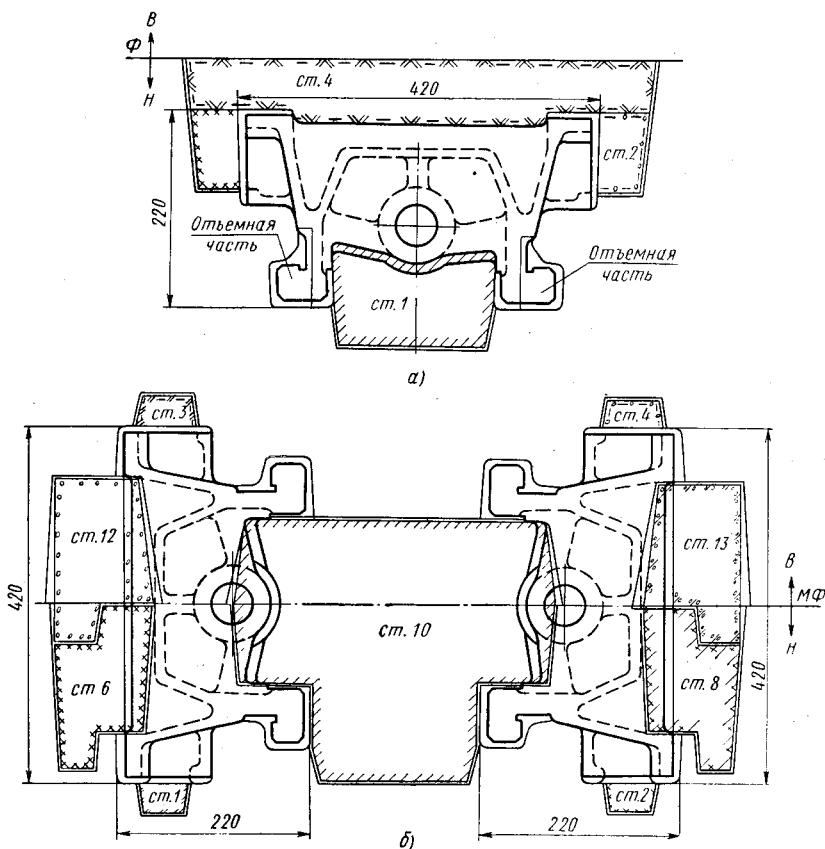


Рис. 105. Зависимость плоскости разъема формы от серийности производства (отливка корпуса салазок, масса 220 кг)

При серийном производстве этих же отливок целесообразно изготавливать две модели и назначать плоскость разъема перпендикулярно направляющим. Модельный комплект усложняется, но в тех же опоках ($1800 \times 1000 \times 400$ мм) размещаются две отливки (рис. 105, б), что увеличивает металлоемкость формы. По этому варианту можно получать качественные отливки с направляющими толщиной до 70 мм.

При единичном производстве форму для отливки (масса 1100 кг) корпуса передней бабки тяжелого токарного станка мод. МК164 можно изготавливать под пескоструей, что при наличии крупных опок позволяет разместить всю отливку в нижней полуформе (рис. 106, а). Это исключает перекосы отливки, заливки по разъему формы, сокращает трудоемкость обрубных работ.

При серийном производстве отливок и изготовлении формы на машинах ограничением является величина хода приемного стола во время протяжки.

Для формовки на машине мод. 234М с максимальным ходом протяжки 490 мм линию разъема формы устанавливают на расстоянии 375 мм от верхней плоскости корпуса, что с учетом высоты знаков стержней составляет 475 мм. Часть отливки размещают в верхней опоке (рис. 106, б). Чтобы уменьшить опасность перекоса отливки и появления заливов, необходима тщательная подготовка оснастки и монтажа моделей.

На выбор плоскости разъема значительно влияют особенности формы. Так, при формовке по-сырому рекомендуют все болваны располагать в нижней полуформе и не крепить в верхней полуформе стержни. При формовке по-сухому эти рекомендации отпадают.

Расположение ответственных поверхностей. Обычно стремятся обеспечить нижнее по заливке расположение наиболее ответственных узлов и плоскостей отливки. Так, отливки большинства станин, салазок, столов, колонн и др. обычно располагают в форме направляющими книзу, что предотвращает появление раковин, обеспечивает получение плотного металла на поверхностях трения и облегчает установку холодильников.

На рис. 107 показана форма станины тяжелого токарно-винторезного станка мод. МК164 массой 3400 кг. Станина имеет направляющие общей длиной 5500 мм, шириной 240 и 270 мм и толщиной 65 и 110 мм.

При выбранной плоскости разъема направляющие находятся в нижней полуформе, что обеспечивает надежную установку стержней без применения жеребеек, высокую чистоту поверхности направляющих и плотность металла.

Столы станков различных типов имеют направляющие и зеркало, которые расположены с противоположных сторон.

Одновременно расположить их в нижнем положении невозможно. Обычно в этом положении заливают направляющие, которые должны иметь более плотный металл и чистую поверхность.

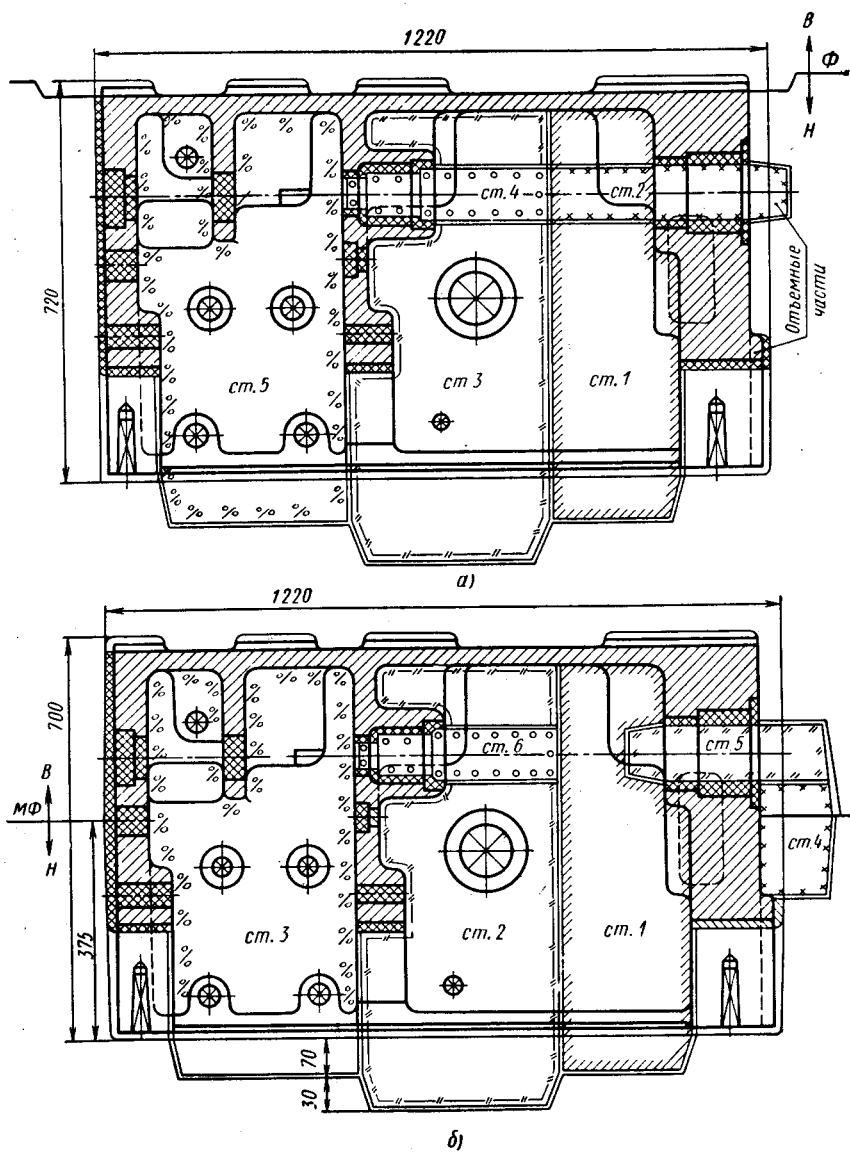


Рис. 106. Зависимость плоскости разъема формы от способа формовки

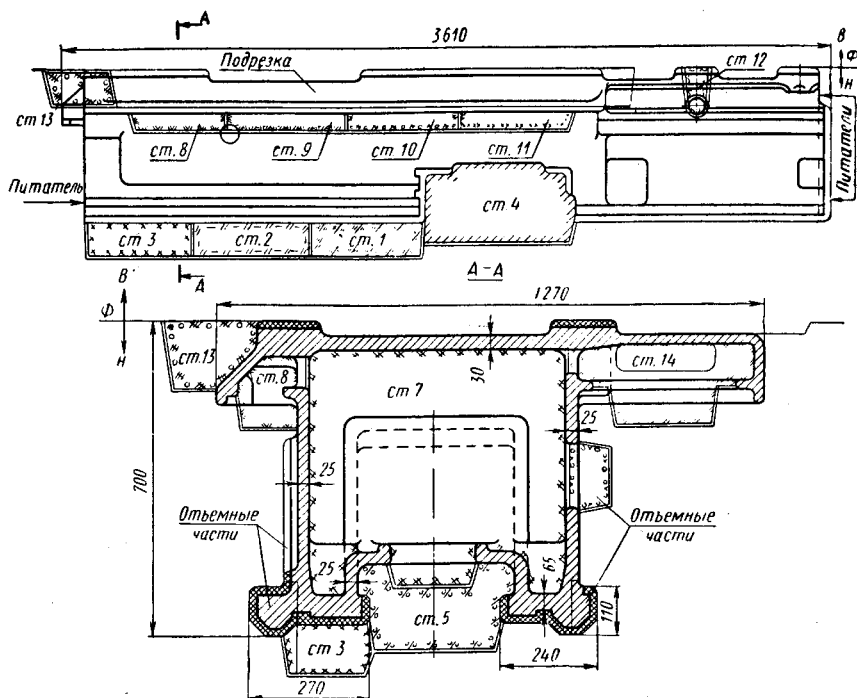


Рис. 107. Влияние плоскости разреза формы на качество ответственных поверхностей (отливка станины токарно-винторезного станка мод. МК164)

На рис. 108 показано расположение в форме отливки стола шлифшлифовального станка мод. 3451В массой 730 кг. При толщине зеркала стола с учетом припуска на обработку более 70 мм на поверхность зеркала рекомендуется ставить холодильники.

Качество отливок в ряде случаев можно обеспечить только при дополнительном питании ответственных массивных узлов в процессе затвердевания металла. Плоскость разреза при этом должна обеспечить минимальную трудоемкость выполнения питающих элементов (прибылей, бобышек и др.) и подачу в них горячего металла.

Примеры выбора плоскости разреза при установке прибыли и питающей бобышки приведены ниже.

При изготовлении отливок колонн, цилиндров, корпусов гидронасосов и других им подобных деталей не всегда удается выбрать единую плоскость разреза для формовки, сборки и заливки формы. В этих случаях выбирают плоскость разреза формы, обеспечивающую наиболее рациональный процесс формовки и сборки. Под заливку собранную форму поворачивают (кантуют) на 90°. Такое решение требует применения специальных опок и увеличивает трудоемкость процесса.

Рис. 108. Влияние плоскости разреза формы на качество ответственных поверхностей (отливка стола шлицецифровального станка мод. 3451В)

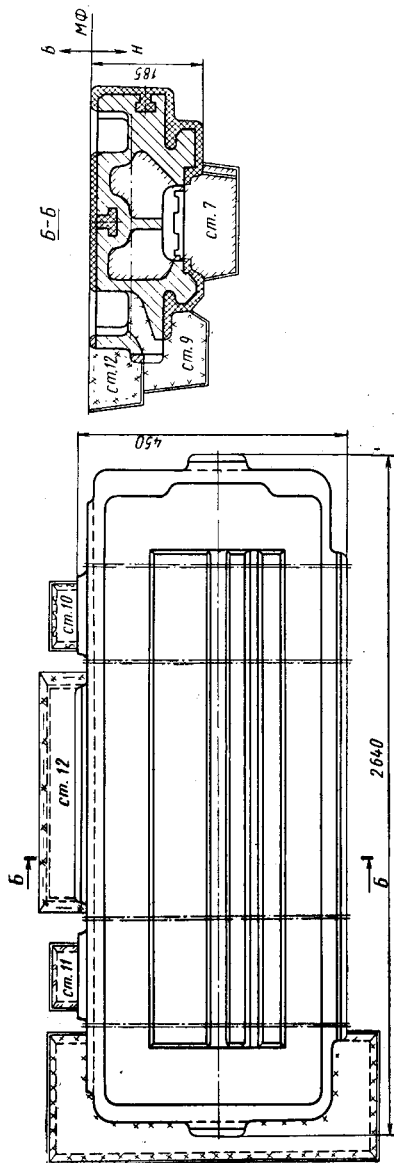
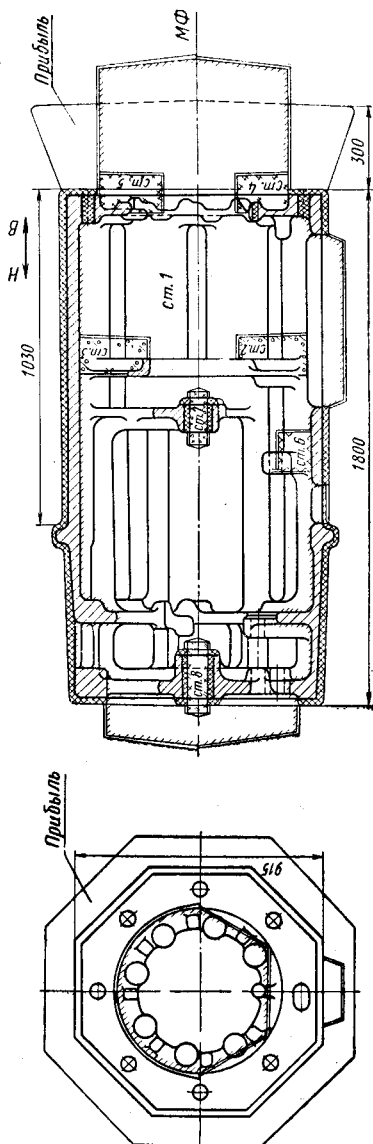


Рис. 109. Несовпадение плоскости разреза формы при формовке, сборке и заливке (отливка колонны вертикального токарного полуавтомата)



Например, нижнюю конусную часть колонны вертикального токарного полуавтомата массой 2525 кг, размерами $1800 \times 915 \times 915$ мм, необходимо обрабатывать до 7-го класса шероховатости. Внутренняя полость колонны имеет много ребер, бобышек и расточек. Для обеспечения качества направляющих и конусной части на торце колонны необходимо установить прибыль и при заливке направляющие располагать в форме вертикально.

При выборе плоскости разъема формы по оси колонны (рис. 109) снижается трудоемкость изготовления и сборки формы, а также обеспечивается надежная установка стержней в форму. Собранный форму под заливку поворачивают на 90° . Прибыль, установленная на торце, обеспечивает питание металлом массивных частей отливки — направляющих.

ВЫБОР СТЕРЖНЕЙ

При определении числа и границ стержней необходимо обеспечить следующее:

а) наиболее полное использование возможностей имеющихся машин, механизмов и грузоподъемных средств; б) удобство изготовления, транспортировки и сборки стержней; в) надежность фиксации и крепления стержней в форме при минимальном числе жереек; г) удаление газов из стержней в процессе заливки; д) возможность очистки внутренних полостей отливки.

Тенденция к уменьшению числа стержней способствует снижению трудоемкости производства, повышению качества и точности отливок.

В отдельных случаях при отсутствии транспортных средств, технологической оснастки необходимых размеров, соответствующего технологического оборудования приходится усложнять технологию и увеличивать число стержней при изготовлении отливок. Например, внутренняя полость отливки корыта массой 45 кг может быть выполнена одним стержнем массой 60 кг (рис. 110, а).

В случае отсутствия транспортных средств и при подаче стержня на сборку формы вручную приходится эту полость отливки выполнять двумя стержнями (рис. 110, б).

Для изготовления стержней часто применяют универсальные формовочные машины. Оптимальные размеры стержневых ящиков, позволяющие наиболее полно использовать площадь стола и грузоподъемность формовочной машины, приведены в табл. 37.

В случае мелких стержней в одном ящике следует изготавливать несколько стержней.

Вентиляция стержней. При разработке технологического процесса особое внимание уделяется конструкции знаков. Знаки должны надежно фиксировать стержень в форме и обеспечивать беспрепятственное удаление газов из него в процессе заливки металла. Эти известные положения решают каждый раз применительно к конкретным отливкам в зависимости от возможности рас-

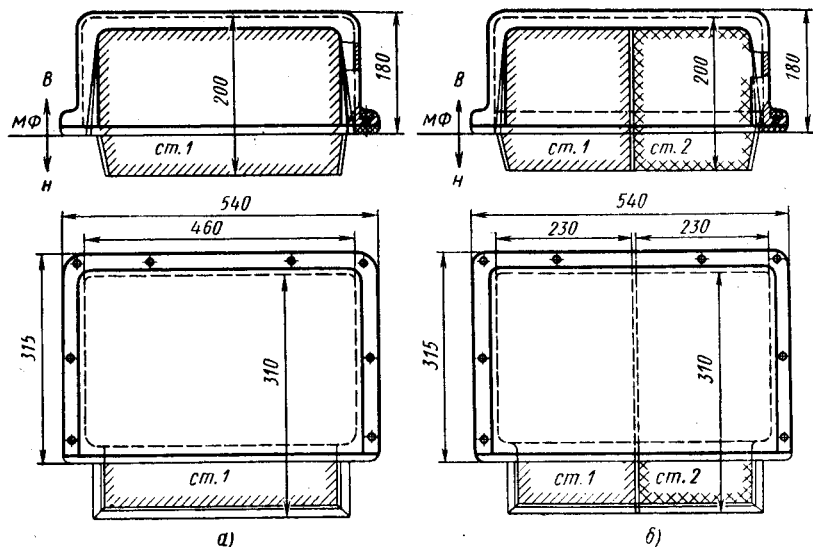


Рис. 110. Влияние транспортных средств на число и границы стержней (отливка корыта)

положения знаков в нижней, боковой или верхней частях формы, необходимости дополнительных опор для надежности крепления стержня (жереебок, специальных приспособлений), особенностей самого стержня, условий его вентиляции и т. д.

Так, конструкция станины агрегатного станка массой 1900 кг выполнена в виде прямоугольника с диагональными ребрами (рис. 112). Полость между направляющими оформляется стерж-

Таблица 37
ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ СТЕРЖНЕВЫХ ЯЩИКОВ, мм
(рис. 111)

Формовочная машина		A_{\max}	A_{\min}	B_{\max}	B_{\min}	H_{\max}	H_{\min}	t^*	C
Модель	Грузоподъемность, кг								
231	335	755	650	650	550	290	225	40; 35	250
232	675	1180	950	1100	750	450		40; 45	345
233	1350	1180	1000	1100	750	350		40; 45	345

Примечание. Интервал по высоте 25 мм.

нем *ст. 6*, который надежно фиксируется нижним знаком. Внутренняя полость станины — стержнями *ст. 7—ст. 9*. Эти стержни фиксируются жеребейками 1, опирающимися на стержень *ст. 6* и жеребейками 2, отделяющими стержни друг от друга и от стенки формы. Хотя жеребейки 1 и 2 устанавливают на неответственных местах, они должны быть чистыми, пассивированные нитритом натрия или лужеными. Газы из стержня *ст. 6* удаляются вниз, а из стержней *ст. 7—ст. 9* вверх через соответствующие каналы в полуформе. Газовые каналы в форме являются продолжением газовых каналов стержней. Для обеспечения совпадения газовых каналов в стержнях и форме на модели и в ящиках делают метки 3.

Для вентиляции стержней обычно применяют коксовую гарь, наколы, каналы по разьему стержня, соломенные жгуты, восковые фитили и другие способы. Для вентиляции неразъемных тонкостенных сложных стержней чаще всего используют восковые фитили. Эти способы вентиляции непригодны для стержней из наливных и других смесей холодного твердения. На заводе «Станколит» для вентиляции этих стержней используют полые капроновые

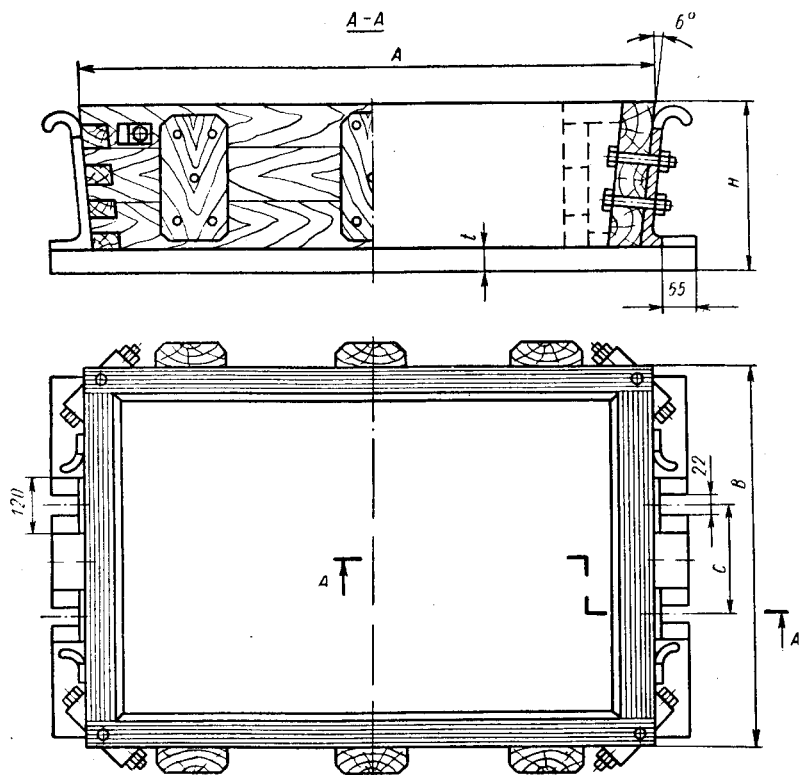


Рис. 111. Оптимальные размеры стержневых ящиков при машинной формовке

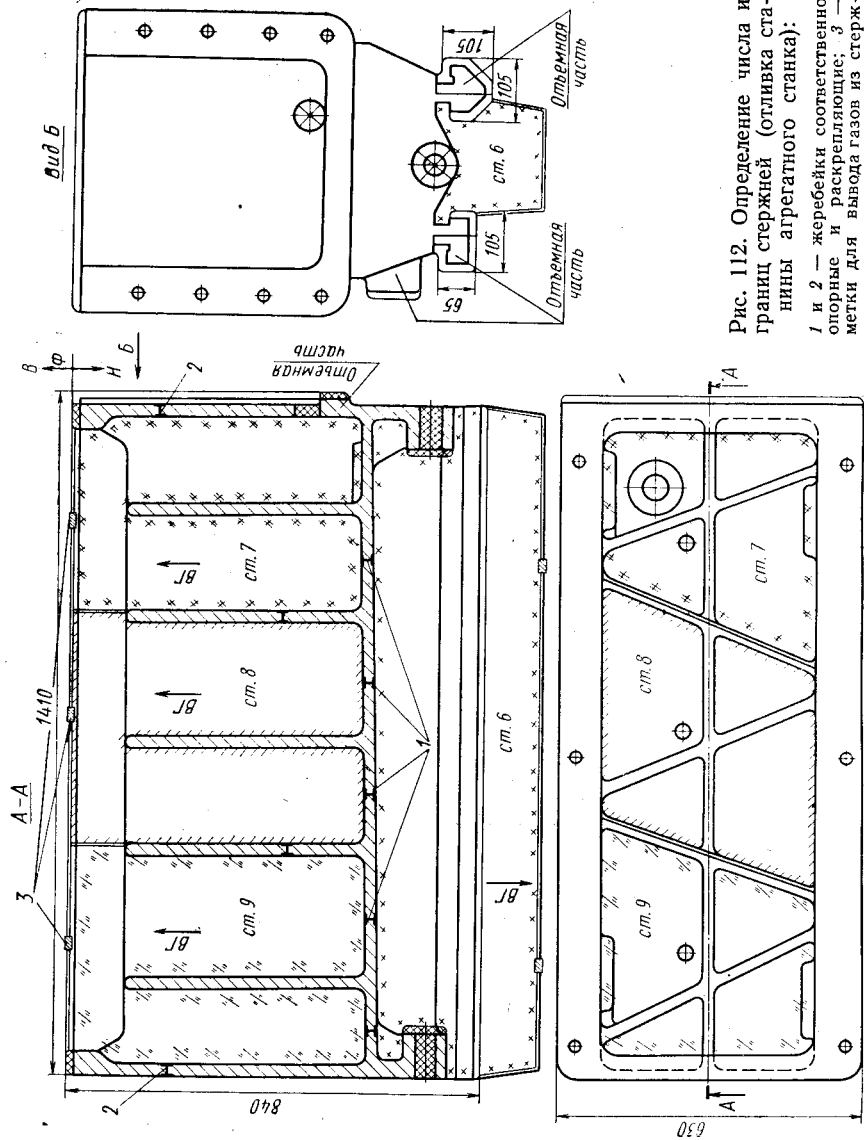


Рис. 112. Определение числа и границ стержней (отливка станины агрегатного станка):

1 и 2 — жерейки соответственно опорные и раскрепляющие; 3 — метки для вывода газов из стержней

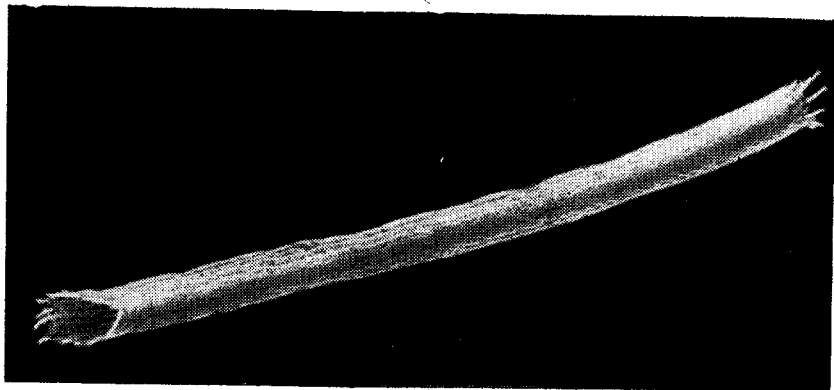


Рис. 113. Полый капроновый шнур

шнуры. Изготовление капроновых шнуров диаметрами 6; 9 и 12 мм освоено промышленностью.

Полый капроновый шнур (рис. 113) прокладывают внутри стержня в процессе его изготовления. Повороты шнура внутри стержня должны быть плавными, без переломов. Шнур обеспечивает высокую газопроницаемость стержня, не сминается при его изготовлении и не повышает газотворности, очень удобен в работе и обеспечивает надежную вентиляцию сложных стержней, что значительно снижает брак отливок по газовым раковинам. Кроме того, капроновые шнуры экономичнее восковых фитилей.

На рис. 114 показана технология изготовления отливки корпуса механизма перемещения стола резьбошлифовального станка массой 150 кг. Стержень *ст. 1* надежно фиксируется боковым знаком, стержень *ст. 3* — нижним знаком, стержни *ст. 2* и *ст. 5* — нижним и боковым знаками, а стержень *ст. 6* — боковым и верхним знаками. Газы из этих стержней удаляются через каналы *1* и *2*. Кроме того, в модели на боковой поверхности знака стержня *ст. 5* имеется планка *4*, образующая канал в форме для выхода газов из стержня *ст. 5*.

Затруднения вызывает выполнение в этой отливке полости стержнем *ст. 4*. Эта полость не имеет окон для выхода знаков в форму и стержень крепят в форме с помощью нижних и боковых жеребеек *5*. Газы выводятся через специальные каналы *3*, выполняемые в теле стержня *ст. 6* в соответствии с установленными метками.

Очень важно, чтобы газовые каналы стержня и формы не только совпадали, но и чтобы стык их был надежно уплотнен и защищен от попадания металла. Для этой цели по контуру каналов при сборке формы укладывают уплотняющие прокладки (валики) из глины. Глину прокладывают также и по разъему формы для предотвращения ухода металла. Эту операцию осуществляют обычно

вручную, что зачастую увеличивает зазоры между полуформами и заливки, искажает размеры отливки и т. д.

Соприкосновение металла с сырой глиной может вызвать окисление металла и увеличить брак отливок по газовым раковинам. С целью устранения указанных недостатков и уменьшения трудоемкости операции в качестве прокладки используют специальный шнур, изготавливаемый из асбеста, битума и масла. Шнуры диаметрами 6; 10 и 15 мм достаточно пластичны, прочны и transportabelны. Срок их годности 6 месяцев.

Прокладочные шнуры (рис. 115) значительно удобнее и гигиеничнее глины, вследствие чего недостатки, присущие влажной глине, в значительной мере устраняются.

Процесс изготовления шнура включает следующие операции:

1. Расплавление битума и перегрев масла до температуры 90°C .
2. Перемешивание в лопастном смесителе составляющих: 65% (по массе) асбеста, 16% битума БНК-5 и 19% масла индустриального 45.

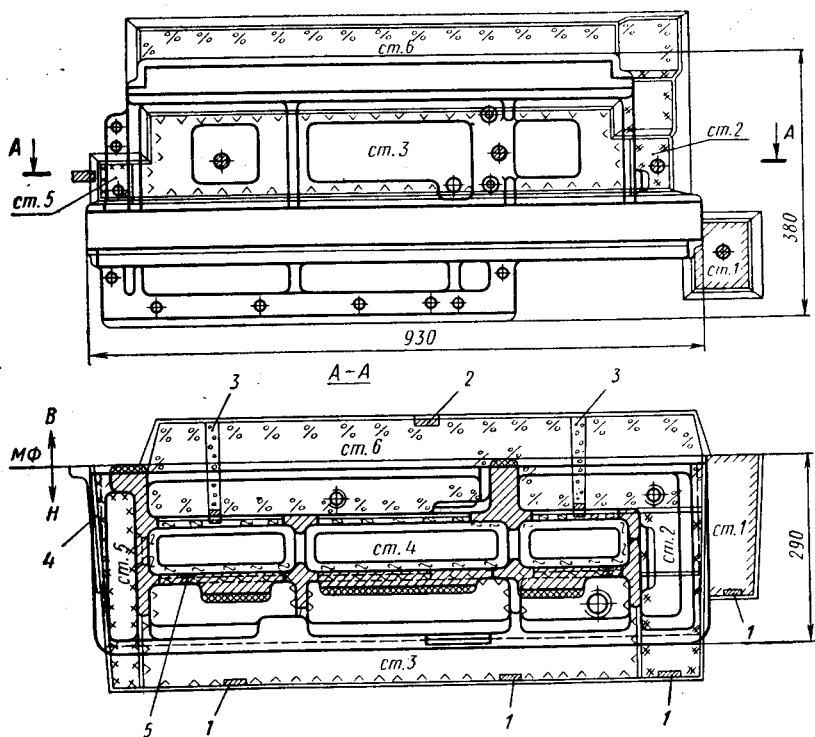


Рис. 114. Отливка корпуса механизма перемещения стола резьбошлифовального станка:

1 и 2 — метки для вентиляции стержней соответственно через нижнюю и верхнюю полуформы; 3 — стойки и метки для вентиляции стержней, не имеющих знаков в форме; 4 — стойки для вентиляции стержней через боковые знаки; 5 — опорные жеребейки

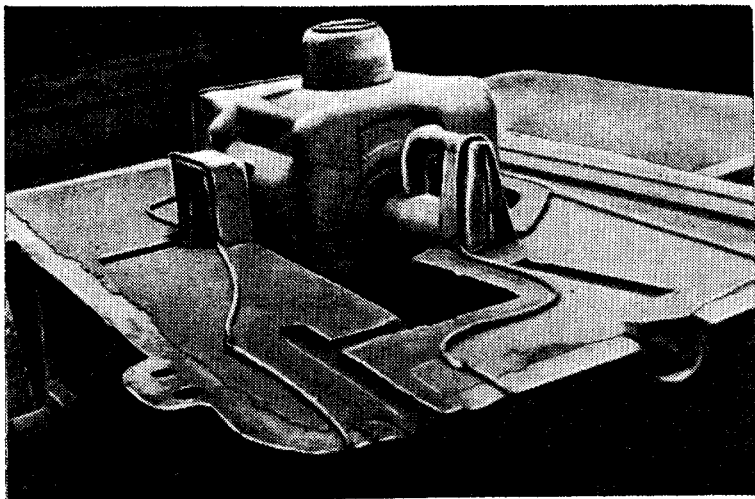


Рис. 115. Прокладочный шнур

3. Охлаждение массы и разрезание пластичной массы на блоки размером $100 \times 100 \times 100$ мм.

4. Обработка в специальном агрегате-экструдере для формирования шнуров.

Экономический эффект от замены глиняной прокладки шнуром определяется экономией металла, снижением трудоемкости операции обрубки и составляет ориентировочно 40—60 к. на 1 т годового литья.

Более сложным примером рациональной технологии, с точки зрения фиксации стержней и их вентиляции, является технология изготовления средней части станины агрегатного станка массой 4000 кг. Отливка имеет две направляющие по всей длине шириной 200 мм и толщиной 90 мм (рис. 116).

Большое число наклонных и вертикальных ребер образуют в станине изолированные камеры сложной формы.

Отсутствие окон в продольных стенках станины и расположение отливки в форме направляющими книзу усложняет фиксацию стержней, так как не допускается установка жеребеек на направляющих.

Полость станины между направляющими выполняется стержнями *ст. 5—8*, опирающимися на знак в нижней полуформе.

Стержень *ст. 9* фиксируется боковым знаком и отделяется жеребейками *1* от стержня *ст. 5*. Внутренние полости станины выполняются стержнями *ст. 11—ст. 13*, которые опираются на расширенную верхнюю часть стержня — «грибок». Для увеличения точности и надежности сборки между этими стержнями и стержнями *ст. 5—ст. 8* устанавливают жеребейки *2*.

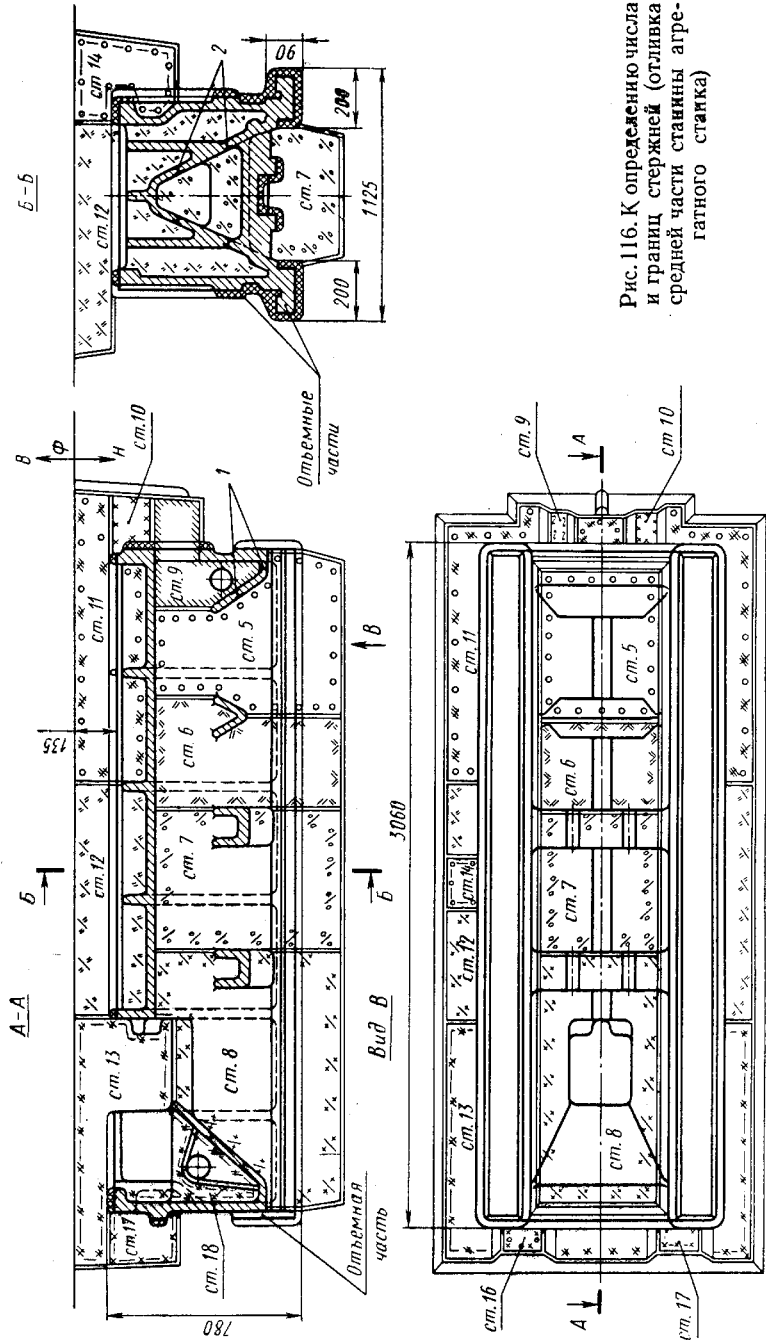


Рис. 116. К определению числа и границ стержней (отливка средней части станины агрегатного станка)

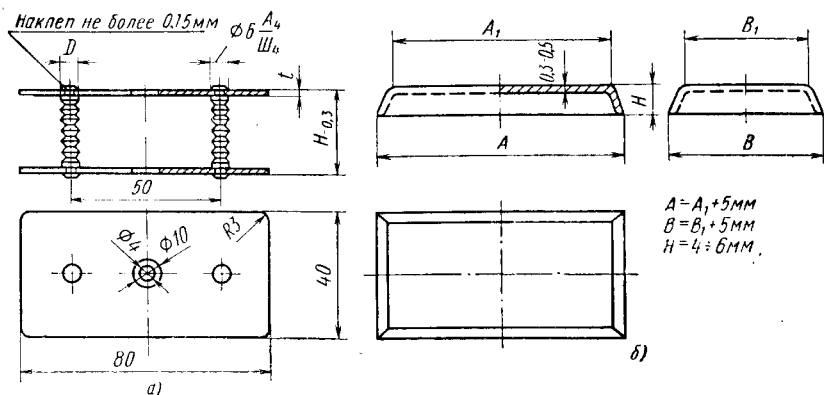


Рис. 117. Способы улучшения свариваемости чугуна со стальными жеревейками

Стержень *ст.18*, не имеющий выхода в форму, соединяют со стержнем *ст.13*, через который осуществляется его вентиляция. Все остальные стержни вентилируются через знаки.

В рассмотренных выше примерах конструкции отливок и принятые технологические решения требуют установки жеревеек.

На заводах часто применяют покупные, стандартные жеревейки размерами 5—150 мм с интервалами 1; 2 и 5 мм (ГОСТ 9062—59), подвергнутые лужению или пассивированию нитридом натрия. В некоторых случаях стандартные жеревейки не удовлетворяют требованиям по размерам, форме, свариваемости с основным металлом. Это вынуждает изготавливать специальные жеревейки или дополнительные приспособления. Так, герметичность стенок резервуаров обеспечивают жеревейки, имеющие стойку с винтовой нарезкой (рис. 117, *а*). Рекомендуемые размеры жеревеек приведены в табл. 38.

Хорошо зарекомендовали себя также корытообразные подкладки из белой жести (карты), устанавливаемые под опорную плоскость жеревеек (рис. 117, *б*). Эти прокладки обеспечивают более надежное сваривание жеревеек с основным металлом.

Т а б л и ц а 38

РАЗМЕРЫ ЖЕРЕВЕЕК, мм (рис. 117, *а*)

№	H	t	D	Масса 100 жеревеек, кг
1	16	1,0	M8	6,2
2	20	1,5	M10	9,2
3	25	1,5	M10	10,9
4	30	1,5	M12	12,5
5	35	1,5	M12	13,0
6	40	1,5	M12	13,4

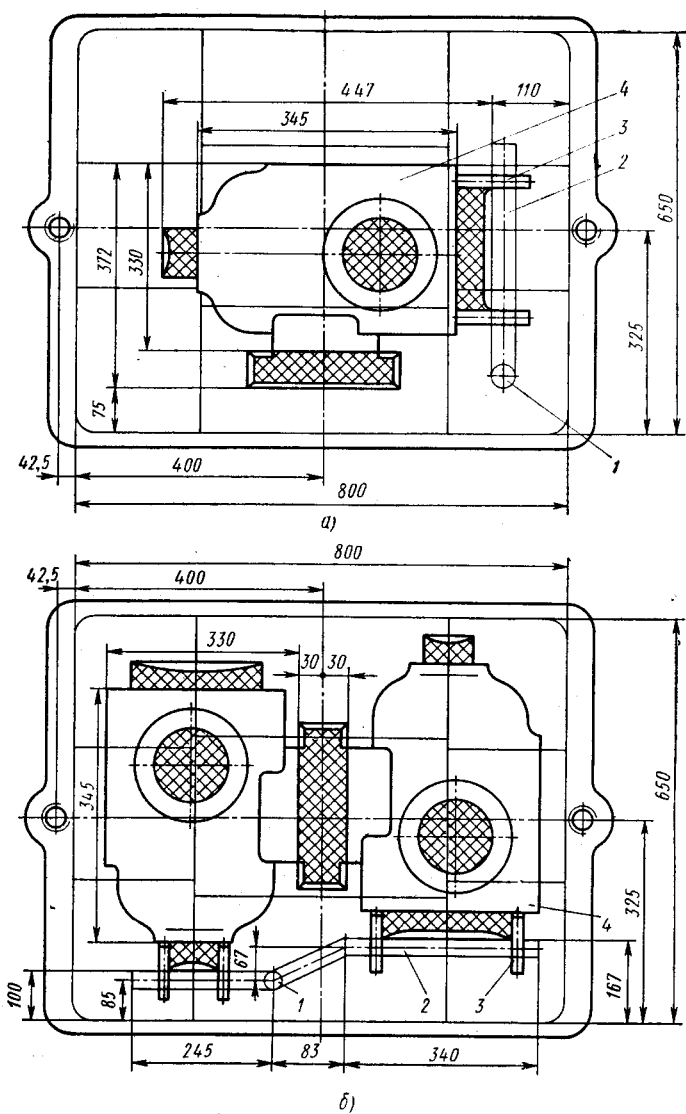


Рис. 118. Эффективное использование площади модельных плит (отливка корпуса):

1 — стояк; 2 — шлакоуловитель; 3 — питатель; 4 — отливка

Некоторые примеры рациональной конструкции стержней.

С целью увеличения металлоемкости формы рационально изготавливать общие стержни для смежных отливок и несколько уменьшать размеры знаков против рекомендуемых ГОСТ 3606—57.

Например, в опоке размером 800×650 мм размещали только одну отливку переднего корпуса массой 61 кг (рис. 118, а). Применение одного общего стержня позволило разместить в той же опоке две отливки (рис. 118, б).

Аналогичный результат был получен при разработке технологического процесса изготовления отливки станины токарно-винторезного станка мод. 1К62 (рис. 119). В этом случае удалось вследствие применения общего стержня разместить в форме две станины вместо одной при незначительном увеличении размеров опок.

Во время сборки стержень *ст. 1* придвигают к установочной базе, выбирая зазор между стержнем и формой. Постоянство установочной базы при сборке формы обеспечивает стабильность основных размеров. Для станины такими размерами являются размеры направляющих *A* и *B*.

Иногда с целью улучшения внешнего вида и качества отливок, а также для повышения металлоемкости форм рационально применять дополнительные стержни.

При изготовлении отливок станин токарно-винторезного станка мод. 1К62 внутренние П-образные ребра жесткости выполняли в общем стержне вместе с внутренней полостью станины (рис. 120, а). Стержни набивали по разьему и спаривали. Формовочные уклоны на ребрах были направлены в разные стороны.

Возможное смещение стержней, сложность заделки стыков и окраски во внутренних узких полостях шириной 16 мм ухудшали внешний вид отливок.

Введение дополнительных стержней *ст. 12* и *ст. 14* (рис. 120, б) облегчило процессы спаривания, заделки швов и окраски, что позволило получать П-образные ребра без смещения.

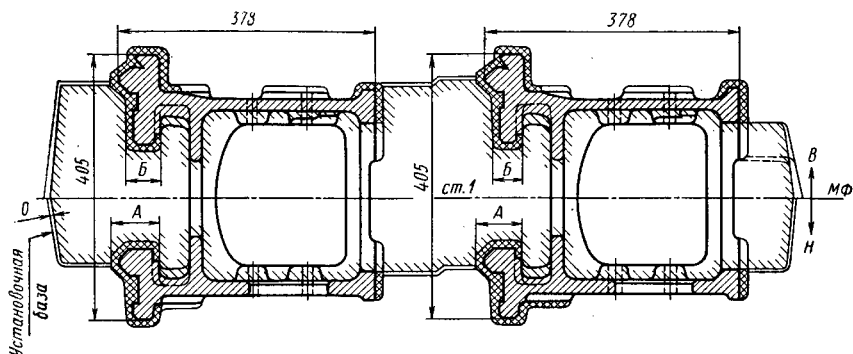


Рис. 119. Выбор установочной базы (отливка станины токарно-винторезного станка мод. 1К62)

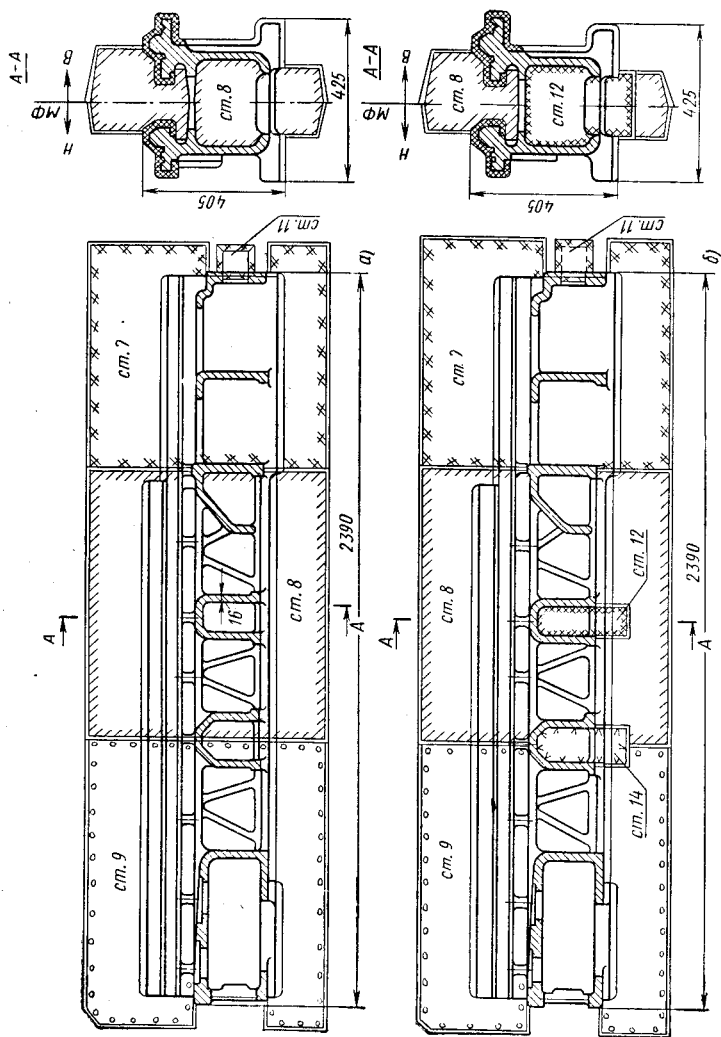


Рис. 120. Применение дополнительных стержней для улучшения внешнего вида отливки станины токарно-винторезного станка мод. 1К62

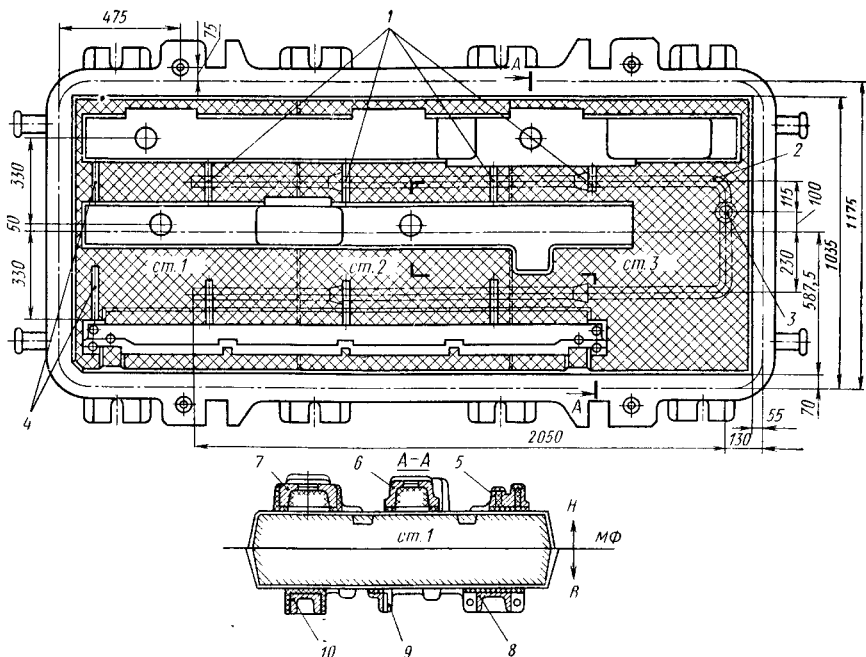


Рис. 121. Применение дополнительных стержней для увеличения металлоемкости формы:

1 — питатели; 2 — шлакоуловитель; 3 — стояк; 4 — выпора; 5, 6, 7, 8, 9, 10 — отливки балок спичечного автомата

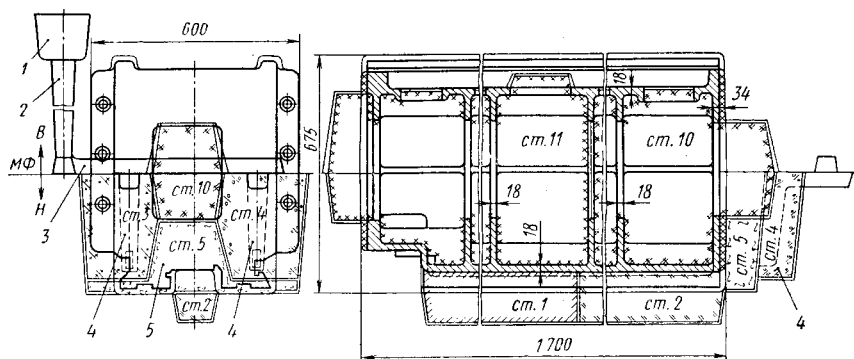


Рис. 122. Применение специальных стержней для выполнения литниковой системы (отливка корпуса передней бабки расточного станка мод. 2Л614):

1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — стержни для распределительных стояков; 5 — стержень для питателей

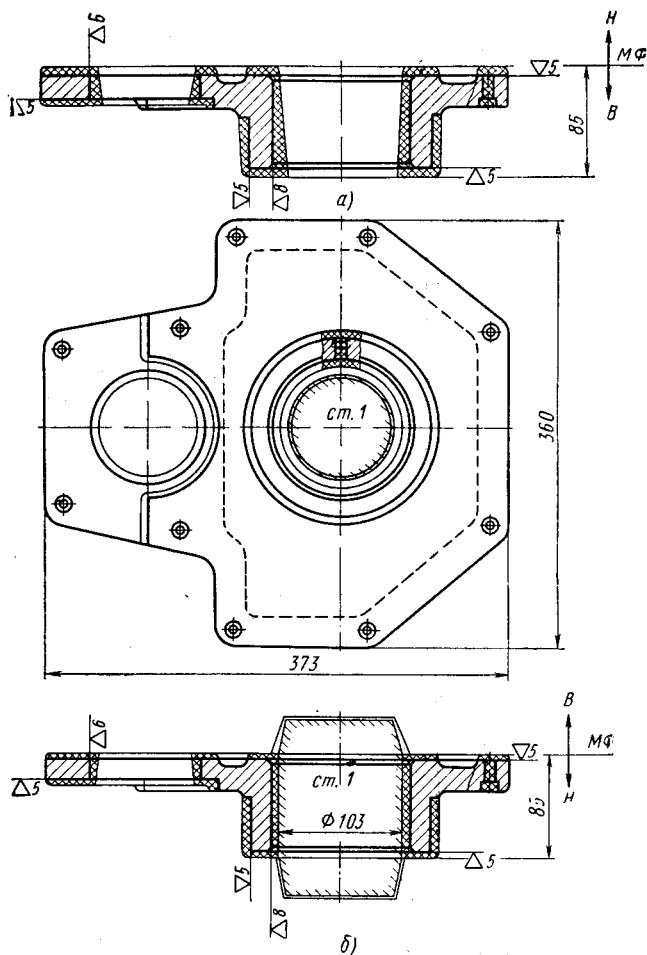


Рис. 123. Технологические варианты получения отливки корпуса шлифовального станка:

а — формовка по-сырому с использованием высококачественных единых смесей; *б* — формовка по-сырому с применением дополнительных стержней вместо песчаных болванов

При изготовлении простых неотчетливых отливок массой до 300 кг рационально использовать разделительные стержни для увеличения металлоемкости формы.

