

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЕ ЛИНЕЙНУЮ УСАДКУ

Цель работы и основные положения

Цель работы - определение величины свободной полной линейной ϵ_n и литейной ϵ_d усадки, а также количественных характеристик отдельных этапов развития линейной усадки (ϵ_{np} , ϵ_{gn} , ϵ_{c-d} , ϵ_{nn}) легированной конструкционной стали двух различных составов.

На основании полученных результатов необходимо проследить влияние состава стали на характер развития линейной усадки и ее величину.

Влияние состава стали на линейную усадку проявляется через следующие основные факторы: в связи с влиянием на интервал первичной кристаллизации, на изменение термического коэффициента сжатия аустенита и феррита, на величину температурных интервалов развития этапов усадки, на характер структуры, получающейся в результате вторичной кристаллизации.

В случае конструкционных сталей перлитного или мартенситного класса концентрация углерода в углеродистых сталях колеблется обычно в пределах 0,20-0,40, а в легированных содержание ведущего легирующего элемента изменяется в пределах 1-5%. При введении таких распространенных легирующих элементов, как Cr, Ni, Mn, на верхнем уровне температура ликвидуса может понизиться соответственно всего на 10, 20, 25°; ширина интервала кристаллизации меняется очень незначительно. Естественно, что и величина эффективного интервала усадки при этом не может сколько-нибудь заметно измениться. Следовательно, влияние интервала кристаллизации стали подобных составов имеет практически ничтожно малое значение.

Все элементы, входящие в состав стали, как правило, уменьшают термический коэффициент сжатия аустенита и феррита. Так, средний коэффициент линейного расширения в интервале 0-700° углеродистых сталей с 0,26 и 0,64% C равен соответственно 14,6 и 14,4 · 10⁻⁶, а у сталей, содержащих 0, 1,0 и 25% Cr при 0,05% C, - 14,9; 12,9 и 12,1 · 10⁻⁶.

Колебания концентрации элементов в конструкционных сталях могут, как видно, изменять величину их линейной усадки путем влияния на коэффициент термического сжатия. Вместе с тем относительная величина

этих изменений все же будет невелика из-за сравнительно малых колебаний в содержании элементов.

Некоторое исключение представляет собой никель, который сильнее уменьшает термический коэффициент сжатия, чем другие элементы. При концентрациях выше порядка 10% коэффициент расширения в интервале ниже 500° особенно резко уменьшается и достигает минимума при 30-50%

Ni, почти сравнявсь с коэффициентом термического расширения стекла (рис. I).

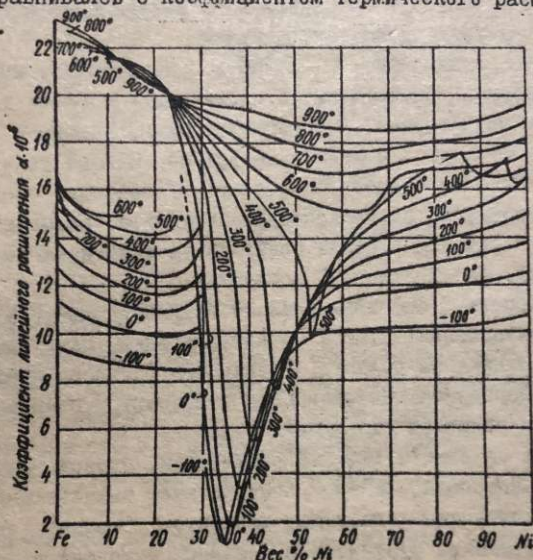


Рис. I. Влияние никеля на коэффициент термического расширения стали.

Третий фактор находится в еще большей зависимости от состава стали и, в частности, от степени ее легирования и характера легирующих элементов, вводимых в сталь.

Уже потому, что все легирующие элементы разделяются на расширяющие область γ — твердого раствора и сужающие ее, они вносят существенные изменения в количественные характеристики этапов процесса линейной усадки:

Элементы, расширяющие γ -область, Ni, Mn, N, C и др. увеличивают температурный интервал развития усадки до превращения, чем вызывают рост и ее величины. В связи с отмеченным влиянием никеля, повышение его концентрации более 10% вызывает уменьшение ϵ_{gr} .

В соответствии с изменениями температурного интервала развития

и величины $\epsilon_{\text{сп}}$ интервал усадки после превращения $\epsilon_{\text{пл}}$ сужается, а ее величина уменьшается при добавке в сталь элементов, расширяющих область аустенита.

Аналогичные изменения в этапах усадки, но несколько в иной степени, будут вызывать большинство элементов, задерживающих процесс распада аустенита, т.е. увеличивающих прокаливаемость стали. В этом случае также происходит понижение температуры превращения аустенита в реальных условиях охлаждения отливок.

Элементы, суживающие γ -область, уменьшают величину и интервал развития усадки до превращения и увеличивают обе эти характеристики усадки после превращения. К таким элементам, например, относятся Si, Mo, W, Ti и некоторые другие. Однако такой элемент, как хром, который также сужает γ -область, вследствие очень сильного тормозящего действия на превращение аустенита, вызывает изменения усадки до превращения и после превращения такого же характера, как при элементах, расширяющих γ -область.

Таким образом, оценивая влияние элементов состава стали на изменения в соотношениях этапов развития усадки, надо учитывать две тенденции: влияние на область γ -твердого раствора диаграммы составов и на температуру превращения аустенита в реальных условиях охлаждения отливок.

Величина объемного эффекта расширения, происходящего в процессе превращения аустенита, $\gamma \rightarrow \alpha$ претерпевает значительные изменения особенно под влиянием легирующих элементов. Элемент, снижающий температуру превращения аустенита в реальных условиях охлаждения отливки, вызывает увеличение эффекта расширения. Такое изменение объясняется увеличением разницы в удельных объемах аустенита и феррита при понижении температуры превращения аустенита (рис. 2).

Четвертый фактор можно назвать структурным. Величина полной линейной усадки, а также литейной усадки стали в значительной степени зависит от той структуры, которая получается в отливке в результате превращения аустенита, поскольку разные структуры и структурные составляющие обладают сильно различающимися коэффициентами термического сжатия. Так, например, мартенсит имеет коэффициент термического сжатия - $11,5 \cdot 10^{-6}$, аустенит - $(17-24) \cdot 10^{-6}$, феррит - $14,5 \cdot 10^{-6}$, цементит - $12,5 \cdot 10^{-6}$.

В легированных конструкционных сталях в зависимости от состава получающаяся структура может меняться от перлитной до мартенситной,

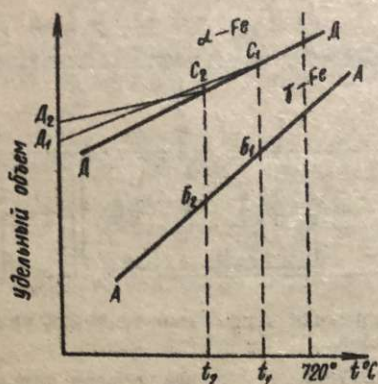


Рис. 2. Изменение удельных объемов аустенита и феррита в зависимости от температуры.

следовательно, и величина усадки после превращения соответственно изменится в достаточно широких пределах. Она будет наибольшей в стали перлитного класса и наименьшей в стали мартенситного класса. В соответствии с этим изменяется и полная линейная усадка.

На основании приведенного анализа можно сделать следующий общий вывод.

Характер изменения величины усадки в зависимости от состава легированной конструкционной стали определяется, главным образом, влиянием легирующих элементов на коэффициент усадки твердых растворов, температуру превращения аустенита и характер получающейся при этом структуры стали.

Методические указания к проведению работы

Экспериментальная часть работы состоит из записи кривых усадки стали соответствующего состава и обработки полученных кривых. Кривые усадки записываются на лабораторной установке, принципиальная схема которой показана на рис. 3. Одновременно с фиксированием процесса усадки записывается кривая охлаждения экспериментального образца по термопаре 8.

Принцип работы установки состоит в следующем.

Экспериментальный образец в виде бруска длиной 300 мм и сечением 40x40 мм заливает в сырую форму. Перед заливкой с обоих торцов формы

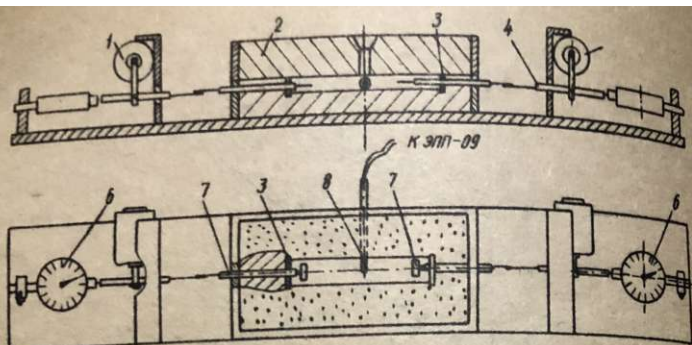


Рис. 3. Схема установки для записи кинетических кривых свободной линейной усадки.

вставляют кварцевые трубки 7, концы которых заливаются металлом и зажимаются им при затвердевании. Для того чтобы трубки не могли быть раздавленными сжимающимся металлом, на них наносят несколько слоев этилсиликатного покрытия с присыпкой кварцевым песком. Противоположные концы трубок жестко крепят к рычагам 4, соединенным с осями двух сельсинов 1, 5. Перемещение трубки поворачивает ось сельсина, оно преобразуется в электрический сигнал, подаваемый на автоматический потенциометр ЭПТ-09. Сельсины работают в трансформаторном режиме, для чего питающее напряжение подается на сельсин 1, рабочие обмотки которого соединены с рабочими обмотками сельсина 5. С обмотки питания сельсина 5 снимается напряжение переменного тока, пропорциональное рассогласованию положения осей сельсинов. Далее это напряжение поступает на выпрямитель, входящий в мостовую схему на полупроводниковых диодах, затем к ЭПТ-09. Механическая и электрическая схемы выполнены так, чтобы регистрировать суммарное перемещение обоих концов образца. Подготовка установки к опыту должна проводиться с достаточной тщательностью.