Например, при изготовлении отливок для спичечного автомата по разьему формы было установлено три разделительных стержня. Отливки в виде балки П-образного сечения размещались на нижней и верхней их поверхности (рис. 121). Одновременно изготовляли отливки шести наименований одинаковой серийности. Металлоемкость формы 800 кг при массе отливок 80—200 кг.

Рис. 124. Технологические варианты выполнения горизонтальных и вертикальных стенках

	Конструктивное оформление	Стенки	Варианты выполнения окон в форме при расположении их на поверхностях	
			горизонтальных	вертикальных
1		Внутренние		
2		Наружные и внутренние		
3		Внутренние		
4		Наружные и внутренние		
5		Наружные		
6		Наружные при ослабленных сечениях, склонных к образованию трещин		
7		Наружные и внутренние		

Иногда подвод металла от разъема формы к нижней части ее целесообразно выполнять с помощью специальных стержней, как, например, показано на рис. 122 выполнение литниковой системы для отливки корпуса передней стойки расточного станка мод. 2Л614 массой 1100 кг. Специальные стержни *ст.3*, 4 и 5 обеспечивают подачу металла от разъема формы в нижнюю часть ее.

Рационально внутренние полости отливок выполнять песчаными болванами (рис. 123, а). Однако в случае толстостенных отливок и при высоких требованиях к чистоте поверхностей песчаные болваны не обеспечивают качества отливок из-за недостаточно высокого качества формовочной смеси и несовершенства методов уплотнения. В этом случае приходится использовать дополнительные стержни (рис. 123, б).

Выполнение окон в отливках. Внешний вид отливки зависит во многом от четкого контура окон. Если знак стержня нельзя вывести через окно и тем самым предотвратить возникновение залива в окне, то сечение окна на стыке стержня и формы следует выполнять не прямоугольным, а закругленным. Это дает возможность с помощью технологических приемов убрать залив с наружного контура окна и избежать сколов и повреждения стенки.

На рис. 124 приведены варианты выполнения окон в горизонтальных и вертикальных стенках отливки.

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

Для транспортирования отливок можно использовать имеющиеся в них окна; при неудобном расположении и в случаях отсутствия их необходимо предусматривать специальные такелажные отверстия для зачаливания крюком, тросом или цепью.

Массивные сплошные отливки типа плит, болванок, цилиндров, а также отливки, в которые, по конструктивным соображениям, окна вводить нельзя, следует снабжать специальными стальными цапфами или скобами, подвергнутыми лужению или пассивированию нитридом натрия.

Если указанные приспособления применить невозможно, то необходимо предусмотреть другие приспособления (захваты, клещи и т. д.).

На рис. 125 приведен пример установки скобы для транспортирования отливки стола шлифовального станка мод. 3Б722 массой 480 кг.

ТОЧНОСТЬ ОТЛИВОК

ГОСТ 1855—55 и технические условия ЭНИМСа № ТУ 2-024-708—67 предусматривают изготовление отливок для станкостроения по трем классам точности. Как правило, точность мелких и средних отливок, изготавливаемых на машинах по металлической оснастке, соответствует II классу, а всех остальных —

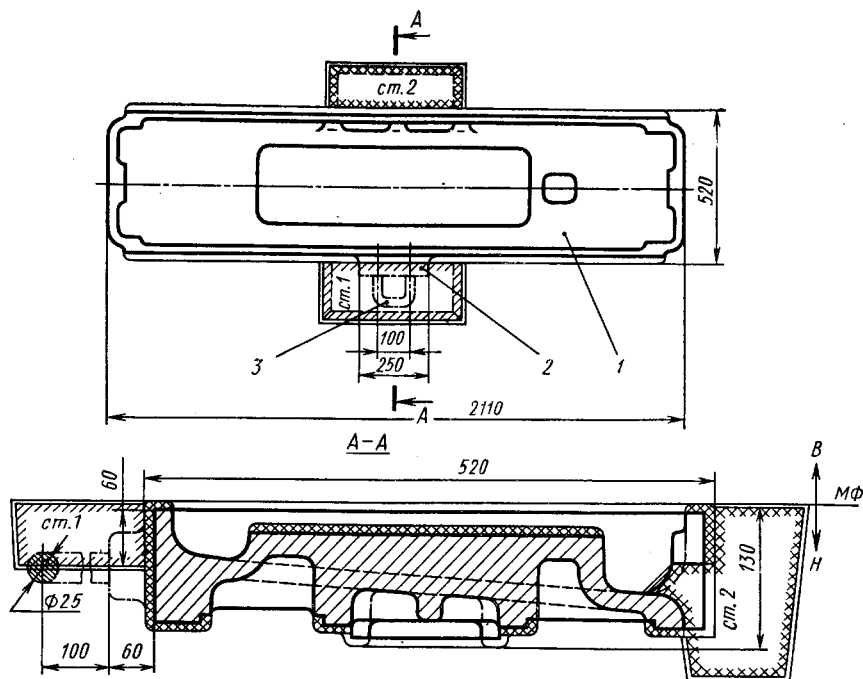


Рис. 125. Скобы для транспортирования отливок стола шлифовального станка мод. 3Б722:

1 — отливка; 2 — прилив; 3 — скоба

III классу. Отклонения при сопряжении поверхностей, а также перекося в отливках не должны выходить за пределы класса точности отливки.

Допустимая непрямолинейность контуров окон на 600 мм не более 2 мм. Отклонение от плоскостности необрабатываемых наружных поверхностей (в том числе зачищенных после перекося) при проверке линейкой длиной 600 мм должна соответствовать данным табл. 39.

Точность отливок зависит от комплекса конструктивных и технологических факторов, среди которых можно назвать точность изготовления модельных комплектов, отклонения от предусмотренной величины линейной усадки, точность центрирующей системы, точность размеров форм и стержней, процесса сборки форм и другие.

Попытка увязать эти факторы с конечной точностью отливки была сделана в работе [127], в которой за основу принят метод размерных расчетов по аналогии между сборкой форм и сборкой узлов машин в машиностроении. Это дает возможность исходя из необходимой конечной точности отливки установить допуски на размеры всех элементов формы оснастки и т. д. При взаимо-

**ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ПЛОСКОСТНОСТИ НЕОБРАБАТЫВАЕМЫХ
НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Отливка		Производство	Отклонения от плоскост- ности, мм не более
Наибольшая масса, кг	Наиболь- ший раз- мер, м		
До 10 000	До 2	Единичное и мелкосерийное Серийное	2,0 1,5
	2—4	Единичное и мелкосерийное Серийное	2,5 2,0
	Более 4	Единичное и мелкосерийное Серийное	3,0 2,5
Более 10 000	—	Единичное Серийное	5,0 4,0

действию большого числа величин сочетание крайних отклонений маловероятно, поэтому наиболее подходящим методом для размерных расчетов является метод неполной взаимозаменяемости с заданным процентом ошибки. Указанный метод можно применять при разработке ГОСТов на точность отливок и технологической оснастки.

При практическом применении результатов размерных расчетов необходимо уточнять величину отклонений и влияние технологических факторов на степень точности отливок.

Ниже приведено сопоставление точности отливок, выполненных различными способами, с точностью, достигаемой при механической обработке деталей [131]:

Способ литья	Класс точности по ОСТ 1010, 1014, 1015 и 1017
Под давлением	3—6
По выплавляемым моделям	4—7
В формы:	
оболочковые	5—8
металлические	6—9
песчаные	7—9 и выше

Исследованиями во ВНИИЛИТМАШе и на заводе «Станколит», установлено, что чугунные отливки размером до 700 мм, изготов-

ленные в песчаных формах (машинная формовка) по металлическим модельным комплектам, имеют точность, соответствующую 8—9-му классам по ГОСТ 2689—54. Точность крупных отливок (размером до 2500 мм), изготовленных тем же методом, соответствует 9-му классу этого ГОСТа. Точность крупных отливок, изготовленных вручную в песчаных формах по деревянным моделям, не укладывается в классификацию ГОСТ 2689—54.

Заданная точность отливок в основном обеспечивается следующими технологическими методами:

- 1) машинной формовкой по металлической модельной оснастке;
- 2) применением шаблонов для контроля форм, стержней и процесса сборки форм;
- 3) доводкой модельной оснастки для серийных и мелкосерийных отливок и принудительным систематическим контролем модельной и опорно-плитовой оснастки;
- 4) изготовлением форм и стержней из самотвердеющих смесей;
- 5) периодической разметкой серийных и мелкосерийных отливок с последующим устранением обнаруженных при разметке дефектов;
- 6) техническим инструктажем исполнителей.

Материал модельной оснастки. Большинство чугунных отливок в станкостроении изготавливают по деревянным модельным комплектам. Древесина подвержена короблению под влиянием изменений температуры и влажности воздуха в литейном цехе и при хранении на складе. Кроме того, деревянные модельные комплекты деформируются и изнашиваются в процессе эксплуатации.

Ориентировочно стойкость деревянных модельных комплектов определяется данными, приведенными в прејскуранте № 25-01, введенном в действие с 1 января 1971 г.

Наибольшей стойкостью обладают модельные комплекты, изготовленные по 1-му классу прочности. При больших сериях отливок может появиться необходимость в изготовлении дублеров модельных комплектов, но следует учесть, что чем сложнее отливка, тем труднее обеспечить полную взаимозаменяемость деревянного модельного комплекта.

Большая стабильность и долговечность металлических модельных комплектов повышает точность отливок, однако их применение ограничивается значительной стоимостью, большей трудоемкостью и удлинением сроков изготовления модельного комплекта.

На заводе «Станколит» разработана методика определения целесообразного применения металлических модельных комплектов в зависимости от годового выпуска, весовой группы и сложности отливок. Годовой выпуск, при котором экономически целесообразно применять металлические модельные комплекты, определяли из условия, что минимальная величина годового выпуска должна

быть такой, чтобы стоимость изготовления всех деревянных модельных комплектов, включая текущие ремонты, равнялась стоимости одного металлического модельного комплекта, т. е.

$$C_m = nC_d,$$

$$n = \frac{N}{K_d}; \quad C_m = C_d \frac{N}{K_d}; \quad N = K_d \frac{C_m}{C_d},$$

где C_m — себестоимость одного металлического комплекта, руб; C_d — себестоимость одного деревянного комплекта, руб; n — число деревянных модельных комплектов, необходимых для выполнения годового заказа; K_d — число съёмов с одного деревянного модельного комплекта; N — величина годового выпуска. Отношение C_m/C_d для отливок разных весовых групп и сложностей было получено из сравнения себестоимости большого числа металлических и деревянных модельных комплектов, изготовленных для отливок одной номенклатуры.

Число съёмов с одного деревянного модельного комплекта до первого ремонта устанавливали по прейскуранту № 25-01 и корректировали с учетом числа съёмов с модельного комплекта после ремонта.

На основании этой методики определена область целесообразного применения алюминиевой модельной оснастки в зависимости от величины годового выпуска. Эти данные, приведенные в табл. 40, могут быть приняты для предварительной оценки. Но в зависимости от местных условий завода (например, механизации модельного цеха и трудоемкости изготовления металлических и деревянных моделей) необходимы уточнения приведенных данных.

Контроль размеров отливок. Наиболее важные размеры, которые при изготовлении отливок могут изменяться, целесообразно контролировать шаблонами на всех этапах технологического процесса.

Т а б л и ц а 40

МИНИМАЛЬНЫЙ ГОДОВОЙ ВЫПУСК ОТЛИВОК,
ПРИ КОТОРОМ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ИЗГОТОВЛЕНИЕ
АЛЮМИНИЕВЫХ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ

Группа сложности отливок	Годовой выпуск (шт.) при массе отливок (кг)							
	До 1	1—3	3—10	10—20	20—50	50—200	200—500	500—1000
1, 2, 3	1440	1280	1120	890	800	690	600	480
4, 5	1330	1100	1010	770	700	600	560	430

П р и м е ч а н и е. Группа сложности отливок соответствует прейскуранту № 25-01.

Исправление повреждений формы может явиться причиной отклонений размеров отливок, что требует проверки универсальными инструментами или шаблонами. Стержни, набиваемые по плоскости разъема, необходимо при спаривании проверять шаблонами по высоте.

При сборке форм проверяют шаблонами наиболее важные размеры отливки (направляющие, места установки подшипников, базовые размеры и др.). Например, при сборке форм ответственной отливки корпуса стола агрегатного станка (рис. 126) возможны отклонения толщин направляющих (75 мм) и зеркала стола (57 мм). Эти отклонения являются результатом смещения центральных стержней *ст.1—ст.5* в горизонтальной и вертикальной плоскостях. С помощью шаблона № 1 проверяют установку стержней *ст.1—ст.4* по размеру направляющей 75 мм, с помощью шаблона № 2 — правильность установки стержня *ст.5* и прямолинейность всех стержней.

На рис. 127 показана отливка фланца токарного станка мод. 1К62 массой 7,7 кг. В форме располагают четыре отливки. Отверстие в отливке выполняют стержнем, выступающим над разъемом формы на 101 мм. Наклон или смещение стержня вызывают брак отливок по черноте в отверстии и по песчаным раковинам от разрушения формы при сборке. Специальным шаблоном контролируют вертикальное положение и высоту стержня над разъемом формы.

Шаблонами при необходимости контролируют наиболее важные размеры отливки, определяющие ее работоспособность или влияющие на производительность оборудования при механической обработке. Особенно важен контроль согласованных с заказчиком размеров от установочных баз при безразметочной обработке отливок в специальных кондукторах или приспособлениях.

Например, 100%-ному контролю проходным шаблоном подвергают высоту отливки корпусов токарных патронов, обрабатываемых на вертикальных токарных полуавтоматах. Увеличенная высота отливки требует переналадки станка, что резко снижает производительность.

Большое значение имеет тщательная доводка модельных комплектов при запуске отливок в производство. Отливку, полученную по новому или отремонтированному модельному комплекту, необходимо всесторонне проверить разметкой, механической обработкой и в отдельных случаях разрезкой. Только после устранения всех недостатков модельный комплект запускается в производство. При изготовлении ответственных серийных отливок такая доводка модельного комплекта предусматривает и устранение отклонений размеров отливки, вызванных разницей между запланированной и фактической усадкой отливки в различных направлениях.

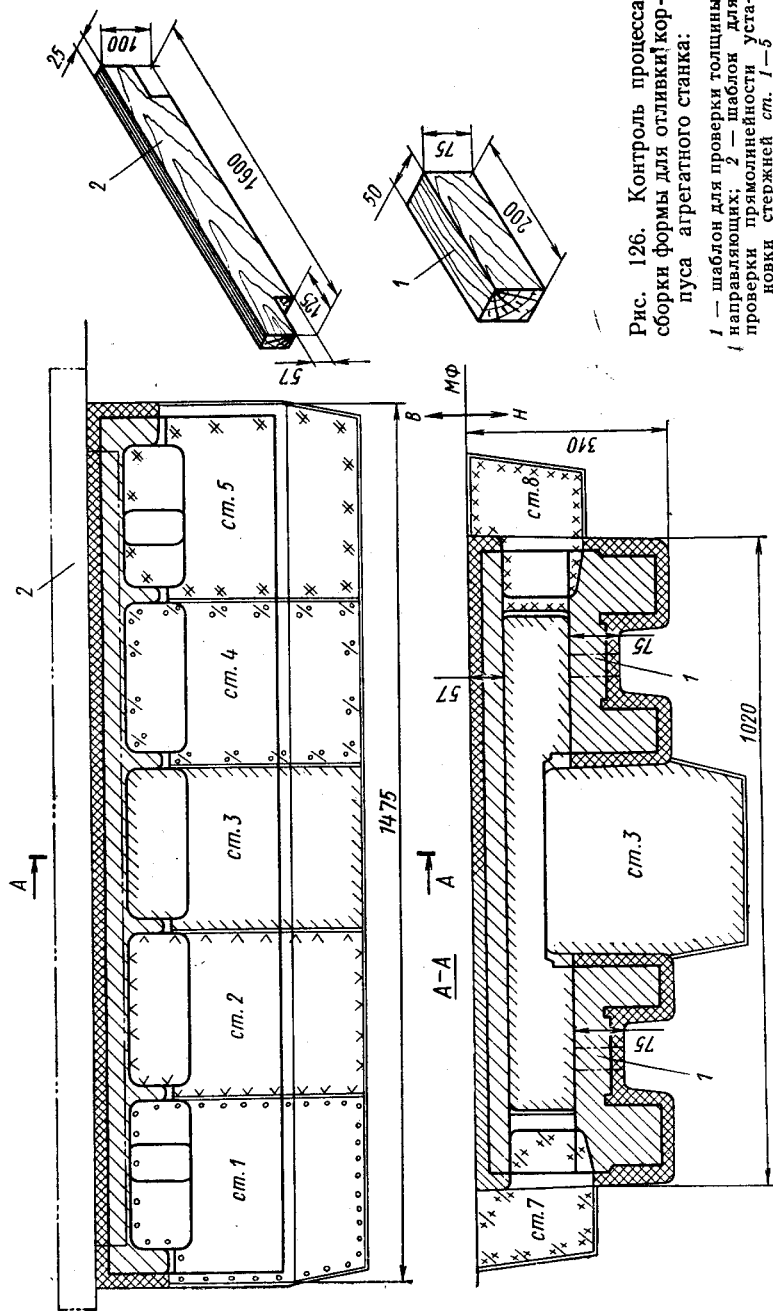


Рис. 126. Контроль процесса сборки формы для отливки корпуса агрегатного станка:

1 — шаблон для проверки толщины направляющих; 2 — шаблон для проверки прямолинейности установки стержней ст. 1—5

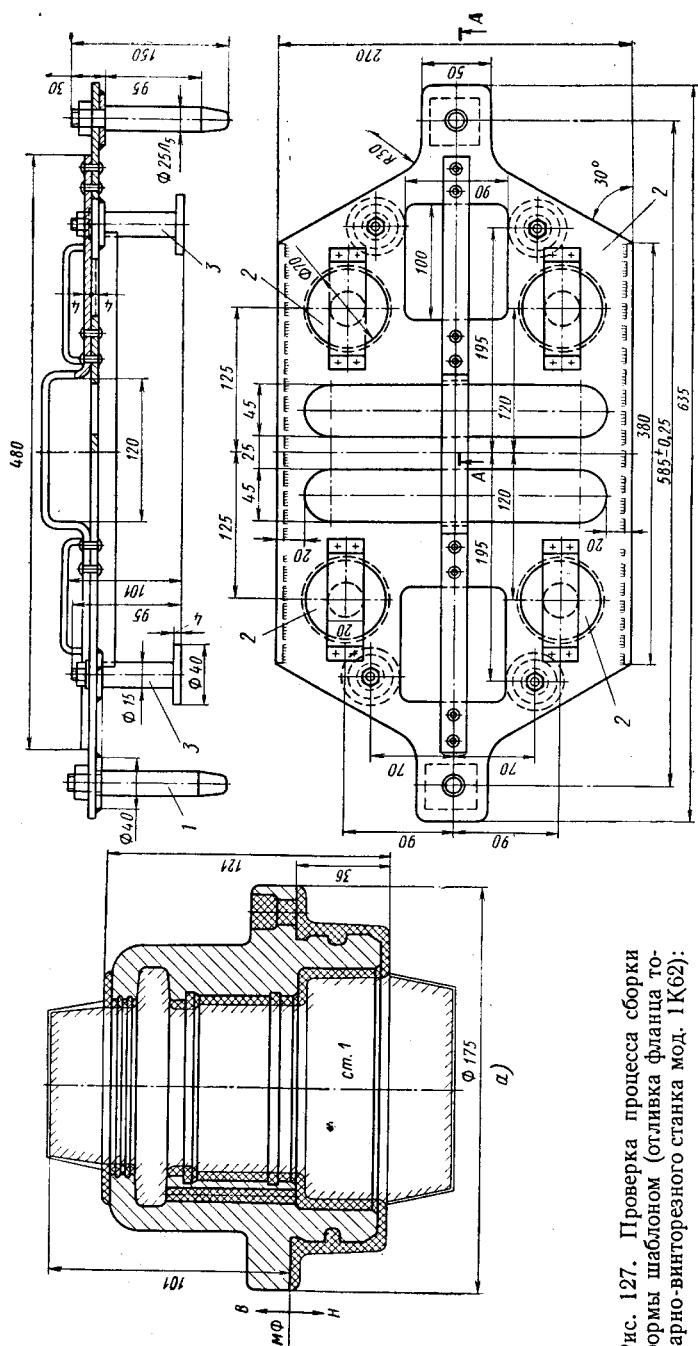


Рис. 127. Проверка процесса сборки формы шаблоном (отливка фланца торчано-винторезного станка мод. 1К62):

a — технология получения отливки; *б* — контрольный шаблон; *1* — штыри для центрирования шаблона по отверстию; *2* — отверстия; *3* — опкопи нижней полуформы; *4* — проверка

Доводку модельных комплектов осуществляют также по результатам периодической контрольной разметки и сигналам заводов-потребителей.

Вопросы периодичности контроля отливок, а также весьма важные для обеспечения точности отливок вопросы контроля всего комплекта модельной и опочной оснастки более подробно изложены в главе V, посвященной контролю качества отливок.

2. МАШИННАЯ ФОРМОВКА ПРИ МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Доказана возможность перехода на машинную формовку для значительной части отливок и организации на этой основе поточного производства. Приведем некоторые вопросы технологии, которые при этом необходимо учитывать.

Влияние серийности, массы и сложности отливок. Прейскурантом № 25-01 установлены группы сложности литья и модельных комплектов, группы серийности и определены оптовые цены на литье и модельные комплекты с учетом влияния следующих показателей: массы, сложности, серийности, точности и герметичности отливок, прочности модельного комплекта и др.

Эти показатели являются определяющими при выборе принципа монтажа моделей: «однородного» или «разнородного». При однородном принципе на модельной плите монтируют одноименные модели. Этот принцип предпочтителен организационно и технически, однако стоимость изготовления дополнительных моделей должна быть экономически оправдана (экономия по основной зарплате, стоимости формовочных смесей и др.).

Целесообразность применения однородного принципа монтажа моделей зависит от годового выпуска конкретных отливок (табл. 41).

Разнородный принцип предусматривает одновременный монтаж разноименных моделей. Он организационно сложнее, так как зависит от серийности, габаритных размеров и толщины стенок отливок, марки металла. Разнородный принцип монтажа моделей использован при изготовлении отливок для спичечного автомата (рис. 121).

При единичных отливках рационально применять машинную формовку в сочетании с быстросменным монтажом моделей на плитах. Опыт подтверждает целесообразность такого метода при изготовлении от 1 до 20 отливок массой до 50 кг и от 1 до 10 отливок массой до 500 кг. Это определяется тем, что время изготовления формы на машине, с учетом времени на монтаж моделей, значительно меньше времени, необходимого для изготовления форм вручную. Например, изготовление единичной отливки корпуса агрегатного станка размерами 750×670×170 мм и массой 400 кг по модельным плитам с быстросменной оснасткой в опоках раз-

**ГОДОВОЙ ВЫПУСК, ПРИ КОТОРОМ ЦЕЛЕСООБРАЗЕН
ОДНОРОДНЫЙ ПРИНЦИП МОНТАЖА МОДЕЛЕЙ НА ПЛИТЕ**

Габаритные размеры опок в свету, мм	Формы	Группа сложности модель- ного ком- плекта	Годовой выпуск (число отли- вок) при монтаже на плитах моделей		
			двух	трех	четырёх
1550×1200	Из самотвердеющих облицовочных смесей (ПСС)	I, II III IV, V	20 30 60	—	—
1400×1000		I, II III IV, V	10 15 20	15 20 30	—
1500×1000	Из единой смеси с по- верхностной подсушкой	I, II III, IV	10 18	15 27	—
800×650	Из единой смеси, по- сырому	I, II, III IV, V	20 30	40 50	—
450×350		I, II, III IV, V	20 30	30 40	40 50

мерами 1400×1000 мм при машинной формовке с учетом монтажа модели требует 46 мин против 114 мин при ручной формовке.

При заказе на изготовление двух корпусов редуктора размерами 1260×680×510 мм и массой 520 кг время машинной формовки по быстросменной оснастке в опоках размерами 1550×1200 мм составило 66 мин против 214 мин при ручной формовке.

Эти примеры иллюстрируют эффективность применения машинной формовки для отливок среднего развеса даже при единичном производстве. Кроме того, машинная формовка увеличивает стабильность качества отливок и возможность организации поточного производства, а также допускает использование менее квалифицированных формовщиков.

Ниже приведены примеры конструктивного оформления быстросменной оснастки, хорошо зарекомендовавшей себя в производстве.

На модельной плите 1 (рис. 128, а) находятся полукруглые металлические планки 2 и гайки 3. В половинках модели (рис. 128, б) по разьему выполнены полукруглые пазы 4, соответствующие по размерам и профилю планкам на модельной плите.

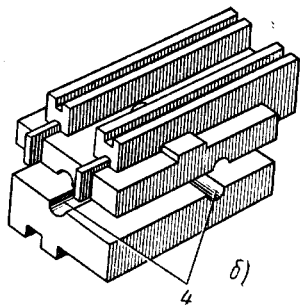
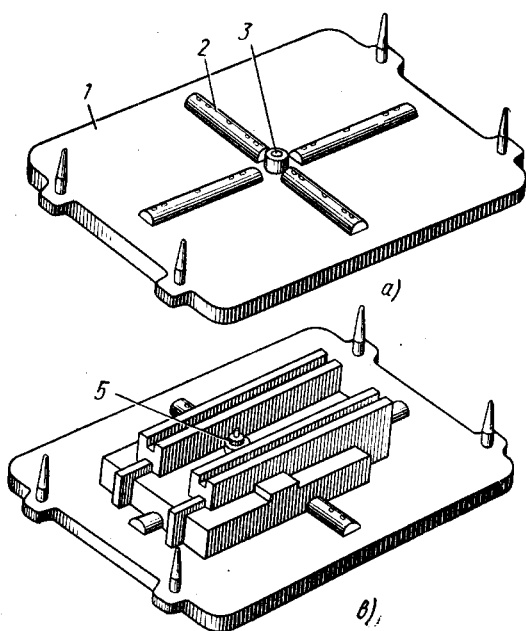


Рис. 128. Модельная плита с центрирующими полуосями:

а — плита; *б* — модель; *в* — монтаж модели на плите; 1 — плита; 2 — центрирующие полуоси; 3 — гайка; 4 — полукруглые пазы; 5 — болт

Монтаж модели на плиту сводится к накладыванию модели на полуоси и закреплению ее болтом 5, входящим в гайку 3 (рис. 128, в).

При низких моделях центрирующие полуоси крепят на них, а пазы выполняют в модельной плите.

Этот тип быстросменной оснастки можно рекомендовать для изготовления средних отливок. Монтаж моделей на плите занимает 2—3 мин.

Для мелких и средних отливок можно рекомендовать плиты-вкладыши 1, устанавливаемые в рамах 3 (рис. 129, а). Базой для монтажа модели и фиксации вкладыша в раме служат трехгранные призмы 2, выполненные в раме и вкладыше с торцовых сторон. Вкладыши в модельной плите крепят металлическим клином 4, который закладывают между торцевой стенкой вкладыша и рамой и фиксируют двумя винтами (рис. 129, б). Сменные вкладыши можно изготовлять из дерева, фанеры, алюминия и пластмассы. После монтажа моделей их закрепляют в раме за 1—2 мин.

Унификация технологических процессов и оснастки является одним из условий применения машинной формовки для изготовления малых серий отливок. Основой создания технологических потоков при этом являются однотипность отливок по габаритам, ответственности и маркам чугуна. Для каждого потока устанавливают типаж основного оборудования, оптимальные составы

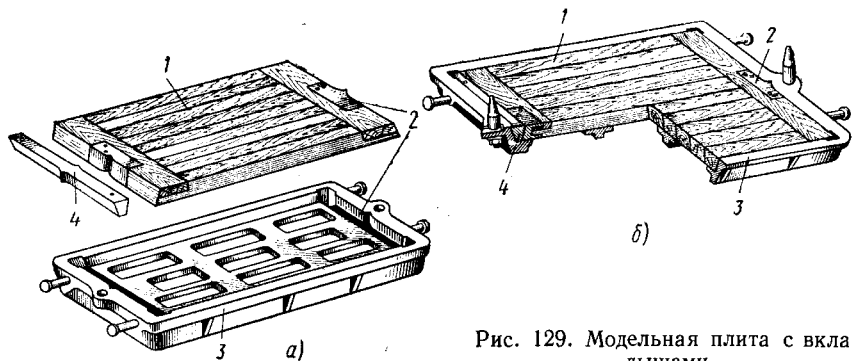


Рис. 129. Модельная плита с вкладышами

формовочных и стержневых смесей, марку чугуна, комплектуют вспомогательное оборудование и т. д.

При освоении отливок новой номенклатуры отливки подключают к тому потоку, который гарантирует получение заданного качества и обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели. Такая организация позволяет получать преимущества поточного производства при различной серийности.

В различных условиях производства по-разному решают вопросы проектирования и изготовления специальной оснастки. В условиях крупносерийного производства стремятся к достижению хороших технико-экономических показателей: минимальному расходу смесей, наиболее полному использованию грузоподъемности и площадей столов формовочных машин и т. д. В условиях мелкосерийного производства отливок решают те же задачи применением наиболее подходящей унифицированной оснастки (опок, плит, стержневых ящиков и др.), используемой на данном потоке.

3. ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

При изготовлении чугунных отливок для станкостроения применяют тормозящие литниковые системы. Торможение достигается или постепенным сужением литниковых каналов, или введением специальных элементов (дросселей, пережимов и др.).

В отдельных случаях используют различные элементы (например, бобышки) для питания отливки в период ее кристаллизации с целью предотвращения усадочных дефектов.

Для особо ответственных деталей применяют специальные элементы, повышающие эффективность действия литниковых систем.

Обычные литниковые системы, состоящие из литниковой чаши, стояка, шлакоуловителя и питателей, применяют для заливки станочных отливок широкой номенклатуры. Питатель имеет минимальную площадь поперечного сечения, что обеспечивает всплывание шлака в элементах большего сечения — шлакоулови-

теле и литниковой чаше, где скорость движения металла меньше. От массы и особенностей отливки зависит конструкция литниковой системы. Например, при производстве мелких отливок питатели обычно располагают по разьему формы, однако чем сложнее и крупнее отливка, тем большее значение приобретает плавный, безударный подвод металла, и его осуществляют в нижнюю часть формы независимо от положения плоскости разьема. Например, для отливки переднего корпуса (см. рис. 118) используют литниковую систему с подводом металла по разьему формы.

Для отливки корпуса коробки подач станка мод. 1К62 (рис. 104) литниковую систему также выполняют по разьему формы, но металл подводят в нижнюю часть отливки, так как вся отливка располагается в верхней полуформе. При получении отливки корпуса передней стойки расточного станка (рис. 122) металл подводят в нижнюю часть отливки с помощью дополнительных вертикальных каналов-опусков, выполненных в специальных стержнях.

Для крупных и тяжелых отливок применяют в основном литниковую систему с ярусным расположением питателей по высоте отливки. На рис. 130, а показана литниковая система для крупной отливки. При ограниченности места в форме лимитирующее сечение 4 можно расположить между стояком и шлакоуловителем, выдержав его длину не менее 100 мм (рис. 130, б).

Моделирование применяемых ярусных литниковых систем показало, что системы имеют недостатки: все питатели работают одновременно, в верхнем сечении стояка образуется вакуум около 150 мм вод. ст.; иногда в стояк из чаши засасывается воздух; легкие частицы, попадающие из чаши в стояк, не задерживаются ни в шлакоуловителе, ни в шлакоулавливающих бобышках и попадают в форму [91]. Для устранения этих недостатков предложены конструкции ярусных литниковых систем, обеспечивающие последовательную работу нижних и верхних питателей. Некоторые из этих конструкций литниковых систем приведены на рис. 130, в, г и д.

Литниковая система с дополнительными элементами торможения. Для ответственных деталей типа контрольно-разметочных плит, кареток, контрольных линеек и других, имеющих большие полости несложной конфигурации и поверхности, от которых требуется высокая чистота механической обработки, следует применять литниковые системы, имеющие центробежные бобышки, сетки, дроссели, уменьшающие скорость течения металла и улучшающие условия удаления шлака и неметаллических включений. Наиболее распространены литниковые системы с центробежными шлакоулавливающими бобышками.

Подобная литниковая система приведена на рис. 131 для отливки каретки токарно-винторезного станка мод. 1К62. Металл по литниковому каналу 2 попадает в бобышку 1, где он теряет скорость и приобретает вращательное движение. Шлак и неметал-

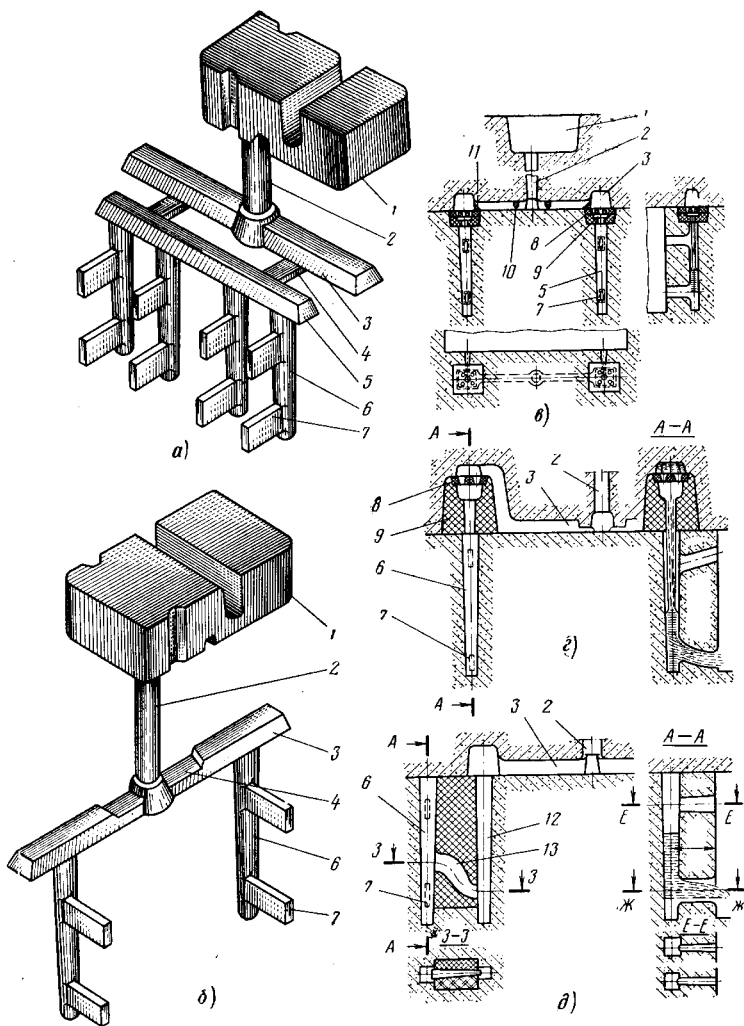


Рис. 130. Ярусные литниковые системы:

а — со шлакоуловителем и коллектором; б — с лимитирующим сечением между стояком и шлакоуловителем; в — со свободным уровнем в стояке, образованном свободно падающей струей металла; г — со свободным уровнем в стояке, образованном нисходящим потоком; д — со свободным уровнем в стояке, образованном восходящим потоком: 1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — лимитирующее сечение; 5 — коллектор; 6 — распределительный стояк; 7 — питатели; 8 — сетка; 9 — стояк-насадка с металлоприемником; 10 — дроссель в шлакоуловителе; 11 — порог; 12 — сифонный стояк; 13 — дроссель

лические включения успевают всплыть в верхнюю часть бобышки, а чистый металл по каналу 4, расположенному под бобышкой, огибает стержень 3 и поднимается в шлакоуловитель 5.

Питающие литниковые системы. Для получения герметичных отливок и обеспечения высокой чистоты обрабатываемых поверхностей необходимо применять метод направленного затвердевания. Подпитка металлом массивных и ответственных узлов отливок, затвердевающих последними, осуществляется из обычных прибылей, бобышек. Кроме того, используют шлакоуловители и питатели увеличенного сечения.

Наиболее эффективным способом устранения усадочных дефектов в отливках является установка прибылей сверху на питаемом узле отливки.

Но при изготовлении чугунных станочных отливок усложняется отделение прибылей (только отрезкой на металлорежущих станках) и снижаются экономические показатели производства (выход годного, стоимость). Однако в ряде случаев при использовании низкоуглеродистых чугунов, склонных к усадке, применять прибыли необходимо. На рис. 132 показан пример получения отливки ротора гидронасоса НРМ125 массой 67 кг с использованием верхней прибыли. Вся отливка находится в нижней полу-

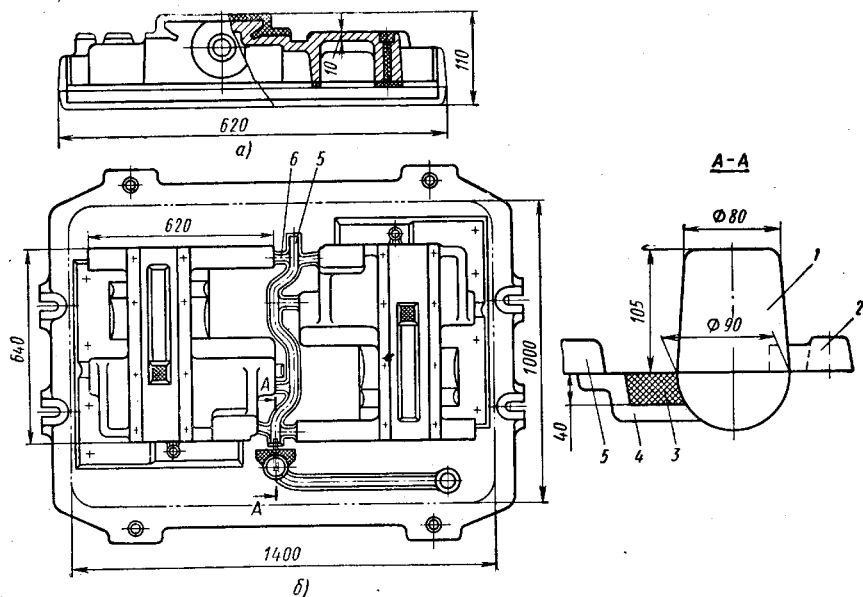


Рис. 131. Литниковая система со шлакоулавливающей бобышкой:

а — отливка каретки токарно-винторезного станка мод. 1К62; б — эскиз с литниковой системой:
1 — шлакоулавливающая бобышка; 2 и 4 — литниковые каналы; 3 — стержень; 5 — шлакоуловитель; 6 — питатели

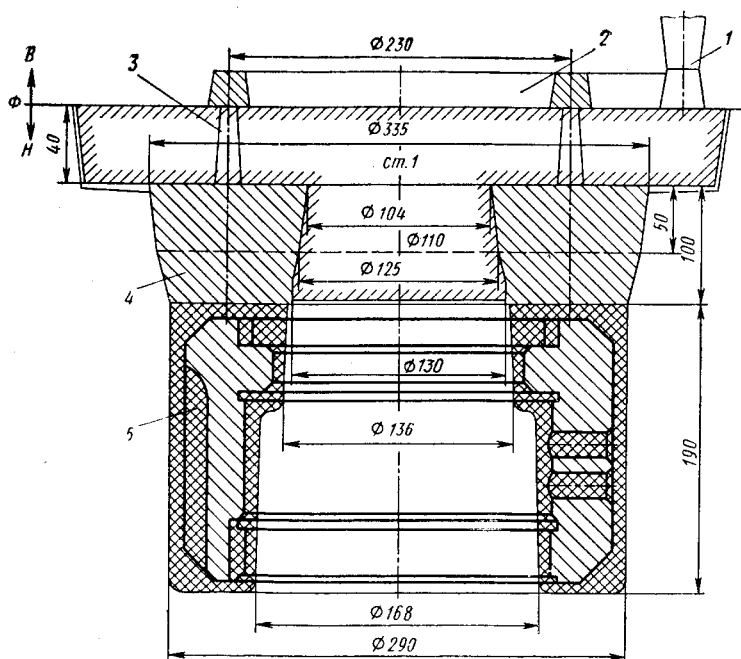


Рис. 132. Питание отливки прибылями (отливка ротора гидронасоса):

1 — стояк; 2 — шлакоуловитель; 3 — дождевые питатели; 4 — прибыль; 5 — отливка

форме, и металл в прибыль поступает через дождевую литниковую систему, в результате прибыль имеет наиболее горячий металл до окончания заливки. Это обеспечивает необходимую герметичность отливок при испытании под давлением 220 кгс/см². С верхними прибылями получают все отливки корпусов гидронасосов высокого давления (типа НРМ125 и др.).

Также эффективным способом устранения усадочных дефектов в чугунных отливках является применение питающих бобышек, особенно в сложных отливках с несколькими массивными узлами, требующими одновременного питания. Питающие бобышки устанавливают сбоку у питаемого узла, что облегчает их расположение в форме. На рис. 133 показан пример применения бобышки для питания передней втулки подшипника массой 77 кг. Плотность кольцевого утолщения размером 50 мм обеспечивается питающей бобышкой, расположенной по разьему формы у массивного сечения.

Эффективность действия питающих бобышек основана на следующем: а) конструкция литниковой системы и ее функции остаются обычными, поэтому бобышку можно считать частью отливки; б) питатели, подводящие металл к бобышке, должны

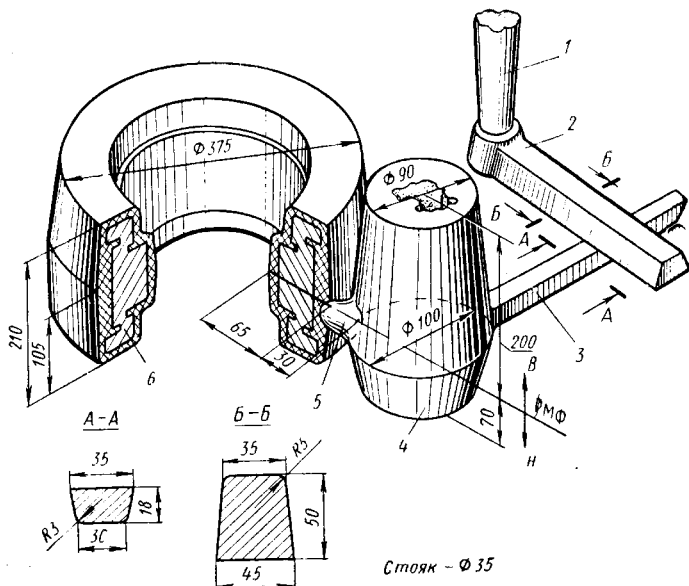


Рис. 133. Питание массивных узлов бобышками (отливка втулки подшипника):

1 — стояк; 2 — шлакоуловитель; 3 — питатель; 4 — питающая бобышка; 5 — литниковый ход; 6 — отливка

иметь минимально допустимое сечение; в) переходной канал от бобышки к отливке должен быть коротким и массивным, сечение его устанавливают по практическим данным; г) верхняя часть бобышки должна располагаться выше питаемого узла.

Таблица 42

РАЗМЕРЫ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ
С ПИТАЮЩИМИ БОБЫШКАМИ (рис. 134)

Масса отливки, кг	Отношение площадей сечений бобышки и питаемого узла отливки ¹	Питающая бобышка			Литниковый канал		
		Б	А	Н/Д	В	Диаметр ²	Длина × ширина ³
До 15	1,0—1,2	Д	80—100	1,5—2,0	15—20	20	18/16×18
15—60	0,9—1,1	0,9Д	80—100	1,3—1,8	15—20	25	23/20×23
60—300	0,7—0,9	0,8Д	80—100	1,1—1,6	20—25	40	36/32×36
300—1500	0,6—0,8	0,7Д	—	1,0—1,4	25—30	50	46/42×46
Свыше 1500	0,5—0,7	0,6Д	—	0,9—1,2	30—35	60	55/50×55

¹ За площадь сечения питаемого узла отливки при расчетах питающих бобышек принимают площадь окружности, вписанной в этот узел.

² При круглом сечении.

³ При прямоугольном сечении.

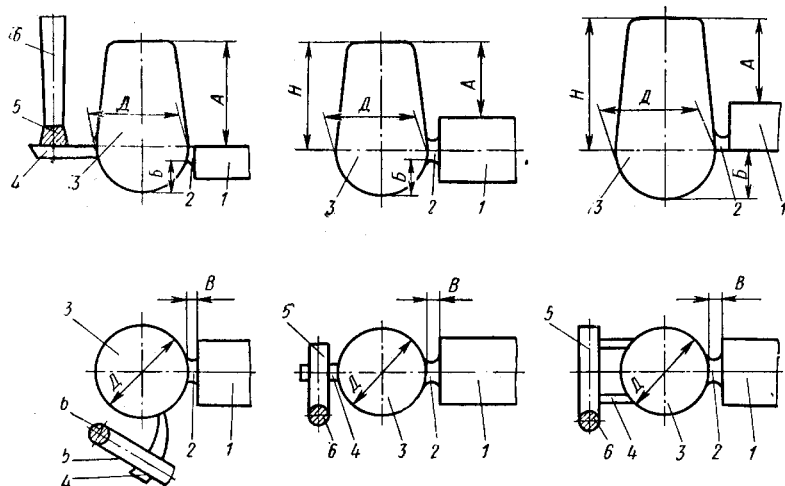


Рис. 134. Варианты подвода металла от питающей бобышки к отливке:

1 — отливка; 2 — литниковый канал; 3 — питающая бобышка; 4 — питатели; 5 — шлакоуловитель; 6 — стояк (A — высота бобышки над отливкой; B — глубина нижней части бобышки; C — длина литникового канала; D — диаметр бобышки; H — высота верхней части бобышки)

Размеры питающих бобышек приведены в табл. 42 [55]. Когда несколько отливок питаются от одной бобышки, отношение ее сечения к сечению питаемого узла отливки увеличивают по сравнению с максимальным на 15—30%.

В отдельных случаях усадку устраняют, делая утолщения в питателях и шлакоуловителях, находящихся на расстоянии 15—30 мм от отливки. Утолщение шлакоуловителя можно выполнять и не по всей его длине, а непосредственно у отливки.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

При разработке технологии получения отливки технолог выбирает места подвода металла к отливке и устанавливает размеры питателей (F_1) исходя из их назначения, принятого в литейном цехе нормального ряда сечений питателей, и сложности конфигураций отливок. При этом он учитывает и наличие в цехе унифицированной оснастки. Места подвода металла к отливке технолог выбирает исходя из опыта. Пока нет единой методики и каких-либо четких рекомендаций, пригодных для многообразной номенклатуры станочных отливок.

На основе многолетнего опыта цехов, выпускающих станочное литье, установлены следующие рекомендации:

1. Для мелких отливок желательно применять квадратные и круглые питатели. Минимальный размер стороны квадрата или диаметра — 10 мм. Питатели меньших размеров или плоские пи-

татели в большинстве случаев вызывают появление усадочных дефектов в месте подвода металла.

2. Для плоскостных отливок необходим рассредоточенный подвод металла.

3. Для отливок высотой более 400 мм желательно применять ярусную литниковую систему.

4. Металл к направляющим следует подводить на уровне их верхней плоскости.

Указанный краткий перечень не исчерпывает всех возможных рекомендаций.

Затем технолог рассчитывает размеры элементов литниковой системы (F_2). Ниже приведен наиболее оправдавший себя на практике метод расчета литниковых систем для мелких, средних и крупных станочных отливок.

Размеры питателей (F_1), установленные с учетом опыта, технолог сравнивает с расчетными (F_2).

Если $\sum F_1 < \sum F_2$, то выбранные питатели выполняют функцию лимитирующего сечения, и никаких других изменений литниковая система не требует.

Если $\sum F_1 > \sum F_2$, то питатели считают как бы частью отливки и вводят лимитирующее сечение между стояком и первым питателем за счет специальных пережимов, дросселей, сеток и др. Например, так выполнена ярусная литниковая система, приведенная на рис. 130, а и б, где лимитирующее сечение 4 введено до питателей 7.

При расчете элементов литниковой системы определяют следующие параметры:

1. Время τ заливки формы металлом:

$$\tau = 2 \sqrt[3]{\delta G},$$

где δ — преобладающая толщина стенки отливки, мм; G — металлоемкость формы, кг;

2. Средний секундный расход металла (кг/с):

$$G_{\text{с. ср}} = \frac{G}{\tau};$$

3. Начальный секундный расход с учетом первоначальной скорости истечения металла при незаполненной литниковой системе

$$G_{\text{с. н}} = K G_{\text{с. ср}},$$

где K — коэффициент, определяемый по графику на рис. 135 [91];

4. Площадь сечения питателей:

$$F_2 = \frac{1000G}{\gamma \mu \sqrt{2gH}},$$

где G — масса отливки, кг; γ — плотность металла, г/см³; μ — коэффициент сопротивления литниковой системы и формы; g —

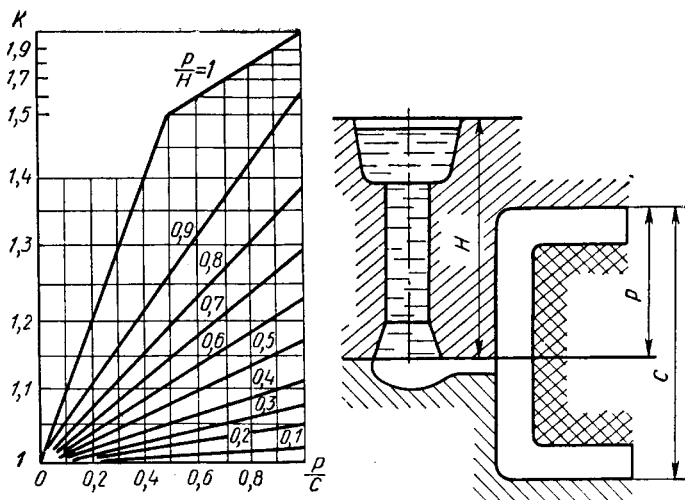


Рис. 135. К определению поправочного коэффициента на начальный расход металла

ускорение свободного падения, см/с^2 ; H — расчетный напор металла, см . (расстояние от места подвода металла к отливке до уровня металла в литниковой чаше).

После замены $\frac{G}{\tau} = G_{\text{с.н}}$ и подстановки в последнюю формулу числовых значений $\gamma = 6,8 \text{ г/см}^3$ (среднее значение для жидкого чугуна) и $\mu = 0,5$ * (для станочного литья) получим

$$F_2 = \frac{1000G_{\text{с.н}}}{6,8 \cdot 0,5 \sqrt{2 \cdot 981H}} = \frac{6,64G_{\text{с.н}}}{\sqrt{H}}.$$

Размеры литниковых воронок и чаш зависят от скорости заливки. При расходе до $4,5 \text{ кг/с}$ рекомендуют применять воронки, при большем — чаши. При расходе до $4,5 \text{ кг/с}$ можно применять чаши, если металл заливают из больших ковшей. В работе [91] приведены рациональные конструкции и размеры чаш, установленные методом моделирования, даны размеры нормализованных литниковых воронок и чаш в зависимости от верхнего диаметра стояка.

Площадь сечения стояков определяют из условия обеспечения положительного давления в верхнем его сечении:

$$F_{\text{ст. в}} = \sum F_2 \sqrt{\frac{H}{H_q}},$$

$$d_{\text{ст. в}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст. в}}}{\pi}},$$

* При установке в литниковой системе фильтровальной сетки или дросселя $\mu = 0,2 \div 0,3$.

где $F_{\text{ст. в}}$ — площадь верхнего сечения стояка, см²; H — напор, см; $H_{\text{ч}}$ — высота литниковой чаши, см; $d_{\text{ст. в}}$ — верхний диаметр стояка, см.

Диаметр нижнего сечения стояка определяют с учетом необходимого уклона (3—5°), однако площадь его сечения должна быть не меньше площади расчетного сечения:

$$F_{\text{ст. н}} > \sum F_2.$$

Если это условие не выполняется, то надо увеличить площадь $F_{\text{ст. в}}$.

Суммарная площадь сечения шлакоуловителей должна быть на 30—70% больше площади лимитирующего сечения:

$$\sum F_{\text{шл}} = (1,3 + 1,7) \sum F_2.$$

При использовании шлакоуловителей как подпитывающих элементов для отливок площадь их сечения увеличивают.

Для тяжелых отливок пока нет единой методики расчета литниковых систем. Для них можно рекомендовать методику расчета, применяемую в литейных цехах ЛСО им. Свердлова.

Для отливок массой до 10 т площадь сечения питателей выбирают из расчета 10 см² на 1 т отливки. Для отливок большей массы площадь сечения питателей следует выбирать с учетом данных, приведенных ниже:

Черная масса отливки, т	Площадь сечения питателей, см ²
5—6	60
7—10	80
11—20	120
30—40	140—160
50—60	160—180

Для протяженных и тонкостенных отливок площадь сечения питателей увеличивают на 20—30% вследствие рассредоточенного подвода металла и увеличения числа питателей. Необходимо соблюдать следующее соотношение сечений элементов литниковой системы:

$$F_{\text{ст}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{п}} = 1,4 : 1,2 : 1.$$

Рассмотрим несколько примеров выбора и расчета питателей для некоторых отливок.

Отливка корпуса коробки подачи токарно-винторезного станка мод. 1К62 (рис. 104) располагается в верхней полуформе. Предусмотренные три питателя сечением 19/22×12 мм, расположенные по длинной стороне отливки, обеспечивают равномерное заполнение формы.

Площадь сечения питателя $F_1 = 2,4 \text{ см}^2$; суммарная площадь $\sum F_1 = 2,4 \cdot 3 = 7,2 \text{ см}^2$. По расчету $\sum F_2 = 8 \text{ см}^2$ ($\mu = 0,25$ из-за установки фильтровальной сетки). Так как $\sum F_1 < \sum F_2$, запроектированные питатели выполняют функцию лимитирующего сечения.

Отливку станины станка мод. МК164 массой 3400 кг с преобладающей толщиной стенки 25 мм, размерами $3610 \times 1270 \times 700 \text{ мм}$ заливают с двух сторон. Питатели рассчитывают для каждой стороны отдельно. Со стороны правого торца производят основную заливку металла, примерно 2400 кг ($\sim 2/3$ массы станины). По расчету $\sum F_2 = 23,6 \text{ см}^2$. Площадь сечения одного запроектированного питателя 8 см^2 ; суммарная площадь питателей $\sum F_1 = 8 \cdot 4 = 32 \text{ см}^2$. Так как $\sum F_1 > \sum F_2$, литниковую систему выполняют со специальным пережимом, как показано на рис. 130, а и б.

Со стороны левого торца производят заливку металла (примерно $3400 - 2400 = 1000 \text{ кг}$) через два питателя. Площадь сечения каждого запроектированного питателя также 8 см^2 ; $\sum F_1 = 8 \cdot 2 = 16 \text{ см}^2$.

Для этой литниковой системы $\sum F_2 = 13,3 \text{ см}^2$ и она должна быть также выполнена, как указано на рис. 130, а и б.

УНИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Унификация элементов литниковых систем проводится в соответствии с делением отливок на группы по массе. Все элементы литниковых систем для отливок одной группы выбирают, исходя из максимального расхода металла отливки данной группы, определяемого расчетом.

В табл. 43 приведены рекомендуемые размеры унифицированных шлакоуловителей, стояков и литниковых чаш для отливок различных групп по массе. Суммарное сечение питателей при этом определяли по изложенной выше методике.

Применение унифицированных элементов снижает трудоемкость и улучшает качество отливок. Из них выполняют литниковые и выпорные чаши, стояки и питатели для изготовления отливок различной массы и назначения (рис. 136).

Технология выполнения унифицированных элементов литниковых систем определяется имеющимся оборудованием и применяемыми для изготовления отливок технологическими процессами. При этом можно использовать сухие и химически твердеющие смеси. Например, унифицированные питатели можно изготавливать из смесей на жидком стекле с продувкой их CO_2 через отверстия в протяжном стояке (рис. 136, д).

В зависимости от массы отливок отдельные элементы литниковой системы имеют особенности.

РАЗМЕРЫ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Масса отливок, кг	Размеры сечения шлакоуловителя, мм	Диаметр стояка, мм	Литниковая чаша	
			Размеры сечения, мм	Масса, кг
До 15	20/25×25	25	Ø 100/35×95	1,7
16—100	25/30×30	30	Ø 100/45×105	2,5
101—500	30/35×40	45	300×160×115	40
501—1000	40/45×50	55	460×190×170	125
1001—2000	50/60×60	60	560×250×200	150
2001—5000	70/80×80	70	580×285×240	200
2001—5000	80/90×90 *	90	815×390×300	515

* Элементы с такими размерами применяют при ускоренной заливке металла

Литниковые системы для мелких отливок. Для отливок массой до 15 кг можно применять литниковую систему с воронкой и фильтровальной сеткой. При ручной формовке стояк и воронку выполняют по обычной модели. При машинной формовке с подпрессовкой для этой цели используют специальную конструкцию — пружинящий стояк (рис. 137).

Фильтровальную сетку изготавливают из стержневой смеси с высокой прочностью по-сухому ($13—15 \text{ кгс/см}^2$) или из керамики. Сетку устанавливают в нижней части воронки, или что более рационально, по разъему формы в нижней полуформе, где она является тормозящим элементов системы.

На рис. 138 показана литниковая система для получения отливки рычага массой 0,2 кг. В форме одновременно изготавливают 22 рычага общей массой 4,4 кг. Литниковую систему выполняют из нормализованных элементов. Металл из воронки 1 через стояк 2 и верхний металлоприемник 3 попадает в фильтровальную сетку 4, а затем в нижний металлоприемник и литниковый канал 5, шлакоуловитель 6 и питатель 7, а затем в отливку 8.

Литниковую систему для отливок массой 16—100 кг выполняют из следующих унифицированных элементов: а) литниковой чаши с фильтровальной сеткой; б) стояка; в) шлакоуловителя; г) питателей. Пример применения литниковой чаши с фильтровальной сеткой показан на рис. 104. Литниковая чаша выполнена стержнем и установлена в специальном гнезде в верхней полуформе. В дне стержня сделано 13 отверстий диаметром 8 мм. Общая площадь сечений отверстий $6,5 \text{ см}^2$.

Конструкция стержневого ящика для изготовления литниковой чаши с фильтровальной сеткой на машине приведена на рис. 139.

На некоторых заводах начато внедрение литниковых систем нового типа с тонкой фильтрацией металла. Особенностью этих систем является применение сетки из высокоогнеупорных

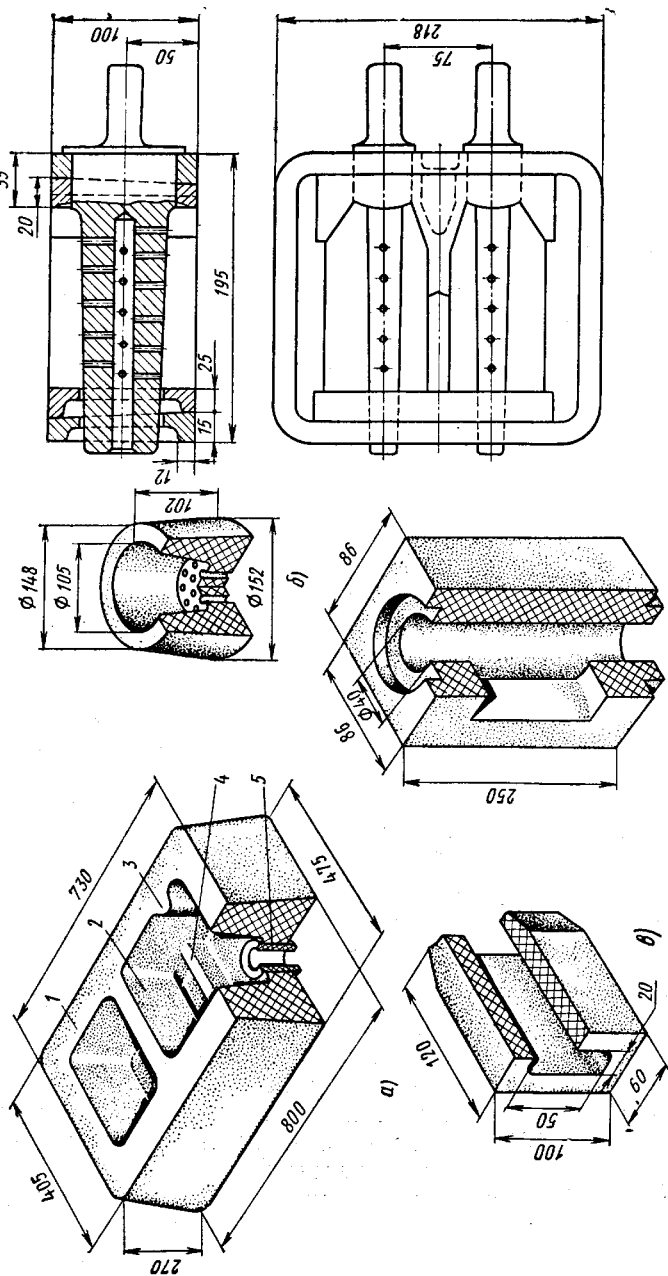


Рис. 136. Элементы унифицированных литниковых систем:

а и *б* — литниковые чаши соответственно для отливок массой 2000—3000 кг и 40—100 кг; *в* и *г* — стержни для питателя и стояка; *д* — стержневой ящик; *1* — литниковая чаша; *2* — перегородка; *3* — боковой порог; *4* — нижний порог; *5* — литниковое кольцо

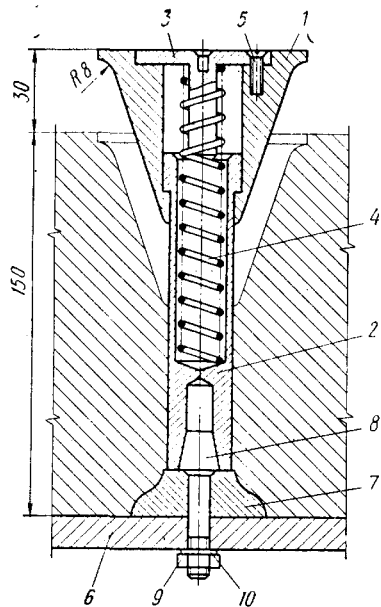


Рис. 137. Пружинящий стояк для получения литниковой воронки при формовке на встряхивающих машинах с подпрессовкой:

1 — корпус литниковой воронки; 2 — стояк; 3 — крышка; 4 — пружина; 5 — винт; 6 — модельная плита; 7 — верхний металлоприемник; 8 — шпилька под стояк; 9 — гайка; 10 — шайба пружинная

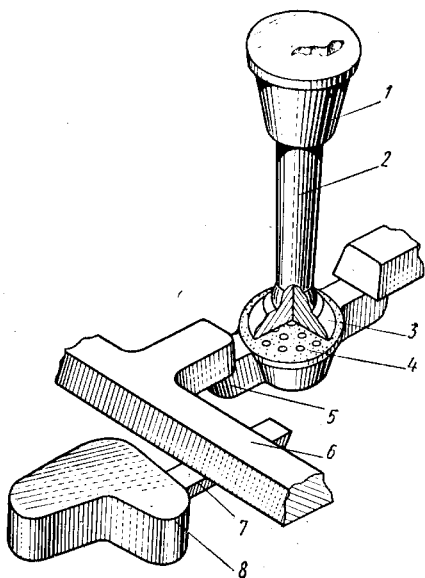


Рис. 138. Литниковая система для отливок общей массой до 15 кг

материалов, которая обеспечивает тонкую фильтрацию металла и полное улавливание газов, шлаков и других неметаллических включений (рис. 140).

Сетка уменьшает расход металла и упрощает конструкцию литниковой системы за счет возможности уменьшения сечений ее элементов. При этом снижается брак и улучшается качество отливок. Такие фильтры марки КС11-ЛА изготовляют в виде сетки с ячейками размерами 2×2 мм и толщиной 2 мм из стеклоткани типа КС с температурой размягчения не менее 1350° .

Сетку разрезают на куски требуемых размеров и устанавливают на разъем формы при ее сборке (рис. 141).

Несмотря на высокую стоимость стеклоткани, ее применение в ряде случаев экономически оправдано.

Литниковые системы для средних отливок. Литниковые чаши для отливок массой 101—500 кг выполняют из смесей, подвергающихся сушке или химическому твердению, с прочностью не менее $3\text{--}4$ кгс/см². Для отливок массой до 250 кг не требующих большого металлостатического напора, можно применять «утопленные» литниковые чаши без элементов торможения, для отливок массой 501—1000 кг — литниковые чаши со шлакоулавливающей перегородкой. При ручной формовке стояки выполняют по

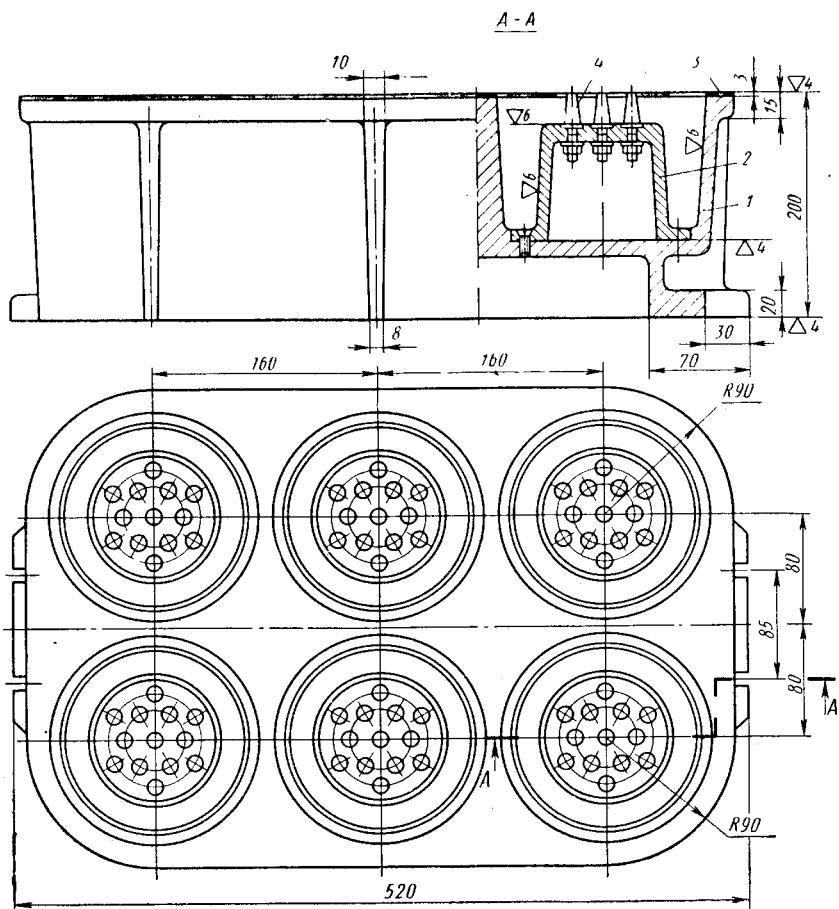


Рис. 139. Стержневой ящик для машинной формовки литниковой чаши с фильтровальной сеткой:

1 — алюминиевый корпус; 2 — вставка; 3 — стальная пластина; 4 — питатели

модели с применением облицовочной смеси, а при машинной формовке — с помощью специальных стержней или модели переходного стояка.

Переходный стояк представляет собой болванку круглого или прямоугольного сечения размером 125×150 мм, которую устанавливают на модельную плиту в процессе формовки на месте стояка. После уплотнения смеси переходный стояк вынимают и ставят на это место основной стояк необходимого сечения. Полость, образовавшуюся между основным и переходным стояком, заполняют облицовочной смесью.

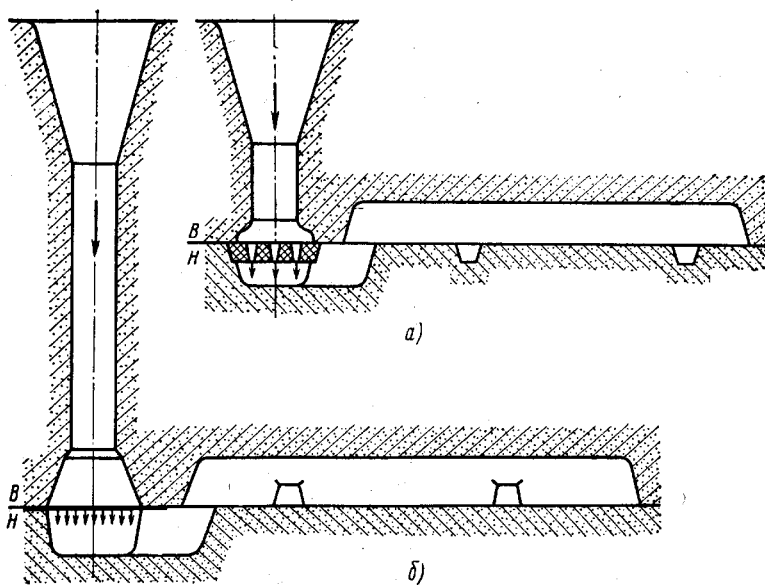
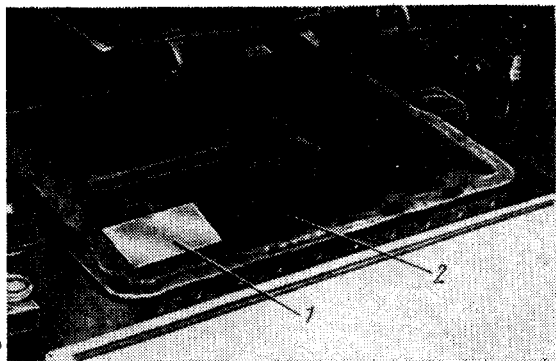


Рис. 140. Фильтрация металла сетками:

a — из стержневых смесей; *б* — из стеклоткани марки КС11-ЛА; *в* — отливка узла верхнего и нижнего металлоприемника с фильтровальной сеткой из стеклоткани марки КС11-ЛА

Рис. 141. Установка фильтровальной сетки из стеклоткани в литниковую систему при сборке форм:

1 — стеклоткань; 2 — нижняя полуформа



Шлакоуловители выполняют по модели с использованием облицовочной смеси. В формах с поверхностной подсушкой питатели и стояки-опуски выполняют преимущественно в стержнях.

Литниковые системы для крупных отливок (1000—5000 кг). Литниковые чаши применяют обязательно со шлакоулавливающей перегородкой и формуют в специальных опоках (кожухах) из смесей, подвергающихся сушке или химическому твердению. Стояки выполняют по модели с применением облицовочной смеси, стержнями и керамикой. Шлакоуловители и питатели — по моделям с применением облицовочной смеси. В некоторых случаях питатели выполняют в стержнях.

Литниковые системы для тяжелых отливок (свыше 5000 кг). Литниковые чаши изготавливают вручную в опоках, футерованных огнеупорной глиной, с двумя или тремя стояками.

Стояки диаметром 70 и 80 мм, питатели диаметром 40 и 50 мм и стояки распределительные диаметрами 50 и 60 мм выполняют керамикой. Шлакоуловители получают по модели с применением облицовочных смесей.

СКОРОСТНАЯ ЗАЛИВКА ФОРМ

При изготовлении корпусных станочных отливок с развитой поверхностью охлаждения и массивными узлами применяют скоростную заливку форм. Основным преимуществом скоростной заливки является уменьшение перегрева участков формы, примыкающих к местам подвода металла или подвергающихся нагреву в результате излучения зеркала металла. Это, в свою очередь, способствует уменьшению опасности образования поверхностных дефектов в отливке, более равномерному ее охлаждению и уменьшению остаточных напряжений.

Скоростная заливка позволяет в случаях, когда это не вызывает образования дефектов (например, газовых раковин), производить заливку чугуна при более низкой температуре. Это также может способствовать предотвращению пригара и других дефектов на поверхности отливок.

Критерием скоростной заливки является секундный расход металла, в 3—4 раза превышающий обычный, определенный по вышеприведенным формулам. При расчете литниковой системы назначают необходимый повышенный секундный расход металла, а затем по приведенной выше методике определяют необходимые размеры элементов литниковой системы. Верхний диаметр стояка должен быть не более 90—100 мм, в противном случае устанавливают несколько стояков. Число выпоров необходимо увеличивать вследствие значительного повышения скорости выброса газов из формы.

При скоростной заливке форм наиболее рационально применять мерные чаши, полностью исключаящие опасность попадания шлака в форму и обеспечивающие повышение выхода годного литья.

В случаях, когда невозможна установка мерных чаш, применяют чаши увеличенных размеров, исходя из условия:

$$G_q = (6 - 7) G_{c.н.},$$

где G_q — масса металла в чаше, кг; $G_{c.н.}$ — начальный расход металла, кг/с.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Научные основы метода моделирования, а также особенности моделирования получения отливок из металлов подробно изложены в работе Б. В. Рабиновича «Введение в литейную гидравлику» [91].

Установка для исследования моделей литниковых систем приведена на рис. 142.

Ниже на примерах показано, как с помощью метода моделирования были отработаны литниковая система и рациональная технология получения некоторых сложных отливок на заводе «Станколит».¹

Корпус гидравлического насоса НП715 работает при давлении в каналах, высверливаемых в массивном узле отливки, 220 кгс/см². Поэтому в них не допускаются пористость, рыхлота или неметаллические включения.

По первоначальному варианту технологии (рис. 143, а) получить качественные отливки не удалось из-за пористости и засоров во многих местах отливки.

С помощью моделирования В. М. Никольским было установлено, что в прибыль поступает холодный металл, что снижает эффективность ее работы. В результате спроектировали новую

¹ Лаборатория моделирования была организована в мае 1953 г. Московским автомеханическим институтом и заводом «Станколит». Научное руководство ее работой осуществлял д-р техн. наук проф. Б. В. Рабинович.

литниковую систему (рис. 143, б) с ярусной подачей металла в отливку. Вначале металл поступает в форму через нижний питатель, а верхний питатель начинает работать, когда форма залита металлом до уровня прибыли, благодаря чему в нее должен поступать из питателя горячий металл.

При моделировании литниковой системы (рис. 143, б) происходил выброс металла через верхний питатель в отливку в начальный момент заливки формы при выемке пробки из литниковой чаши, что вызывало образование «корольков» в отливке. С помощью бокового отвода в стояке удалось устранить это явление.

После изготовления опытной партии отливок с применением новой литниковой системы установили, что пористость в гидроиспытываемых местах полностью устранена (при этом уменьшили высоту прибыли с 400 до 300 мм), но засоры и шлаковые включения остались. С помощью моделирования различных вариантов литниковых систем с введением шлакоулавливающих элементов

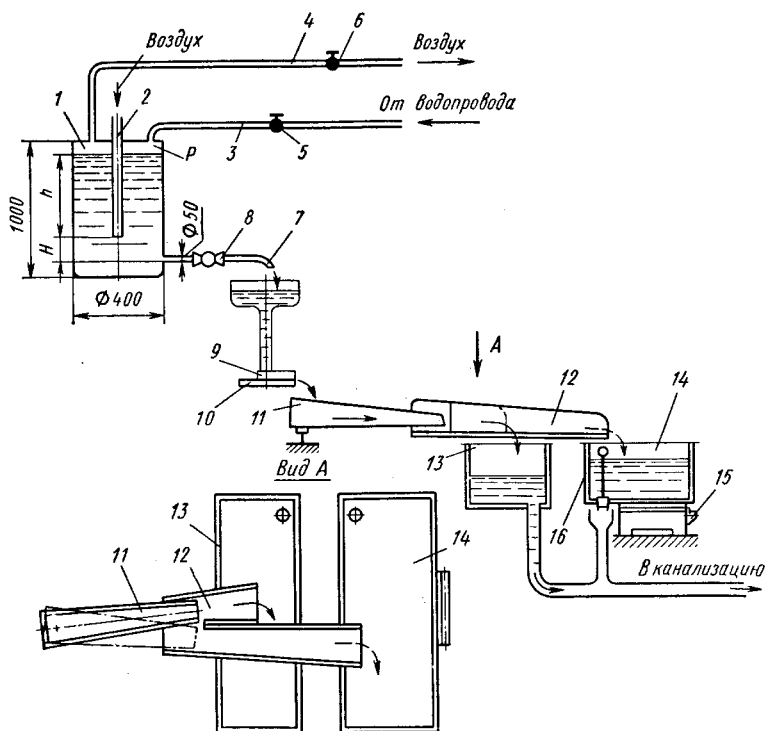


Рис. 142. Схема установки МАМИ для исследования литниковых систем с помощью метода моделирования:

1, 13, 14 — баки; 2 — труба; 3 — шланг; 4 — шланг; 5, 6 и 8 — краны; 7 — насадка; 9 — модель литниковой системы; 10 — предметный столик; 11 и 12 — желоба; 15 — весы

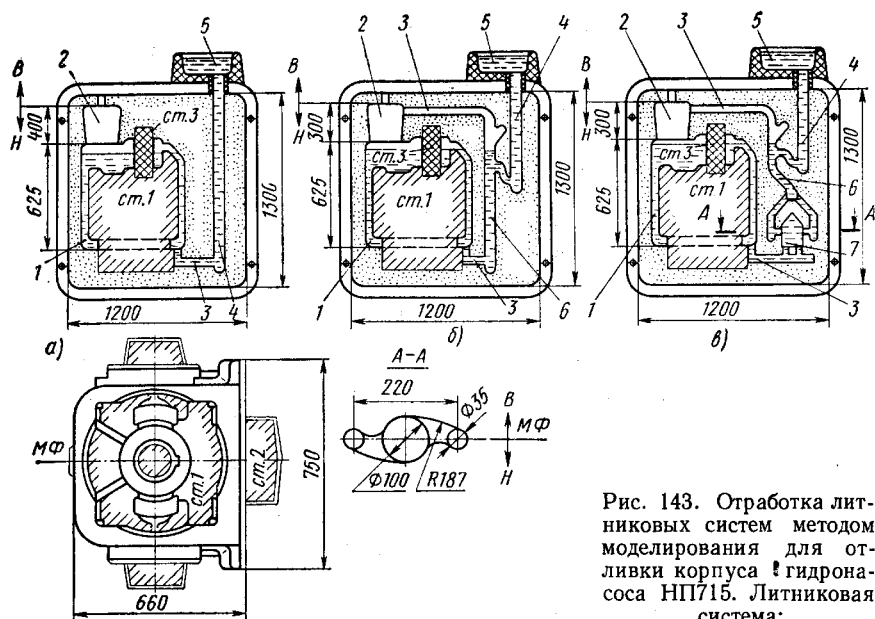


Рис. 143. Отработка литниковых систем методом моделирования для отливки корпуса гидронасоса НП1715. Литниковая система:

а — сифонная; б — ярусная с последовательным поступлением металла через нижний, а затем верхний питатели; в — то же с центробежным шлакоуловителем; 1 — отливка; 2 — прибыль; 3 — питатель; 4 — стояк; 5 — литниковая чаша; 6 — литниковый канал; 7 — центробежный шлакоуловитель

было установлено, что наилучшие результаты достигаются при литниковой системе, представленной на рис. 143, в. Данная литниковая система позволила получать эти и аналогичные сложные и ответственные отливки, работающие под высоким давлением, при серийном их производстве, с годовым браком не более 2%.

Другим примером может быть отливка станины координатно-расточного станка мод. 2Д450, на трех направляющих которой не допускаются никакие исправления дефектов.

По первому варианту технологии (рис. 144, а) направляющие располагали по заливке в нижней части полуформы, металл поступал через четыре питателя в направляющие и через два — в верхнюю часть отливки (см. стрелки). В станинах после механической обработки на направляющих обнаруживали засор. Ю. В. Каменский с помощью моделирования установил, что в направляющие попадает первая порция металла, несущая с собой в ряде случаев включения. В связи с этим была переработана конструкция литниковой системы — введены две бобышки диаметром 200 и высотой 300 мм для задержания первой загрязненной порции металла (рис. 144, б). Засор на направляющих был уменьшен, но полностью не устранен.

Дальнейшая отработка позволила найти вариант конфигурации, обеспечивающий полное задержание первой порции загряз-

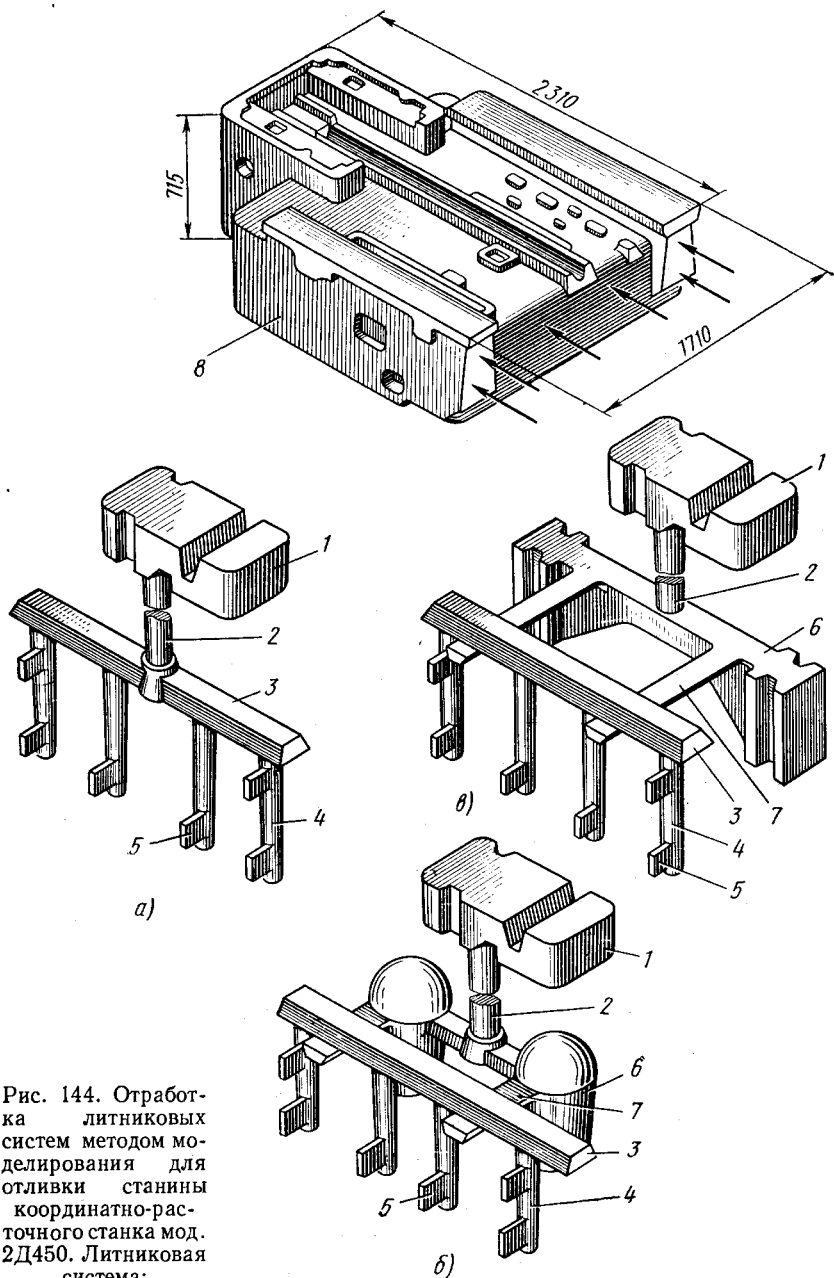


Рис. 144. Отработка
литниковых
систем методом мо-
делирования для
отливки станины
координатно-рас-
точного станка мод.
2Д450. Литниковая
система:

а — ярусная; *б* — ярусная со сливными бобышками; *в* — ярусная со сливом специальной конструкции: 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — распределительный стояк; 5 — питатель; 6 — слив; 7 — узкое сечение; 8 — отливка

ненного металла (рис. 144, в). Ребра предусмотрены для удобства транспортировки и разделывания на копре сливных бобышек. Засор в направляющих станины удалось полностью ликвидировать.

Многолетний опыт работы лаборатории на заводе «Станколит» показал, что отработка рациональной технологии с использованием метода моделирования позволяет выбрать оптимальный вариант литниковой системы и резко сокращает брак отливок, который был бы неизбежен при испытании различных вариантов систем в производственных условиях.

4. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ В ФОРМЕ

Охлаждение отливки в форме регулируют в случаях, когда необходимо: 1) предотвратить усадочные дефекты и снизить остаточные напряжения; 2) сократить производственный цикл; 3) получить плотный чугун с заданной микроструктурой.

Влияние интенсификации охлаждения чугуна в направляющих на микроструктуру и условия, ограничивающие применение этого метода, рассмотрены выше (см. глава I).

Ниже остановимся на некоторых технологических особенностях методов регулирования скорости охлаждения.

Холодильники. Обычно холодильники изготавливают из чугунов СЧ18-36 и СЧ21-40.

Плоские холодильники для отливок станин, столов, траверс изготавливают толщиной 0,3—0,4 толщины направляющих; шириной — 0,8 ширины направляющих; а длиной — 1,0—1,5 ширины направляющих. Для крупных отливок можно рекомендовать плоские холодильники длиной 150 мм, шириной 60, 90 и 120 мм и толщиной 35 и 65 мм. При охлаждении криволинейных поверхностей холодильники выполняют по их контуру.

При установке холодильников в форме необходимо соблюдать следующие правила:

1. Расстояние от холодильника до кромки плоскости отливки должно быть 10—20 мм.

2. В зазоры (1—2 мм) между холодильниками засыпать сухой песок для предотвращения заливов.

3. Размещать холодильники в шахматном порядке.

4. Полость в холодильниках заделывать формовочной смесью для исключения попадания металла в нее при заливке.

5. В крупных отливках на расстоянии не менее 500 мм и в тяжелых отливках на расстоянии не менее 1000 мм от питателей устанавливать только новые холодильники. Установка холодильников, бывших в употреблении, в этой зоне способствует образованию газовых раковин.

6. Поверхность холодильников окрашивать противопожарной краской.

СОСТАВ И СВОЙСТВА ЗАХОЛАЖИВАЮЩЕЙ СМЕСИ

Смесь	Состав, % по объему							Предел прочности, кгс/см ²		Влажность, %
	Песок кварцевый	Глина	Дробь колотая	Асбесто-вая крошка	Жидкое стекло	Едкий натр	Раствор битума	по-сырому	по-сухому	
Формовочная	30	10	60	—	6	2	—	0,2—0,3	16—20	2,5—3,0
Стержневая	25	5	60	10	6	2	2	0,2—0,3	7—8	2,5—3,2

В отдельных случаях применяют холодильники из материалов, обладающих повышенной теплоаккумулирующей способностью (графита, корунда, хромистого железняка и т. д.). Опыт литейных цехов показывает, что хорошие результаты достигаются при захолаживании фасонных поверхностей, особенно вну-

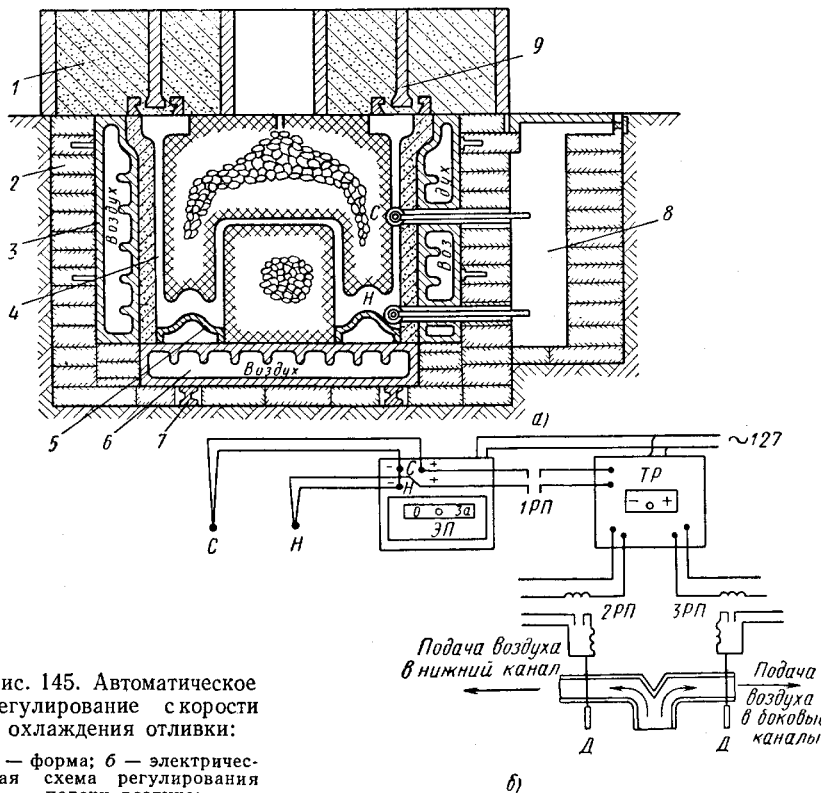


Рис. 145. Автоматическое регулирование скорости охлаждения отливки:

а — форма; б — электрическая схема регулирования подачи воздуха; 1 — верхняя полуформа; 2 — кирпичная кладка кессона; 3 — боковая полая чугунная плита; 4 — отливка; 5 — холодильник; 6 — нижняя полая чугунная плита; 7 — установочные балки; 8 — колодец; 9 — утолщенные крестовины

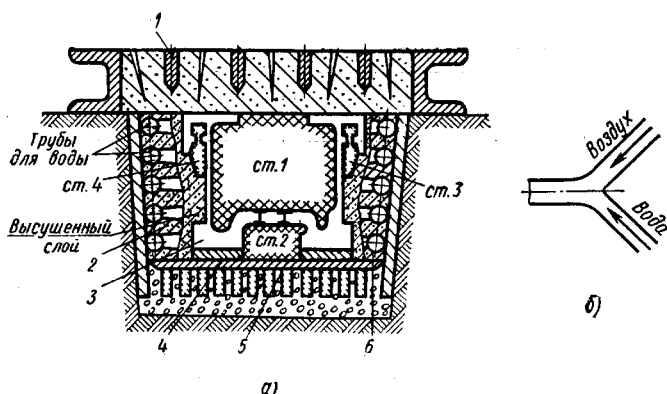


Рис. 146. Схема принудительного увлажнения формы:

а — схема формовки и расположения труб; б — ввод воды и воздуха в трубы;
1 и 2 — верхняя и нижняя полуформы; 3 — полость формы; 4 — холодильники; 5 — постель; 6 — трубы для подачи воды

тренних полостей отливки, так называемой захолаживающей смесью (табл. 44).

Интенсификация охлаждения формы. Ниже описан метод воздушного охлаждения формы. Однако эффективность этого метода значительно повышается при автоматическом регулировании скорости охлаждения [118].

Схема автоматического регулирования охлаждения приведена на рис. 145.

Регулирующим параметром является разность температур между основными элементами отливки (тонкой стенкой и массивной направляющей), фиксируемая дифференциальной термопарой, состоящей из термопар C и H , установленных соответственно в стенке и направляющей отливки.

Показания термопар фиксируются электронным потенциометром ЭП, а разность их показаний подается на другой электронный потенциометр с терморегулятором ТР, установленным на заданную разность температур направляющей и стенки. Если фактическая разность температур не превышает заданную, то воздух подается одновременно в нижний и боковые каналы, что обеспечивает охлаждение отливки с максимальной скоростью. В случае превышения заданной разности температур терморегулятор с помощью промежуточных реле ЗРП или 3РП подаст импульс на соответствующий исполнительный механизм и дроссельную заслонку Д для прекращения подачи воздуха к тому элементу, температура которого ниже, и для подачи всего воздуха к другому более горячему элементу, пока разность температур не уменьшится до заданных пределов.

В работе [118] описан метод ускоренного охлаждения отливки, основанный на принудительном увлажнении материала фор-

мы (рис. 146). Вдоль отливки по стенкам кессона или опоки прокладывают трубы. К одному концу труб подводят воздух и воду, другой конец заглушен.

После затвердевания отливки или ее поверхностных слоев в форму впрыскивается вода, которая, продвигаясь к отливке, попадает в прогретые слои формы и испаряется. Для интенсификации процесса в форму по трубам подается сжатый воздух. В результате расхода теплоты на испарение влаги (540 ккал/кг) быстро снижается температура в толщине формы и ускоряется охлаждение отливки, даже при подаче сравнительно небольшого количества воды.

5. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Использование в чугунолитейных цехах сыпучих, пластичных и жидких самотвердеющих смесей значительно изменяет технологию литейного производства, способствует новой, более рациональной организации производства в формовочных и стержневых отделениях. Целесообразность использования той или иной стержневой смеси определяется не только эффективностью ее в стержневом отделении, но и трудоемкостью, экономическими показателями и условиями труда в других отделениях (выбивки форм, удаления стержней, очистки отливок и др.).

Стержни из смесей, подвергающихся сушке. Основные рекомендации по выбору состава стержневых смесей, рациональной области их применения, методике контроля приведены в технологическом регламенте станкостроения, разработанном на основе опыта передовых литейных цехов отрасли [98].

Однако при изготовлении отливок средней и малой массы со сложными внутренними полостями, иногда эти смеси не дают достигнуть желаемых результатов, например по выбиваемости или склонности к пригару. Производственный опыт показал, что хорошие результаты можно получить при использовании смесей, составы которых приведены в табл. 45.

Относительно высокая стоимость этих смесей оправдывается значительным снижением трудоемкости операции удаления стержней и очистки отливки. В некоторых случаях при сочетании массивных стенок отливки с тонкими стержнями сложной конфигурации применение указанных смесей является единственной возможностью получения годных отливок.

Стержни из жидких самотвердеющих смесей (ЖСС). Смеси ЖСС широко применяют для изготовления стержней. Только в 1973 г. в станкостроении со стержнями из ЖСС получено 32% всех отливок. Эти смеси обладают особыми свойствами:

1) жидкоподвижностью, что позволяет наливать их в стержневой ящик непосредственно из смесеприготовительного агрегата;

СОСТАВ (%) И СВОЙСТВА СМЕСЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ СУШКЕ

Смесь	Песок		Глина формовочная	Пылевидный кварц	Сульфитная барда	Связующее КО	Декстрин	Прочие	Газопроницаемость в сухом состоянии	Предел прочности, кгс/см ²		Влажность, %
	1К016—1К02	Цирконовый								при сжатии в сыром состоянии	при разрыве в сухом состоянии	
C1	89	—	1	10	2,5	4,5	25	—	150	0,1—0,12	8—12	2,6—3,0
C2	92	—	2	6	3	3	3	—	150	0,12—0,14	12—15	2,6—3,0
C3	75	—	3	12	2,5	4,5	2	Графит черный 10	150	0,12—0,15	6—7	4,0—4,5
C4	92	—	2	6	3	—	3	Олифа- аксоль 3	150	0,12—0,14	15—20	2,6—3,0
C5	—	98	2	—	2,5	2,0	—		60	0,1—0,12	18—20	2,4—2,8

степень жидкоподвижности смеси регулируют добавлением пенообразующих веществ и воды;

2) способностью к самозатвердеванию без какой-либо химикотермической обработки, что позволяет в большинстве случаев через 20—40 мин удалять стержень из ящика и через 4—5 ч затвердевания его на воздухе прочность стержня будет достаточной для заливки формы.

Одним из основных преимуществ применения смесей ЖСС является возможность организации поточного изготовления стержней в условиях мелкосерийного и единичного производства отливок. Примером может быть стержневой участок на заводе «Станколит» (рис. 147).

На конвейерах 1 и 3 собирают и подготавливают стержневые ящики, а также устанавливают в них каркасы. Поворотным кругом 2 ящики подаются на реверсивный конвейер 4, где смесь ЖСС заливают из смесителей 6. Заполненные ящики поворотным кругом 5 подаются на конвейеры 7, 9 и 10, где на позиции 8 сгребают излишки смеси и устанавливают сушильные плиты. После затвердевания смеси кантователь 11 поворачивает ящик, который снимается специальным устройством 12 со стержня. На конвейер 13 поступают стержни и ящики. Ящики убирают краном, а стержни отделяют и окрашивают водной краской, после чего их подсушивают в установке 15 в течение 20 мин. Стержни на конвейере 16 снова окрашивают и подсушивают в установке 17. На конвейер 18 поступают готовые стержни.

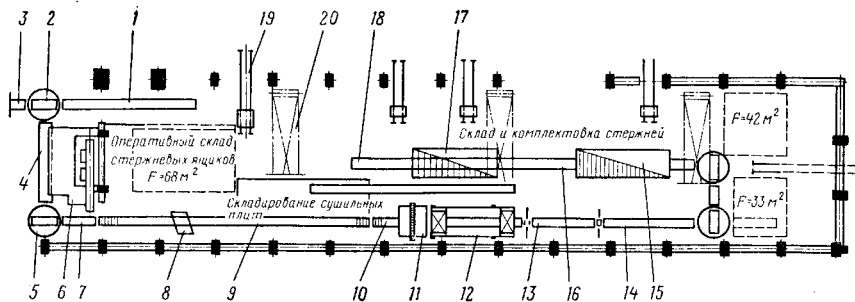


Рис. 147. Участок изготовления стержней из ЖСС для крупных станочных отливок:

1, 3, 13, 14 — ленточные конвейеры; 2 и 5 — поворотный круг; 4 — реверсивный ленточный конвейер; 6 — установка для приготовления ЖСС; 7 и 10 — двухскоростные ленточные транспортеры; 8 — срезатель; 9 — пластинчатый конвейер твердения; 11 — кантователь стержневых ящиков; 12 — распаровщик; 16 и 18 — пластинчатые конвейеры; 15 и 17 — проходные сушила; 19 — кантователь стержней

На линии изготавливают стержни объемом 50—2000 л, для налива которых предусмотрены два смесителя периодического действия емкостью по 500 л.

Опыт эксплуатации поточных линий со смесями ЖСС на станкостроительных заводах позволяет сделать некоторые выводы.

1. При выборе производительности смесителей необходимо учитывать общую потребность в смеси и скорость заполнения ящика смесью, которая должна быть возможно большей. Это обеспечивает хорошую заполняемость ящика смесью с относительно низким содержанием влаги и пенообразующих веществ.

При этом, как правило, производительность смесителя превышает среднюю потребность в смеси в 2—3 раза. В связи с этим цикл работы на участке приготовления смеси и заполнения ящиков имеет пульсирующий характер. Промежуточные конвейеры, например 7, 9 и 10, позволяют обеспечить непрерывность потока на всех последующих операциях. Поэтому на линиях изготовления стержней для станкостроительного литья более целесообразно применять смесители периодического действия, чем непрерывного действия.

2. Организация производства на потоке должна выполнять технологическое требование — раскрытие ящика и освобождение стержня производить точно через определенное время после его заполнения смесью. Это обеспечивается непрерывным движением конвейера 9.

3. Расчет экономической эффективности перехода на смеси ЖСС стержневого участка цеха, выпускающего 10 000 т станкостроительного литья в год, в сравнении с традиционной технологией показывает, что себестоимость 1 т литья снижается на 3 р. 60 к.; экономическая эффективность (с учетом капитальных затрат) составляет 30615 р. в год.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ СМОЛЫ

Смола		Содержание фурилового спирта, %
Название	Марка	
Карбамидно-фурановая	БС-40	40
	БС-70	70
Фенолоформальдегидная	ОФ-1	—
Мочевиноформальдегидная	М-19-62	—

Стержни из сыпучих самотвердеющих смесей на синтетических смолах. Синтетические смолы в качестве связующих стержневых смесей применяют во всех отраслях машиностроения. Технико-экономические преимущества использования этих смесей связаны с их самоотверждением, значительным сокращением трудозатрат на операции выбивки стержней, очистки и обрубки отливок. Большое значение имеет повышение точности и улучшение качества отливок. Химическая промышленность выпускает различные мочевинофурановые, фенольнофурановые и фенольные смолы для самотвердеющих смесей. В станкостроительной промышленности наиболее широко используют смолы, приведенные в табл. 46.

Среди важнейших требований, предъявляемых к самотвердеющим смесям, необходимо отметить следующие:

1. Живучесть смесей — промежуток времени, в течение которого смесь обладает формуемостью. Очевидно, чем больше общая продолжительность наполнения ящика смесью и ее уплотнения, тем больше должна быть живучесть смеси. Регулирование живучести осуществляется дозированием катализатора.

Живучесть смеси можно определять следующим образом.

Навеску 200 г смеси засыпают в сетчатый барабан мод. 056 и вращают в течение 10 с. Просыпь взвешивают и через каждые 3—5 мин повторяют ту же операцию с новой навеской. Каждый раз количество просыпи увеличивается, и опыт показал, что когда просыпается 20—25% навески, формуемость резко ухудшается. Принято, что живучесть характеризуется промежутком времени от момента изготовления смеси до момента, когда просыпь достигнет этой величины.

2. Прочность. В отличие от обычных смесей, прочность которых определяется до и после высушивания, самотвердеющие смеси характеризуются изменением прочности во времени. Поэтому прочность смеси определяют через 1; 2; 4 и 24 ч после ее изготовления. Скорость твердения смеси и нарастание прочности, особенно в первые часы будет тем выше, чем больше количество катализатора. Но при этом снижается живучесть смеси и максимальное значение прочности.

3. Термостойкость. Смеси, содержащие различные смолы, имеют различную термостойкость. Термостойкость фурановых смол повышается при увеличении количества вводимого в них фурилового спирта. Это необходимо учитывать при изготовлении крупных толстостенных отливок, так как вследствие недостаточной термостойкости смеси в тепловых узлах образуется пригар и просечки металла.

Ниже приведены составы и свойства распространенных смесей, в качестве наполнителя в которых используется сухой кварцевый песок 1К016.

Смесь № 1 содержит 2,5% смолы БС-70 и 1% ортофосфорной кислоты. Предел прочности ее при растяжении через 1 ч составляет 1,5—2,5 кгс/см², через 2 ч — 3—4 кгс/см², через 3 ч — 5—8 кгс/см² и 24 ч — 15—20 кгс/см². Живучесть смеси 11—15 мин, продолжительность твердения ее в ящике 40 мин. Смесь используют в мелкосерийном и единичном производстве отливок массой до 4 т. В зависимости от организации производства из этой смеси по одному ящику можно получить за смену 4—8 стержней.

Смесь № 2 содержит 3,7% смолы М-19-62 и 0,6—0,8% хлорного железа. Предел прочности ее при сжатии через 0,5 ч составляет 2,5 кгс/см², через 1 ч — 6,2 кгс/см² и 2 ч — 16,4 кгс/см². Продолжительность твердения смеси в стержневом ящике 1 ч. Условия использования этой смеси такие же, как и смеси № 1.

Смесь № 3 содержит 2,1% смолы БС-40, 1,8% ортофосфорной кислоты. Предел прочности при растяжении через 1 ч составляет 3—4 кгс/см²; через 2 ч — 5—6 кгс/см², через 3 ч — 7—8 кгс/см² и 24 ч — 10—13 кгс/см².

Живучесть смеси 1,5—2 мин, продолжительность твердения ее в ящике 6—7 мин.

Низкая живучесть ограничивает объем изготавливаемых стержней в пределах 10—20 л. Быстрое твердение смеси в ящике позволяет сократить цикл изготовления стержней до 10—12 мин и при поточной организации производства по одному ящику получать за смену 40—50 стержней.

Для приготовления смесей используют одношнековые смесители непрерывного действия различной производительности.

6. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ

Процесс изготовления форм подвергся за последние 15—20 лет коренному изменению в следующих направлениях:

1. Совершенствование формовки по-сырому в результате значительного повышения прочности смеси (до 2 кгс/см²), ее формовости, газопроницаемости, а также снижения влажности.

Новые смеси позволяют значительно повысить точность отливок, предотвратить образование поверхностных дефектов и зна-

чительно расширить номенклатуру и развес чугунных отливок, изготавливаемых по-сырому.

В станкостроении работы в этом направлении только начнутся, но трудно переоценить технико-экономическую эффективность, которая может быть при этом получена.

2. Исключение операции сушки форм и замена ее кратковременной подсушкой, химическим отверждением или использованием самотвердеющих смесей.

Технико-экономическая эффективность определяется сокращением производственного цикла, высвобождением производственной площади, занятой сушильными печами, возможностью поточной организации производства и снижением общей трудоемкости.

3. Применение жидких самотвердеющих смесей для изготовления форм методом налива. Дополнительным преимуществом по сравнению со способом, изложенным выше, особенно при изготовлении крупных форм, является исключение операции уплотнения смеси, значительное сокращение трудоемкости и облегчение условий труда.

4. Совершенствование процесса почвенной формовки за счет улучшения конструкции кессонов, принудительного охлаждения формы с целью сокращения производственного цикла.

Ниже приведены некоторые технологические варианты изготовления форм, заменяющие формовку по-сырому. Эти варианты были в основном разработаны в литейном производстве станкостроения и благодаря своим преимуществам находят все более широкое распространение.

Формы с подсушенной поверхностью. Создание на поверхности формы подсушенного слоя может обеспечить условия, аналогичные взаимодействию металла с сухой формой. Для этого толщина «сухого слоя» формы должна быть такой, чтобы интенсивного парообразования во влажном слое смеси не происходило до момента образования корки закристаллизовавшегося металла.

Следовательно, чтобы процесс проходил так же, как в сухой форме, толщина подсушенного слоя смеси должна быть тем больше, чем толще стенки отливки и интенсивнее прогрев формы металлом.

Станочные отливки массой 100—200 кг изготавливаются в формах 1500×1000 мм, уплотняемых на формовочных машинах мод. 846. Используют единую формовочную смесь влажностью 4—4,5% и с пределом прочности по-сырому 0,4—0,5 кгс/см². Формы после окраски тальковой краской (на декстрине и связующем ДП) подвергают поверхностной подсушке в течение 10 мин в установке с панельными горелками, представленной на рис. 148. В форме образуется сухой слой толщиной 8—12 мм.

Высушенный слой, упрочненный краской, обеспечивает хорошее качество указанных отливок.

Переход на поверхностную подсушку форм позволил внедрить поточную организацию производства. Формы окрашивают, под-

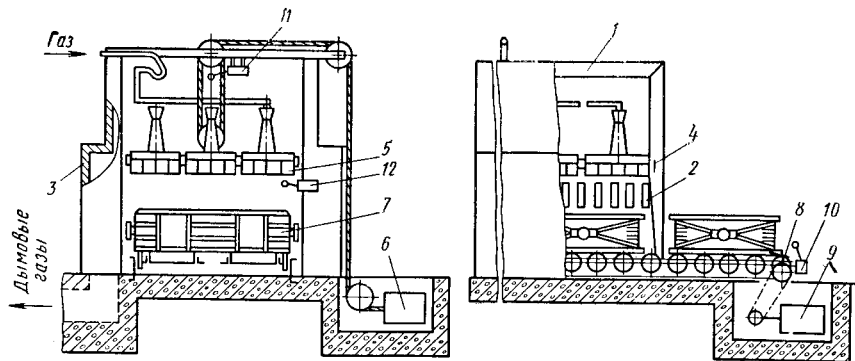


Рис. 148. Установка с панельными горелками для поверхностной подсушки форм:

1 — металлический каркас; 2 — бортовые отсосы; 3 — теплоизоляция; 4 — подвижная рама; 5 — панельные горелки; 6 — привод подъема рамы с панельными горелками; 7 — полуформы; 8 и 9 — привод роляганга; 10, 11 и 12 — конечные выключатели

сушивают и подают на конвейер, где их собирают, заливают металлом и охлаждают.

Новая организация производства позволила по сравнению со сборкой и заливкой на плацу значительно увеличить выпуск литья с той же площади при одновременном снижении трудоемкости и себестоимости отливок.

Однако длительный практический опыт показал, что для получения стабильного качества необходимы условия, которые зачастую трудно обеспечить. Например, задержка собранных форм перед заливкой может вызвать насыщение подсушенного слоя влагой из влажного слоя формы; при недостаточной выдержке форм после подсушки приходится собирать на конвейере горячие формы. Значительные трудности иногда вызывает выбор рациональной конструкции сушильной установки, обеспечивающей подсушивание глубоких полостей форм.

Формы из пластичных самотвердеющих смесей. Значительным прогрессом явилась разработка на заводе «Станколит» так называемых пластичных самотвердеющих смесей ПСС на основе жидкого стекла [61].

Основой технологии является двухстадийное изготовление смеси. В центральном смесеприготовительном отделении изготавливается базовая смесь¹, которая подается в бункера на участок формовки, где установлены лопастные смесители непрерывного или периодического действия. Требуемое на изготовление полуформы количество смеси подается в смеситель и туда же вводится необходимая порция феррохромового шлака. В смеситель

¹ Примерный состав смеси: 92% луховицкого песка и регенерата; 5% глины, 3% угля молотого, 5,5% жидкого стекла. Влажность смеси 3,5%, предел прочности при сжатии 0,15 кгс/см².

непрерывного действия смесь и шлак вводятся непрерывно действующими дозаторами. После кратковременного перемешивания (45—60 с) готовая смесь подается в опоку и должна быть без задержки использована.

Увеличение выдержки готовой смеси даже в интервале ее живучести может снизить прочность формы и увеличить ее осыпаемость. Выбор оптимальных значений живучести смеси и кинетики нарастания прочности зависит от размеров и сложности формы, методов уплотнения, организации производства и других факторов.

Шлак (рис. 149) и жидкое стекло (рис. 150) влияют на интенсивность нарастания прочности и последующее разупрочнение смеси. Модуль жидкого стекла влияет на живучесть смеси и на ее прочность. При уменьшении модуля M увеличивается живучесть смеси, но при этом снижается прочность (рис. 151).

Необходимо подчеркнуть, что основное отличие ПСС от других самотвердеющих смесей — это пластичность и относительно высокая прочность тотчас же после ее приготовления. Поэтому нет необходимости выдерживать форму перед удалением модели для упрочнения смеси. Использование ПСС позволяет удалять модель сразу после окончания уплотнения.

Это преимущество ПСС особенно важно при машинном изготовлении форм в серийном производстве, когда использование других самотвердеющих смесей нерационально из-за уменьшения машинного времени на период отверждения смеси. Полученную полуформу через 30 мин можно окрашивать, через 1 ч 30 мин кантовать и через 4—6 ч собирать и заливать металлом.

При использовании водных красок необходима кратковременная подсушка слоя краски в течение 8—10 мин. Эта операция исключается при использовании самовысыхающей краски [97].

Описанная технология внедрена в цехе, выпускающем в год 20 000 т отливок массой до 600 кг. Формы изготовляют на машинах мод. 234 в опоках размером 1550×1200 мм и на машинах мод. 0405 в опоках размером 1400×1000 мм.

На рис. 152 представлен участок формовки. Из бункера 5 базовая смесь ленточным питателем подается в смеситель пери-

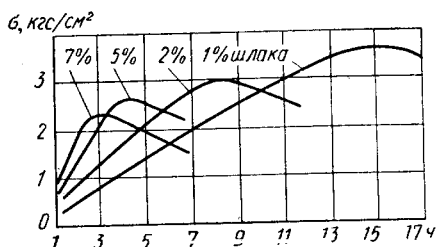


Рис. 149. Влияние феррохромового шлака на прочностные свойства смеси ПСС.

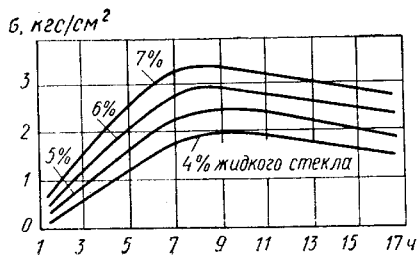
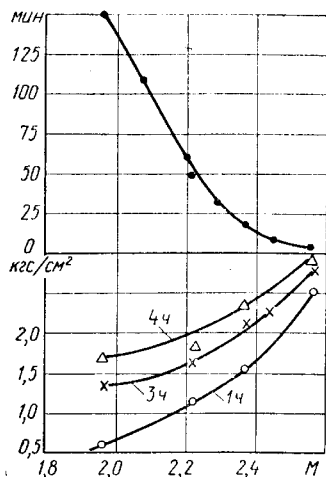


Рис. 150. Влияние жидкого стекла на прочностные свойства смеси ПСС.

Рис. 151. Влияние модуля жидкого стекла на живучесть и прочностные свойства смеси ПСС



одического действия в количестве, регулируемом реле времени. В смеситель вводится шлак и после перемешивания в течение 1 мин готовая смесь выпускается в ящик 6 на тележке 7, которая подходит под монорельс 8; тельфером 9 ящик подается к одной из двух формовочных машин 1 на верхнюю или нижнюю полуформы. После нанесения на модель облицовочной смеси ПСС из бункера 3 поворотным пескосыпом 2 засыпается наполнительная смесь и производится встряхивание.

Готовые полуформы окрашиваются самовысыхающей безводной краской и через 3—4 ч направляются на сборку формы и заливку.

Формы из жидких самотвердеющих смесей. Изготовление форм из смесей ЖСС для крупного литья в условиях единичного и мелкосерийного производства позволяет резко снизить трудоемкость процесса и устранить тяжелые операции уплотнения облицовочной смеси ручными или пневматическими трамбовками.

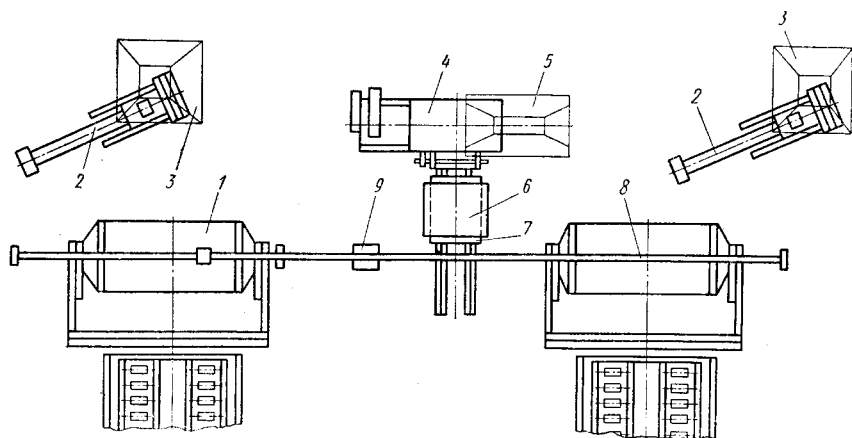


Рис. 152. Участок изготовления форм из смеси ПСС

Однако при этом могут увеличиться затраты на смеси и трудоемкость выбивки форм из-за высокой прочности смеси. Чтобы снизить затраты на смеси и облегчить выбивку форм, рекомендуются следующие мероприятия:

1. Изготавливать формы двухслойными, т. е. из двух составов смесей ЖСС: сначала наливать в опоку облицовочную смесь, а затем наполнительную (40—50% общего объема), содержащую в 2 раза меньше связующих, чем облицовочная.

2. Увеличить парк опок и использовать для серийных отливок вместо универсальных профилированные опоки, приближающиеся по конфигурации к очертанию моделей. При этом общий расход смеси на 1 т годного литья может быть снижен в несколько раз.

3. Изготавливать тонкостенные панцирные формы с толщиной слоя смеси 30—50 мм. В этом случае расход смеси на 1 т годного литья составит 0,5—0,6 м³. Схема процесса, заключающегося в запрессовке сжатым воздухом ЖСС через отверстие 5 в зазор между моделью 3 и контурной рамкой 1, приведена на рис. 153 [92].

Жидкие самотвердеющие смеси для форм, как правило, готовят в смесителях непрерывного действия. Установка

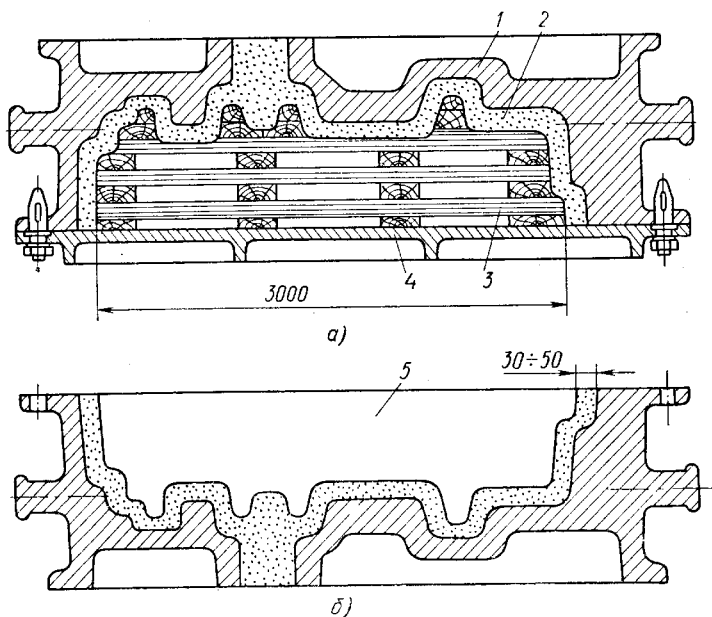


Рис. 153. Изготовление тонкостенной панцирной формы:

1 — постоянная форма; 2 — запрессованная смесь ЖСС; 3 — модель; 4 — модельная плита; 5 — полость

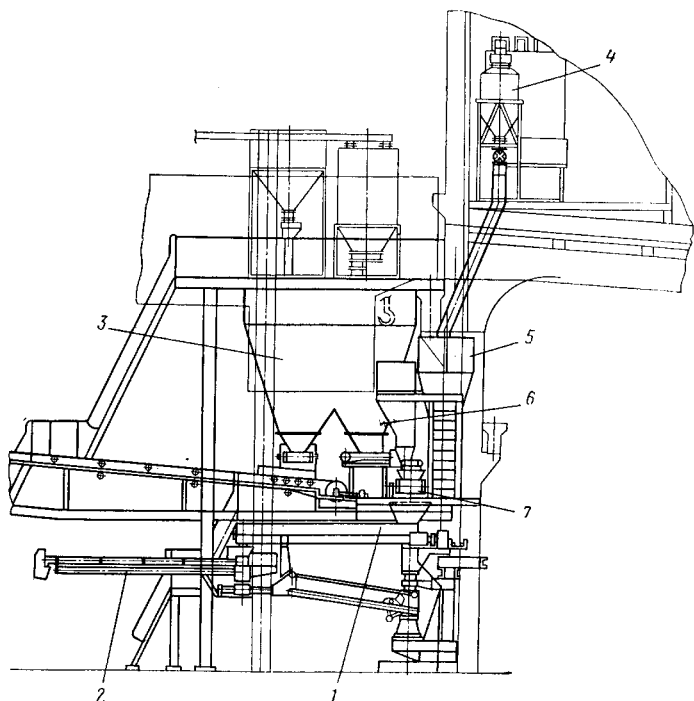


Рис. 154. Смеситель непрерывного действия для приготовления смеси ЖСС:
 1 — двухвальный шнековый смеситель; 2 — ленточный поворотный транспортер; 3 — бункер для песка; 4 — бункер для шлака; 5 — бункер-дозатор для шлака; 6 — бункер для молотого угля; 7 — транспортер

производительностью 35 т/ч представлена на рис. 154, а ее техническая характеристика ниже:

Техническая характеристика установки для приготовления ЖСС

Производительность непрерывного смесителя, т/ч	35
Число шнеков	2
Диаметр шнека, мм	350
Угол наклона лопаток	Переменный
Число оборотов шнека в минуту	110—130
Скорость поворота смесителя, м/с	0,03
Дозирование исходных составляющих	Объемное
Емкость бункеров для хранения исходных материалов, м³	50
Емкость баков для хранения жидкой композиции, м³	6,5

Почвенная формовка отливок тяжелого развеса. Технология почвенной формовки отличается большой трудоемкостью, которая определяется затратами времени на подготовку ямы—кессона, постели, на процесс формовки, связанный с кирпичной кладкой и большими объемами уплотняемой формовочной смеси.

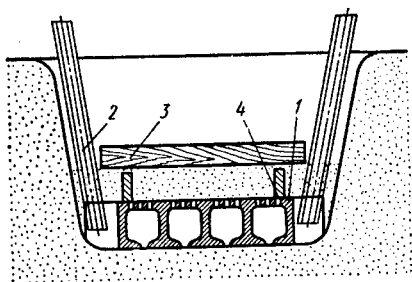


Рис. 155. Почвенная формовка с постелью на чугунной плите:

1 — плита; 2 — труба для вывода газов; 3 — линейки для регулирования толщины и выравнивания постели; 4 — шаблон

Кроме того, производственный цикл изготовления тяжелых отливок в кессонах удлиняется в связи с длительностью сушки и охлаждения форм.

С целью снижения трудоемкости и уменьшения цикла изготовления тяжелых отливок применяют жакеты, механизированные кессоны, перегородки, постели на чугунных плитах; используют пластичные и жидкие самотвердеющие смеси, принудительное охлаждение отливок в форме.

Использование постели на чугунных плитах (рис. 155). На дно кессона укладывают чугунную пустотелую плиту 1 с отверстиями для удаления газов. На поверхность плиты наносят слой формовочной смеси толщиной 40—100 мм. Далее процесс формовки осуществляется обычным образом. Газы из полости чугунной плиты удаляются через трубы 2, установленные в специальные отверстия по контуру плиты.

Преимущества этого метода в значительном уменьшении трудоемкости подготовки постели, сокращении объема уплотняемой смеси по низу формы, улучшении газопроницаемости формы.

Кессонная формовка с воздушным охлаждением. На рис. 156 показана конструкция кессона и технология получения отливки станины продольно-строгального станка мод. 7231-А массой 6,25 т и размерами 7230×840×750 мм. Форма состоит из кирпичного кессона 2 с чугунными плитами 4, ограничивающими объем уплотняемой формовочной смеси. Постель выполнена из чугунной плиты 6. В стенах кирпичной кладки сделаны каналы 9 размером 170×170 мм, идущие по всей длине кладки, и многочисленные мелкие каналы 8 диаметром 6—7 мм. Каналы соединены с вентилятором типа «Сирокко» № 3,5, который обеспечивает принудительную циркуляцию в них воздуха в процессе заливки и охлаждения формы. Массивная подошва станины, расположенная в верхней части формы, охлаждается за счет специальных утолщений крестовин 10, расположенных на расстоянии 20—25 мм от подошвы.

Такая технология позволила уменьшить продолжительность охлаждения отливки в 4—6 раз, расходы формовочной смеси и трудоемкость формовочных работ на 30—35%, внутренние на-

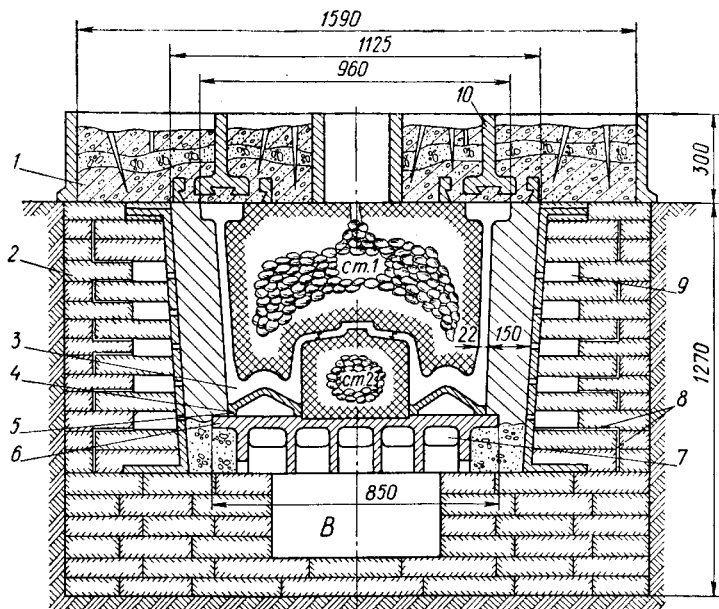


Рис. 156. Кессон с воздушным охлаждением

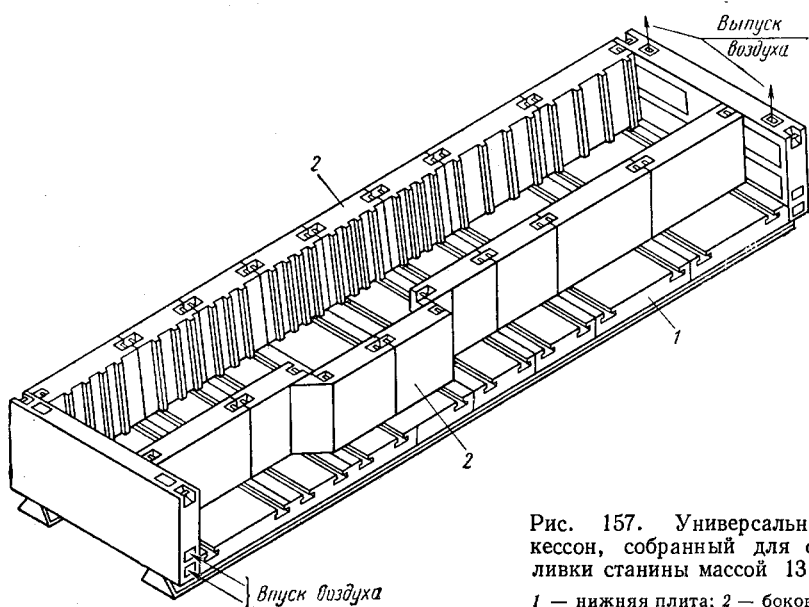


Рис. 157. Универсальный кессон, собранный для отливки станины массой 13 т:

1 — нижняя плита; 2 — боковая плита

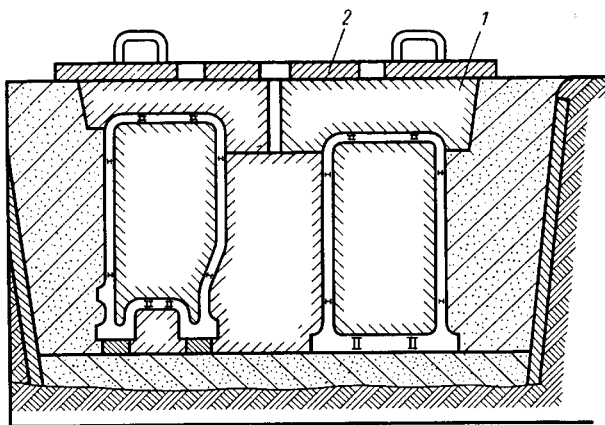


Рис. 158. Кессонная форма без верхней опоки:

1 — перекрывающий стержень; 2 — груз

пряжения и коробление отливки, а также припуски на механическую обработку до 8—10 мм.

Универсальные сборные кессоны. Кессон (рис. 157) представляет собой сборную металлическую конструкцию из боковых и торцовых плит. Набором определенного числа типовых блоков можно изменять длину кессона с кратностью 500 мм в зависимости от длины отливки. Перемещением боковых плит можно изменять ширину блока. Конструктивно элементы блока представляют собой полые плиты с коробчатым сечением.

Изготовление форм в универсальных кессонах не отличается от формовки по обычной технологии, но зазор между моделью и кессоном меньше (90—150 мм).

За 5 мин до заливки формы необходимо включить вентилятор, предварительно открыв окна выпуска воздуха в торцевой плите.

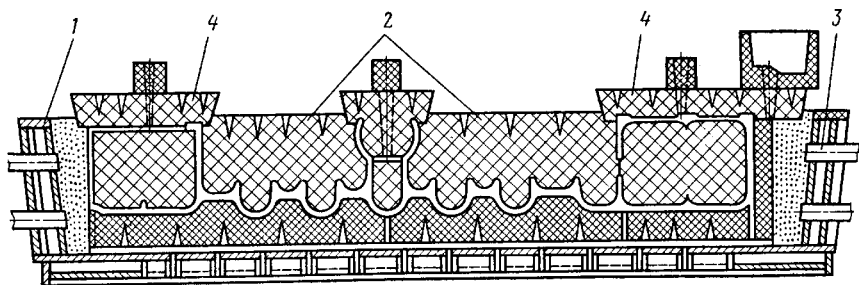


Рис. 159. Форма для отливки станины, собранная в жакете:

1 — жакет; 2 — стержни; 3 — каналы для вывода газов; 4 — перекрывающие стержни

Вентилятор должен работать в течение всего времени, предусмотренного технологией на охлаждение отливки.

На Ульяновском заводе тяжелых станков изготовление тяжелых отливок в универсальных кессонах с принудительным охлаждением позволило получить значительный экономический эффект: сократился общий цикл изготовления отливок (без обрубных и очистных работ) на 40—45%, производительность формовочного участка без дополнительных капитальных вложений возросла на 50%, расход формовочной смеси сократился на 30%, появилась реальная возможность применения жидких самотвердеющих смесей для изготовления тяжелых форм.

Изготовление отливок без верхних опок. При почвенной формовке верхняя опока создает дополнительные трудности, связанные с необходимостью площадей для ее отделки, сушки и т. д. Поэтому целесообразно всю отливку помещать полностью в кессоне, а необходимый контур верхней части отливки получать с помощью перекрывающих стержней. На рис. 158 показан пример такого технологического решения. При этом экономический эффект получен в результате ликвидации парка опок и процесса сушки верхней опоки, сокращения крановых операций, повышения точности отливки, уменьшения трудоемкости обрубных работ (отсутствуют перекосы и заливы) и др.

Жакетная формовка. В последние годы формы для тяжелых отливок начинают изготавливать в жакетах вместо формовки в почве. Жакеты, обработанные по внутреннему контуру, применяют для изготовления отливок в стержнях (рис. 159), а жакеты без механической обработки по внутреннему контуру — для формовки по модели.

Для сокращения цикла изготовления формы и улучшения качества отливок вместо верхней полуформы применяют стержни-перекрытия. Жакетная формовка при использовании смесей ЖСС позволяет резко сократить расход формовочной смеси. По расчетам жакетная формовка сокращает время изготовления формы в 3—4 раза, цикл изготовления отливки на 30—40%, а трудозатраты на 12—15%. Еще большая эффективность достигается при жакетной формовке с использованием для изготовления форм и стержней смесей ЖСС.

Глава V

Дефекты в отливках. Методы их предупреждения и устранения

Одним из основных показателей работы литейного цеха является качество литья и уровень брака. Этот показатель влияет на экономическую эффективность производства и зависит от технического состояния, квалификации исполнителей и культуры производства.

Для улучшения качества и повышения размерной точности отливок большое значение имеет организация работы по профилактике брака и техническому контролю производства, которая в значительной степени зависит от состояния учета, сбора и анализа данных, характеризующих качественную сторону работы предприятия, что относится к функциям отдела технического контроля. Однако контроль в общем аспекте осуществляют все технические службы. Например, контроль технологических операций, как правило, осуществляют отделы главного технолога, главного металлурга и инженерно-технические работники цехов. Они контролируют качество смесей, металла, технологический процесс формовки, сборки и т. д.

По отношению к технологическому процессу ОТК выполняет функции надзора. ОТК осуществляет контроль основных и вспомогательных материалов, поступающих на завод, оснастки, используемой в производстве, а также состояния мер и измерительных приборов, применяемых на заводе. Основной контроль и ответственность за выпуск качественных отливок, отвечающих требованиям стандартов и технических условий, также лежит на ОТК.

Контроль ОТК осуществляет через подразделения, каждое из которых выполняет определенные функции. Необходимо отметить роль контролеров, обслуживающих заводы-потребители. Изучая дефекты отливок непосредственно на этих заводах, они имеют возможность оперативно влиять на технологический процесс.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Контроль качества оснастки. К используемой в литейном производстве технологической оснастке относятся модельные комплекты, опоки, модельные и стержневые плиты, щитки, драйера, а также штыри, втулки, скобы и т. п. Оснастка работает в усло-

виях, при которых нарушается ее точность. Поэтому необходимо контролировать технологическую оснастку на соответствие чертежу, ГОСТу, техническим условиям после изготовления, ремонта, а также в процессе эксплуатации.

Основные параметры оснастки проверяют в процессе эксплуатации мастер цеха и контролер ОТК, которые определяют их соответствие чертежам, техническим условиям и ГОСТам. Внешний осмотр опок, модельных плит ежемесячно производится рабочим.

Для крупногабаритных опок размером больше 2500 мм целесообразно ввести паспорта, в которых следует отмечать основные габаритные размеры опок и дефекты, выявленные в них, указывать число контрольных проверок и ремонтов опок. Это упростит эксплуатацию и профилактический ремонт опок. Для возможности проведения контроля каждую опоку клеймят порядковым номером.

Контроль качества основных и вспомогательных материалов. Основные и вспомогательные материалы проверяются на соответствие стандартам и ТУ контролерами ОТК с привлечением соответствующих лабораторий.

Абразивные круги подвергают 100%-ному контролю. Кроме наружного осмотра и проверки диаметра, высоты и посадочного отверстия, абразивные круги испытывают вращением на стендовых машинах при полуторакратной нагрузке. Твердость кругов определяют с помощью прибора мод. ТФ21-1. Прошедшие испытание круги клеймят.

Контроль качества отливок. На заключительном этапе изготовления перед отправкой потребителю отливки подвергают тщательному контролю. В него входят контроль геометрических параметров разметкой, проверка массы, механических свойств, структуры металла, внешнего вида отливок, соответствия технической документации. Окончательный прием продукции осуществляется только контролером по приемке готовых отливок, к которому поступает вся необходимая информация для каждой отливки.

Технический контроль дает возможность оценить по обнаруженным дефектам и отклонениям от требований технической документации уровень технологической дисциплины на различных участках, принимать необходимые решения по совершенствованию технологического процесса.

Контроль отливок разметкой осуществляется на основании чертежа детали с нанесенной литейной технологией, ГОСТов и технических условий. Для получения идентичных результатов при разметке отливки у заказчика, а также для упрощения доводки модельных комплектов отливки необходимо различать от баз, установленных на чертеже.

При запуске в производство новых модельных комплектов или дублеров, а также после их капитального или текущего ремонта следует получить по ним одну или несколько экспериментальных

отливок и разметить их. Без акта контрольной разметки о годности отливки модельный комплект не может быть запущен в производство.

Периодическую разметку отливок проводят в условиях серийного производства по установленному графику. Периодическая разметка необходима для выявления износа и неисправности модельных комплектов, смещения монтажа моделей на плитах, для проверки состояния литейной оснастки и соответствия отливок стандартам и чертежам. Эта разметка имеет большое значение для профилактики дефектов.

Акт разметки является рабочим документом для контролера и технолога, подтверждающих годность отливки и модельного комплекта. На основании актов разметки технолог цеха оформляет документ, разрешающий запуск модельных комплектов в производство.

Приемка отливок. Контролю подвергают 100% готовых отливок. Тяжелые, крупные и средние отливки принимают индивидуально. Отливки, выставленные на настилы или стеллажи, подвергаются всем элементам контроля, необходимым для определения их качества.

Мелкие отливки принимают на подвесных и напольных конвейерах или на столах. Каждую отливку осматривают. При выборочном контроле более детально проверяют отливки-представители от каждой партии, результаты их контроля относятся ко всей партии. Особо ответственные отливки принимают индивидуально.

Серийные отливки можно принимать по эталонам, установленным совместно заводом-изготовителем с потребителями отливок.

Контролер должен иметь полную информацию о каждой принимаемой им отливке, которую ему готовит мастер ОТК или технолог в виде специального бланка-задания.

Все отливки, принятые контролером в течение смены, записывают в сменный рапорт. На каждой отливке должна быть дата изготовления, порядковый номер или номер плавки, что устраняет обезличку в изготовлении и приемке готовых отливок. Разграничение рапорта по времени сдачи отливки позволяет оценить ритмичность работы цеха и участка.

Внешний осмотр отливки проводят с применением простейших контрольных устройств: мерительного инструмента, шаблонов. Но деление отливок при этом только на «годные» и «брак» не позволяет правильно оценить работу литейного цеха и охарактеризовать качество выпускаемых отливок. Годные отливки, полностью удовлетворяющие ГОСТу и техническим условиям, могут иметь различный товарный вид. В связи с этим на заводе «Станколит» все годные отливки по качеству условно разбили на три категории, которые контролер определяет визуально при приемке:

- 1-я категория — отливки отличного качества, балл 5;
- 2-я категория — отливки хорошего качества, балл 4;
- 3-я категория — отливки удовлетворительного качества, балл 3.

В табл. 47 приведены условные критерии, по которым отливки относят к той или иной категории качества.

Контроль качества металла осуществляют в соответствии с ТУ 2-024-708. Твердость проверяют непосредственно на участке приемки отливок, а все другие элементы контроля выполняются лабораторией и результаты передаются в ОТК.

Твердость металла отливок проверяют с помощью переносного прибора «Польди» с набором эталонов. Чем ближе твердость эталона к твердости металла отливки, тем меньше погрешность измерения. Наибольшая допустимая разница твердости эталона и твердости металла измеряемой отливки не должна превышать *HV 15*. Исходя из этого необходимо иметь комплект эталонов различной твердости, из которого выбирают требуемый эталон для контроля твердости отливки. При необходимости получить более точные результаты образцы для лабораторного определения твердости вырезают из отливок без нарушения их целостности фрезой, показанной на рис. 61, на глубину припуска на механическую обработку отливки.

В тех случаях, когда основным признаком при приемке отливки является микроструктура, образцы вырезают из отливки этой же фрезой или специальным трипковым сверлом.

Учет брака и рекламационная работа. Все отливки, проверяемые ОТК, делят на три группы: годные, с исправимыми дефектами и брак.

Допустимость исправления дефекта и метод исправления устанавливает представитель ОТК на основе технологического регламента Минстанкопрома, технических условий на отливки и технологической документации завода — изготовителя отливки.

Окончательный брак делят на внутренний, обнаруживаемый непосредственно в литейных цехах, и внешний, выявленный после механической обработки. Обычно внешний брак составляет не более 30—35% общего брака.

В тех случаях, когда отливки поставляются другим заводам по кооперации, связь с заводами-потребителями отливок осуществляют наиболее квалифицированные специалисты-литейщики, которые на основе ознакомления с дефектными отливками составляют дефектные карты, включающие эскиз и описание дефекта. По каждой дефектной отливке принимается техническое решение, результативность которого проверяется изготовлением опытных партий отливок.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПИСАНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ

Классификация основных дефектов отливок (табл. 48) помогает вести учет брака и проводить профилактическую работу. При списании и учете брака отливок с указанием причин и виновников наиболее удобно применять шифровальное обозначение

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОТЛИВОК ПО БАЛЛАМ (КАТЕГОРИЯМ)

Контролируемые параметры	Требования, предъявляемые к отливкам, при оценке качества баллом		Примечание
	5	4	
Наружные контуры отливок	Четкие	Четкие, за исключением контуров, прикрываемых крышками, кронштейнами или другими деталями станка	
Внутренние контуры	Четкие (нечеткие контуры допускаются только в труднопросматриваемых местах)	Четкие, за исключением отдельных контуров	
Перекас отливки при проверке линейкой длиной 600 мм	До 1 мм	До 2 мм	Должен быть зачищен плавно, без уступов
Неплоскостность необрабатываемых наружных плоскостей	—	—	Согласно ТУ2—024—708—67
Наличие сколов, швов, заливов, заусенцев после обрубки и заточки. Неровность зачистки при проверке линейкой длиной 600 мм	До 2 мм	До 3 мм	Сколы, швы, заливов и заусенцы на необрабатываемых поверхностях должны быть срублены и зачищены
Разностенность муфт, бортов, ребер, стенок и т. д.	До 10%	До 15%	

Контролируемые параметры	Требования, предъявляемые к отливкам, при оценке качества баллом		Примечание
	5	4	
Поверхностные дефекты в виде раковин, вмятин, ужимин и т. п.: не подлежащие исправлению	Допускаются на 1 м ² два дефекта глубиной до 0,5 мм и длиной до 100 мм	Допускаются на 1 м ² три дефекта глубиной до 1 мм и длиной до 200 мм	
	Допускаются только на необрабатываемых поверхностях	Допускаются на необрабатываемых и обрабатываемых поверхностях (но не на поверхностях трения и скольжения)	
Пригар	Не допускается	Допускается на неответственных внутренних поверхностях, не влияющих на качество отливки	
Твердость направляющих скольжения и качения	<i>HV</i> 180 и более	<i>HV</i> 175 и более	
Неравномерность твердости <i>HV</i> не должна превышать в пределах направляющей длиной, мм: до 2000 2000—3500 3500—5000 свыше 5000	15 20 25 30	20 25 30 35	

Контролируемые параметры	Требования, предъявляемые к отливкам, при оценке качества баллом		Примечание
	5	4	
Контурные параметры			
Контурные окон. Непрямолинейность при проверке линейкой длиной 600 мм	До 1,5 мм	До 2,0 мм	Должны быть прямолинейными, не иметь острых кромок, заусениц
Сопрягаемые поверхности и контуры отливок. Точность сопряжения должна быть выдержана по ГОСТ 1855—55 не ниже классов точности	II	III	Должны быть согласованы по контурам мест соединения сопрягаемых деталей
Масса отливок	—	—	Отклонения не должны выходить за пределы, допустимые по ГОСТ 1855—55
Качество нанесения грунта	Не допускаются подтеки и скопления грунта	Допускаются небольшие местные подтеки и скопления грунта во внутренних полостях	

Примечания: 1. Годные отливки, не отвечающие приведенным в таблице требованиям, относятся к 3-й категории качества и оцениваются по баллу 3.

2. Если один параметр отливки не соответствует вышестоящему баллу качества, то ее относят к тому баллу качества, требованиям которого она отвечает полностью

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК

Группа дефектов	Вид дефекта	Причина образования	Винник
1. Дефекты поверхности	1. Недостаточная чистота 2. Пригар 3. Поверхностное окисление 4. Ужимины 5. Слай 6. Заливы	1. Нетехнологичность конструкции отливки 2. Неправильность технологического процесса 3. Применение некондиционных материалов 4. Некачественный контроль материалов 5. Небрежность при выполнении технологического процесса 6. Неправильный инструктаж и указания при выполнении технологического процесса 7. Применение непроверенных и неверных модельных комплектов, опок, приспособлений 8. Использование неисправного оборудования 9. Неправильный некачественный контроль на предыдущих операциях 10. Прочие причины	1. Отдел главного технолога 2. Отдел главного металлурга 3. Конструкторский отдел 4. Администрация литейного цеха 5. Администрация завода 6. Плавильный цех 7. Смесеприготовительное отделение 8. Модельный цех 9. Отдел технического контроля 10. Рабочие 11. Прочие виновники
2. Несоответствие по геометрии	1. Недолів 2. Перекос 3. Разностенность 4. Коробление 5. Вылом 6. Искажение размеров		
3. Несплошности в теле отливки	1. Трещины горячие 2. Трещины холодные 3. Раковины газовые 4. Раковины песчаные 5. Раковины усадочные		
4. Несоответствие свойств материала отливки	1. Несоответствие химического состава 2. Несоответствие структуры 3. Несоответствие механических свойств 4. Несоответствие специальных свойств		

каждого случая брака четырьмя цифрами, из которых первая указывает группу дефектов, вторая — вид дефекта, третья и четвертая — соответственно причину и виновника возникновения дефекта.

В настоящем разделе не ставится задача дать представление о всех видах дефектов, встречающихся в чугунных отливках станкостроения, и методах их устранения. В разделе приведены некоторые примеры из практики литейного завода с анализом причин возникновения дефектов и методы, позволяющие получать бездефектные отливки.

Ужимина — это углубление с пологими краями, заполненное формовочным материалом и прикрытое слоем металла.

Механизм образования ужимин можно представить как результат расширения кварцевых зерен песка и возникновения газового давления во внутренних слоях формы вследствие теплового воздействия жидкого металла на ее поверхность. В результате совместного воздействия этих двух факторов слой формы в виде корочки отслаивается, вспучивается и образует трещину. Металл заходит в эту трещину и затвердевает.

Причиной образования ужимин могут быть:

1) неравномерная и высокая степень уплотнения форм и стержней;

2) повышенная влажность смеси и недостаточная вентиляция формы, увеличивающие газовое давление во внутренних слоях формы;

3) неправильный подвод металла, вызывающий местный перегрев формы, или замедленная подача металла, увеличивающая тепловое воздействие на форму.

Для предотвращения образования ужимин применяют различные методы.

Например, на верхней по заливке плоскости отливки передней тумбы токарно-винторезного станка (рис. 160) образовались ужимины. Чтобы устранить их, на поверхности формы, оформляющих эту плоскость, делают насечки глубиной 1,5 мм.

Перевод изготовления отливок из сырых форм в сухие или в формы с поверхностной подсушкой резко уменьшает опасность образования ужимин.

Практика показала, что увеличение содержания молотого угля в смеси повышает ее податливость и несмотря на увеличение газотворности снижает склонность к образованию ужимин. Положительный эффект дают карандашные наколы диаметром 4—6 мм с шагом 50—60 мм, глубиной 60—80 мм от лада полуформ по периметру полости, образующей отливку. Этот технологический прием дает возможность повысить газопроницаемость и податливость формы.

Коробление отливок — это искажение конфигурации чугунной отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлажде-

Рис. 160. Оливка передней тумбы токарно-винторезного станка с противоужимными насечками (1) на верхней по заливке поверхности

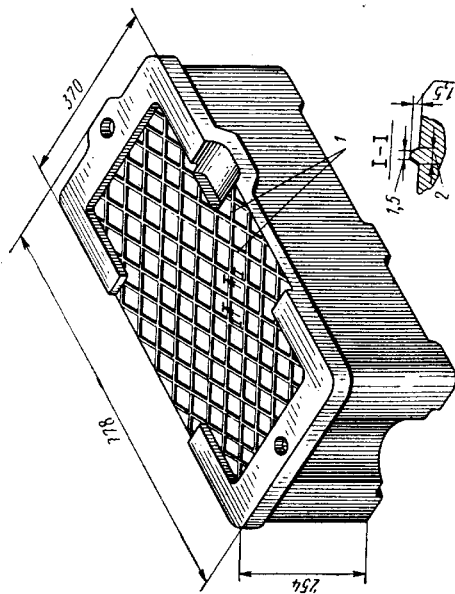


Рис. 161. Технология изготовления отливки станины токарно-винторезного станка:

1 — стяжка; 2 — ребра жесткости

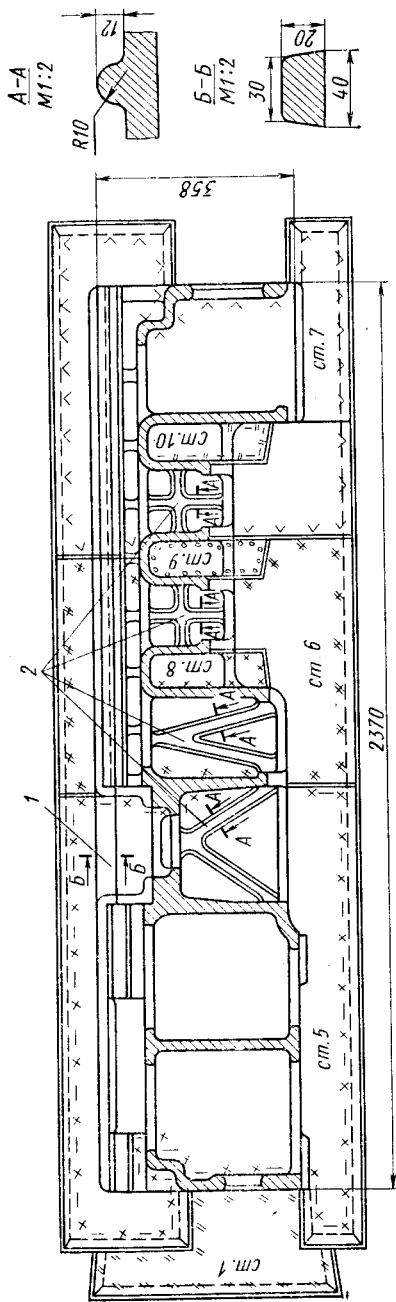
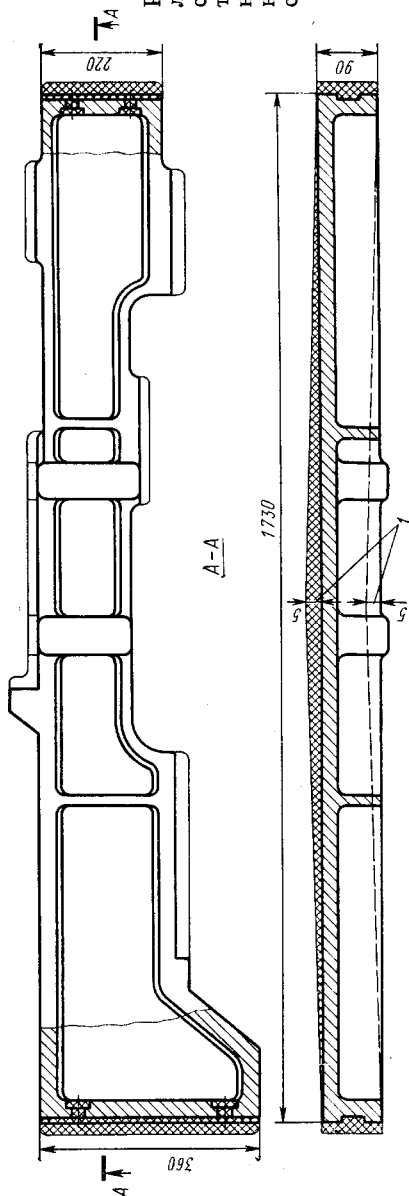


Рис. 162. Отливка балки спичечного автомата, склонная к короблению (I —компенсация прогиба)



нии, а также в результате нетехнологичности отливки или коробления модели.

В предыдущих главах были описаны способы предотвращения коробления путем снижения величины остаточных напряжений и повышения релаксационной стойкости чугуна.

В тех случаях, когда использование указанных способов неэффективно, применяют технологические методы повышения жесткости отливки или вводятся напуски, компенсирующие изменения размеров. Например, отливка станины токарно-винторезного станка мод. 1А62 (рис. 161) склонна к короблению. При относительно большой длине, достигающей 2500 мм, и нежестком поперечном сечении происходит как бы скручивание отливки в продольной плоскости. Для повышения жесткости в станине были введены ребра (сечение А—А), а слабое сечение укреплено технологической стяжкой. Назначение стяжки не ограничивалось приданием только жесткости отливке, она также использовалась как литниковый канал. Кроме того, она соединяла разобщенные части направляющих и способствовала спокойной заливке металлом формы. После выбивки, обрубки, черновой механической обработки и отжига отливки стяжки удаляли.

Если изменить конструкцию отливки невозможно, то коробление компенсируют технологическим напуском. В отливке балки (рис. 162) спичечного автомата для компенсации коробления предусмотрен техно-

стенок 25 мм. В нижней части стойки имеются окна треугольной формы, между которыми образуются продольные и поперечные горячие трещины, несмотря на наличие отбортовок. Отливку изготовляют в кессоне направляющими вниз. Форма сухая, стержни получают из наливных смесей.

Усилением стенок окон и введением плавных конических переходов от вертикальных стенок к горизонтальным и двух ребер размером 50×24 мм удалось ликвидировать трещины в отливках. При этом особое внимание обращали на изготовление и расположение каркасов в стержнях. Минимальное расстояние от стенки ящика до каркаса должно быть 40—50 мм.

Газовые раковины. Эти раковины составляют около 50% внешнего брака отливок и являются наиболее распространенным видом дефектов.

Газовые раковины, образовавшиеся вследствие высокой газонасыщенности металла, располагаются по всей массе отливки. Они имеют сферическую форму и чаще всего малый диаметр: до 2—3 мм. Эти раковины появляются в результате выделения газов при затвердевании отливки, которые остаются в ней после образования корки металла, препятствующей выходу газов через форму.

В качестве примера на рис. 164 приведена отливка станины шлифовального станка массой 3800 кг. Заливку выполняют при

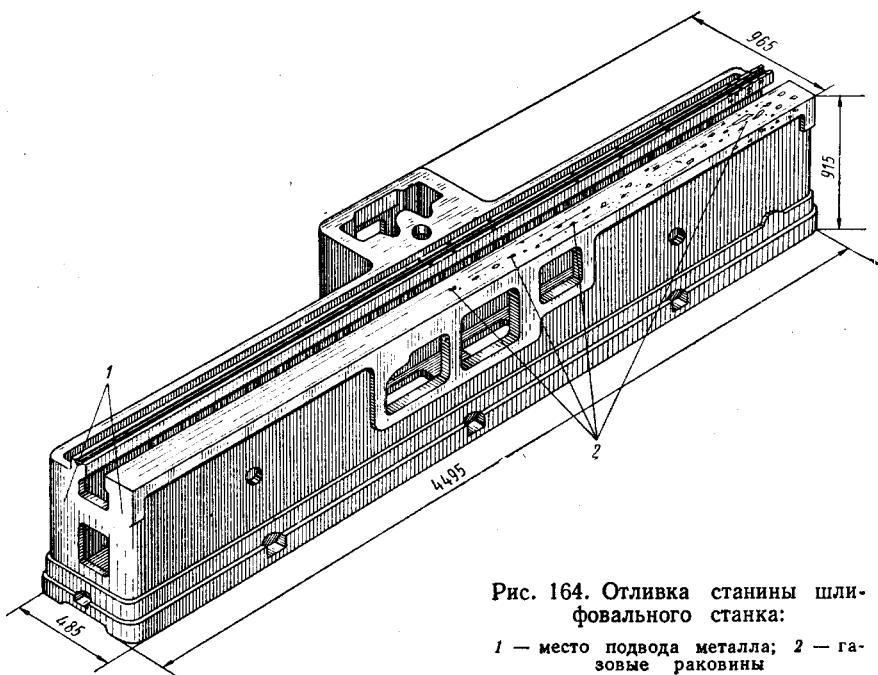


Рис. 164. Отливка станины шлифовального станка:

1 — место подвода металла; 2 — газовые раковины

нижнем положении направляющих в форме. Металл подается вдоль направляющих. При механической обработке были обнаружены мелкие газовые раковины по всему сечению направляющих, особенно на концах направляющих.

Подобные случаи, когда газовые раковины образовывались на нижней по заливке поверхности отливки, как правило, характеризовали повышенную газонасыщенность чугуна. В основном такие дефекты появлялись при заливке модифицированным чугуном с повышенными механическими свойствами.

Причины, способствующие появлению газовых раковин, следующие:

- 1) использование тонкостенного сильно окисленного стального лома в шихте;
- 2) введение в жидкий металл ферросилиция, хранившегося в открытых складах, где происходило его увлажнение;
- 3) низкая температура перегрева и заливки чугуна;
- 4) неподходящий режим ваграночной плавки (низкая холостая колоша, повышенная напряженность дутья и т. д.).

Нередки случаи образования газовых раковин в отливках вследствие повышенной газотворности формовочных и стержневых смесей, а также их низкой газопроницаемости.

Примером влияния свойств стержневых смесей является изготовление отливки салазок координатно-расточного станка массой 1200 кг (рис. 165) из чугуна СЧ 32-52. С точки зрения литейной технологии отливка сложная. Она имеет пять направляющих, из них две продольные направляющие расположены по заливке в верхней части формы, три поперечные — в нижней. Отливка имеет много поднутрений, узких, глубоких карманов, а также относительно высокие пересекающиеся ребра. Металл подводится через систему шлакоуловителей вдоль средней нижней направляющей питателем, имеющим сечение размером $38 \times 38 \times 30$ мм. На концах верхних направляющих расположены четыре сливных бобышки размером $250 \times 180 \times 300$ мм, куда должны сливаться первые порции холодного металла.

Стержни первоначально изготавливали из смеси на связующем СБ с добавлением асбестовой крошки и черного графита. Главным критерием, определявшим выбор смеси, было получение чистой, без пригаров, отливки. Однако из-за содержания отработанной смеси, а также черного графита газопроницаемость смеси составляла 15—20 единиц в сухом состоянии, а газотворность 35—40 см³/г. Стержни изготавливали полыми с засыпкой опилками. Вентиляцию болванов между ребрами и поднутрениями осуществляли наколами и капроновыми шнурами, соединенными с внутренней полостью стержней.

При этой технологии у большинства отливок на верхней U-образной направляющей (рис. 165) появлялись газовые гнездообразные раковины.

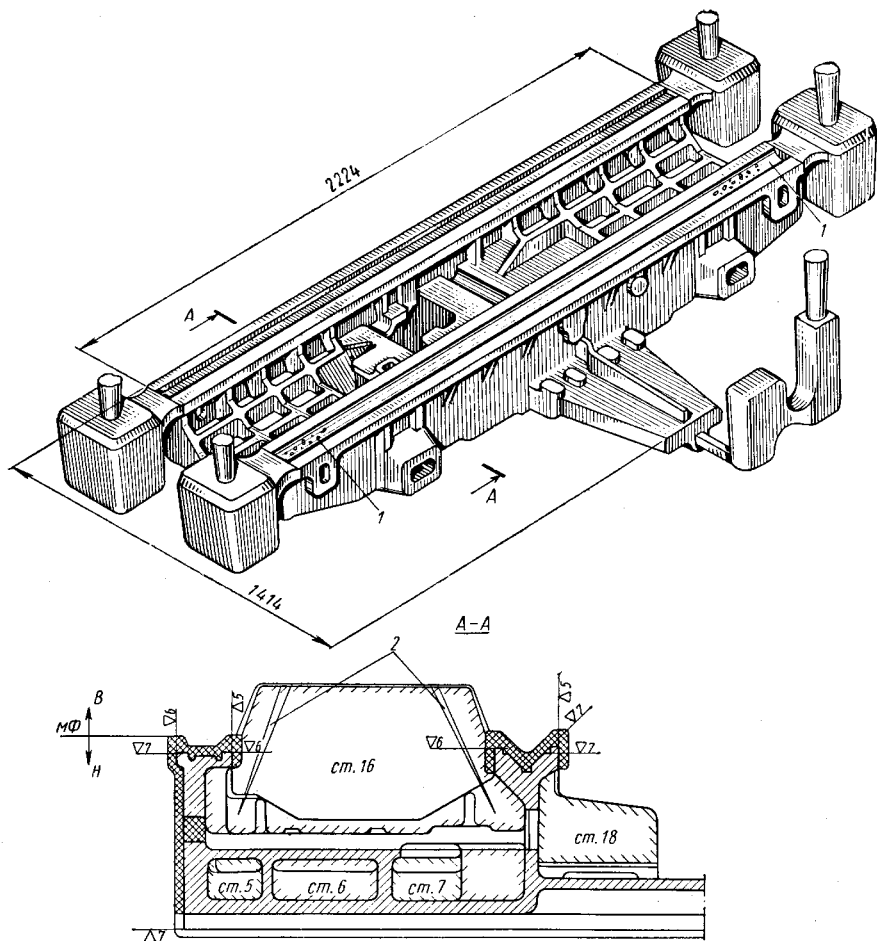


Рис. 165. Отливка салазки координатно-расточного станка:

1 — газовые раковины; 2 — наколы по периметру знаковой части центрального стержня

Для предотвращения указанных дефектов изменили технологию литья.

1. Стали использовать стержневую смесь без отработанной смеси и графита с добавкой асбестовой крошки. Газопроницаемость ее по-сухому не менее 60 единиц и газотворность не выше $25 \text{ см}^3/\text{г}$.

2. Улучшили вывод газов из стержней по периметру знаковой части центрального стержня введением наколов с шагом 60—80 мм.

3. Тщательно высушивали стержни до влажности не более 0,1%.

4. При сборке форм для прокладки по ладу и по знакам стержней вместо глины использовали асбесто-битумный шнур диаметром 6—10 мм.

В результате этих мероприятий брак был устранен.

Одной из причин возникновения газовых раковин является применение жеребеек, цапф, скоб, рым-болтов, шпилек, холодильников с окисленной поверхностью и некачественным защитным покрытием, которые могут не свариться.

На рис. 166 приведено сечение отливки с несварившейся жеребейкой и мелкими газовыми раковинами вокруг нее.

В стенках гидроиспытываемых резервуаров рекомендуется применять жеребейки с точеной стойкой (рис. 167).

В ряде случаев некоторые части отливок захлаживают установкой чугунных холодильников. Однако при этом необходимо обеспечивать чистоту рабочих поверхностей холодильников и соблюдать специальные условия, чтобы предотвратить появление газовых раковин и других дефектов. Примером может быть отливка станины координатно-расточного станка, при изготовлении которой использовали холодильники (рис. 168).

Станина имеет три массивных направляющих, расположенных по заливке в нижней части формы. Масса отливки 3200 кг. Металл подается с торцевой части вдоль направляющих. Первоначально станину изготавливали из модифицированного чугуна СЧ 32-52 без холодильников.

В связи с причинами, упомянутыми выше, значительную часть отливок браковали из-за наличия мелких газовых раковин на направляющих. Принятые меры по усилению контроля процесса шихтовки плавки и заливки позволили сократить брак, однако полностью предотвратить появление газовых раковин не удалось.

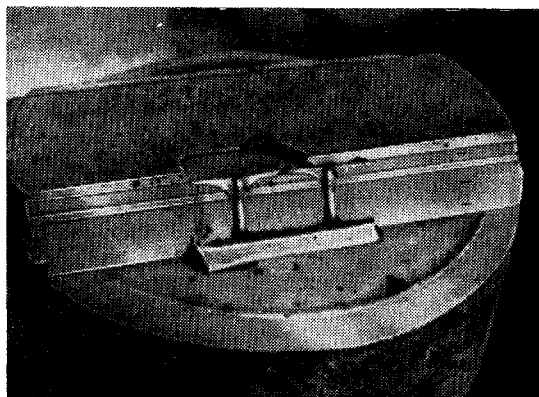


Рис. 166. Отливка с несварившейся жеребейкой

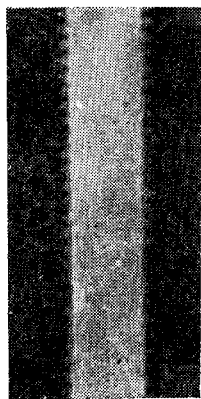


Рис. 167. Точеная стойка жеребейки

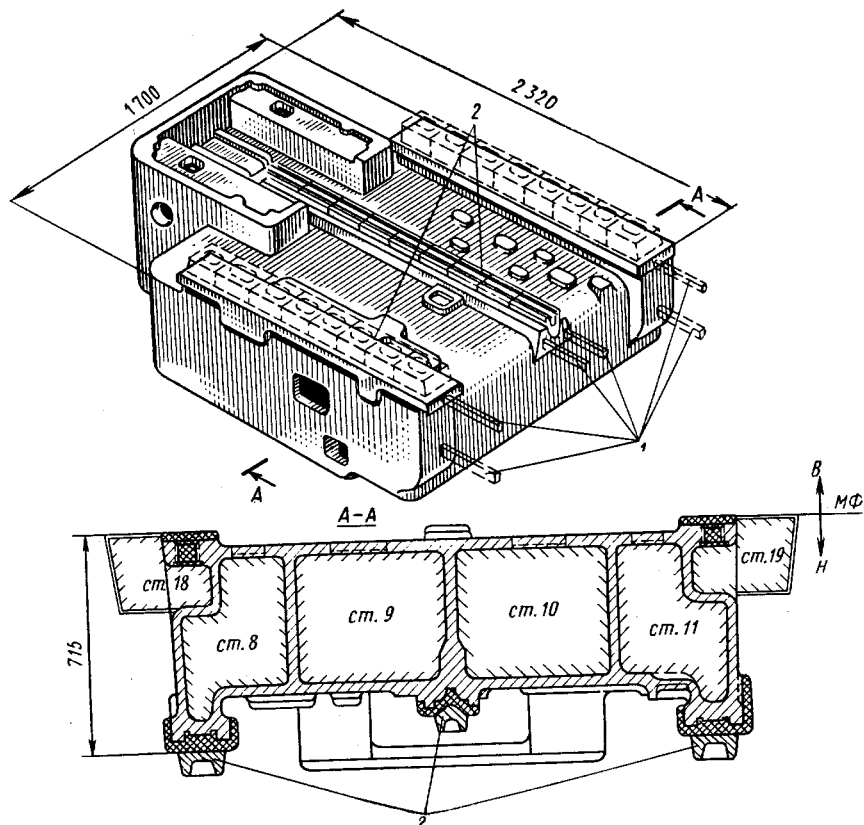


Рис. 168. Технология изготовления и конструкция отливки станины координатно-расточного станка:

1 — места подвода металла; 2 — холодильники

Поэтому отливку стали изготавливать из немодифицированного чугуна СЧ 24-44. Для получения требуемой структуры и твердости на направляющих устанавливали холодильники, толщина которых составляла около 40% толщины направляющих. Форма холодильников П-образная, что уменьшает возможность их коробления. Таким образом удалось устранить газовые раковины по всей поверхности направляющих.

Однако обнаружили гнездообразные мелкие газовые раковины на участке направляющих (длиной 200—300 мм), примыкающем к питателю. Холодильники часто приваривались к отливке. Дефект был устранен после того, как на этом участке стали устанавливать только новые, хорошо очищенные холодильники. Данный факт до сих пор не имеет достаточно убедительного объяснения, подтвержденного экспериментом.

Станины токарных станков, получаемые в формах с поверхностной подсушкой, часто бывают поражены подкорковыми газовыми раковинами, располагающимися на верхней плоскости станины со стороны, противоположной питателю. Они имеют сплюснутую округлую форму диаметром более 10 мм.

Были проведены исследования на производственных формах с изменением давления в стержнях и температуры в верхней полости формы. Установлено, что причиной образования указанных дефектов является нарушение направленности газового потока в стержнях, формирующих внутреннюю полость отливки. Изменения газового давления в стержнях в процессе заливки форм показали, что в момент полного погружения стержня *ст. 6* (рис. 169, *а*) газы проникают в отливку [срыв газового давления (кривая *А* на рис. 169, *б*)]. В этот период газовые пузыри могут удаляться из металла в связи с его небольшой вязкостью. Другой опасный период, с точки зрения образования газовых дефек-

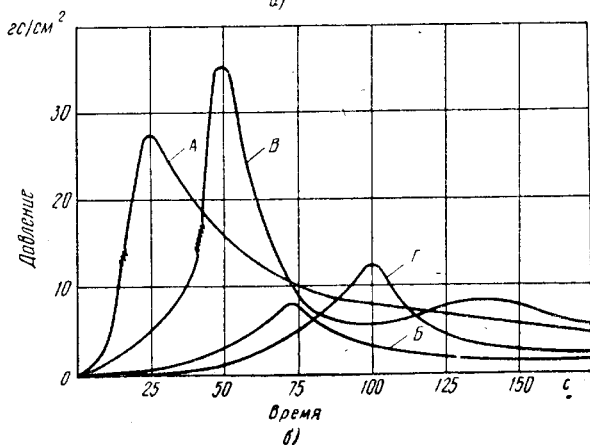
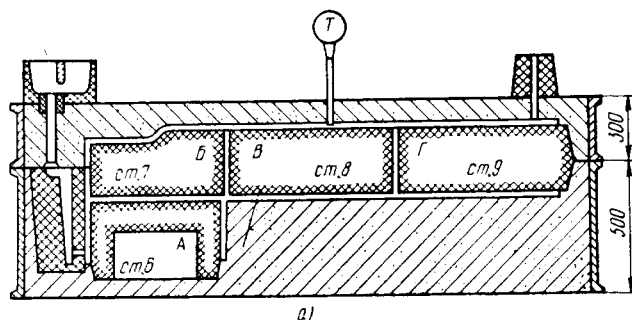


Рис. 169. Газовое давление в различных точках формы при изготовлении отливки станины:

а — продольный разрез собранной формы (*А*, *Б*, *В*, *Г* — места замера газового давления, *Т* — термопара); *б* — газовый режим стержней соответственно в замераемых точках

тов на станине, наступает в момент полного погружения стержней *ст.7—ст.9* в металл. В этот период противодействие со стороны металла над этими стержнями небольшое, так как часть металла сливается в полость, образующую верхнюю направляющую. Давление же газов в стержнях достигает своего максимума, что способствует внедрению газа в отливку (кривая *В*). Попавшие в металл пузыри на данном этапе не могут из него удалиться из-за низкой температуры и повышенной вязкости металла и образуют подкорковые газовые раковины.

Устранить этот дефект или значительно его снизить удастся за счет снижения газового давления в стержнях, что достигается ужесточением режима их сушки, уменьшением газотворности смеси, дополнительной вентиляцией стержней и повышением температуры металла при заливке. Кроме того, расположение отливки в форме и подвод металла должны обеспечивать быстрый рост давления металла над стержнем.

Песчаные раковины. Эти раковины в отливках возникают в результате следующих нарушений технологии: слабого уплотнения формы, плохого упрочнения выступающих частей, небрежной сборки форм, неправильного направления струи металла из питателей и др.

Правильным считают расположение питателей по ходу отливки, по касательной, что исключает попадание струи металла в выступающие части формы и стержней. Поэтому типовым решением для отливки станин является подвод питателей к торцам направляющих. Для предупреждения размыва литниковых каналов значительную часть литниковой системы выполняют в стержнях. Применение для этих целей керамических элементов не всегда возможно из-за их ограниченного типажа.

На рис. 170 приведена отливка суппорта токарного станка массой 33 кг, основным дефектом которой является засор на верхней по заливке плоскости. Чугун при 1290—1320° С заливали в сырую форму. Формовочная смесь не выдерживала размывающего действия струи металла, на направляющих отливки появлялись борозды, а песчаные включения от размыва формы выносились на верхнюю по заливке плоскость суппорта. Изменение мест подвода металла и рассредоточение питателей не дали желаемых результатов. Только после установки двух стержней под питатели удалось устранить песчаные раковины. Большую трудность вызывает изготовление отливок типа цилиндров, втулок, гильз в связи с повышенными требованиями к чистоте и точности обработки и недопустимостью исправления заваркой даже незначительных дефектов. Песчаные включения составляют значительную долю их брака.

На рис. 171 приведена типовая отливка втулки средних размеров, изготавливаемая по-сырому. По первому варианту отверстие диаметром 225 А выполнялось песчаным болваном. Металл подводился под стержнем *ст.1* тремя питателями с суммарным

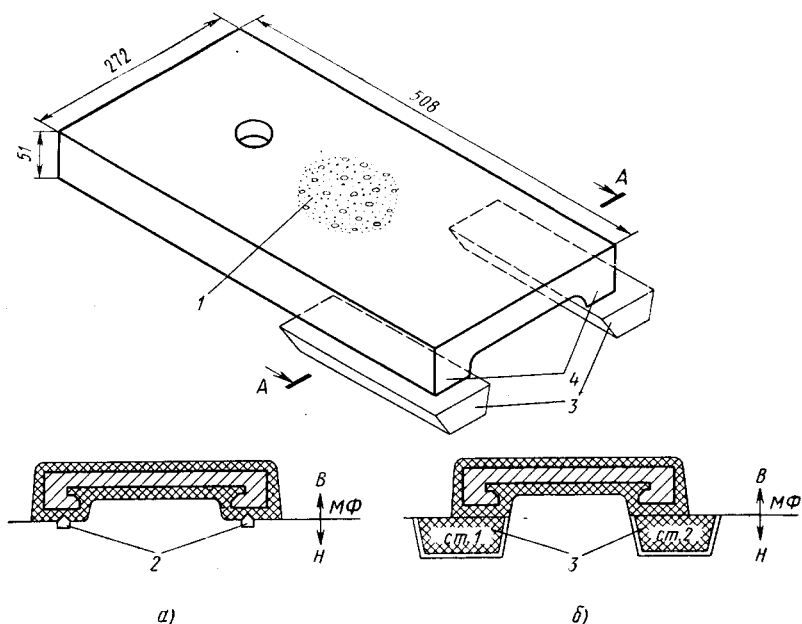


Рис. 170. Отливка суппорта токарного станка:

а и *б* — технология до и после изменения; 1 — песчаные раковины; 2 — размыв формы металлом; 3 — литниковые стержни; 4 — место подвода металла

сечением 7 см^2 . При такой технологии в отливке появлялись песчаные включения.

Для устранения этого дефекта внутреннее отверстие диаметром 225 А выполнили стержнем *ст.2*. Стержень *ст.1* опустили на 30 мм ниже положения отливки в форме, что дало возможность осуществить подвод металла снизу сифоном. В результате этих мероприятий удалось устранить данный дефект.

Типовой станкостроительной отливкой является шпиндельная коробка (рис. 172). Масса отливки 850 кг при толщине стенки 40 мм. Внутренняя полость отливки размером до $1000 \times 1000 \text{ мм}$ при высоте всего 95 мм выполняется одним или двумя центровыми стержнями. Отливка внешне простая, однако получение ее годной, без засоров в верхней плоскости является сложным.

Причина этого дефекта связана с затрудненной вентиляцией центровых стержней, имеющих большие поверхности, расположенные вверху по заливке и интенсивно прогреваемые жидким металлом. В результате проशीливания верхней поверхности стержня короткими толстыми гвоздями с головкой диаметром 3—5 мм при шаге 60—80 мм, улучшения вентиляции стержня с помощью шомполообразных наколов из его центра в знаковые части был ликвидирован этот дефект.

На рис. 173 приведена отливка каретки расточного станка массой 700 кг, имеющая две верхних и две нижних направляющих. Ее получают в форме с поверхностной подсушкой на глубину 15—20 мм. Первоначально подвод металла осуществляли вдоль нижних направляющих двумя питателями со стороны боковых знаков стержней, выполняющих внутреннюю полость отливки и поднутрения. Такой подвод металла исключал возможность надежной вентиляции стержней и приводил к их подрыву и выносу песчаных включений в верхние направляющие.

Изменение расположения питателей и подвод металла в торец вдоль отливки в нижнюю ее часть через дополнительные стержни *ст.1* и *ст.2*, в которых выполнены мусороулавливающие каналы, позволили выполнить хорошую вентиляцию всех стержней и устранить брак по засору.

Усадочные раковины и пористость. Эти дефекты являются основными в отливках малой массы, изготавливаемых по-сырому. Однако имеется группа отливок, различных по массе деталей гидроаппаратуры, где брак из-за дефектов усадочного происхождения достигает значительной величины. Для корпусных отливок этой группы характерны массивные узлы, в которых меха-

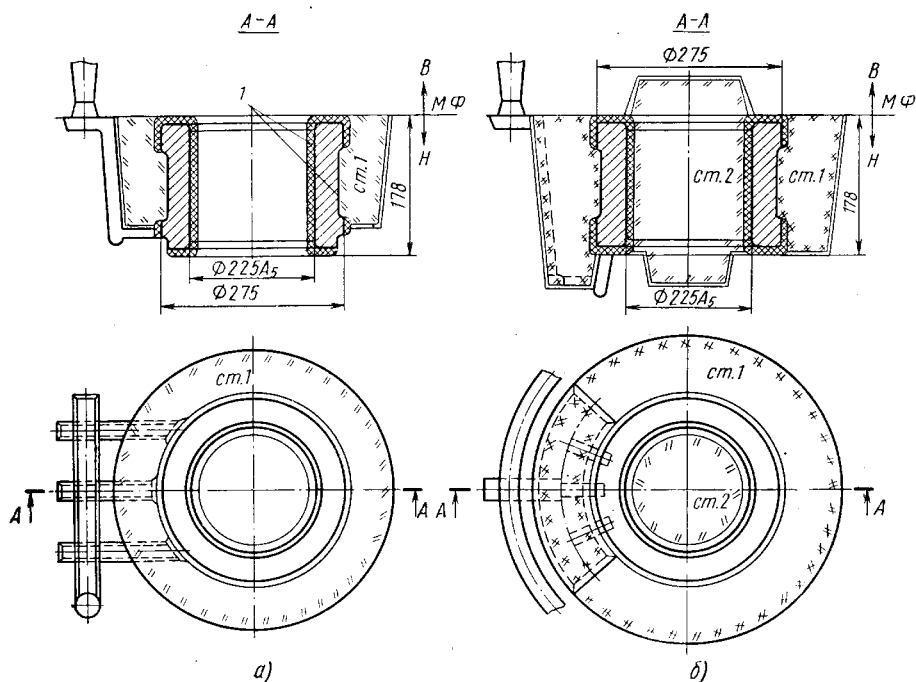


Рис. 171. Отливка втулки токарного станка (*1* — песчаные раковины)

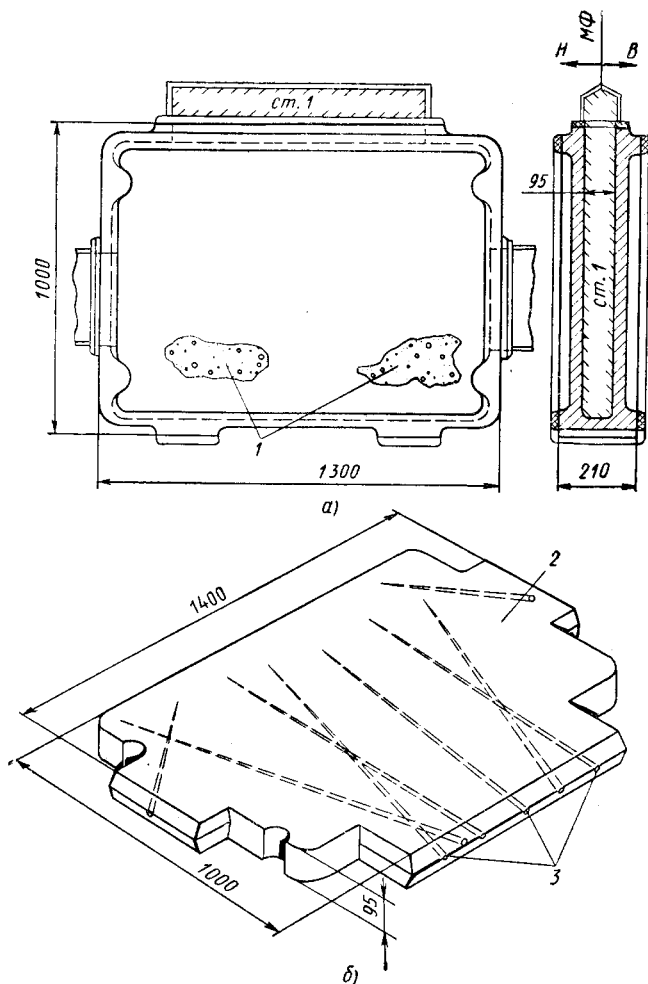


Рис. 172. Отливка шпиндельного блока:
1 — песчаные раковины; 2 — стержень; 3 — наколы

нической обработкой выполняются каналы для жидкости, находящейся в них под высоким давлением (300 кгс/см^2).

Пример использования метода моделирования для отработки рациональной технологии получения корпусной отливки, характерной для этой группы, приведен в главе IV.

В ряде случаев плотность металла в массивных узлах обеспечивается применением питающих бобышек (см. главу IV).

На рис. 174 приведена отливка корпуса роторного насоса массой 100 кг, изготавливаемая из чугуна СЧ 32-52. В ее верхней

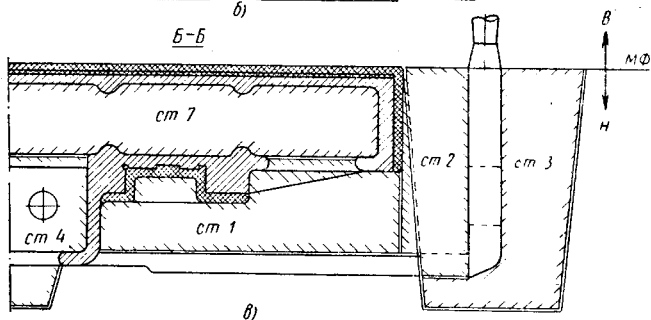
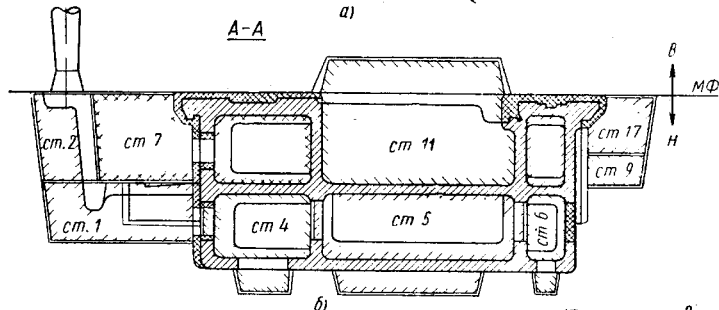
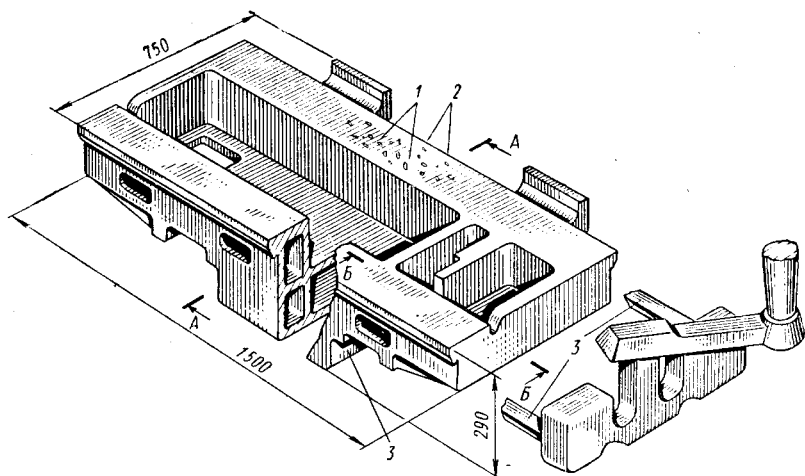


Рис. 173. Отливка каретки расточного станка:

1 — песчаные раковины; 2 и 3 — места подвода металла до и после изменения технологии

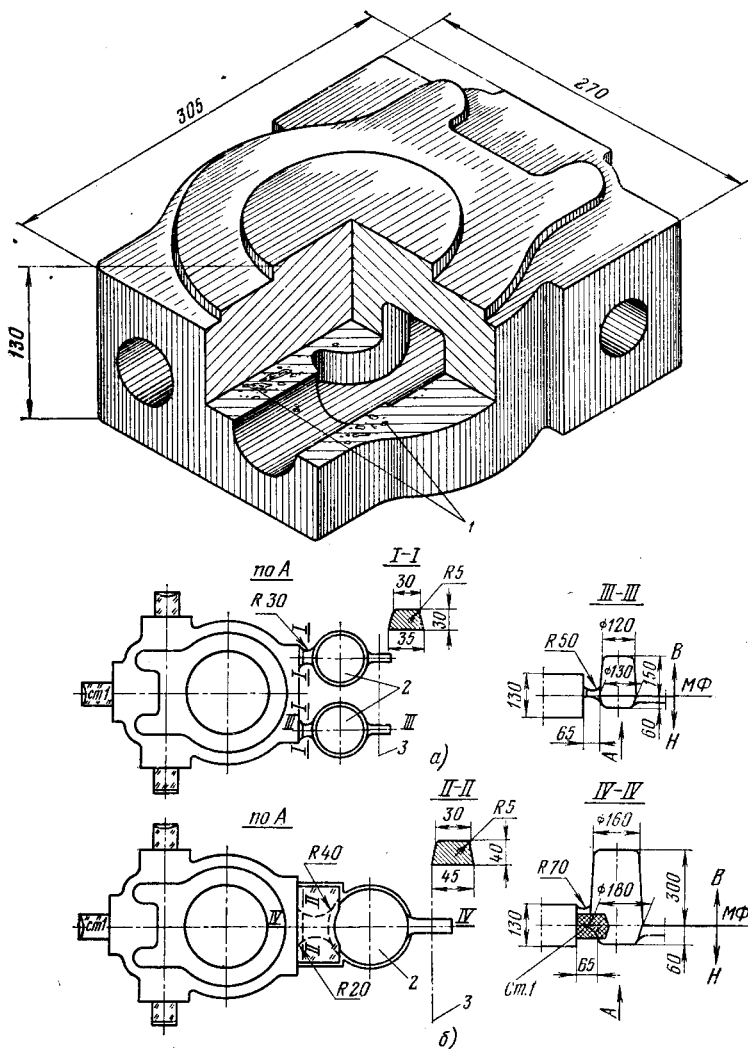


Рис. 174. Отливка корпуса роторного насоса, пораженная усадочной рыхлотой:

1 — усадочная рыхлота; 2 — питающие бобышки; 3 — ось шлакоуловителя

по заливке массивной части со стороны подвода металла при механической обработке обнаруживалась усадочная рыхлота и пористость. Прибыли установить невозможно, а питающие выпора сечением 50×80 мм, установленные над местом образования дефекта, не дали положительного результата. Годную отливку удалось получить только после введения питающей бобышки, причем первоначально установленные две бобышки диаметром

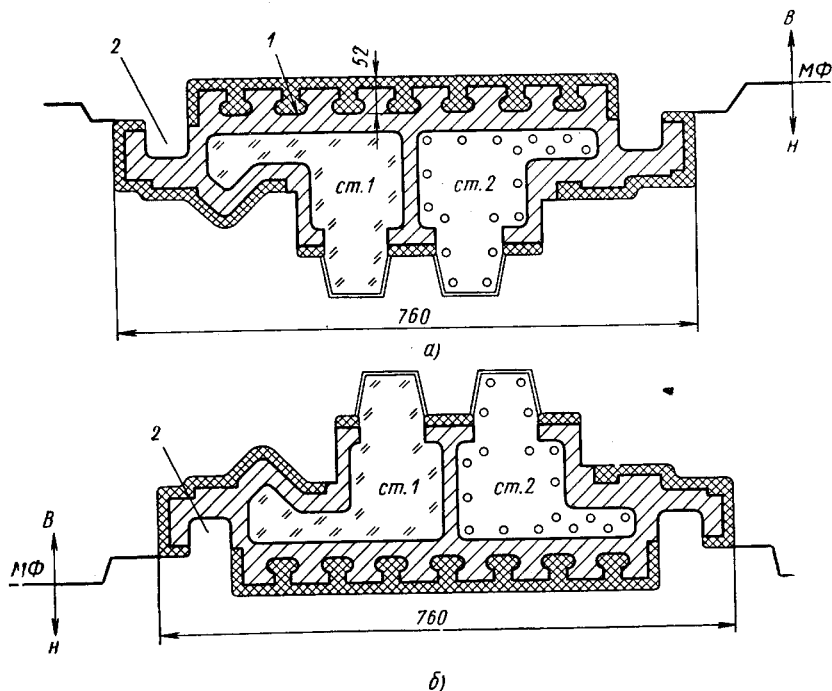


Рис. 175. Отливка стола для координатно-расточного станка:
1 — усадочная рыхлота; 2 — место, выполняемое в отливке фальшивкой

120 мм (вариант *а*) не обеспечили необходимой плотности металла. Достаточно оказалось одной бобышки диаметром 160 мм (вариант *б*).

Значительные трудности возникают при выборе рациональной технологии изготовления отливок столов различных станков. Выше был описан вариант с расположением направляющих в нижней опоке, а зеркала стола — в верхней. Но в некоторых случаях особенности конструкции литой детали (узкие полости, затрудненная вентиляция стержней, выполняющих эти полости, большие поверхности плоскости стола) и высокие требования к чистоте поверхности зеркала стола заставляют располагать отливку в форме по-другому. В этом случае наибольшие требования предъявляют к зеркалу стола и его располагают рабочей поверхностью книзу.

На рис. 175 приведены два варианта технологии изготовления отливки стола координатно-расточного станка массой 0,5 т из чугуна СЧ 32-52. По первоначальной технологии (рис. 175, *а*), когда направляющие находятся по заливке внизу, а зеркало отливки — в верхней части, в пазах образовывалась пористость и рыхлота.

Устранить усадочные дефекты не удалось и установкой холодильников толщиной 35 мм по всей верхней массивной части отливки. Эти дефекты были ликвидированы только при расположении зеркала внизу по заливке, а направляющих вверх (рис. 175, а). Стержни, выполняющие внутреннюю часть стола, приходится крепить при этом к верхней полуформе.

В качестве примера применения холодильников с целью ликвидации усадочной рыхлоты на направляющих на рис. 176 приведена отливка каретки строгального станка массой 600 кг из чугуна СЧ 28-48. В направляющих сечением 120×160 мм, расположенных при заливке горизонтально, после выполнения ласточкина хвоста обнаруживались усадочные раковины.

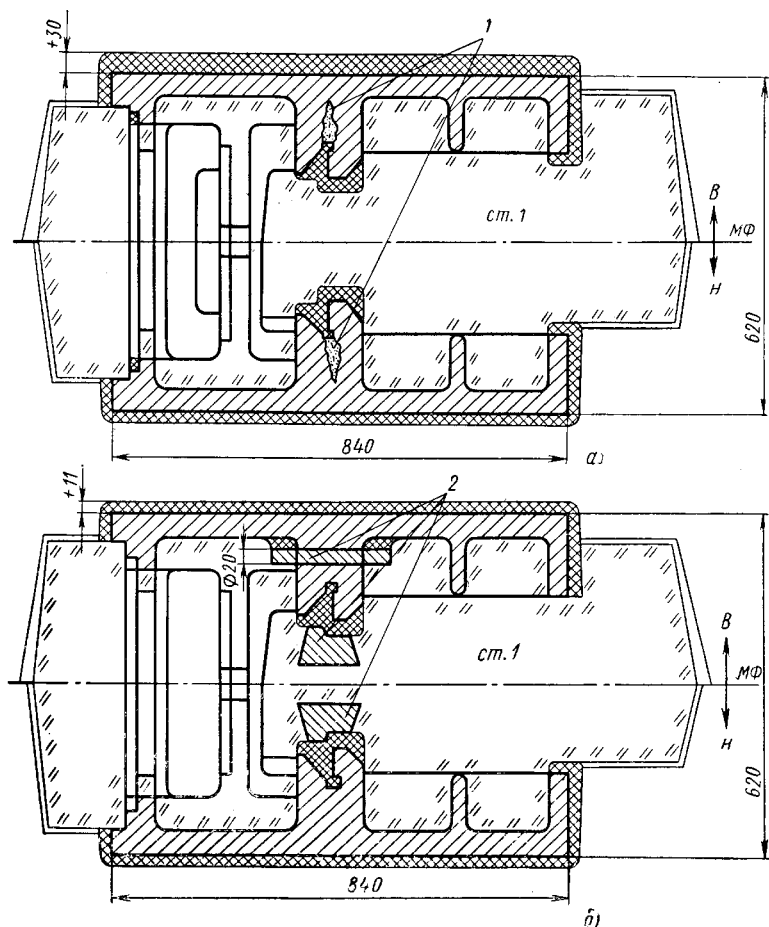


Рис. 176. Отливка каретки строгального станка:

1 — усадочные раковины, расположенные в различных местах по длине направляющих; 2 — холодильники

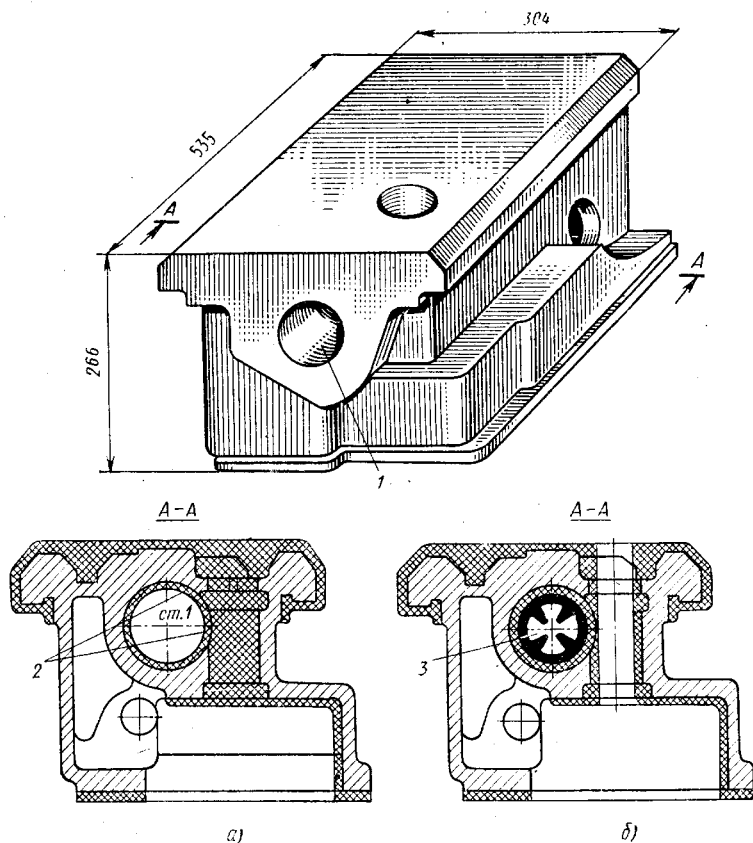


Рис. 177. Отливка корпуса координатно-расточного станка:

1 — места образования усадочной рыхлоты; 2 — усадочная рыхлота в пинольном отверстии; 3 — холодильник или стержень, выполненный из захлаждающей стержневой смеси

В стержень по всей длине направляющих устанавливали холодильники толщиной 40 мм, а также внутренний холодильник диаметром 20 мм в верхнюю направляющую в месте расположения усадочной рыхлоты, что обеспечило получение плотного металла.

На рис. 177 приведен корпус отливки расточного станка из чугуна СЧ 28-48. Вдоль всей длины корпуса находится пинольное отверстие диаметром 150 мм, в котором образуется усадочная пористость.

Применение холодильников, вставляемых в стержень, выполняющий это отверстие, дает возможность отливку получить годной.

Аналогичный результат можно получить также при выполнении стержня из захлаждающих смесей.

3. МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРКОЙ¹

Сварка чугуна для устранения дефектов получила широкое распространение благодаря тому, что за последние годы значительно продвинулось изучение теоретических основ процесса, разработаны новые методы сварки, а практика их использования подтвердила возможность гарантированного получения отливок, подвергавшихся исправлению, со свойствами, полностью соответствующими требованиям ТУ.

Низкие пластические свойства чугуна и особенность структурообразования могут вызвать появление разрушающих внутренних напряжений, а также ледебуритной структуры в наплавленном металле и структур закалки в зоне термического влияния.

Горячая сварка, обеспечивающая предотвращение таких структур, усложняет технологию, ухудшает условия труда. Для исправления дефекта на детали после ее механической обработки горячая сварка большей частью не может быть применена, так как деформация при нагреве отливки может превышать припуск.

В связи с этим разработаны описанные ниже способы сварки без предварительного нагрева или с низкотемпературным нагревом.

Современные прогрессивные способы (сварка порошковой проволокой и др.) преследуют также цель механизации процесса и облегчения труда сварщиков.

На схемах 1 и 2 представлены основные способы сварки, используемые для устранения дефектов.

Способ, а также технологические приемы его выполнения выбирают с учетом следующих факторов:

а) вида дефекта, его объема, расположения на отливке, числа отдельных дефектов;

б) требований к наплавленному металлу: обрабатываемость, микроструктура, твердость, плотность, герметичность, цвет;

в) особых требований: неизменность размеров отливки (отсутствие коробления) после сварки, закаливаемость наплавленного металла и др.

ГОРЯЧАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА С ПОЛУЧЕНИЕМ СЕРОГО ЧУГУНА В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Ручную и механизированную электродуговую сварку «ваннным» способом используют большей частью при устранении крупных дефектов на обрабатываемых поверхностях отливок (площадь наплавленной поверхности 50—100 см²).

¹ В настоящем разделе автором использован в основном материал по разработке и производственному внедрению различных методов сварки чугуна на заводе «Станколит» [58].

Способы получения наплавленного металла, поддающегося механической обработке

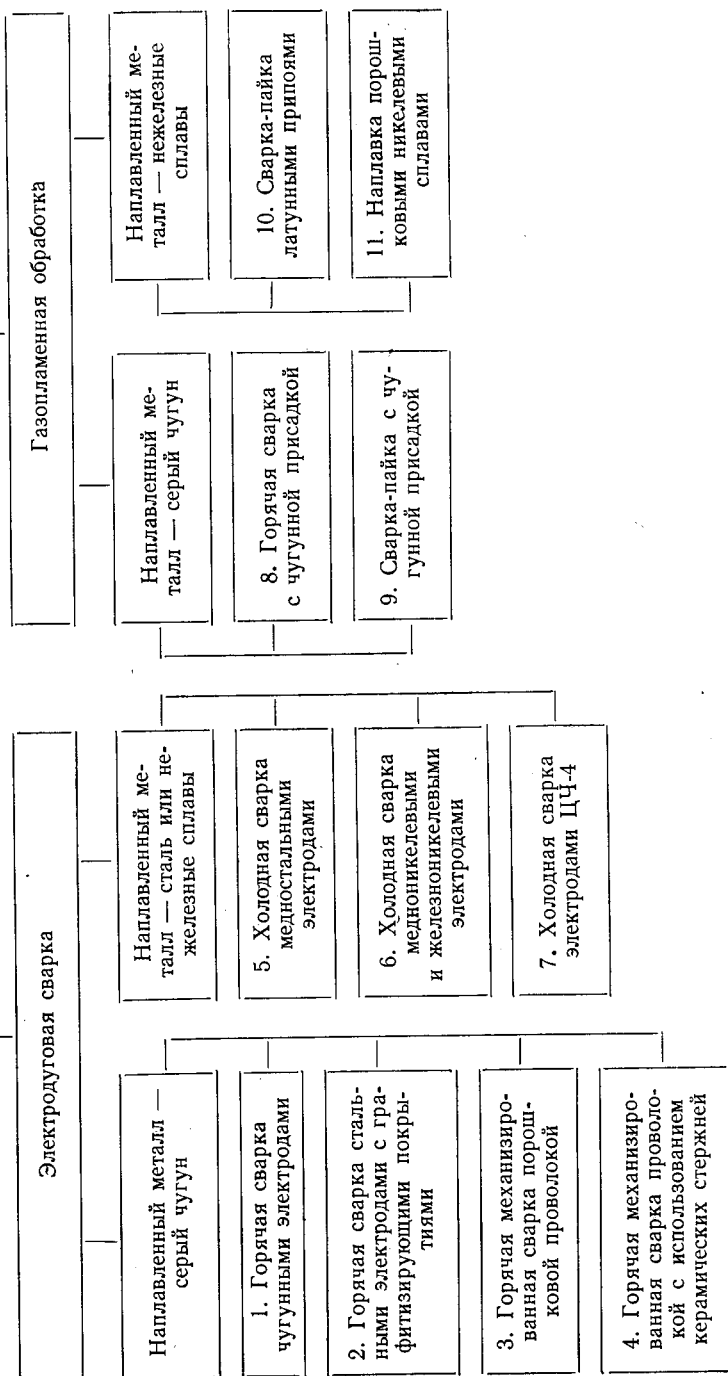


СХЕМА 1

Способы сварки при расположении дефекта на необрабатываемой поверхности отливки

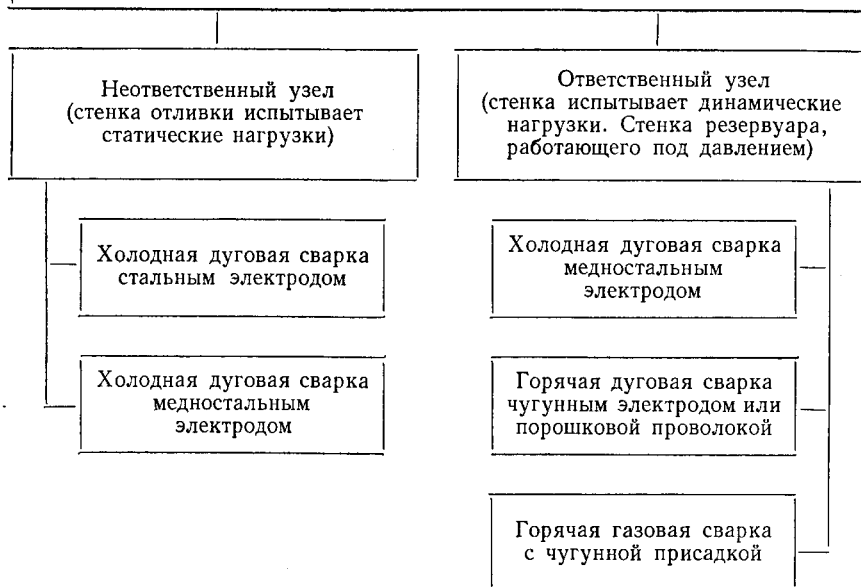


СХЕМА 2

Технологический процесс горячей дуговой сварки включает разделку дефектного места вырубкой или обдиркой наждачным кругом; подформовку контура дефектного места специальной тестообразной массой (огнеупорная глина — 40 %, кварцевый мелкий песок — 40 %, графит серебристый — 20 %); нагрев отливки до 600—650° С, общий или местный — в зоне расположения дефекта и заварку разделанного дефекта. При этом ванна наплавленного металла поддерживается в жидком состоянии в течение определенного промежутка времени для выравнивания химического состава расплава и удаления из него неметаллических включений. Длительный контакт жидкого наплавленного металла с основным металлом способствуют получению более равномерной структуры и твердости по всему сечению сварного соединения.

Ниже рассмотрены различные варианты процесса.

Сварка чугунами электродами. В качестве электродов используют прутки диаметром 12—16 мм состава: 3,0—3,6 % С, 3,5—4,8 % Si, 0,5—0,6 Mn, 0,2—0,5 P, 0,3—0,5 % Ni и не более 0,08 % S и 0,05 % Cr (ГОСТ 2671—70).

В состав покрытия входят 25 % графита серебристого, 40 % зеленого карборунда, 30 % плавикового шпата, 5 % алюминиевого порошка. Связующим служит жидкое стекло.

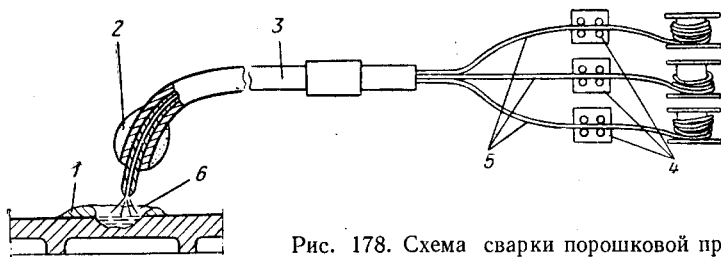


Рис. 178. Схема сварки порошковой проволокой:

1 — огнеупорная масса; 2 — защитное покрытие; 3 — держатель; 4 — подающие механизмы; 5 — порошковая проволока; 6 — сварочная ванна

Сварку предпочтительнее проводить на постоянном токе при силе тока 1100—1400 А с применением мощных источников питания. При этом достигается производительность 10—12 кг/ч наплавленного металла.

Описанный процесс связан с тяжелым ручным трудом и вредными условиями труда. Сварщик подвергается длительному воздействию теплоты от нагретых отливок и от электрической дуги.

Сварка стальными электродами с графитизирующим покрытием. При исправлении сваркой дефектов небольшого объема (наплавка узких бортиков, бобышек и т. п.) используют тонкие электроды марки ЦЧ-5 (разработаны в ЦНИИТМАШе) со стержнями из низкоуглеродистой стали диаметром 3—5 мм, покрытыми слоем обмазки толщиной 1,5 мм.

Состав обмазки: 8% мрамора, 14% плавикового шпата, 40% графита серебристого, 40% карборунда зеленого, 10% чугунного порошка, 7% алюминиевого порошка, 1% поташа. Связующее — жидкое стекло. Масса покрытия составляет 20—23% от массы прутка

Сварку ведут вручную на постоянном токе обратной полярности. Химический состав наплавленного металла: 2,9—3,1% С, 4,5—5,5% Si, 0,5—0,7% Mn, 0,04—0,07% P, 0,5—0,8% Al, не более 0,05% S и 0,1% Cr.

Механизированная полуавтоматическая сварка порошковой проволокой. Сущность этого метода состоит в использовании порошковой проволоки, представляющей собой гибкий электрод диаметром 3,2 мм, состоящим из стальной оболочки, в которую запрессована порошкообразная шихта. Порошкообразная проволока специальным механизмом подается с заданной скоростью по гибким шлангам к держателю, которым манипулирует сварщик.

В зависимости от объема дефекта используют установки с подачей одной или нескольких проволок. При этом в широких пределах изменяется и производительность процесса. На рис. 178 показана схема установки с одновременной подачей трех проволок.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ
ДЛЯ СВАРКИ ЧУГУНА

Марка порошковой проволоки	Содержание компонентов, %								Коэффициент за- полнения про- волоки, %
	Графит		Ферросили- ций	Ферромаг- нец	Ферротитан	Алюминиевый порошок	Железный порошок	Молотовая окалина	
	электрод- ный	серебри- стый							
ППЧ-2	22,0	—	26,0	1,6	6,0	2,4	58,0	—	22—24
ППЧ-3М	—	40,0	40,0	9,0	—	10,0	—	1,0	13—15

Помимо геометрических размеров и состава шихты порошковая проволока характеризуется коэффициентом заполнения, показывающим процентное отношение массы порошкообразной шихты в 1 м проволоки к общей ее массе.

В табл. 49 представлена характеристика порошковой проволоки двух марок

При малом объеме наплавки используют серийный однопроволочный шланговый полуавтомат А765 с водоохлаждаемым держателем. Для повышения производительности процесса сконструирован и внедрен полуавтомат А-1072С для сварки одновременно тремя проволоками (рис. 178). Проволока из трех бунтов тремя механизмами подается по направляющим каналам через специальный сход в общий токосъем, защищенный слоем огнеупорной обмазки от брызг металла и теплоизлучения ванны. При этом методе сила тока повышается до 1500 А при скорости подачи проволоки до 200 м/ч, что позволяет свободно расплавлять значительное количество присадочного металла в виде тщательно очищенных кусков чугуна определенного химического состава, специально изготовленных для этой цели.

Преимущества по сравнению с ручной сваркой сводятся к следующему:

а) повышается производительность процесса; б) облегчаются условия труда сварщика; в) повышается качество сварного соединения за счет более глубокого проплавления основного металла; г) процесс сварки происходит непрерывно.

Механизированная сварка проволокой с использованием керамических стержней. Способ основан на совместной подаче в дуговой промежуток сварочной проволоки и керамического стержня, выполняющего роль электродного покрытия и имеющего соответствующий состав.

Цилиндрический стержень 1 (рис. 179) с продольным пазом подается в зону сварки через направляющую втулку 2 под углом около 45° к сварочной проволоке 3. Непрерывно подаваемая

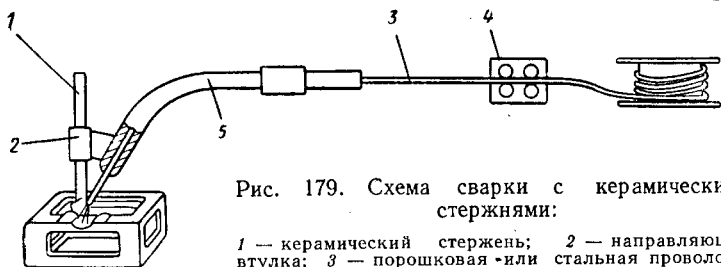


Рис. 179. Схема сварки с керамическими стержнями:

1 — керамический стержень; 2 — направляющая втулка; 3 — порошковая или стальная проволока; 4 — подающий механизм; 5 — держатель

сварочная проволока и конец керамического стержня расплавляются от теплоты дуги. Содержание компонентов в керамическом стержне марки ЦСКЧ-3: 14% мрамора, 33% плавикового шпата, 10% серебристого графита, 6% алюминиевомагниевого порошка, 10% чугунного порошка, 5% целлюлозы электродной, 22% зеленого карборунда. Связующее — жидкое стекло.

Заваривать можно стальной проволокой сплошного сечения. Увеличение количества и промывающей способности шлака обеспечивает получение плотной наплавки даже при неметаллических включениях на поверхности дефекта, что позволяет исключить предварительную разделку дефекта. Однако использование метода ограничено наплавкой небольших количеств металла (площадь дефекта до 50 мм²), так как повышенное количество шлака затрудняет ведение процесса при большой площади наплавки.

Возможно применение керамического стержня в комбинации с порошковой проволокой для получения в наплавленном металле повышенного содержания углерода (до 3,8%) и высокой плотности.

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА С ПОЛУЧЕНИЕМ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ ИЛИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Эти методы применяют в случаях, когда должна быть обеспечена хорошая обрабатываемость сварного соединения и высокая плотность наплавленного металла, но по условиям эксплуатации допускается разнородность наплавленного и основного металлов и разница в цвете.

В основном сварку ведут без общего нагрева отливок и лишь в отдельных случаях с местным подогревом до 200—250° С. Использование стальных электродов ограничено декоративным исправлением, так как не обеспечивается обрабатываемость наплавленного металла.

Для получения обрабатываемого сварного соединения используют следующие методы.

Сварка медностальными электродами. Холодную дуговую сварку чугуна медностальными электродами (медь 88—90 %, сталь 10—12 %) применяют при наличии сквозных дефектов на необрабатываемых поверхностях отливок: трещины, спай, вварка вставок, приварка отбитых частей и др.

При плавлении медностального электрода сталь, практически не растворяющаяся в меди, находится в медной основе в виде примеси, повышая прочностные свойства сварочного шва.

В настоящее время разработаны электроды ОЗЧ-2, содержащие в электродном покрытии железо и компоненты, создающие шлаковый покров с кислой основой. Кислые сварочные шлаки, образующиеся при сварке, подвижны и легко отслаиваются при очистке. Плотное сварное соединение имеет предел прочности при растяжении 24—26 кгс/мм² и характерный красный оттенок.

Сварка медноникелевыми и железоникелевыми электродами. Медноникелевые электроды изготовляют на основе проволоки монель-металла МНЖМЦ 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492—73).

Наилучшие результаты обеспечивают электроды МНЧ-2, имеющие состав покрытия: 15 % мрамора, 20 % бария, 22 % доломита, 10 % ферромарганца, 5 % ферросилиция, 13 % графита серебристого, 0,5 % соды кальцинированной или поташа, 20—22 % жидкого стекла к массе сухой смеси. Наплавка представляет собой медноникелевый сплав, плотный, вязкий, легко поддающийся механической обработке, и лишь в зоне сплавления, где происходит смешение с чугуном отливки, получается сплав, обогащенный железом и углеродом, отличающийся высокой твердостью. При этом методе сварки применяют минимальные силы тока, поэтому полоска зоны сплавления настолько мала, что она не сказывается на ухудшении обрабатываемости.

Железоникелевые электроды из проволоки Св-08Н50 (50 % никеля, 50 % железа) с покрытием следующего состава: 25 % плавикового шпата, 35 % доломита, 10 % графита серебристого, 30 % ферросилиция ФС75, 25—30 % жидкого стекла (связующее) от массы сухих составляющих. Образующийся в наплавке никелевый аустенит растворяет значительное количество углерода без образования карбидов, имеет высокую пластичность и вязкость, удовлетворительную обрабатываемость сварного соединения и обладает малой склонностью к образованию трещин. Использование этих электродов ограничивается дефицитностью и высокой стоимостью никеля и меди.

Сварка электродами ЦЧ-4. Эти электроды — заменители медноникелевых — изготовляют на основе низкоуглеродистой стальной проволоки (Св-08).

В состав покрытия входят 16 % мрамора, 15 % плавикового шпата, 55 % феррованадия, 10 % ферротитана, 3 % ферромарганца, 1 % поташа. Связующее — жидкое стекло — 20—30 % от массы сухих составляющих. Ванадий усваивается жидким металлом и в наплавке получается высоколегированная ванадиевая

сталь примерного химического состава: 0,15% С, 0,8% Si, 1,0% Mn, 9,5% V, 0,4% P, 0,04% S.

Наплавленный металл имеет твердость *НВ* 160—190, хорошую обрабатываемость и цвет, близкий к цвету чугуна. В зависимости от величины дефекта используются электроды диаметром 3—6 мм. Дефекты крупных и средних размеров заправляют отдельно облицовочным и наполнительным слоями. Облицовочный слой наплавляют параллельными валиками вдоль всей поверхности разделанного дефекта. После проковки и очистки наплавленного металла насыпают мелко измельченную чугунную стружку слоем 2—3 мм и по ней наплавляют второй и последующий слой, заполняющие объем дефекта.

ГАЗОПЛАМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАПЛАВКИ

Газопламенные методы по сравнению с электродуговыми имеют преимущества, связанные с тем, что нагрев основного металла отливки или наплавленной ванны и плавление присадочного материала могут производиться отдельно. Это обеспечивает гибкость процесса и позволяет расплавлять или просто нагревать основной металл и обеспечивать заданный термический режим в процессе наплавки, а также в период охлаждения сварного соединения.

При низкотемпературных способах в качестве горючего газа используют ацетилен, а при обычном методе — также городской газ и пропан-бутан.

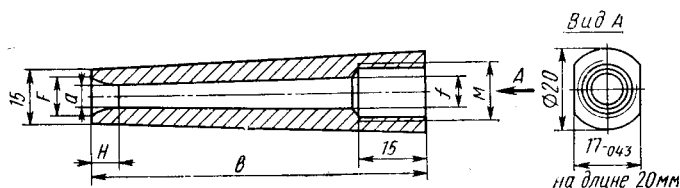
В зависимости от горючего газа и способа наплавки используют различные горелки (табл. 50).

Т а б л и ц а 50

ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРЕЛОК ДЛЯ СВАРКИ ЧУГУНА

Горелки	Горючий газ	Расход газов м³/ч		Область применения
		горючего	кислорода	
Универсальные сварочные типа «Москва»	Ацетилен	0,8—2,8	1,0—3,1	Газовая сварка чугуна Низкотемпературные способы сварки чугуна
		0,3—0,8	0,35—1,0	
Кумулятивного (реактивного) действия конструкции «Станколит»	Городской газ Пропан-бутан	1,5—2,0	3,0—4,5	Газовая сварка чугуна
		1,0—1,2	3,5—0,0	
ГАЛ 2-68 конструкции ВНИИАвтогенмаш	Ацетилен	0,3—0,6	0,35—0,7	Газопорошковая наплавка

РАЗМЕРЫ МУНДШТУКА ДЛЯ СВАРКИ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ, мм



№ мундштука	a	b	M	f	H	F	Диаметр	
							инжектора	смесителя
3	3,3	65	10×1	7	3,8	3,6	1,1	3,35
4	3,9	65	10×1	7	4,5	4,4	1,3	4,0
5	4,5	75	11×1	8	5,2	5,2	1,5	4,6
6	5,1	75	11×1	9	5,9	5,8	1,7	5,25

Примечание. Материал — бронза Бр.Х08.

Высокая эффективность при работе на газах — заменителях ацетилена достигается при использовании горелок кумулятивного типа с расширяющимся соплом конструкции завода «Станколит», отличающихся конфигурацией и размером мундштука (табл. 51). При этом за счет увеличения скорости истечения газа достигается высокая степень концентрации сварочного пламени.

Горячая сварка с чугунной присадкой. При этом методе допускается общий нагрев отливки до 350—550° С или местный нагрев пламенем сварочной горелки.

Качество сварного соединения (структура и твердость наплавленного металла, отсутствие газовых пор) в решающей степени зависит от присадочных прутков. Наилучшие результаты получены при использовании присадочных прутков из низколегированного чугуна, выплавленного в электропечи с перегревом до 1600° С и выдержкой при этой температуре 20 мин. При этом заметно уменьшается количество неметаллических включений, уменьшается газосодержание чугуна в прутке и как следствие — газовая пористость чугуна в наплавленном металле. Разработан вариант комплексного легирования чугуна для присадочных прутков (табл. 52), обеспечивающих высокое качество наплавленного металла и минимальную склонность к образованию пористости.

Исследования и производственная практика показали, что наличие структуры белого или отбеленного чугуна в присадоч-

ных прутках не ухудшает качество и не повышает склонности к отбелу чугуна в наплавленном металле.

Для раскисления сварочной ванны и удаления из нее неметаллических включений используют флюс, представляющий собой прокаленную буру, смоченную керосином (4% от общей массы) для предохранения от увлажнения.

При сварке модифицированного чугуна, его повышенное газо-содержание, наличие в нем значительного количества плохо смачиваемых жидким металлом неметаллических включений и высокое содержание атомарного водорода в сварочном пламени (до 20%) в ряде случаев приводят к появлению пористости в наплавленном металле. Для этого случая разработан жидкий флюс на основе буры, борной кислоты и глицерина, которым покрывают присадочные прутки. Равномерный и прочный слой жидкого шлака способствует удалению неметаллических включений и изолирует расплавленный металл от окисления. При этом удается устранить дефекты и получить плотный наплавленный металл даже в тех случаях, когда при обычной технологии сварки избежать раковин в наплавленном металле не удастся.

Сварка-пайка с чугунной присадкой. При этом способе объем образовавшегося после разделки дефектного места заполняется каплями чугуна, образующимися при расплавлении присадочного прутка пламенем горелки. Основной металл в месте наплавки предварительно прогревается пламенем до 800—850° С. Капли чугуна отдают теплоту и основной металл с поверхности может нагреться до 1150° С. Соединение наплавленного металла с основным происходит в жидко-твердом состоянии за счет адгезии без расплавления основного металла, благодаря чему исключается образование структурно-свободного цементита в зоне

Т а б л и ц а 52

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ
ПРИСАДОЧНЫХ ПРУТКОВ, %

Марка присадочного прутка	C	Si	Mn	P	S	Cr
				не более		
C-1	3,3—3,5	3,4—3,7	0,5—0,7	0,15	0,04	0,1
C-2	3,3—3,5	3,4—3,7	0,5—0,7	0,15	0,04	0,1

Марка присадочного прутка	Ni	Ti	Cu	Sn
C-1	0,1—0,2	0,1—0,2	—	0,3—0,5
C-2	0,5—0,7	0,1—0,2	2,0—2,5	—

контакта. Качество применяемых прутков и термический режим должны обеспечить смачивание жидким металлом твердого, растекание его тонким слоем и проникновение в поры, трещины и бороздки на поверхности, которые можно рассматривать как поры.

Такому протеканию процесса способствует использование поверхностно-активного флюса (50% азотнокислого натрия, 26,5% углекислого натрия, 23% буры обезвоженной, 0,5% углекислого лития) и присадочных прутков из легированного чугуна (см. табл. 52).

Сварка-пайка латунными припоями. По технологическим приемам этот процесс аналогичен сварке-пайке чугуновой присадкой. Рабочая температура процесса снижается в связи с применением присадочного материала с низкой температурой плавления.

В качестве присадочного материала применяется сплав ЛОМНА следующего состава: 48—50% Cu, 0,9—1,0% Sn, 9,5—10,5% Mn, 3,5—4,5 Ni, 0,2—0,6% Al, остальное — цинк. Температура плавления 835° С, твердость *НВ* 180—200, цвет белый. Предварительный местный подогрев с поверхности в зоне дефекта 650—750° С.

Применяемый специальный флюс ФПСН (25% углекислого лития, 25% кальцинированной соды, 50% борной кислоты) с температурой плавления 650° С служит индикатором температуры. Его предварительное расплавление свидетельствует о нагреве основного металла до указанной выше температуры. Кроме того, расплавленный флюс, взаимодействуя с графитом на поверхности контакта, обеспечивает смачивание чугуна и образование металлических связей на границе латунь—чугун.

В начале процесса поверхность дефекта прогревают до 450—500° С, после чего в разделку вводят и расплавляют флюс. Затем расплавляют припой и ванным методом заполняют разделку.

Газопорошковая наплавка никелевыми сплавами. Новый метод разработан и внедрен в производство на завод «Станколит» для устранения мелких дефектов, обнаруживаемых на последних операциях механической обработки, когда оставленный припуск составляет доли миллиметра.

Сущность процесса заключается в том, что на поверхность дефекта наносят самофлюсующийся порошок, который подается через пламя ацетиленовой горелки. Процесс осуществляется при незначительном нагреве основного металла, не приводящем к его расплавлению. Благодаря этому предотвращается деформация изделия.

Наплавочный порошок с грануляцией частиц 40—100 мкм представляет собой сплав, содержащий более 90% Ni. Добавка некоторого количества меди снижает температуру плавления сплава, повышая его пластичность. Бор и кремний, вводимые в сплав, обеспечивают его самофлюсование и способствуют образованию соединения за счет интенсификации процесса диффузии при пониженных температурах (700—900° С).

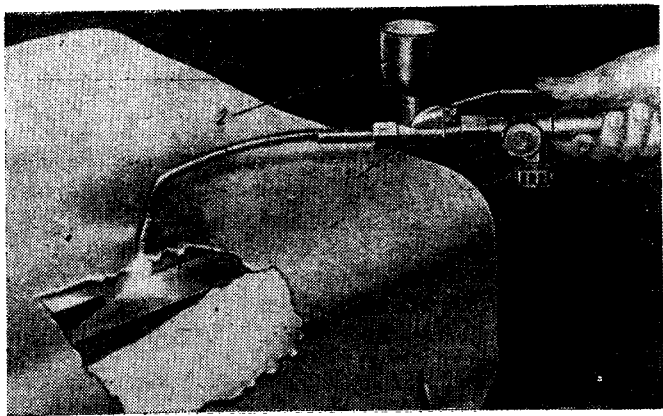


Рис. 180. Сварочная горелка для газопорошковой наплавки:
1 — кислородно-порошковый смеситель; 2 — емкость для порошка

Порошкообразный сплав НПЧ подвергают сфероидизации на специальных установках. За счет регулирования химического состава можно получить твердость наплавленного металла до *HV* 340.

На рис. 180 показана горелка для порошковой наплавки (ГАЛ-2М), которая отличается от обычной горелки «Москва» наличием смесительного узла 1. В горелке использован принцип двухступенчатой инжекции. Горелка снабжена также емкостью 2 для порошка.

Горючим газом служит осушенный ацетилен (в баллонах).

Процесс наплавки осуществляется в следующей последовательности:

1. Поверхность дефекта, тщательно очищенную и обезжиренную, нагревают пламенем горелки до 900°C .
2. На подготовленную поверхность напыляют первый слой порошка без его расплавления.

3. Последующие слои наносятся на напыленный слой с полным расплавлением подаваемого порошка.

4. После окончания наплавки сварщик пламенем горелки (медленно ее отводя) прогревает сварное соединение 1—2 мин.

Наплавленный металл прочно соединяется с основным и поддается обработке резанием. Твердость переходной зоны незначительно отличается от твердости наплавленного металла. Дифференциальная дилатограмма, снятая при нагреве наплавленного металла до 950°C с последующим охлаждением, показала, что в сплаве при указанных температурах отсутствуют фазовые превращения и протекают незначительные объемные изменения, не влияющие на деформацию свариваемого изделия.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ
ДЕФЕКТОВ СТАНОЧНЫХ ОТЛИВОК

Дефект	Направляющие скольжения, качения, а также поверхности для установки и перемещения	Опорные (базовые) поверхности, нагруженные		Неразъемные соединения, нагруженные	
		слабо	сильно	слабо	сильно
Раковины диаметром, мм:					
сквозные:					
100	3	3	3	3	3
30—100	1 и 3	(5—6)	1 и 3	6 (5—6)	1 и 3
до 30	2 и 8	6 (6—11)	2 и 8	6 (6—11)	2 и 8
несквозные:					
100	3	3	3	3	3
30—100	1, 3, 4 и 8	6 (5—6)	4 и 8	6	4 и 8
20—30	2, 4, 8 и 11	6, 10 и 11	2, 4, 8, 9, 10 и 11	6, 10 и 11	2, 9, 10 и 11
Трещины, спай, ужимины протяженностью, мм:					
сквозные:					
до 500	1, 3, (3—5)	6, (5—6)	1, 3, (3—5)	6, (5—6)	1, 3, (3—5)
до 200	1, 3, 8	6, (5—6)	1, 3, 8	6, (5—6)	1, 3, 8
несквозные:					
до 500	1, 3, 4, (3—5)	6, (5—6)	3, 4, (3—5)	6, (5—6)	3, 4, (3—5)
до 200	4, 8	6	4, 8, 11	6, 11	4, 8, 11
Газовая и усадочная пористость с общим диаметром, мм:					
единичные, разбросанные поры и мелкие раковины:					
до 10	8, 9, 10 и 11	6, 7, 8, 10 и 11	9, 10 и 11	6, 7, 9, 10 и 11	10 и 11
10—50	3, 4, 8 и 11	6, 7, 8, 10 и 11	8, 9 и 11	6, 10 и 11	6, 8, 9, 10 и 11
скопление пористости (сыпь), которая при разделке удаляется до здорового металла:					
50—200	1 и 3	1, 3, 6 и 8	1, 3 и 8	1, 3 и 6	1, 3 и 6
Недолив, вылом и т. д. объемом, см ³ :					
до 50	2 и 3	7, 6, (5—6), 9, 10 и 11	2, 8, 9, 10 и 11	2, 7, 8, 9, 10 и 11	2, 8, 9, 10 и 11
50—300	1, 3, 4 и 8	(5—6)	1, 3 и 8	1, 3 и 4	1, 3 и 4
свыше 300	3	3	3	3	3

Примечание. 1. Методы сварки обозначены цифрами в соответствии со схемой 1 (см. стр. 266).

2. В скобках указаны комбинированные методы сварки, например при обозначении (5—6) подразумевают, что нижняя (необработываемая) часть дефекта наплавляется медножелезными электродами, а затем на этот слой в зоне механической обработки наплавляют монель-металл.

При выборе метода сварки в зависимости от характеристики дефекта и условий работы, в которых находится поверхность отливки с дефектом, можно пользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 53.

Очевидно, что из всех рекомендуемых для данного дефекта способов выбирают тот, при котором обеспечивается хорошее качество наплавки и меньшая трудоемкость. Способы горячей сварки, позволяющие получать наплавленный металл в виде серого чугуна, являются ведущими среди других. При этих способах используют общий нагрев в печах или местный нагрев участка отливки, где расположен дефект, сварочными горелками, переносными газовыми горелками или в горнах.

В табл. 54 приведены способы нагрева перед сваркой и последующей тепловой обработки, обеспечивающие снижение скорости охлаждения металла в наплавке и в переходной зоне.

На рис. 181 представлен сварочный участок, оборудованный нагревательными печами с выдвижным подом, заглубленным

Т а б л и ц а 54

СПОСОБЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ
ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ОТЛИВОК ПРИ УСТРАНЕНИИ
ДЕФЕКТОВ СПОСОБОМ ГОРЯЧЕЙ СВАРКИ

Дефекты	Способ нагрева перед сваркой	Температура предварительного нагрева, °С	Способ тепловой обработки сварного соединения после сварки
Небольшого размера в нежестком контуре (бобышки, платки, выступающие части отливок и т. п.)	Местный, сварочной горелкой. Местный, переносной газовой горелкой с расходом газа 5—10 м³/ч	300—400	Обогрев пламенем горелки постепенно отдаляющейся от сварного соединения в течение 1—2 мин
Значительного размера в нежестком контуре	Местный, переносной газовой горелкой. Местный, в газовом горне	450—600	Нагрев до температуры 600—700° С, выдержка при ней 1—2 ч. Медленное охлаждение в песке под асбестом или в горне
Небольшие и крупные в жестком контуре, в отливках с массивными узлами, способствующими быстрому теплоотводу	Местный, в газовом горне. Общий, в печи с выкатным подом или ямной печи	600—700	Нагрев до температуры 700° С, выдержка при ней 1—2 ч и охлаждение вместе с печью

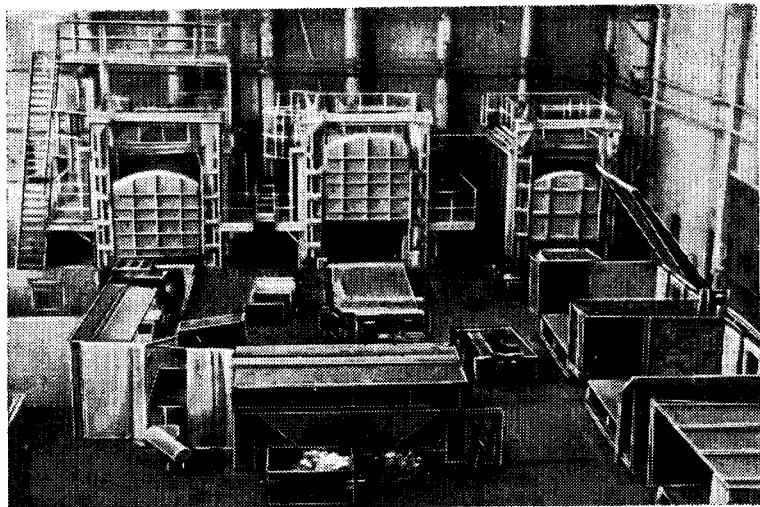


Рис. 181. Участок для сварочных работ

в прямке. Он незначительно возвышается над уровнем пола, что облегчает загрузку и выгрузку отливок.

Для этой цели сконструирована ямная печь со съемными секциями свода. После окончания цикла нагрева поднимают секцию над участком отливки, подлежащим сварке, перекрывают частично отверстие теплоизолирующими щитами и производят сварку, не вынимая отливки из печи.

Для местного нагрева целесообразно использовать газовые горны с панельными горелками, в которых вместо керамических элементов установлены чугунные литые.

Методы стабилизации размеров литых деталей

Точность металлорежущих станков во многом зависит от стабильности геометрии базовых чугунных деталей, поэтому вопросам стабилизации размеров литых деталей уделяется особое внимание. В прецизионных станках погрешности в прямолинейности направляющих скольжения всего на 0,5—3,0 мкм влияют на контактную жесткость и тем самым отражаются на параметрах работы станков [110].

Коробление деталей является следствием необратимых деформаций, протекающих в материале отливки под действием остаточных напряжений и всевозможных внешних нагрузок. Величина его зависит от многих факторов и может достигать десятых долей миллиметра.

Для предупреждения коробления используют различные способы. Еще на стадии проектирования при выборе материала, тщательной проработки конструкции детали с целью повышения жесткости, обеспечения равномерных толщин стенок, устранения по-возможности тепловых узлов, сохранения симметричности конструкции и т. п. можно создать предпосылки для уменьшения последующего коробления деталей. К этому же приводит разработка технологии литья, при которой обеспечивается равномерное охлаждение частей отливки, регулирование силового взаимодействия отливки с формой, оптимальная температура выливки и т. д.

Однако этот комплекс средств, описанный в предыдущих главах, лишь в редких случаях может позволить использовать детали в точных машинах без применения специального стабилизирующего процесса. Непосредственные измерения базовых деталей металлорежущих станков показывают, что самопроизвольное изменение их геометрической формы достигает 20—200 мкм на 1000 мм длины. Допуск же на неточность изготовления деталей для станков нормальной точности составляет 20 мкм на 1000 мм длины, а для станков высокой точности 5—12 мкм (табл. 3). Поэтому чугунные детали, от которых требуется высокая стабильность размеров, подвергаются в большинстве случаев специальной обработке, называемой старением. Хотя ряд способов старения известен и применяется давно, тем не менее многие

современные отечественные и зарубежные станки обладают низким коэффициентом сохранения точности, особенно при действии факторов, связанных с силовым воздействием на детали [87]. Это происходит из-за отсутствия единой обоснованной системы взглядов на эффективность различных способов старения, их взаимосвязи и области применения.

1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Устранить коробление детали — это значит исключить возможность образования пластических деформаций в ее материале под действием нагрузок или, другими словами, обеспечить необходимое соотношение между действующими напряжениями и релаксационной стойкостью материала.

Следовательно, при рассмотрении способов предотвращения коробления необходимо учитывать их влияние на 1) снижение остаточных напряжений в отливке и на 2) упрочнение материала, обеспечивающее повышение его релаксационной стойкости.

Как известно, практически в любой отливке, при охлаждении ее в форме, а затем на воздухе возникают остаточные напряжения, величина которых зависит от конфигурации отливки, разницы скорости охлаждения отдельных узлов, сопротивления формы усадке и т. д. Эти напряжения называются напряжениями I рода.

В процессе механической обработки литых деталей, сборки станка и последующей эксплуатации происходят перераспределение остаточных напряжений и их релаксация. Это, в свою очередь, вызывает коробление детали.

Следовательно, в общем случае снижение остаточных напряжений в отливке будет способствовать при прочих равных условиях уменьшению коробления детали в период изготовления станка, а также его эксплуатации.

Величина остаточных напряжений в отливке определяет также опасность ее разрушения, особенно в тех случаях, когда напряжение увеличивается в связи с проведением операций старения (см. ниже). Релаксационная стойкость материала характеризует способность материала противостоять пластической деформации при действии напряжений. Имеются в виду суммарные напряжения как остаточные, так и созданные внешними нагрузками, действующими длительно или кратковременно.

При рассмотрении релаксационной стойкости чугуна необходимо учитывать следующие особенности его структуры. Металлическая основа чугуна является по существу высокоуглеродистой сталью с повышенным содержанием кремния, серы и фосфора. Изменение релаксационной стойкости сталей под действием различных факторов (деформационных, температурных) изучено достаточно полно. В частности, пластическое деформирование стали обычно повышает ее релаксационную стойкость; температурное воздействие выше определенной границы вызывает разупроч-

нение материала и снижение релаксационной стойкости; совместное деформационно-температурное воздействие в определенных интервалах температур и деформаций также существенно повышает релаксационную стойкость и т. д. Однако чугун в отличие от стали имеет графитовые включения, которые искажают свойства его металлической основы. Выяснение общности и различий свойств чугуна и стали позволит правильно использовать сведения об изменениях свойств стали с учетом конкретных различий, обусловленных особенностями структуры чугуна.

Известно, что графитовые включения являются причиной снижения прочности чугуна в сравнении со сталью, аналогичной по химическому составу и структуре. Другая особенность чугуна заключается в отсутствии у него четко выраженного предела упругости, хотя им обладает материал металлической основы. Графитовые включения, являясь концентраторами напряжений, приводят к возникновению локальных пластических деформаций при средних нагрузках намного ниже предела упругости основного металла. В данном случае они действуют как надрезы, трещины в стали, превращающие ее из пластического материала в хрупкий. Общая остаточная деформация при этом невелика и к моменту разрушения чугуна редко превышает 0,5—1%. Однако распределение ее по материалу неравномерное. В основном она концентрируется в ограниченных зонах около графитовых включений [47, 140] так же, как в стали у надрезов [52].

Анализ напряженного состояния чугуна в углах графитовых включений позволяет сделать выводы относительно его свойств, определяющих разработку методов стабилизации деталей.

1. Несмотря на низкую среднюю пластичность чугуна, величина пластических деформаций в местах концентрации напряжений при значительных нагрузках сопоставима с величиной пластичности стали, химический состав и структура которой аналогичны составу и структуре металлической основы чугуна. Это должно проявляться в общности свойств чугуна и стали, обусловливаемых процессами пластического деформирования.

2. Уже в процессе охлаждения чугуна, даже если в отливке не возникают напряжения I рода, в углах графитовых включений протекают сначала упругие, а затем и пластические деформации, вызванные напряжениями II рода, появляющимися из-за различия коэффициентов линейного расширения металлической основы чугуна и графита¹. К концу охлаждения практически во всех углах графитовых включений существуют напряжения II рода на уровне предела упругости металлической основы.

Указанные напряжения не могут не релаксировать с течением времени, что должно сопровождаться изменением свойств мате-

¹ Напряжения обычно разделяются на напряжения I рода, уравнивающиеся в пределах всей детали или ее значительной части, и II рода, уравнивающиеся в пределах объема одного или нескольких кристаллов.

риала в местах концентрации напряжений. Возникающие в отливке напряжения I рода интенсифицируют этот процесс, и внешняя нагрузка любой величины, приложенная к чугуну сразу же после охлаждения, должна вызывать дополнительные пластические деформации в местах концентрации напряжений.

Следовательно, с течением времени будет протекать процесс образования пластических деформаций в опасных зонах, сопровождаемый упрочнением металла в этих местах. Все это должно привести в итоге к повышению релаксационной стойкости материала. Это положение подтвердилось при исследовании образцов равного сопротивления изгибу из чугуна СЧ 21-40 [68]. Было установлено, что вылеживание образцов без нагрузки в течение 12—18 мес. вызвало упрочнение чугуна.

Таким образом, чугун обладает свойством стареть даже в отсутствии напряжений I рода или предварительной деформации внешними нагрузками, что необходимо для старения стали.

Наличием графитовых включений обусловлены и другие особенности процесса образования пластических деформаций в чугуне. Например, характер кривых напряжение—нелинейная часть деформации для разных чугунов зависит от количественного распределения графитовых включений по размерам.

При наличии дефектов типа трещин, выходящих на поверхность образца, для разрушения последнего, а следовательно, и для начала пластического течения необходима меньшая критическая нагрузка. В то же время известно, что тонкие поверхностные слои отливок (литейная корочка) не содержат графитовых включений [145]. В этой связи интересны результаты определения пластической деформации литых образцов и образцов из того же чугуна, но после их механической обработки. Перед испытанием на растяжение все образцы подвергали отжигу при 500—600° С в течение 3 ч. Пластическая деформация образцов, не имевших выходящих на поверхность графитовых полостей, оказалась примерно в 2 раза меньше (рис. 182). Естественно, что количественно этот эффект зависит от отношения площади поверхности к объему образца, или периметра P поперечного сечения к его площади f . При увеличении P/f эффект будет возрастать. Следовательно, наиболее чувствительны к нему тонкостенные отливки.

Приведенные данные имеют и практическое значение: часто только для улучшения товарного вида детали обрабатывают поверхности, не требующие этого по условиям эксплуатации, что снижает стойкость чугуна против пластических деформаций.

Известно, что для чугуна характерна различная прочность при растяжении и сжатии. Остаточные напряжения и напряжения, создаваемые внешними нагрузками и являющиеся причиной возникновения пластических деформаций, имеют в реальных деталях, даже в одном и том же сечении, не говоря о различных участках отливки, разные знаки.

В то же время нет сопоставимых данных о пластических свойствах этого материала под действием идентичных нагрузок разного знака.

На рис. 183 показано изменение отношения пластической деформации при растяжении ϵ_p к пластической деформации при сжатии $\epsilon_{сж}$ цилиндрических образцов в зависимости от температуры испытания и величины приложенной кратковременной нагрузки [10]. Механические свойства образцов $\sigma_B = 22,6$ кгс/мм², $\sigma_{сж} = 78$ кгс/мм². Испытания проводили на релаксационной машине Rel-5 с оптической системой измерения деформаций.

Существенная разница между пластичностью при сжатии и растяжении сохраняется во всем температурном интервале испытания. При всех температурах эта разница увеличивается с возрастанием нагрузки. И если в областях малых нагрузок отношение $(\epsilon_p/\epsilon_{сж})_{пл}$ для данного чугуна колеблется от 2,0 до 2,5, то при нагрузках $\sim 0,6\sigma_B$ в интервале 20—420° С оно находится в пределах отношения прочностей чугуна на сжатие и растяжение (3,5). С дальнейшим повышением нагрузки и температуры испытания различие в пластичности чугуна при разном способе нагружении увеличивается еще больше.

По-разному протекает и процесс релаксации разноточных напряжений, который в конечном счете определяет самопроизвольное коробление деталей при обычных и повышенных температурах [8, 10]. Соотношение пластических деформаций при релаксации в условиях растяжения и сжатия так же, как и отношение $(\epsilon_p/\epsilon_{сж})_{пл}$ при кратковременных испытаниях, зависит от исходной нагрузки и температуры испытания. Отсюда естественный вывод о необходимости уделять особое внимание стабилизации растягивающих напряжений.

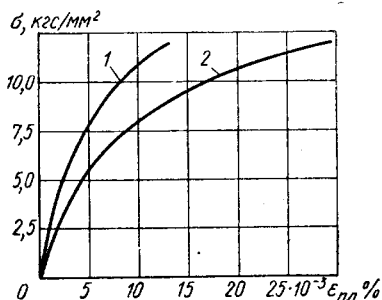


Рис. 182. Пластическая деформация при кратковременном нагружении чугунных образцов с литой коркой (1) и после механической обработки (2) с $\sigma_B = 18$ кгс/мм²; $P/f = 0,4$

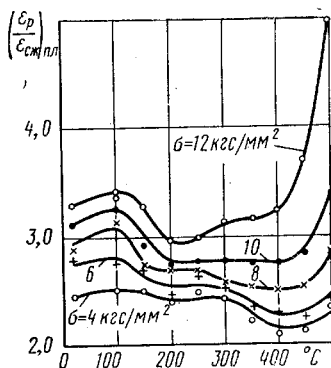
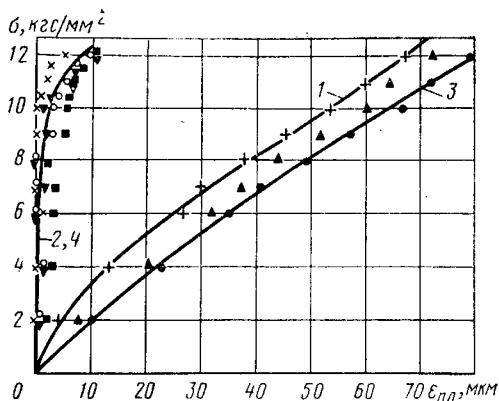


Рис. 183. Изменение отношения пластической деформации при кратковременных испытаниях на растяжение ϵ_p и сжатие $\epsilon_{сж}$ при идентичных нагрузках и температурах

Рис. 184. Изменение пластической деформации образцов после тренировки различными нагрузками и отжига:

1 — эталонные образцы; 2 — после тренировки вибрацией и статической нагрузкой; 3 — после тренировки и отжига при 550° С; 4 — после тренировки, отжига и повторной тренировки



Исходя из изложенного можно утверждать, что одной из главных причин длительного коробления чугунных деталей является различная релаксация напряжений противоположного знака даже при их одинаковой величине.

Изменение пластических свойств чугуна в результате «тренировки» и отжига. Многие металлы и сплавы, в том числе и стали, упрочняются под воздействием внешних нагрузок. Установлено, что упрочнение получается обкаткой, обжатием изделий, обдувкой их дробью, предварительным нагружением растягивающими, сжимающими, изгибающими или скручивающими нагрузками. Не составляет в этом отношении исключения и чугун.

Многие исследователи давно обратили внимание на то, что деформация чугуна при повторных нагружениях иная, чем при первом. Так, после третьего растяжения под нагрузкой до $\frac{3}{4}\sigma_b$ остается $\frac{1}{10}$ первоначального гистерезиса, а после 7—8-кратной тренировки чугун приобретает свойства идеально упругого материала.

Эти положительные качества чугуна, как и стали, формируются в результате развития процессов упрочнения в зонах концентрации напряжений (для чугуна у графитовых включений) и повышения вследствие этого σ_s . Следовательно, при условиях, неблагоприятных для развития и сохранения упрочнения (для стали — повышение температуры выше 300—400° С), эти свойства должны исчезать.

На рис. 184 показаны результаты испытания при кратковременном нагружении образцов из чугуна СЧ 21-40 в виде балки равного сопротивления изгибу [5]. При проведении указанных экспериментов, так же как и при последующих, использовали методику, подробно изложенную в работе [5].

Исходные напряжения всех образцов 8 кгс/мм². Часть указанных образцов в течение 6 ч обрабатывали циклической нагрузкой (вибрацией) на резонансной машине с амплитудой

± 3 кгс/мм² при частоте колебаний 50 Гц, а часть догружали на 6 ч статической перегрузкой 3 кгс/мм². После полной разгрузки часть виброобработанных и статически перегруженных образцов отжигали при 550° С в течение 2 ч, охлаждение вместе с печью.

Для сравнения испытывали контрольные образцы, не подвергавшиеся «тренировке» и отжигу.

Образцы 2 без термообработки практически не имели пластической деформации в пределах тех напряжений, до которых они предварительно обрабатывались вибрацией или статической перегрузкой (11 кгс/мм²). Деформация термообработанных образцов 3 существенно отличается от деформации нетермообработанных и равна деформации контрольных образцов 1. Другими словами, упрочнение, возникшее в образцах после вибрации и статической перегрузки, исчезло при термообработке. В дальнейшем разупрочненные термообработкой образцы трижды нагружали до напряжений 12 кгс/мм², после чего они снова стали упругими в пределах напряжений тренировки.

Таким образом, аналогично стали механическим упрочнением циклическими и статическими нагрузками можно повышать стойкость серого чугуна против образования пластических деформаций под действием нагрузки, а следовательно, и уменьшать коробление отливок. Термическая обработка способствует разупрочнению чугуна.

Явление синеломкости в стали и чугуне. У многих сталей независимо от содержания углерода, давно обнаружена так называемая синеломкость — увеличение прочностных и снижение пластических свойств в интервале температур, соответствующих появлению на поверхности металла синего цвета побежалости. Синеломкость проявляется только в случае деформационного и температурного воздействия на металл, причем она развивается независимо от последовательности действия деформации и температуры.

Было изучено поведение чугуна СЧ 21-40 при аналогичных методах воздействия с учетом возможности таким путем повысить его релаксационную стойкость. Предварительное нагружение (тренировка) статическое.

Образцы испытывали на растяжение и изгиб при различной нагрузке.

Результаты испытания (рис. 185) показывают, что во всех случаях у чугуна, как и у стали, четко проявляется «провал» пластических свойств, т. е. повышение релаксационной стойкости в определенном интервале температур.

Влияние степени пластической деформации на упрочнение чугуна и стали. Известно, что упрочнение у многих металлов и стали развивается наиболее интенсивно до определенной степени деформации. Критическая величина пластической деформации для стали обычно составляет 40—60 %. Хотя упрочнение продолжается и после достижения «порога упрочнения», его темп значительно

замедляется [43], а иногда уменьшается достигнутое упрочнение, что связывают с начальной стадией развития процесса разрушения металла [84, 85].

Такой же характер развития упрочнения наблюдается у чугуна. Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из чугуна, со средним значением $\sigma_B = 24 \text{ кгс/мм}^2$. Каждый образец устанавливали в печь релаксационной машины и после выдержки 1 ч при заданной температуре нагружали со скоростью $1,6 \text{ кгс/мм}^2$ в 1 мин. После выдержки 10 мин при заданной нагрузке $\sigma_{тр}$ образец разгружали с той же скоростью, извлекали из печи, охлаждали на воздухе и на следующий день испытывали на пластическую деформацию при нагрузках:

$$\sigma_{исп} = 0,7\sigma_{тр}; \quad \sigma_{исп} = 1,0\sigma_{тр}; \quad \sigma_{исп} = 1,3\sigma_{тр}.$$

Упрочнение при различных режимах обработки оценивали отношением величины пластической деформации при данном напряжении испытания «тренированных» образцов к аналогичной величине контрольных образцов без нагрева и тренировки $\epsilon'_{пл}/\epsilon^0_{пл}$ [26].

Результаты испытаний (рис. 186) показывают, что чугун имеет упоминавшийся выше «порог упрочнения» — границу, после которой упрочнение замедляется. Эта граница при всех температурах соответствует нагрузкам $\sigma_{тр} \approx (0,50 \div 0,65) \sigma_B$. С повышением температуры оптимум несколько смещается в сторону больших нагрузок тренировки.

Таким образом, графитовые включения в чугуне не могут подавить влияние металлической основы на главные закономерности

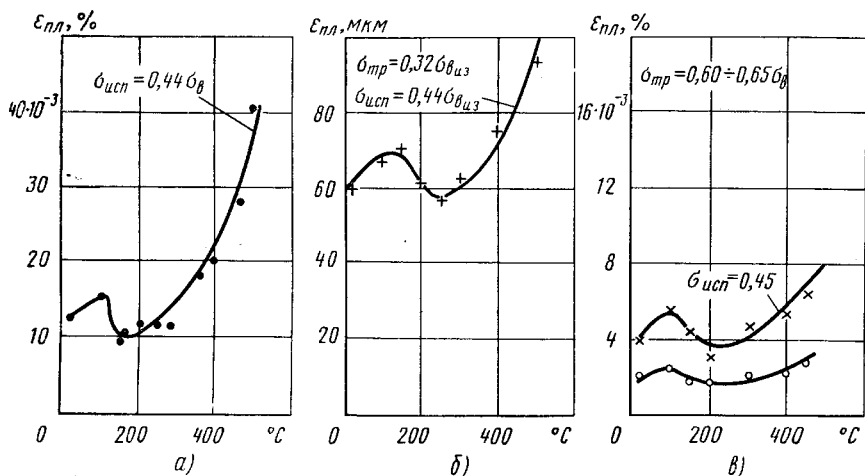


Рис. 185. Испытания на пластическую деформацию $\epsilon_{пл}$ при кратковременном нагружении чугунных образцов:

а — при разных температурах; б — при 20°C после тренировки, $\sigma_{тр} = 0,32\sigma_B$ и нагрева до разных температур; в — после тренировки при разных температурах $\sigma_{тр} = 0,6 \div 0,65\sigma_B$

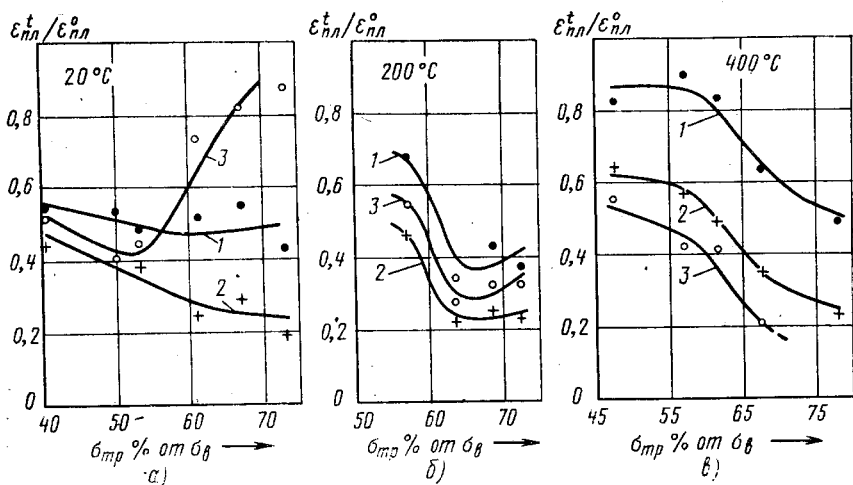


Рис. 186. Влияние степени пластической деформации на упрочнение чугуна. Тренировка при температуре:

а — 20° С; б — 200° С; в — 400° С: 1 — $\sigma_{исп} = 0,7\sigma_{тр}$; 2 — $\sigma_{исп} = \sigma_{тр}$; 3 — $\sigma_{исп} = 1,3\sigma_{тр}$

процесса пластической деформации и сопутствующих ему закономерностей упрочнения, а в определенных условиях — закономерностей разупрочнения материала. При постоянных составе и структуре чугуна изменять его релаксационную стойкость можно различными вариантами деформационного и термического воздействия, общие закономерности которого идентичны для стали и чугуна. Конкретные методы (режимы) устанавливают исходя из рассмотренных особенностей чугуна как материала, в зависимости от конструктивных особенностей литых деталей, технологии изготовления и условий эксплуатации готовых изделий.

Основные методы стабилизации чугунных изделий условно разделим на группы по виду внешнего воздействия:

1 — термические методы стабилизации — низкотемпературный отжиг;

2 — деформационные методы стабилизации; естественное старение, вибрационное старение, старение статической перегрузкой;

3 — деформационно-термические методы стабилизации — старение с помощью быстрого нагрева и охлаждения деталей.

Условность такого деления с точки зрения физической сущности протекающих процессов очевидна. Например, остаточные напряжения в отливках способствуют комбинированному воздействию напряжений и температуры при последующем даже медленном нагреве отливок. Тем не менее принятая группировка позволяет выделить влияние решающего фактора и рассмотреть известные методы в определенной последовательности.

2. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ

К этим методам относится отжиг, в процессе которого одновременно изменяются остаточные напряжения в отливках (обычно уменьшаются) и релаксационная стойкость материала. Причем, изменение последней тесно связано с параметрами отжига и с величиной исходных остаточных напряжений.

Рассмотрим с этих позиций основные параметры отжига.

Скорость нагрева. Для сокращения цикла нагрев стараются проводить с максимальной скоростью. Однако ее ограничивают в связи с тем, что быстрый нагрев деталей может вызвать образование трещин из-за возникновения значительных термических напряжений, совпадающих, как правило, по знаку с остаточными.

Установлено, что отношение температурных перепадов, возникающих в любой паре точек отливки при ее быстром нагреве в печи и охлаждении в песчаной форме, действительно является постоянным [29]. Знаки температурных перепадов при этом противоположные. Отсюда получается подобие полей остаточных напряжений в отливке и температурных напряжений, возникающих при быстром нагреве.

Таким образом, при быстром нагреве отливка испытывает дополнительные напряжения, которые, с одной стороны, способствуют снятию остаточных напряжений за счет пластических деформаций, а с другой — повышению релаксационной стойкости материала за счет тех же пластических деформаций. Однако при современном отжиге оба эти явления не могут реализоваться в достаточной степени. Процесс снятия напряжений за счет дополнительной термической нагрузки быстро затухает, так как сама нагрузка уменьшается по мере прогрева детали и выравнивания температур в различных ее сечениях. Последующая продолжительная выдержка при повышенных температурах снимает упрочнение, возникшее в процессе быстрого нагрева, и снова снижает релаксационную стойкость.

Анализ режимов термической обработки, применяемых на практике, показывает, что скорость нагрева для разных отливок колеблется от 30 до 180° С/ч. При этом, чем крупнее и сложнее отливки, тем ниже рекомендуется скорость нагрева. Для большинства базовых корпусных деталей средних станков приемлема скорость 100—150° С/ч, хотя часто, как показывает опыт использования метода термоударов, скорость нагрева может быть выше.

Температура выдержки. Чем выше температура, тем полнее снимаются остаточные напряжения. Особенно интенсифицируется процесс релаксации при температурах более 400° С. Следует отметить, что с повышением прочности чугуна для достижения одинакового снижения напряжений необходимую температуру нагрева несколько увеличивают [3]. Однако во многих случаях температуру нагрева ограничивают из-за структурных изменений в отливке, понижающих твердость и прочность чугуна.

Графитизация, даже при относительно небольшом развитии, сопровождается ухудшением механических свойств. Например, твердость образцов из чугуна СЧ 32-52, отожженных при 650°C в течение 6 ч, снизилась на $HV\ 20-25$. При обычном металлографическом исследовании заметных изменений в микроструктуре образцов не было обнаружено. Только с помощью электронного микроскопа процесс графитизации удалось зафиксировать по появлению тонкой ферритной оторочки около графитовых включений.

Дополнительное влияние на снижение твердости оказывает продолжительность выдержки при максимальной температуре. После обобщения всех результатов появляется возможность предложить для случаев, когда важно сохранить исходные механические свойства, зависимость максимальной температуры отжига от прочности чугуна и выдержки:

$$T_{\max} = 3,5\sigma_b + 500 - 2\tau, \quad (1)$$

где σ_b — временное сопротивление чугуна разрыву, кгс/мм^2 ;
 τ — выдержка при максимальной температуре, ч.

Если повышение температуры отжига благоприятствует снятию остаточных напряжений, то на релаксационную стойкость это оказывает не однозначное воздействие.

Изменение относительной деформации в кольцевых образцах из чугуна СЧ 21-40 под действием релаксации оставшихся после отжига при различных температурах напряжений показано на рис. 187, а. Методика определения пластических деформаций и релаксации остаточных напряжений в кольцевых образцах изложена в работах [7, 66]. Одну партию отливок до отжига нагружали на величину $0,3\sigma_{\text{виз}}$, другую — $0,7\sigma_{\text{виз}}$. Наблюдение после отжига продолжали до полного прекращения релаксации, что составило 10—15 мес. За 100% была принята пластическая деформация (в указанный период) контрольных образцов, не подвергавшихся отжигу. На рис. 187, б показано изменение относительной пластической деформации образцов под действием приложенной сразу после отжига кратковременной удельной нагрузки 1 кгс/мм^2 (сверх оставшихся напряжений). Исходная нагрузка перед отжигом $0,3\sigma_{\text{виз}}$. Это испытание имитирует влияние внешних кратковременных нагрузок, возникающих при сборке и эксплуатации. На рис. 187, в показано изменение остаточных напряжений в процессе отжига при разных температурах и тех же исходных напряжениях.

Первое, что следует из рис. 187, — это разный характер кривых снятия остаточных напряжений и последующего коробления изделий.

Коробление от остаточных напряжений резко снижается уже после отжига при $200-230^{\circ}\text{C}$ (особенно для исходных нагрузок $0,7\sigma_{\text{виз}}$), хотя сами напряжения снизились всего на 10%. Этот

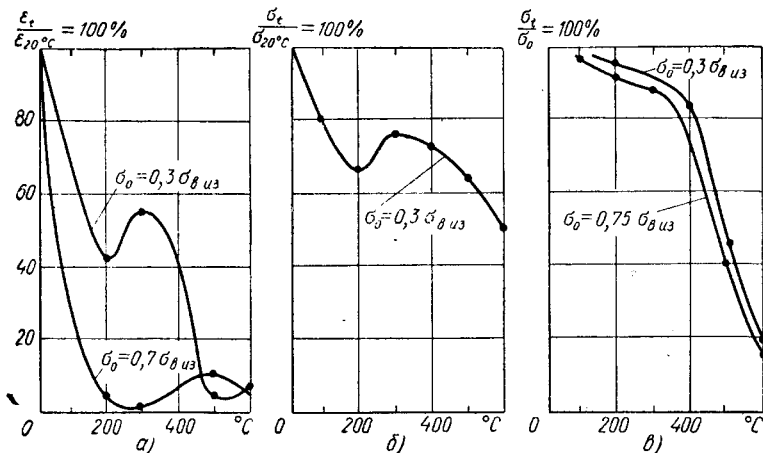


Рис. 187. Изменение остаточных напряжений и коробление образцов в зависимости от температуры отжига и исходной величины остаточных напряжений σ_0 .

эффект можно объяснить только повышением релаксационной стойкости материала в результате упрочнения, сопутствующего релаксации напряжений.

Выше 400° С, когда металл приобретает соответствующую пластичность, начинается интенсивная релаксация напряжений (рис. 187, в). Поэтому пониженное коробление деталей после отжига при этих температурах (рис. 187, а) объясняется в основном малой величиной остаточных напряжений, так как релаксационная стойкость материала с повышением температуры, способствующим протеканию процессов разупрочнения, должна ухудшаться.

Изучение температурной зависимости внутреннего трения, электросопротивления и теплоемкости чугуна показывает, что в интервале 200—400° С интенсивно протекает деформационное старение, аналогичное процессу старения деформированной перлитной стали при этих температурах [81]. Эффективность этого процесса, как видно из рис. 187, а, сильно зависит от величины исходных остаточных напряжений и тем выше, чем выше последние. Таким образом, для достижения минимального коробления, как от действия остаточных напряжений, так и внешних нагрузок в большинстве случаев целесообразно проводить отжиг при максимально возможных температурах [уравнение (1)].

Однако из данных рис. 187, а и б следует также, что для некоторых деталей (когда максимальные напряжения выше $0,5\sigma_{\text{в}}$) может оказаться приемлем и отжиг при 200—300° С. Опыт показывает, что коробление деталей в некоторых случаях будет одинаковым после отжига при максимальных температурах и температуре 200—300° С. Очевидно, что такой режим может на практике

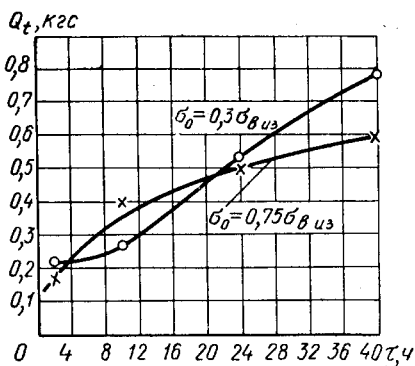


Рис. 188. Релаксация напряжений в отожженных чугуновых образцах в зависимости от продолжительности выдержки при отжиге (Q_t — изменение нагрузки в образцах)

использоваться для серийных отливок, для которых его эффективность доказана опытным путем.

Продолжительность выдержки. Выбор продолжительности выдержки при отжиге также связывают с развитием процесса релаксации во времени. Кривые

релаксации чугуна при различных напряжениях показывают, что наиболее интенсивно она протекает в первые часы (до 3—4 ч). Если за 100% принять достигаемое в течение 4 ч снижение напряжений, то увеличение продолжительности выдержки до 24 и 48 ч дает прибавку только на 4,5 и 7,5 соответственно. Наряду с этим увеличение выдержки вызывает более полное протекание процессов разупрочнения материала, что понижает релаксационную стойкость.

На рис. 188 показана релаксация напряжений, оставшихся в чугуне после отжига с различной продолжительностью выдержки. Параметры отжига, кроме выдержки образцов при температуре отжига, были одинаковые. Увеличение продолжительности выдержки почти пропорционально увеличивает последующую релаксацию напряжений. Отсюда следует, что стремление обеспечить несколько большее снижение напряжений за счет удлинения выдержки приведет к отрицательным результатам по короблению. Целесообразно придерживаться оптимальной выдержки, связанной с периодом интенсивной релаксации напряжений. Для большинства случаев оптимальная продолжительность выдержки будет 2—3 ч.

Период охлаждения. Правильное охлаждение отливок в процессе отжига имеет первостепенное значение, особенно в интервале упруго-пластического состояния материала. Нижнюю границу этого интервала можно приблизительно связать с составом (маркой) чугуна. Для чугуна СЧ 15-32 границей является температура 300°C ; для чугунов СЧ 21-40 и СЧ 24-44 — 350°C и для чугунов СЧ 28-48, СЧ 32-52 и СЧ 35-56 — 400°C [66]. Безопасная скорость охлаждения до этих температур во многом зависит от сложности конструкции литой детали. Анализ различных данных [4, 54] приводит к выводу, что скорости охлаждения отливок после выдержки в упруго-пластической зоне чугуна могут быть 50°C/ч , а для простых отливок и несколько выше. Но это относится только к снижению остаточных напряжений.

Однако нужно учитывать сложность напряженного состояния детали.

К напряжениям I рода относятся напряжения, возникшие вследствие изменения коэффициента линейного расширения чугуна из-за структурной неоднородности в отливке в связи с различными условиями охлаждения отдельных ее частей. Не следует забывать напряжения в самом зерне перлита и напряжения, возникающие вследствие различия коэффициентов линейного расширения графита и металлической основы.

Особенно важно, что структурные напряжения практически не меняются в результате обычного низкотемпературного отжига, так как по мере подъема температуры они уменьшаются и, следовательно, мало релаксируют, а при охлаждении детали возникают вновь. Структурные напряжения, складываясь с напряжениями, оставшимися после выдержки, интенсифицируют релаксационные процессы и, следовательно, увеличивают коробление детали.

Для уменьшения влияния этих напряжений на процесс коробления необходимо дать возможность им также прорелаксировать. Релаксация указанных напряжений возможна только когда они достигают заметной величины, а это происходит с понижением температуры детали, что, естественно, ухудшает условия релаксации. Единственным параметром, который может повлиять на этот процесс, является время. Следовательно, обеспечить частичную релаксацию структурных напряжений можно лишь увеличением периода охлаждения, причем не в верхнем интервале температур, где этих напряжений почти нет, а в нижнем, когда они достигают значительной величины.

На рис. 189 показано влияние различных режимов охлаждения на последующее коробление образцов после отжига их при 550°C . Как видно, изменение скорости охлаждения с 9 до $30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ в верхнем интервале температур $550-350^{\circ}\text{C}$ не изменило последующего коробления.

Распространение медленной скорости охлаждения на нижний интервал температур уменьшило последующее коробление, причем тем заметнее, чем ниже была скорость охлаждения (кривые 2, 3 и 4). Важность нижнего интервала охлаждения подтверждается результатами измерения релаксации после отжига с повышенной скоростью охлаждения в интервале $550-350^{\circ}\text{C}$ и резко замедленной в нижнем интервале (кривая 5).

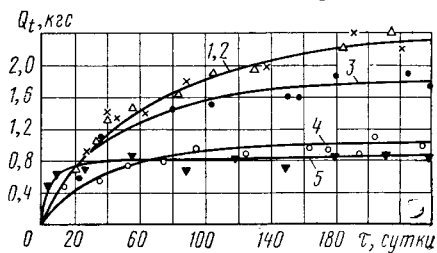


Рис. 189. Влияние режима охлаждения на последующую релаксацию чугунных образцов

Образец	Скорость охлаждения $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ при температурах, $^{\circ}\text{C}$	
	550—350	350—50
1	30	100
2	9	100
3	30	30
4	9	9
5	50	9

РЕЖИМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА

Масса отливок, кг	Конфигурация отливок	Примеры деталей станков	Класс точности станков	Температура за- грузки в печь, °C (не более)	Скорость нагре- ва, °C/ч (не бо- лее)	Выдержка, ч	Температура выдержки отливок из чугуна, °C				Скорость охлаж- дения, °C/ч (не более)	Температура вы- грузки, °C (не более)
							СЧ 35-56	СЧ 32-52	СЧ 28-48	СЧ 21-40	СЧ 15-32	
До 500	Простая	Плиты, цилиндры и т. п.	Н	200	200	2-3	—	570 ± 15	550 ± 35	520 ± 30	50	200
	Сложная	Корпусные детали, ста- нины, делительные колеса и т. п.	П	200	150—200	2-3	620 ± 15	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	10—20	200
	Простая	Цилиндры, каретки и т. п.	Н	150—200	100—150	2-3	—	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	30	200
	Сложная	Корпусные детали, ста- нины, стойки, столы и т. п.	П	150	100—150	2-3	620 ± 15	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	10—20	150
2000	Простая	Цилиндры, каретки и т. п.	Н	150—200	150	2-3	—	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	30	150
	Сложная	Корпусные детали, ста- нины, стойки, столы и т. п.	П	150	100	2-3	620 ± 15	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	10—15	150
	Простая	Планшайбы, плиты и т. п.	Н	150	100	2-3	—	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	30	150
	Сложная	Станины, колонны, тра- версы	П	100	50—100	2-3	620 ± 15	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	30	100
2000—7000	Простая	Плиты, цилиндры и т. п.	Н	200	200	2-3	—	570 ± 15	550 ± 35	520 ± 30	50	200
	Сложная	Корпусные детали, ста- нины, делительные колеса и т. п.	П	200	150—200	2-3	620 ± 15	570 ± 15	550 ± 15	520 ± 15	10—20	200

Примечания: Н — станки нормальной точности; П — станки повышенной точности (прецизионные).
2. Скорость охлаждения, начиная с 300—350°С, можно увеличить до 100—200°С/ч.

Рис. 190. Коробление отливок после отжига в зависимости от объема последующей механической обработки

Последующая релаксация не превысила величин, характерных для случая равномерного охлаждения со скоростью 9°C/ч во всем интервале. Период охлаждения оказался меньше на 30 %, что наиболее интересно для практики.

Изложенные выше соображения послужили основой для рекомендаций режимов отжига, приведенных в табл. 55 [48].

Нужно отметить, что проведенные исследования показали нецелесообразность использования одинаковой скорости охлаждения от температуры отжига до температуры выгрузки. Очевидно, от температур отжига до 350°C можно рекомендовать во всех случаях скорость охлаждения до 50°C/ч . В то же время ниже температур 350°C до температур выгрузки целесообразно снизить скорость охлаждения против рекомендуемых в работе [48].

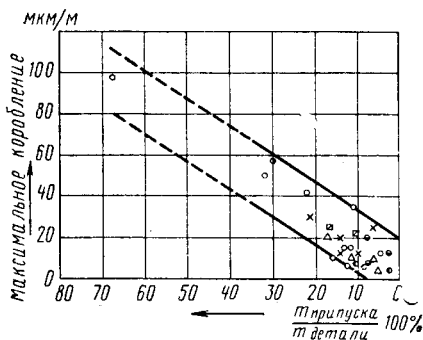
Несомненно, на конечные результаты влияет не только правильный выбор режима отжига, но и технология процесса, определяемая конструкцией печи, расположением отливок на подине, методами контроля и автоматического регулирования теплового режима и т.д.

В заключение следует отметить, что даже оптимальный режим отжига не ликвидирует полностью причины коробления. В детали после отжига всегда остаются способные релаксировать напряжения. Пластические деформации под действием кратковременной перегрузки не позволяют полностью с помощью отжига решить проблему геометрической стабильности. Даже после отжига с максимально возможными по уравнению (1) температурами эта деформация составляет более 55 % от исходной величины (рис. 187, б).

Поскольку после отжига обычно детали подвергаются окончательной механической обработке, которая перераспределяет поле оставшихся в отливке напряжений и усугубляет процесс их релаксации, целесообразно эту оценку связывать и с технологией механической обработки.

На рис. 190 приведены данные исследования коробления различных станочных деталей массой 0,7—1650 кг. По оси абсцисс отложено количество металла (в процентах), снятое при механической обработке после низкотемпературного отжига, отнесенное к чистой массе деталей; по оси ординат — максимальное коробление в деталях на 1 м длины, т. е. ϵ/l .

Несмотря на резкое отличие конструкций сравниваемых деталей, зависимость величины коробления от объема механической обработки очевидна. Безусловна также связь коробления с жест-



костью деталей. Чем меньше жесткость, тем больше при прочих равных условиях коробление отливки [3].

Для оценки величины коробления может быть использована экспериментальная зависимость между максимальным короблением K детали изделия и массой m отливки:

$$K = 0,1 \frac{L}{m^{0,271}}, \quad (2)$$

где L — основной габаритный размер детали, м; m — масса детали, кг ($1 \leq m \leq 10\,000$).

Формула (2) дает представление о максимально возможном короблении деталей от релаксации остаточных напряжений после отжига по оптимальным режимам и окончательной механической обработки (припуск 3—5 мм). При расчете по формуле (2) для ряда деталей получают значительный запас. Однако из-за большого разнообразия конфигураций литых деталей для них практически невозможно получить точные общие количественные зависимости. Здесь оказывается приемлемым метод группировки деталей по основным конструктивным признакам для установления необходимых закономерностей в пределах каждой группы [67].

Можно утверждать, что для большинства деталей высокоточных станков, которые при эксплуатации испытывают удельные нагрузки более $0,5\text{—}1 \text{ кгс/мм}^2$, недостаточно низкотемпературного отжига.

Что касается слабо нагруженных деталей, то, пользуясь чертежом отливки, необходимо сопоставить их возможное коробление после отжига от релаксации остаточных напряжений по формуле (2) с требованиями по точности. В ряде случаев это дает основания для ограничения процесса старения только отжигом.

Для окончательной стабилизации деталей отжиг может быть использован в комбинации с другими видами старения: естественным старением, вибрацией, статической перегрузкой и т. д.

3. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ

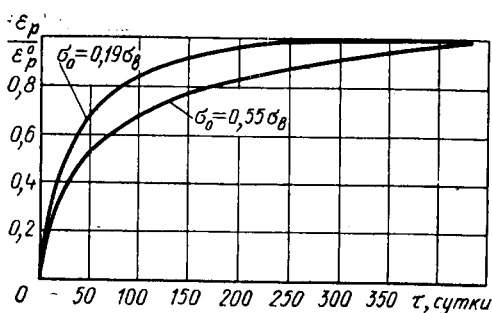
Естественное старение. Этот вид старения заключается в длительном вылеживании предварительно обработанных деталей. Деформационным этот метод является потому, что при вылеживании чугуна повышается его релаксационная стойкость даже в случае отсутствия в нем напряжений I рода.

Процесс релаксации напряжений, естественно, сопровождается короблением отливок, окончание которого можно и считать концом процесса старения. Величина коробления, а также его продолжительность зависят прежде всего от величины начальных остаточных напряжений. Чем ниже напряжения в отливках, тем быстрее наступает стабилизация размеров детали в требуемых пределах.

За все время наблюдения над каждой группой образцов была зарегистрирована максимальная величина ϵ_p^0 пластической де-

Рис. 191. Развитие относительной пластической деформации во время естественного старения:

ϵ_p — пластическая деформация к моменту измерения; σ_0 — начальные напряжения в образцах (остаточные)



формации (рис. 191). Хотя 80% пластической деформации образуется за первые 3 мес. наблюдения, тем не менее даже для напряжений $0,55\sigma_B$ процесс продолжается более года. Не удивительно, что продолжительность старения, по данным различных исследователей, колеблется от 3 мес. до 1,5—2 лет.

На величину коробления при прочих равных условиях решающим образом влияет конструкция отливки. Так, при почти одинаковой средней величине остаточных напряжений после механической обработки детали большой жесткости типа станин резьбошлифовального станка коробятся в случае естественного старения на величину 0,01 мм, тогда как салазки координатно-расточного станка — на 0,02—0,025 мм. Если детали первого типа стабилизируются через 6 мес., то для стабилизации деталей второго типа необходимо значительно больше времени.

Немаловажную роль для повышения релаксационной стойкости материала отливки, особенно против действия внешних нагрузок, играют дополнительные напряжения, вызванные колебаниями температуры внешней среды при естественном старении. Изменение величин временных напряжений, возникающих в процессе старения на открытом воздухе в различных точках салазок вертикально-фрезерного станка массой около 200 кг, показывает, что в процессе естественного старения в отливке непрерывно происходят циклические изменения поля напряжений [28]. Эти изменения вызываются колебаниями температуры от максимальной днем до минимальной ночью (длительные колебания) и резким нагревом или охлаждением отдельных частей отливки в результате действия солнечных лучей, кратковременного дождя, резкого порыва ветра и т. д.

Величина временных температурных напряжений достигает при этом 1,5—2,5 кгс/мм², а иногда и больше. За 1,5 мес. напряжения циклически менялись более 250 раз. Таким образом, налицо «тренировка» отливки дополнительными напряжениями. Именно поэтому давно замечено, что лучшие результаты дает вылеживание деталей на открытом воздухе.

Хотя к моменту полной стабилизации остаточные напряжения в отливке снижаются всего на 3—10%, этот способ является одним из самых универсальных, пригодным для отливок любой конфи-

гурации и массы, а также надежным с точки зрения устранения коробления литых деталей.

Основным недостатком процесса является большая длительность, что требует больших запасов отливок.

Продолжительность естественного старения для деталей, требуемая точность которых не превышает 0,02—0,03 мм на 1000 мм длины, составляет 6—9 мес. после предварительной механической обработки; для деталей при требуемой точности 0,005—0,010 мм на 1000 мм длины продолжительность старения должна быть увеличена до 12—18 мес., причем через 12 мес. целесообразно произвести получистовую обработку деталей.

В большинстве случаев, однако, целесообразно использовать естественное старение в сочетании с предварительным низкотемпературным отжигом для снятия напряжений. Так как при отжиге уровень остаточных напряжений существенно понижается, необходимые сроки вылеживания значительно сокращаются, а качество литых деталей с точки зрения требуемой стабильности формы остается весьма высоким. При использовании дополнительного естественного старения его срок в большинстве случаев составляет 3—6 мес.

Вибрационное старение. Сущность этого метода состоит в том, что в результате действия циклических напряжений, возникающих при вибрационной обработке, материал отливки подвергается принудительному пластическому деформированию. Следствием этого, как уже отмечалось выше, является упрочнение материала литой детали в зонах деформации при некотором снижении остаточных напряжений, что приводит в итоге к последующей стабилизации геометрической формы. Снижение напряжений здесь так же, как и при естественном старении, невелико (5—15%).

Основным преимуществом этого метода по сравнению с естественным старением является его малая продолжительность. Кроме того, при вибрации можно создать в литой детали более высокие временные напряжения, чем возникают при естественном старении. В связи с этим материал детали в первом случае будет обладать, при прочих равных условиях, большей стойкостью против коробления от действия внешних нагрузок.

Степень пластического деформирования чугуна при вибрационной обработке зависит не только от циклических напряжений, возникающих при вибрации, но и от остаточных напряжений, имеющих в отливке. Поскольку исходная величина остаточных напряжений в отливках может колебаться в широких пределах, вплоть до величины напряжений, близких к разрушающим, оптимальные условия вибрационной обработки для различных литых деталей должны быть также различными. В настоящее время нет средств, позволяющих быстро и надежно определять остаточные напряжения в фасонных отливках без их разрушения, поэтому целесообразна разработка унифицированных режимов вибрации для отливок с различным уровнем остаточных напряжений.

Важнейшим из параметров вибрационной обработки является величина временных напряжений, возникающих в детали при вибрации, — амплитуда циклических напряжений. Более точно, решающее значение имеет отношение амплитуды циклических напряжений к величине остаточных напряжений в отливке. Это отношение условно названо коэффициентом перегрузки K_{Π} .

На рис. 192 представлены результаты наблюдения за короблением образцов после вибрационного старения. Несмотря на различные начальные условия, кривые коробления располагаются в соответствии с коэффициентом перегрузки и уже при сравнительно небольшом $K_{\Pi} = 0,07$ последующее коробление от действия остаточных напряжений резко уменьшается до 0,4 от максимального коробления без вибрации.

Даже при минимальном коэффициенте перегрузки продолжительность коробления не более 2 мес., т. е. в 5—7 раз меньше, чем без вибрации. Минимальное коробление, граничащее с возможной точностью измерений, наблюдается при коэффициенте перегрузки выше 0,45. Следовательно, чем выше величина остаточных напряжений в отливке, тем больше должна быть величина амплитуды циклических напряжений при вибрации.

Однако при высоких остаточных напряжениях использование больших амплитуд увеличивает опасность разрушения детали в процессе обработки. На рис. 193 приведена диаграмма предельных напряжений при циклическом нагружении чугуна. Сплошные линии ограничивают на ней величину максимально возможной (без разрушения образца) амплитуды циклических напряжений при различной исходной нагрузке, вплоть до σ_B . Естественно, что для минимальных исходных напряжений эта амплитуда максимальна, а при исходной нагрузке, равной σ_B , амплитуда равна 0. Исходная нагрузка в отливках — это остаточные напряжения.

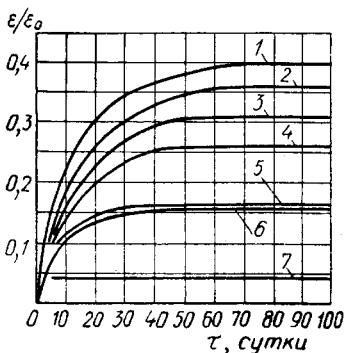


Рис. 192. Влияние коэффициента перегрузки K_{Π} при вибрации на последующее относительное коробление образцов:

ε — пластическая деформация вибрированных образцов; ε_0 — максимальная пластическая деформация образцов без вибрации за время наблюдения при тех же исходных нагрузках

Образец	1	2	3	4	5	6	7
Исходные напряжения до вибрации, кгс/мм ²	10	10	10	10	15	8	8
K_{Π} при вибрации	0,067	0,179	0,200	0,300	0,367	0,375	0,440—0,5

На диаграмму нанесена зона, ограничивающая диапазон минимально необходимых для стабилизации амплитуд вибрации (штриховые линии), соответствующая коэффициенту перегрузки 0,45. Вертикальная линия, проведенная через точки пересечения $n-n^1$, делит всю шкалу возможных остаточных напряжений на две области.

Если отливка попадает в первую область, где остаточные напряжения составляют не более $0,25\sigma_{\text{внз}}$, то достаточно обработать ее с амплитудой $\approx (0,09 \div 0,11) \sigma_{\text{внз}}$. При этом обеспечивается коэффициент перегрузки не менее 0,45 и одновременно исключается опасность разрушения детали, как долго бы не продолжался процесс вибрации.

Для отливок из чугуна СЧ 21-40 в условиях их циклического нагружения изгибающими нагрузками максимальная величина остаточных напряжений в этой области не должна превышать 8—10 кгс/мм². Для всех отливок с такими или меньшими напряжениями может быть эффективно использован унифицированный режим вибрационной обработки с амплитудой циклических напряжений $\pm 3,5$ кгс/мм².

Целесообразное время обработки ограничивается моментом прекращения коробления детали в процессе вибрации. Его можно определить экспериментально, измеряя коробление детали в процессе вибростарения. Имеющиеся данные показывают, что целесообразная продолжительность вибрации при коэффициенте перегрузки, близком к стабилизирующему (0,40—0,50), составляет 3—6 ч.

Однако продолжительность обработки имеет меньшее значение, чем величина амплитуды циклических напряжений. Недостаточный коэффициент перегрузки очень трудно, а подчас и невозможно компенсировать увеличением продолжительности вибрирования.

Для отливок со значительными остаточными напряжениями целесообразно использовать комбинированный режим старения, включающий низкотемпературный отжиг только для снижения остаточных напряжений и последующую вибрацию для окончательной стабилизации. При этом можно применять отжиг с повышенными скоростями охлаждения.

Эксперименты показывают, что исходные остаточные напряжения $(0,25 \div 0,75) \sigma_{\text{внз}}$ снижаются до $(0,10 \div 0,25) \sigma_{\text{внз}}$, т. е. отливки после отжига (по величине оставшихся напряжений) действительно располагаются в первой области (рис. 193), что позволяет в дальнейшем проводить вибрационную обработку по одному, указанному выше режиму.

Кроме двух рассмотренных параметров процесса (амплитуды и времени) существует еще и третий — частота колебаний при вибрации.

Результаты выполненных в ЭНИМСе экспериментов показывают, что изменение частоты вибрации от 33 до 200 Гц при равных

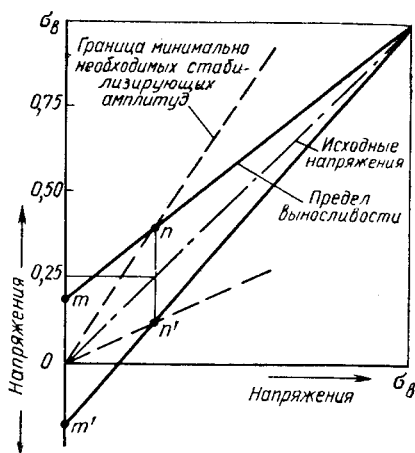
Рис. 193. Диаграмма предельных и стабилизирующих напряжений при вибрации

амплитудах не сказывается существенно на эффективности обработки чугунных деталей. Следовательно, частота вибрации в указанном диапазоне играет второстепенную или, точнее, зависимую роль. Ее следует учитывать только с точки зрения влияния ее на основной параметр вибрации — амплитуду циклических напряжений. Это связано с тем, что наибольшая величина циклических напряжений соответствует наибольшему прогибу (деформации), который периодически возникает в детали при обработке. Величина же этой деформации зависит от жесткости детали, способа крепления ее при вибрационной обработке и от параметров работы источников вибрации — амплитуды и частоты вынужденных колебаний. Если частота последних будет близка к частоте собственных колебаний отливки (при данном способе ее закрепления во время обработки), то деформация отливки может почти на порядок превышать амплитуду вынужденных колебаний. Такой режим работы, называемый резонансным, позволяет получить в детали необходимые по величине циклические напряжения при резком снижении требуемой мощности оборудования. Именно поэтому частоту вынужденных колебаний целесообразно выбирать равной или кратной собственной частоте колебаний обрабатываемой детали.

Таким образом, вибрационное старение наиболее целесообразно использовать для литых деталей сравнительно небольшой жесткости с одним или двумя преобладающими размерами (длинные невысокие станины, столы, плиты, планки и т. п.), особенно если они испытывают заметные нагрузки при эксплуатации. Именно в деталях такого типа за счет изгиба при вибрации достаточно легко создать требуемые по величине циклические напряжения.

Закреплять деталь нужно так, чтобы она свободно деформировалась в результате колебательного движения. Поэтому обрабатываемые детали крепят консольно (рис. 194), либо защемляют за два конца и т. п., между деталями и плитой вибрационной установки должен быть необходимый зазор.

Чугунные детали массой до 1,5—2 т целесообразно обрабатывать на специальных вибрационных установках, детали большей массы — путем непосредственного крепления к ним источников вибрации.



Основные требования к промышленному оборудованию для вибрационного старения чугунных деталей следующие:

1. Основная плита стенда должна иметь высокую жесткость. Неравномерность распределения амплитуды вибрации по плите вибростенда допускается не более 20 %;

2. На подвижной плите должны располагаться устройства для быстрого и надежного закрепления обрабатываемых деталей различной конфигурации (детали длиной до 1000 мм целесообразно крепить консольно; свыше этой длины — с двух сторон или в середине).

3. Снизу к плите крепить взаимно перпендикулярно в горизонтальной плоскости два вибратора. Конструкция вибратора должна предусматривать возможность регулирования амплитуды вынужденных колебаний всей системы (основная плита, вибраторы, обрабатываемые детали). Диапазон регулирования амплитуды 0,1—0,5 мм.

4. Подвижную плиту устанавливать на упругих опорах, причем основная частота собственных колебаний плиты с учетом массы обрабатываемых деталей не должна превышать 2—5 Гц.

5. Привод должен давать возможность плавно регулировать частоту вынужденных колебаний в процессе работы стенда в минимальном диапазоне 25—50 Гц, что позволит производить обработку в резонансном режиме с использованием частоты собственных колебаний обрабатываемых деталей.

6. Стенд должен иметь контрольно-измерительные и регулирующие устройства, позволяющие поддерживать заданный режим вибрации и работать по программе.

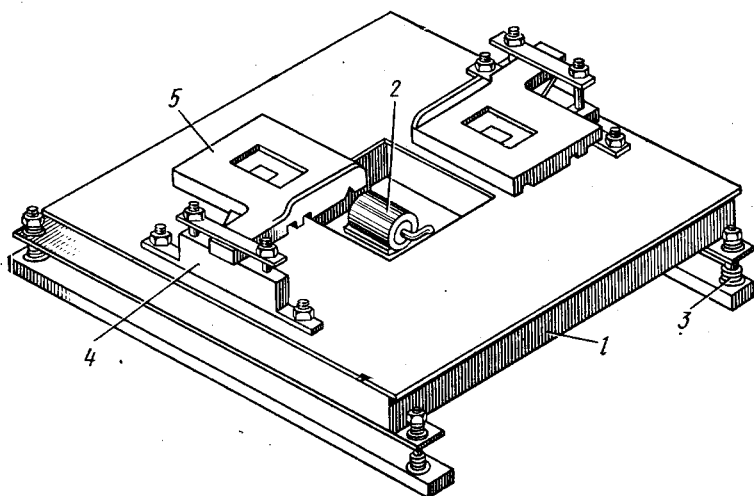


Рис. 194. Схема вибростенда с обрабатываемыми деталями:

1 — плита вибростенда; 2 — вибраторы; 3 — амортизаторы; 4 — приспособление для закрепления деталей; 5 — обрабатываемые детали

Произведена обработка режимов вибрации реальных деталей: верхних и нижних столов круглошлифовальных станков, корпуса и станины фрезерного станка, салазок координатно-расточного станка [2, 31]. Во всех случаях, когда удавалось обеспечить оптимальную амплитуду циклических напряжений $\pm (3—4)$ кгс/мм² после 3—6 ч обработки, фиксировали практически полную стабилизацию геометрических размеров.

Из-за повышенной жесткости корпуса станка (масса 38 кг, габаритные размеры 635×215×156 мм) и его станины (масса 102 кг, габаритные размеры 870×446×214 мм), даже при консольном варианте их крепления не удалось получить циклические напряжения более $\pm (2,5 \div 2,7)$ кгс/мм². Коробление в этих случаях, как и в других подобных [100], резко уменьшается по величине и его продолжительность не превышает 1—3 мес.

Проверка поведения состаренных деталей под действием кратковременных внешних нагрузок показала, что они сохраняют свою геометрическую форму в пределах нагрузок, возникавших в них в процессе вибрационной обработки.

Старение методом статической перегрузки. Этот метод старения основан на том же самом принципе, что и метод вибрационной обработки и имеет с ним много общего (рис. 184). Разница заключается только в том, что процесс пластического деформирования осуществляется под действием статических нагрузок.

Как и при вибрации, решающим фактором, определяющим эффективность такой обработки, является коэффициент перегрузки. Однако в связи с тем, что процесс пластического деформирования при статическом нагружении (по сравнению с динамическим) протекает менее интенсивно, величина коэффициента перегрузки для достижения полной стабилизации должна быть 1,2—1,3, т. е. примерно в 2—3 раза больше, чем при вибрации.

При использовании рассматриваемого метода также существует в ряде случаев опасность разрушения детали.

С тем чтобы исключить возможность разрушения детали, целесообразно ограничить суммарные напряжения при перегрузке величиной $(0,60—0,75) \sigma_b$. Именно эти нагрузки являются предельными для получения максимального упрочнения (рис. 186).

При таком ограничении метод применим для стабилизации литых деталей из чугуна СЧ 21-40 в случаях, если величина остаточных напряжений изгиба в них не превышает 12—15 кгс/мм², т. е. даже выше, чем при вибрационной обработке. Для всех отливок с указанными и меньшими напряжениями величина напряжений при изгибающей статической перегрузке должна быть 14—18 кгс/мм².

При величине остаточных напряжений в отливке больше 12—15 кгс/мм² метод статической перегрузки, так же как и вибрационное старение, следует применять после предварительного низкотемпературного отжига.

Помимо степени перегрузки эффективность обработки существенно зависит от кратности нагружения и времени нахождения детали под нагрузкой. Оба параметра необходимо выбирать исходя из того, чтобы процесс пластического деформирования при данной степени перегрузки в основном закончился. Исследования показывают, что эта цель достигается после 4—6 нагружений при общем времени пребывания детали под нагрузкой в пределах 1 ч (10—15 мин при каждом нагружении), хотя по некоторым данным, видимо, при малой величине остаточных напряжений нагружение может быть короче (весь цикл 10—15 мин) [14]. В конкретном случае необходимое время обработки и требуемая кратность могут быть уточнены с помощью последовательных измерений геометрической формы деталей после каждой ступени нагружения.

Область применения рассматриваемого метода старения целесообразно ограничить литыми деталями балочного типа (столы, планки, длинные станины и т. п.), в которых наиболее легко создать временные напряжения требуемой величины.

Определенным достоинством метода по сравнению с вибрацией является относительная простота его практического осуществления. В ряде случаев он может быть использован без применения какого-либо специального оборудования путем нагружения деталей на прессах [9], грузами, домкратами и т. д. Особенно удобно это для крупных деталей вместо громоздкого печного оборудования.

Направление нагружения при старении перегрузкой должно совпадать с направлением остаточных напряжений и напряжений, возникающих в детали при эксплуатации станка. Только в этом случае состаренная деталь не будет коробиться.

Определить направление остаточных напряжений в фасонных отливках сложно. Однако в отливках есть плоскости наименьшей жесткости, где действие напряжений наиболее опасно. Например, у стола шлифовального станка плоскость наименьшей жесткости перпендикулярна рабочей плоскости. В процессе эксплуатации стол опирается продольными направляющими на станину, а на поперечные направляющие давит корпус каретки. Отсюда статическое нагружение этой детали целесообразно производить по схеме, приведенной на рис. 195, а. Стол устанавливают на две опоры продольными направляющими книзу, а нагрузку прикладывают сверху в середине детали. Для траверсы шлифовального станка, где основное направление нагрузок при эксплуатации четко не выявляется, целесообразно производить нагружение в двух направлениях наиболее вероятного коробления: в направлении P_1 и P_2 (рис. 195, б и в).

Старение статической перегрузкой осуществимо также, когда направление коробления неизвестно, для этого необходимо детали нагружать последовательно в различных направлениях (в том числе иногда и на скручивание). Для этого целесообразно применять специальное оборудование, обеспечивающее достаточно высокую производительность.

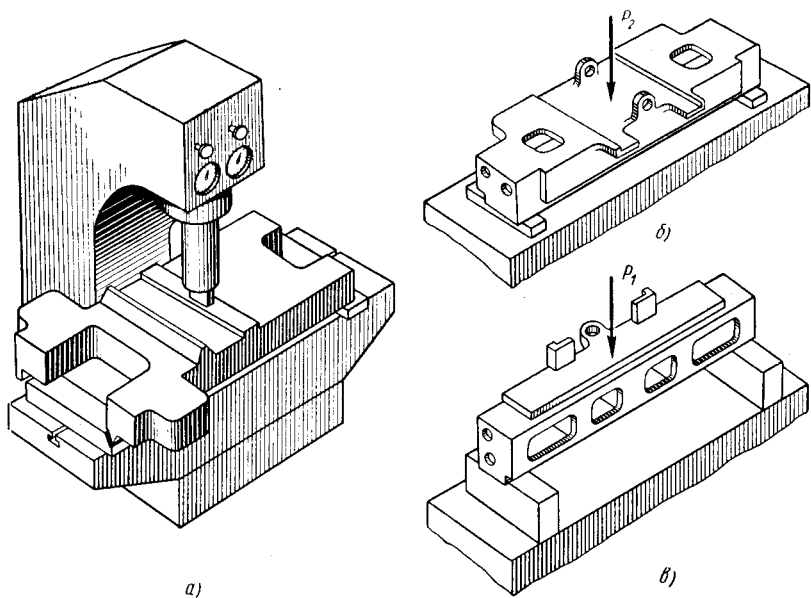


Рис. 195. Схема обработки деталей статической нагрузкой на прессе:
 а — нагружение стола шлифовального станка; б и в — нагружение траверсы

Необходимо подчеркнуть, что основной целью старения статической перегрузкой (так же как вибрационного старения) является повышение релаксационной стойкости, хотя при этом величина остаточных напряжений может быть снижена на 20—30 %.

4. МЕТОДЫ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Стойкость против коробления материала отливки особенно повышенной жесткости и сложной конфигурации можно увеличить созданием в них временных дополнительных температурных напряжений.

Удобным способом создания таких напряжений в чугунных отливках является быстрый нагрев их (так называемый термоудар), при котором из-за неравномерного прогрева различных участков возникают временные температурные напряжения, совпадающие по направлению с остаточными напряжениями. Величина этих напряжений зависит главным образом от конфигурации деталей и от условий их прогрева или охлаждения.

Эффективность старения чугунных деталей с помощью термоударов зависит в конечном счете от степени пластического деформирования чугуна в процессе обработки, которая, в свою очередь, определяется условиями нагружения: величиной и направлением

временных температурных напряжений, периодом их действия и числом нагружений.

Таким образом, наблюдается полная аналогия с процессом старения чугунных деталей статической перегрузкой.

Основным преимуществом описываемого метода по сравнению с вибрационным старением и старением статической перегрузкой является возможность дополнительного нагружения литой детали, обладающей любой конструктивной жесткостью, причем нагружение автоматически осуществляется в требуемом направлении.

Основное отличие от указанных методов в том, что нагружение детали связано с большим или меньшим повышением ее температуры. Но при этом необходимы такие температурные условия для проведения процесса, при которых не могли бы резко сказаться отрицательные последствия разупрочнения.

Наилучшие результаты с точки зрения упрочнения деталей могут быть получены в интервале $200\text{--}400^\circ\text{C}$ (рис. 185). Следовательно, максимальная температура наиболее прогретых частей детали не должна выходить за этот интервал. Более высокие температуры нагрева будут интенсифицировать процесс разупрочнения материала и снижать эффективность обработки.

Вторым важнейшим параметром является величина термических напряжений, которая должна быть тесно связана с величиной остаточных напряжений. С одной стороны, сумма остаточных напряжений с временными термическими напряжениями не должна превышать предела прочности чугуна, чтобы устранить разрушение детали. С другой стороны, степень пластической деформации, создаваемой временными термическими напряжениями, должна быть достаточной для создания необходимого упрочнения, при котором материал отливки будет обладать требуемой релаксационной стойкостью.

На рис. 196 показано уменьшение коробления и остаточных напряжений в образцах с исходными напряжениями $0,25\sigma_B$, подвергавшихся обработке методом термоудара, с различным коэф-

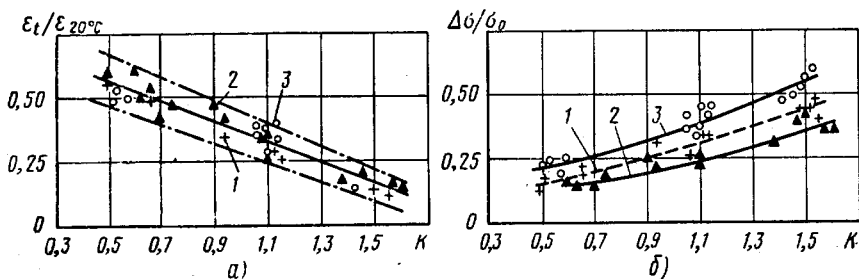


Рис. 196. Уменьшение коробления (а) и снижение напряжений (б) в зависимости от коэффициента перегрузки. Максимальная температура нагрева:

1 — 200°C ; 2 — 300°C ; 3 — 400°C

фициентом перегрузки при разных максимальных температурах нагрева [27]. Специальное приспособление позволяло имитировать возникновение термических напряжений в результате быстрого нагрева. Нагрузка на образец увеличивалась по мере его прогрева. Средняя скорость нагрева $20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. После термической обработки проверяли стабильность размеров образцов до полного прекращения их коробления. Эффективность режима оценивали сравнением максимального коробления термически обработанных образцов ε_p^t с короблением контрольных образцов ε_p^0 , не подвергавшихся термической обработке и имевших те же исходные напряжения.

При коэффициенте перегрузки $K_n > 1,5$ последующее коробление уменьшается в 10 раз и более. Снижение остаточных напряжений при $K_n > 1,5$ и температуре $200\text{--}400^{\circ}\text{C}$ составляет не менее $30\text{--}50\%$. После такой обработки резко сокращается продолжительность коробления. При коэффициенте перегрузки $0,5$ коробление прекращается спустя $2\text{--}3$ мес. после термической обработки, при $K_n > 1,5$ стабильность достигается в течение $2\text{--}3$ последующих суток.

В случае недостаточного коэффициента перегрузки эффективность старения может быть увеличена в результате использования нескольких циклов быстрого нагрева. Трехцикловая обработка повышает эффективность на $30\text{--}40\%$ по сравнению с одноцикловой.

Практически процесс старения литых деталей может осуществляться на имеющемся оборудовании, предназначенном для низкотемпературного отжига, и на специальном.

Литые детали рассматриваемым методом обрабатываются следующим образом.

Печь предварительно прогревают до заданной температуры. Обрабатываемые детали транспортным устройством быстро помещаются в камеру печи и выдерживаются в ней в течение определенного времени для создания требуемой температурной неравномерности. После того как температура в наиболее быстро прогреваемых участках детали (обычно в тонких стенках) достигает установленного значения, детали извлекают из печи и охлаждают до полного выравнивания температуры. С целью повышения производительности процесса охлаждения деталей можно осуществлять их обдувкой сжатым воздухом или смесью сжатого воздуха и воды.

При расчете режимов термообработки определяют продолжительность выдержки детали в печи при заданной температуре, не допускающей нагрев тонкой стенки более 400°C . Помимо опытной проверки на контрольных отливках с помощью термпар, зачеканенных в стенку, можно ориентировочно определить режим по номограмме, приведенной на рис. 197.

Например, по номограмме для отливки с тонкой стенкой толщиной $\delta = 14$ мм и с массивной стенкой, сопряженной с ней,

$\delta_m = 35$ мм получаем

$$R_c = \frac{\delta}{2} = 7 \text{ мм}; R_m = \frac{\delta_m}{2} = 17,5 \text{ мм}; \frac{R_c}{R_m} = 0,4.$$

Для отливок, к стабильности размеров которых предъявляются особо высокие требования, величина коэффициента перегрузки принимается больше 1,5, а именно $K_n = 1,8$. На рис. 197, а для температуры печи $t_n = 550^\circ \text{С}$ и $K_n = 1,8$ находим величину $a = 0,7$. Затем по установленным значениям $t_n, \delta, R_c/R_m$ по рис. 197, б находим величину $\tau_n = 12,8$ мин. Определяем необходимое время выдержки отливки в печи

$$\tau = a\tau_n = 0,7 \cdot 12,8 = 9 \text{ мин.}$$

Затем по формуле

$$\tau_1 = C\delta,$$

где C берем по рис. 197, а.

Для максимально допустимой температуры нагрева t_c тонкой стенки в печи с заданной температурой t_n проверяем, не превышает ли рассчитанное время перегрева тонкой стенки: в случае при $t_c = 400^\circ \text{С}$ и $t_n = 550^\circ \text{С}$, $C = 0,85$, тогда $\tau_1 = 0,85 \cdot 14 = 11,9$ мин.

Рассчитанное время τ меньше τ_1 , следовательно, перегрева отливки не будет.

Приведенные рекомендации по выбору режимов относятся к отливкам, у которых максимальные остаточные напряжения не превышают 25% σ_R . Отливки с более высокими остаточными напряжениями следует сначала подвергнуть низкотемпературному от-

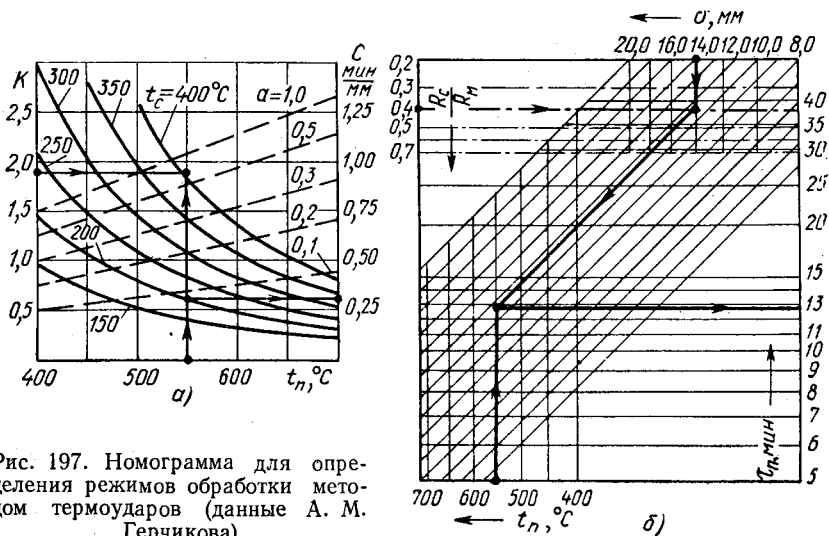


Рис. 197. Номограмма для определения режимов обработки методом термоударов (данные А. М. Герчикова)

жигу, а затем обработке методом термоударов для дополнительной стабилизации размеров. В ряде случаев для таких отливок может быть предложен следующий вариант. Отливки подвергают несколько раз обработке методом термоударов: сначала с заниженным в 2—3 раза коэффициентом перегрузки, который затем постепенно повышают от цикла к циклу до значений, близких к оптимальному. Циклов может быть 3—4. При каждом цикле остаточные напряжения в отливке уменьшаются и опасность разрушения отливки при последующих циклах с повышенным K_p снижается.

Эффективность стабилизации размеров чугуновых отливок различной конфигурации методом термоударов проверяли на деталях шлифовального станка мод. 3В110; токарно-винторезных станков моделей 1Е61М и 1Е61В. Оптимальные режимы обработки выбирали по изложенной выше методике. Во всех случаях коробление деталей в результате старения полностью прекратилось.

5. ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТЛИВОК И ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Все рассмотренные методы по основным факторам, обеспечивающим стабилизацию изделий, можно объединить в три группы.

1. Методы, обеспечивающие стабилизацию в основном за счет значительного снижения начальной величины остаточных напряжений в отливках, — низкотемпературный отжиг при 500—600° С. При этом происходит некоторое упрочнение материала в случае медленного охлаждения отливки.

2. Методы, обеспечивающие стабилизацию за счет повышения стойкости материала литой детали против коробления (его упрочнения) наряду с небольшим снижением первоначальных остаточных напряжений, — вибрационное старение, отжиг до 200—300° С, естественное старение.

3. Методы, обеспечивающие стабилизацию в основном за счет упрочнения материала литой детали, а также существенного снижения остаточных напряжений, — метод термоударов, старение методом статической перегрузки.

Следует остановиться дополнительно на следующем.

После старения с помощью любого метода остаточные напряжения в чугуновых деталях полностью не устраняются. Так как коробление прекращается после достижения равновесия между степенью упрочнения металла и величиной сохранившихся остаточных напряжений, то любое воздействие на деталь, нарушающее это равновесие, вызовет коробление. Например, в результате механической обработки отливок после старения происходит перераспределение сохранившихся в детали остаточных напряжений и увеличение их на отдельных участках. Перераспределение остаточных напряжений тем меньше, чем меньше относительный объем удаляемого металла. Из-за этого стараются предварительную механическую обработку (до старения) производить с максимально

возможным удалением припусков на обработку со всех обрабатываемых поверхностей. Это относится в равной степени ко всем методам старения. Однако следует отметить, что детали, состаренные методами 1 и 2-й группы, будут более чувствительны к операциям окончательной механической обработки.

Для 1-й группы это объясняется низкой релаксационной стойкостью материала отливок после отжига, который определенное время чувствителен к любой перегрузке над уровнем оставшихся в нем напряжений. Для второй группы решающим фактором является высокий уровень оставшихся напряжений, особенно если напряжения после механической обработки в ряде мест отливки поднялись выше предельных напряжений, возникавших в процессе старения.

Нижнюю границу припуска, оставляемого на механическую обработку после старения, должны определять особенности операций механической обработки и величина коробления деталей в процессе старения. Измерения станочных деталей массой 10—1500 кг показали, что их коробление при отжиге (при правильной укладке) не превышает 0,4—0,6 мм. Коробление при вибрационном старении даже столов шлифовальных станков массой 150 кг, размерами 2000×305×108 мм в случае закрепления на вибростенде за 2 конца составляет 0,3 мм; коробление подобной детали при старении статической перегрузкой с необходимым коэффициентом 0,7—0,8 мм; для более жестких деталей не превышает 0,2 мм.

Величина коробления в процессе старения при термоударах находится между значениями коробления при отжиге и вибростарении. Следовательно, припуск на окончательную обработку 2 мм компенсирует возможное коробление деталей в процессе старения.

Применение каждого способа ограничивается конструкцией деталей, величиной остаточных напряжений и эксплуатационных нагрузок, требуемой точностью, поэтому часто приходится использовать комбинированное старение, при котором могут быть реализованы преимущества различных способов. В случае, когда в отливках большие исходные остаточные напряжения, используют комбинацию — отжиг при 500—600° С и любой метод старения 2 и 3-й групп. Причем, чем выше нагрузки, испытываемые деталью при эксплуатации, тем предпочтительнее в качестве второго старения методы, где искусственно создаются значительные перегрузки: вибрация, статическая перегрузка, термоудары. Выбор этих методов в данном случае может определяться конструкцией детали.

При невозможности обеспечить необходимый коэффициент перегрузки вибрационным старением, статической перегрузкой, методом термоударов, применяют комбинацию указанных методов с естественным старением. В этих случаях используется естественное старение малой продолжительности.

Однако нецелесообразна комбинация, при которой первое старение осуществляется методом 2 или 3-й группы, а второе — ме-

тодом 1-й группы, так как упрочнение металла, являющееся основной причиной стабилизации в методах 2 и 3-й группы, снимается при последующем отжиге.

Иногда выбор метода или комбинации зависит от других соображений. Например, использование естественного старения, статической перегрузки или вибрации для деталей, которые нагреваются в процессе эксплуатации или окончательной отделки (тепловая сушка после окраски и др.) даже до небольших температур ($50\text{—}150^\circ\text{C}$), может изменить начальную их форму в результате термопластического последействия в чугунах. В этом случае, если рабочие температуры не превышают $100\text{—}110^\circ\text{C}$, после старения перечисленными методами необходим нагрев деталей в течение $1\text{—}2$ ч перед окончательной механической обработкой до эксплуатационных температур [8]. С повышением рабочей температуры до $200\text{—}230^\circ\text{C}$ опасность релаксации уже стабилизированных при старении остаточных напряжений увеличивается. Нейтрализовать в некоторой степени этот эффект можно только значительным снижением общего уровня напряжений в детали. В этом случае целесообразно делать предварительный отжиг при $500\text{—}600^\circ\text{C}$ для снятия остаточных напряжений.

Для деталей, работающих при температурах выше $300\text{—}330^\circ\text{C}$, нецелесообразно использовать методы старения, где стабилизация деталей зависит от упрочнения материала. В этом случае может быть использован только отжиг.

Особый подход требуется также к деталям, подвергающимся поверхностной закалке. В процессе закалки дополнительно возникают два вида напряжений: термические, вызванные неравномерностью распределения температуры по сечению изделия, и структурные, вызванные фазовыми превращениями в сплаве. В результате происходит взаимодействие полей напряжений, возникающих при литье и при закалке.

В итоге поверхностно закаленное изделие можно рассматривать как сложнапряженную систему, состоящую из нескольких характерных слоев.

Первый слой — закаленная зона чаще всего с сжимающими напряжениями. Второй слой — промежуточный, между закаленной зоной и основной массой изделия, как правило, с растягивающими напряжениями.

Третий слой — основная масса изделия с полем напряжений, возникающим в процессе литья и последующей механической обработки: оно деформируется в результате наложения закалочных напряжений тем заметнее, чем меньше жесткость детали.

Эта система в результате релаксации напряжений претерпевает необратимые изменения — происходит коробление детали.

Кроме того, структура закаленного чугуна является нестабильной. Мартенсит закалки переходит в мартенсит отпуска. Остаточный аустенит также частично переходит в мартенсит отпуска. Оба процесса сопровождаются изменением удельного объема

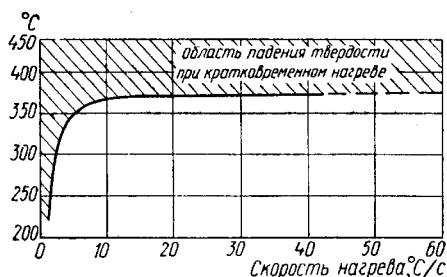


Рис. 198. Изменение максимально-допустимой температуры закаленного изделия от скорости нагрева

фаз и в обычных условиях продолжают чрезвычайно долго (2—3 года).

Следовательно, стабилизировать изделие с закаленным

слоем — это значит стабилизировать структуру закаленного слоя и суммарные остаточные напряжения в детали.

Естественно, что низкотемпературный отжиг при 500—600° С после закалки использовать нельзя. Методы стабилизации без повышения температуры (вибрация, статическая перегрузка и т. д.), как показывают результаты экспериментов [6], не позволяют полностью стабилизировать структуру закаленного слоя.

Надежным способом стабилизации структуры является отпуск при 200° С. Необходимая выдержка 4—10 ч. Для ускорения процесса можно использовать прием кратковременного нагрева детали (закаленного слоя) до более высоких температур. Время обработки при этом сокращается до нескольких минут. Однако необходимо тщательно следить за температурой нагрева, чтобы не снизить твердость закаленного слоя.

На рис. 198 приведено изменение предельно допустимой температуры закаленного слоя от скорости его прогрева.

Для крупносерийного поточного производства представляет интерес технология электроотпуска, выполняемого дополнительным индуктором, перемещающимся вслед за закалочным.

И, наконец, для ряда деталей после отпуска можно использовать дополнительно такие методы, как вибрация и статическая перегрузка. Подходы к выбору деталей и режимов обработки аналогичны сформулированным выше.

С целью уменьшения опасности разрушения деталей при закалке, склонных к образованию высоких остаточных напряжений при литье, отжиг этих деталей при 500—600° С следует проводить до операции закалки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адоян Г. А., Герчиков А. М., Гини Э. Ч. Машины для вибрационного старения. — В сб. «Металлорежущие и деревообрабатывающие станки, автоматические линии, режущий и контрольно-измерительный инструмент». НИИ-МАШ, 1965, вып. 10, с. 25—31.
2. Адоян Г. А., Герчиков А. М., Гини Э. Ч. Вибрационная стабилизация размеров чугунных деталей. «Передовой научно-технический и производственный опыт». ГОСИНТИ, 1967, с. 17.
3. Адоян Г. А., Герчиков А. М., Гини Э. Ч. и др. Низкотемпературный отжиг чугунных деталей. — «Металловедение и термическая обработка», 1968, № 1, с. 70—74.
4. Адоян Г. А., Герчиков А. М., Гини Э. Ч. и др. Влияние скорости охлаждения на остаточные напряжения при низкотемпературном отжиге чугунных отливок. — «Литейное производство» 1971, № 2, с. 1—2.
5. Адоян Г. А., Гини Э. Ч. Об упрочнении серых чугунов. — «Литейное производство», 1964, № 12, с. 34—35.
6. Адоян Г. А., Гини Э. Ч. Стабилизация геометрической формы чугунных станочных деталей, подвергаемых поверхностной закалке. ЭНИМС, 1970.
7. Адоян Г. А., Гини Э. Ч., Оберман Я. И. Оптимальная продолжительность выдержки при низкотемпературном отжиге чугунных деталей. — «Вестник машиностроения», 1970, № 12, с. 52—54.
8. Адоян Г. А., Гини Э. Ч., Оберман Я. И. Стабилизация чугунных деталей, нагреваемых в процессе эксплуатации. — «Литейное производство», 1969, № 5, с. 20—23.
9. Адоян Г. А., Гини Э. Ч., Оберман Я. И. и др. Упрочняющая обработка чугунных деталей с целью их размерной стабилизации. — «Технология производства, научная организация труда и управления», НИИМАШ, 1969, № 9, с. 24—29.
10. Адоян Г. А., Гини Э. Ч., Шевчук С. А. Коробление чугунных отливок от остаточных напряжений. — «Станки и инструмент», 1973, № 1, с. 28—30.
11. Анализ технологичности конструкций металлорежущих станков. Вып. VI. Разработка института Оргстанкинпром. М., 1965, 74с.
12. Андреев В. М. Конструирование литых деталей. М., Машгиз, 1944, 200 с.
13. Анисимов Н. Ф., Благов Б. Н. Проектирование литых деталей. М., «Машиностроение», 1967, 272 с.
14. Аслибекян Ф. С., Панин В. Н. и др. Стабилизация размеров деталей суппортной группы методом статической перегрузки. «Экспресс-информация. Опыт передовиков и новаторов производства», вып. 2, реф. 19, 1972.
15. Богачев Ф. В., Королев Ю. Ф. Технологичность конструкций литых деталей. — «Вестник машиностроения», 1962, № 9, с. 36.
16. Бредис В. Э., Таланов П. И. Расчет допусков на размеры оснастки и форм. — «Литейное производство», 1968, № 1, с. 11—12.
17. Васильев Д. М., Пальмова Н. И. Необратимое изменение размеров (последствие) при нагреве пластически деформированных образцов. — «Физика металлов и металловедение», т. 21, вып. 2, 1966, с. 242—247.

18. **Вашуков И. А., Крестьянов В. И.** Повышение качества деталей металло-режущих станков. — «Литейное производство», 1967, № 10, с. 18.
19. **Вашуков И. А., Песочина Л. Т.** Влияние сурьмы на структуру и свойства серого чугуна. — «Литейное производство», 1963, № 1, с. 19—22.
20. **Волынский А. Я.** Конструирование чугунных деталей и их литейная технологичность. М., «Машиностроение», 1964, 212 с.
21. **Воробьев В. Г.** Метод классификации изделий при выборе способов уменьшения закалочного коробления и стабилизации размеров после термической обработки. — В сб. «Металловедение и термическая обработка», вып. IV, М., «Машиностроение», 1966, с. 6, 7.
22. **Воронова Н. А., Могильцев О. А., Штейн Г. Н.** Качество доменного литейного чугуна и путь его повышения. УкрНИИТИ, 1972, 52 с.
23. **Вотинов К. В.** Жесткость станков. Лонитомаш. 1940, 320 с.
24. **Вышемирский М. М.** Изготовление стержней. М.—Л., «Машиностроение», 1969, 96 с.
25. **Гельперин Н. Б.** Специализация, комплексная механизация и автоматизация литейных цехов. М., «Машиностроение», 1964, 232 с.
26. **Герчиков А. М., Гини Э. Ч.** Упрочнение чугуна при деформационно-тепловой обработке. — «Литейное производство», 1969, № 5, с. 33—35.
27. **Герчиков А. М., Гини Э. Ч., Коцюбинский О. Ю.** и др. Деформационно-тепловая обработка, стабилизирующая размеры чугунных деталей. — «Металловедение и термическая обработка», 1971, № 4, с. 37—41.
28. **Герчиков А. М., Гини Э. Ч., Оберман Я. И.** Изготовление чугунных деталей прецизионных станков. — «Станки и инструмент», 1966, № 9, с. 5—8.
29. **Герчиков А. М., Коцюбинский О. Ю.** Режимы размерной стабилизации чугунных отливок методом термоударов. — «Литейное производство», 1970, № 7, с. 5—9.
30. **Герчиков А. М., Перетяцько М. С., Шевчук С. А.** Исследование коробления базовых деталей токарно-винторезного станка. — «Станки и инструмент», 1967, № 6, с. 10—11.
31. **Гини Э. Ч., Герчиков А. М., Адоян Г. А.** Вибрационное старение чугунных деталей. Ереван, Айастан, 1970, 144 с.
32. **Гиршович Н. Г.** Кристаллизация и свойства чугуна в стливках. М., «Машиностроение», 1966, 562 с.
33. **Гиршович Н. Г.** Чугунное литье. М., Металлургиздат, 1949, 708 с.
34. **Голбин Я. А., Дубров В. С.** Стимулирование повышения качества отливок. — «Литейное производство», 1973, № 1, с. 6—7.
35. **Голбин Я. А., Лебедев А. А., Грачев В. А.** и др. Техничко-экономическая эффективность индукционной плавки чугуна. — Сб. «Технология, организация и механизация литейного производства». № 9—71—9. НИИИНФОРМТЯЖ-МАШ, 1971, с. 48—55.
36. **Голего Н. Л.** Схватывание в машинах и методы его устранения. Киев, «Техника», 1965, 256 с.
37. **Гольденберг Л. И.** О качестве доменных литейных чугунов. — «Литейное производство», 1958, № 9, с. 7—8.
38. **Грачев В. А., Черный А. А.** Современные методы плавки чугуна. Саратов, Приволжское книжное издательство, 1973, 340 с.
39. **Давыденков Н. Н.** Некоторые проблемы механики материалов. Ленгиз, 1943, 300 с.
40. **Детали машин.** Справочник под ред. Н. С. Ачеркана Т. 2. М., «Машиностроение», 1968. 408 с.
41. **Дефрон Ш., Ж. Ван Эгем. А. Де-Си.** Влияние перегрева и содержание кислорода на образование зародышей графита в сером чугуне. «34-й Международный конгресс литейщиков», М., «Машиностроение», 1971, с. 55—68.
42. **Дибров И. А., Комиссаров В. А., Довбня С. А.** Модифицирование ваграночного чугуна синтетическим. — «Литейное производство», 1971, № 12, с. 37.
43. **Долженков И. Е.** Исследование явления синеломкости углеродистых сталей. — Сб. «Прочность и пластичность металлов и сплавов». Киев, «Наукова думка», 1968, № 23, с. 13—24.

44. Елин Л. В. Взаимное внедрение поверхностных слоев металлов как одна из причин изнашивания при несовершенной смазке. — «Трение и износ в машинах», сб. XII, изд. АН СССР, с. 25.

45. Жуковский С. С., Тепляков С. Д. Формовочные смеси холодного отверждения для стальных отливок. — «Литейное производство», 1972, № 3, с. 1—7.

46. Завершин Н. И., Архипов Н. В., Августинин А. И. и др. Факторы стойкости футеровки индукционных печей при плавке чугуна. — «Литейное производство», 1972, № 4, с. 1—4.

47. Икава К., Охиря Г. Усталостные характеристики чугунов в зависимости от структуры графита. 32-й Международный конгресс литейщиков», М., «Машиностроение», 1969, с. 118—126.

48. Инструкция по старению чугунных станочных деталей. Н.58.1. ЭНИМС, 1964, 20 с.

49. Каминская В. В., Решетов Д. Н. Исследование жесткости карусельных станков. — «Станки и инструмент», 1956, № 4, с. 1.

50. Каминская В. В., Решетов Д. Н. Расчет и сравнительный анализ жесткости станин токарных станков. — «Станки и инструмент», 1957, № 2, с. 1.

51. Каминская В. В., Левина З. М., Решетов Д. Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков. М., Машгиз, 1960, 364 с.

52. Касаткин Б. С. Структура и микромеханизм хрупкого разрушения стали. Киев, «Техника», 1964, 264 с.

53. Качан А. Д., Четвертухин С. И., Юдкин А. К. и др. Технологические и экономические основы выбора оборудования для плавки чугуна в станкостроении. НИИМАШ, 1974.

54. Квашнина Е. И. Оптимальная скорость нагрева и охлаждения отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при отжиге. — В сб. «Металловедение и термическая обработка». М. — Киев, Машгиз, 1961, с. 292—301.

55. Клецкин Г. И. Литниковая система для чугунных отливок, склонных к образованию усадочных дефектов. «Вестник технической информации Минстанкопрома», ЦБТИ, 1949, № 8, с. 17—29.

56. Клецкин Г. И. Структура и механические свойства модифицированного чугуна. — «Литейное производство», 1952, № 7, с. 17—22.

57. Клецкин Г. И., Жебин М. И., Локшин М. А. Применение панельных горелок в литейном производстве. — «Литейное производство», 1967, № 12, с. 7—9.

58. Клецкин Г. И., Иванов Б. Г., Журавичский Ю. И. Исправление дефектов в чугунных отливках методом сварки. — «Литейное производство», 1973, № 6, с. 9—14.

59. Клецкин Г. И., Кулешов П. Ф. Производство чугунных отливок для прецизионных станков в Швейцарии. НИИМАШ, 1967, с. 55.

60. Клецкин Г. И., Кулешов П. Ф. Скоростная технология изготовления форм для станочного литья. — «Литейное производство», 1952, № 7, с. 3—6.

61. Клецкин Г. И., Пикман Р. Г. Пластичные самотвердеющие смеси на основе жидкого стекла. — «Литейное производство», 1970, № 6, с. 3—6.

62. Клецкин Г. И., Сухарчук Ю. С. Благоднаров Б. П. и др. Плавка чугуна в коксогозовых вагранках. — «Литейное производство», 1965, № 12, с. 1—4.

63. Кнорре Б. В. Борьба с трещинами крупных чугунных отливок. — Сб. «Литейное производство», ЦИТЭИН, 1960, № 9, 21 с.

64. Колло А. Проблема оценки качества серого чугуна и роль вторичной структуры. «27-й Международный конгресс литейщиков». М., Машгиз, 1961, с. 83—113.

65. Костецкий Б. И. Износостойкость деталей машин. М., Машгиз, 1950, 265 с.

66. Коцюбинский О. Ю. Коробление чугунных отливок от остаточных напряжений. М., «Машиностроение», 1965, 176 с.

67. Коцюбинский О. Ю., Оберман Я. И., Гини Э. Ч. Коробление чугунных отливок после низкотемпературного отжига. — «Литейное производство», 1968, № 4, с. 26—27.

68. Коцюбинский О. Ю., Сысоев С. И., Семенов В. Н. и др. Пластические свойства чугуна. — «Литейное производство», 1962, № 6, с. 27—29.

69. Крагельский И. В. Трение и износ. М., Машгиз, 1962, 384 с.
70. Кудин В. А. Влияние деформируемости системы станок—деталь—инструмент на производительность, точность и чистоту поверхности деталей. М., НТО Машпром, 1963, 180 с.
71. Леви Л. И. Азот в чугунах для отливок. М., «Машиностроение», 1964, 230 с.
72. Леви Л. И., Клецкин Г. И., Соболев Н. Л. и др. Влияние бора на структуру и свойства серого чугуна. — «Литейное производство», 1971, № 5, с. 21.
73. Леви Л. И., Клецкин Г. И., Соболев Н. Л. и др. Оценка свойств чугуна методом химического и термографического анализа. — «Литейное производство», 1970, № 2, с. 7.
74. Леви Л. И., Клецкин Я. Г., Соболев Н. Л. и др. Свойства чугунов, выплавленных на основе литейного и передельного доменных чугунов. — «Литейное производство», 1972, № 4, с. 24—25.
75. Лясс А. М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М., «Машиностроение», 1965, 332 с.
76. Митрович В. П., Аванесов Л. Р., Чугунова Р. С. Исследование чугуна базовых деталей станков. — «Станки и инструмент», 1969, № 11, с. 26—28.
77. Митрович В. П., Бондаревская Е. А., и др. Износ базовых деталей станков из закаленного чугуна. — «Станки и инструмент», 1970, № 7, с. 29—31.
78. Митрович В. П., Ващуков И. А., Сажнева Р. И. и др. Исследование износа бористого чугуна. — «Станки и инструмент», 1974, № 4, с. 13.
79. Митрович В. П., Клецкин Г. И., Соболев Н. Л., и др. Исследование износа чугуна для изготовления деталей станков. — «Станки и инструмент», 1969, № 2, с. 15.
80. Митрович В. П., Сажнева Р. И., Егоркина Н. Д. и др. Влияние микроструктуры и твердости чугуна на износ корпусных деталей станков. — «Станки и инструмент», 1971, № 9, с. 21—24.
81. Новичков П. В. Термоциклическое старение чугунных отливок при 200—280° С. — «Литейное производство», 1970, № 10, с. 31—35.
82. Нудельман Л. Г., Черкасский И. Б., Мураткин А. П. и др. Жесткость поперечно-строгального станка. — «Станки и инструмент», 1971, № 4, с. 19—22.
83. Оболенцев Ф. Д. Точность и качество поверхности отливок. М., Машгиз, 1962, 152 с.
84. Одинг И. А., Зубарев П. В. К вопросу о природе упрочнения металлов при механико-термической обработке. — «Известия АН СССР. Металлы», 1966, № 1, с. 113—118.
85. Одинг И. А., Либеров Ю. П. Появление субмикроскопических трещин в статистически деформируемых пластичных металлах. — «Известия АН СССР. Металлургия и горное дело», 1964, № 2, с. 85—91.
86. Перетяцкий М. С. Исследование технологической надежности прецизионных токарных станков. — В сб. «Технологическая надежность станков». Под ред. А. С. Проникова, М., «Машиностроение», 1971, 342 с.
87. Петров В. А., Новичков П. В., Гунин В. И. и др. Исследование точности станков в связи с технологической наследственностью их базовых деталей. — В сб. «Структурная и размерная стабилизация металлов и деталей машин». Труды Воронежского политехнического института, НИИМаш, 1970, с. 129—133.
88. Петриченко А. М., Парфенова В. В. О классификации одного из видов брака отливок. — «Литейное производство», 1972, № 12, с. 35—36.
89. Плавка синтетического чугуна в индукционных печах и ее технология на Каунасском литейном заводе «Центролит». Под ред. Н. Г. Гиршович. Вильнюс, «Минтис», 1974, 294 с.
90. Проников А. С. Технологическая надежность станков как основной показатель их качества. — В сб. «Технологическая надежность станков». Под ред. А. С. Проникова, М., «Машиностроение», 1971, 342 с.
91. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику. М., «Машиностроение», 1966, 423 с.
92. Рабинович Б. В., Клецкин Г. И., Капустин В. И. и др. Разработка и исследование процесса получения панцирных тонкостенных форм для крупных

станочных отливок. — Сб. «Технология производства, наука и организация труда и управления», 1973, № 10, с. 1—5.

93. Решетов Д. Н. Жесткость станков. — В сб. «Жесткость металлорежущих станков». Под ред. Скраган В. А. ЛОНИМАШ, кн. 26, вып. 5, 1952, 178 с.

94. Решетов Д. Н., Левина З. М. Деформирование колебаний в деталях станков. В сб. «Исследование колебаний металлорежущих станков при резании металлов». Под ред. В. И. Дикушина, Д. Н. Решетова. М., Машгиз, 1958, с. 108—119.

95. Розенфельд С. Е., Эльберт С. А. Анализ размерной точности производства крупных и средних станочных чугунных отливок. ЭНИМС, 1959.

96. Розенфельд С. Е., Эльберт С. А. Исследование размерной точности крупных чугунных отливок. — В сб. «Новое в литейном производстве», М., Машгиз, 1962, с. 193—201.

97. Сборник технологических инструкций Московского завода «Станколит». НИИМАШ, 1972, 33 с.

98. Сборник технологических регламентов на формовочные и стержневые смеси. № 002—040—73/76—69, НИИМАШ, 1969, 19 с.

99. Семенов А. П. Схватывание металлов. М., Машгиз, 1958.

100. Скаженник В. А., Пелих М. Д., Красильникова Т. П. и др. Вибрационное старение чугунных отливок. — «Литейное производство», 1967, № 7, с. 2—5.

101. Скарбинский М. Конструирование отливок Пер. с польск. М.—Л., Машгиз, 1961, 575 с.

102. Соболев Н. Л. Исследование и разработка методов повышения точности чугунного станочного литья. — В сб. «Современная технология производства станочного литья», ЦБТИ, 1962 с. 59—107.

103. Соколовский А. П. Жесткость в технологии машиностроения. М., Машгиз, 1946, 355 с.

104. Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1955, 515 с.

105. Сосненко М. Н. Современные литейные формы. М., «Машиностроение», 1967, 287 с.

106. Справочник литейщика. Под ред. Н. Н. Рубцова. М., Машгиз, 1961, 774 с.

107. Справочник машиностроителя. Т. 3, М., Машгиз, 1962, 651 с.

108. Сравнительное исследование свойств чугунов, выплавленных в индукционных печах и вагранках. Под ред. Н. Г. Гиршович., Вильнюс, «Минтис», 1972, 135 с.

109. Таланов П. И., Пирогов К. И. Эмпирические зависимости и номограмма твердости микролегированного серого чугуна. — «Литейное производство», 1967, № 1, с. 30.

110. Тенер О. Г. Влияние погрешностей изготовления направляющих скольжения на контактную жесткость. — «Станки и инструмент», 1968, № 3, с. 1—4.

111. Технологическая подготовка производства. Технологические регламенты. Сб. 1, НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1969, 115 с.

112. Технологичность конструкций. — Сб. под ред. Ананьева С. Л. МДНТП, 1959, 452 с.

113. Турбовский М. М. Модифицирование чугуна присадкой жидкой стали. «Литейное производство», 1957, № 3, с. 4—7.

114. Ферри Р. Исследование синергетического модификатора для высокопрочных конструкционных чугунов. «34-й Международный конгресс литейщиков». М., «Машиностроение», 1971, с. 41—54.

115. Филь Е. В. Организация литейных цехов. М., «Машиностроение», 1964, 255 с.

116. Фишкин Е. Л., Иванов Д. П., Горбульский Г. Ф. и др. Высокоглиноземистые набивные футеровки индукционных тигельных печей для плавки синтетического чугуна. — «Литейное производство», 1971, № 1, с. 1—5.

117. Хенкин М. Л., Локшин И. Х., Левина И. К. и др. Термоциклическая стабилизирующая обработка силумина. — «Литейное производство», 1966, № 12, с. 10—13.

118. Хинчин А. С. Пути сокращения технологического цикла производства изготовления крупных и средних отливок. ЛДНТП, 1959, 31 с.

119. Хрущов М. М. Классификация условий и видов изнашивания деталей машин. — В сб. «Трение и износ в машинах», вып. VIII, изд. АН СССР, 1963, с. 15—31.

120. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. М., «Наука», 1970, 252 с.

121. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследование изнашивания металлов. Изд. АН СССР, 1960, 320 с.

122. Хрущов М. М., Беркович Е. С. Определение износа деталей машин методом искусственных баз. Изд. АН СССР, 1959, 230 с.

123. Шатарин В. Д., Шурыгин П. М. Кинетика легирования литейного чугуна и стали присадками чистых металлов и ферросплавов. — «Литейное производство», 1964, № 7, с. 19—21.

124. Швецова Е. М., Крагельский И. В. Классификация видов разрушения поверхностей деталей машины в условиях сухого и граничного трения. — В сб. «Трение и износ в машинах», вып. VIII, Изд. АН СССР, 1963.

125. Шевчук С. А. Оценка длины включений графита в чугуне. — «Литейное производство», 1971, № 7, с. 32—33.

126. Шевчук С. А., Егоркина М. Д., Дьяконов В. С. Влияние конструкции и технологий тяжелых станочных отливок на образование в них временных и остаточных напряжений. — «Литейное производство», 1971, № 1, с. 15—18.

127. Шестопал А. В., Жебин М. И. Применение метода размерного анализа при определении точности литейной оснастки. — «Вестник технической информации МСНИП», 1950, № 4.

128. Шумихин В. С., Лузан П. П., Жельнис М. В. Синтетический чугун. Киев, «Наукова Думка», 1971, 158 с.

129. Элементы конструкции литых деталей. РТМ 12—60. М., Стандартгиз, 1964, 32 с.

130. Эльберт С. А. Проблемы теории размерной точности отливок. — «Литейное производство», 1968, № 2, с. 35—38.

131. Эльцуфин С. А. Литые повышенной точности. М.—Л., «Машиностроение», 1969, 182 с.

132. Aldera A. «La fonderia italiana», 1964, V. 90, № 12.

133. Angus H. T. The wear of cast iron machine tool slides, shears and guideways. «Wear», 1957, V. 1, № 1.

134. Angus H. T. The use of cast iron under conditions of abrasive, dry and lubricated wear «B. C. I. R. A. Journal», 1962, V. 10, № 1.

135. Angus H. T., Marles D. and Hillman M. H. The wear of cast iron machine tool slides, shears and guideways. «B. C. J. R. A. Journal of research and development», 1955, V. 6, p. 72—135.

136. Brenik P., Cerveny A., Kallab J. Výzkum a nové vývojové směry v oboru těžkých oberabečích strojech. «Stroynicky Sbornik», Str. 147—200.

137. Busch H., Seese E. Neue Duplex — Eisenschmelzanlage «Giesserei», 1971, 58, № 7.

138. Caspers K. H. Bedeutung der Haltzeit und der Überhitzgnestemperatur bei der Erschmelzung von Gusseisen mit Lamellengrafit im Netzfrequenz. Induktions tiegelofen. «Giesserei», 1971, № 4, s. 77—84.

139. Clark R. A., McCluhan T. K. American experience with a new Strontium inoculant in gray iron «Moderne castings», 1966, № 3, p. 88—94.

140. Clough W. R., Shank M. E. The deformation and rupture of grey cast iron. «Trans A. S. T. M.», 1957, V. 49, p. 241—262.

141. Dawson J. V., Maitra S. Recent research on the inoculation of cast iron. «British Foundryman», 1967, V. 60, № 4, p. 117.

142. Jahresübersicht W. Legierter Giesseisen. «Giesserei», 1971, 58, № 9, s. 254.

143. Franke A. Einfluss der Querschnittsabnahme beim Ziehen von Staben Federstahl auf die Eigenspannungen «Stahl und Eisen», 1966, № 5, s. 284—285.

144. Galej J., Tonbasd J., Lutgen H. Traitement des metaux liquides par l'assage a l'aide de gaz neutres permeables «Fonderie», 1969, № 283, s. 415—425.

145. Hoff O., Andersen P. Some investigation on the Surface layer of grey iron castings. 35 International congress foundry. Kyoto, 1968, Tokyo «Japan Foundrymens» Soc. 1968, a/8, 1/8, 17/8.

146. **Leonard I.** Fontes pour Machines — Outils. «Revue universelle des mines, de la metallurgie, de la mecanique de travaux, publisce, des seiences et des art appliques a l'industrie», Paris, 1962, XVIII, № 1.

147. **Muckhoff Klaus.** Jahresübersicht Elektroschmelzöfen. «Giesserei» 1971, V. 58, № 16, s. 485—491.

148. **Okada J., Machashi J., Kavamata S.** «38 International foundry congress», Düsseldorf, 1971.

149. **Opitz H. und Escher K.** Gleitführungen aus Gusseisen und Kunststoffen. «Maschinenbau — der Betrieb», Berlin, 1942, H. 47.

150. **Patterson H.** Inoculants can improve gray iron propertus. «Foundry, 1972, V. 100, № 6, p. 68—71.

151. **Rehrig Klays.** Legierter Gusseisen mit lamellengrafit «Giesserei» 1970, V. 67, № 19, s. 609.

152. **Roscow I.** Metal for costings «Foundry Trade Journal», V. 132, № 2880, 1972, p. 198.

153. **Sofroni L.** Recherches sur l'elaboration et l'utilisation, de certains modificateurs complexes pour abtenir des fondes grises a propreites mecaniques. «36 ene Congr. Intenn. de fonberie, Beograd, 1969.

154. **Intefanescu D. M.** Einfluss des Bariungehaltes im impfmittel auf gefüge und Eigenschaften fon Gusseisen mit lamelen grafit. «Giesserei—Praxis», 1971, № 18.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Работоспособность и долговечность деталей станков . . .	5
1. Детали различного назначения	6
2. Корпусные детали	7
3. Выбор чугуна и технологических вариантов литья	32
Глава II. Получение жидкого чугуна	38
1. Химический состав чугуна и шихтовые материалы	38
2. Плавка в вагранках	59
3. Плавка в электропечах	82
4. Методы контроля состава и свойств чугуна	96
5. Регулирование свойств чугуна методом ковшовых добавок . . .	106
Глава III. Технологичность литых деталей станков	121
1. Особенности конструирования отливок	121
2. Повышение точности отливок	139
3. Снижение трудоемкости изготовления отливок	145
Глава IV. Изготовление форм и стержней	161
1. Проектирование литейной технологии	163
2. Машинная формовка при мелкосерийном производстве	196
3. Литниковые системы	199
4. Регулирование скорости охлаждения отливки в форме	220
5. Некоторые особенности технологии изготовления стержней . . .	223
6. Некоторые особенности технологии изготовления форм	227
Глава V. Дефекты в отливках. Методы их предупреждения и устранения	238
1. Организация технического контроля	238
2. Классификация и описание характерных дефектов	241
3. Методы устранения дефектов сваркой	265
Глава VI. Методы стабилизации размеров литых деталей	280
1. Общие закономерности	281
2. Термические методы стабилизации	289
3. Деформационные методы стабилизации	296
4. Методы деформационно-термического воздействия	305
5. Влияние механической обработки отливок и особенностей эксплуатации	309
Список литературы	313