Вначале изготавливают форму на один или два бруска. Затем нижнюю полуформу устанавливают на стол с датчиками и в ней укрепляют торцовые трубки и термопару. Заливаемые концы кварцевых трубок должны быть покрыты 2-3 слоями этилсиликата. При малой толщине покрытия трубки лопнут в процессе опыта под действием сжатия охлаждающегося образца. Трубки должны выступать в полость формы на 20-30 мм и плотно обжати формовочной смесью. Спаи термопары, защищенные тонким кварцевым колпачком, располагают в центре сечения образца.

После этого накрывают верхнюю полуформу, устанавливают груз и затем освобождают от стопорных упоров датчики. В таком положении форма готова для заливки металлом.

Для проведения записи кривой усадки экспериментального образца необходимо еще проверить или установить масштаб записи. Масштаб устанавливают следующим образом.

Пускают электронный потенциометр ЭП-09. С какого-либо одного конца образца дают перемещение датчика в направлении усадки на 1 мм по индикатору 6 путем поворота рычага, после 5-8 с - следующее перемещение еще на один мм и т.д. - всего на 6-7 мм. То же самое повторяют для датчика с другого конца образца. После этого потенциометр следует остановить, а датчики вернуть в исходное положение. Проведенная таким образом запись дает на бумажной ленте штрихи, расположенные через определенные одинаковые интервалы, каждый из которых соответствует перемещению датчика на 1 мм. За масштаб надо принять среднее расстояние между штрихами.

Непосредственно перед заливкой потенциометр вновь пускают и останавливают через 1-1,5 ч после заливки.

Порядок проведения опыта. После пуска электронного потенциометра ЭП-09 и заливки формы запись кривой усадки и кривой охлаждения образца может происходить без вмешательства человека. Момент конца опыта назначают в зависимости от состава изучаемой стали. Для сталей перлитного класса опыт заканчивают при 300-200°, для сталей мартенситного класса - при 150-100°. Температуру в любой интересующий момент записи определяют с помощью масштабной линейки, накладываемой на бумажную ленту потенциометра. После окончания записи участок бумажной ленты с полученными кривыми усадки и температуры вырезают с прибора для обработки.

Порядок обработки экспериментальной кривой усадки. На полученном графике наносятся, прежде всего, координатные оси. Ось времени соответствует направлению движения бумажной ленты на приборе ЭП-09. Масштаб времени определяют по скорости движения ленты. Перпендикулярно от времени проводят ось усадки и температуры.

Определяют масштаб записи кривой усадки, для чего измеряют расстояния между всеми засечками, берут среднее из них, которое и будет соответствовать усадке образца на 1 мм.

После этого параллельно оси абсцисс-времени проводят выносные линии, ограничивающие этапы усадки: предусадочное расширение $\varepsilon_{пр}$, усадку до превращения ε_{gn} , расширение в период превращения аустенит-

та ϵ_{r-d} , усадку после превращения ϵ_{nn} , полную свободную усадку и литейную усадку ϵ_d . С помощью масштабной линейки измеряют указанные величины, результаты заносят в табл. I. При этом необходимо иметь в виду, что кривую записывают не до полного охлаждения образца, а как указывалось выше, до $150-300^{\circ}$.

Учитывая, что кривая усадки в области ниже этих температур обычно имеет ряд прямой с определенным наклоном к оси абсцисс, ее можно с достаточной точностью экстраполировать до 20° . Дополнительную величину, полученную экстраполяцией, прибавляют к измеренным величинам по ленте потенциометра.

Пример: Допустим, что экспериментальная кривая усадки заканчивается при 300° , прямолинейный участок кривой начинается с 500° . По кривой измеряют приращение усадки $\Delta \epsilon$ мм в интервале охлаждения от 500 до 300° , т.е. на 200° . Дополнительное приращение усадки X при охлаждении образца от 300° до 20° составит

$$X = \frac{180 \cdot \Delta \epsilon}{200} \text{ мм.}$$

Табл. I.

№	Состав стали	Т-ра начала усадки $T_{ny}, ^{\circ}\text{C}$	Температурный интервал развития этапов ус., $^{\circ}\text{C}$				ϵ_{np}	
			Δt_{np}	Δt_{gn}	Δt_{r-d}	Δt_{nn}	абс. вел., мм	относ. вел., %

ϵ_{gn}		ϵ_{r-d}		ϵ_{nn}		ϵ_n		ϵ_d	
абс. вел., мм	относ. вел., %	абсол. вел., мм	относ. вел., %	абс. вел., мм	отн. вел., %	абс. вел., мм	отн. вел., %	абс. вел., мм	отн. вел., %

Порядок проведения анализа полученных данных

При анализе опытных данных необходимо рассмотреть следующие основные вопросы:

I. Особенности характера кривой развития усадки: наличие предусадочного расширения (ϵ_{np}), величина расширения при превращении (ϵ_{r-d}) и смещение температурного интервала его развития в сравнении с углеродистой сталью.

2. Оценить величины отдельных этапов линейной усадки и температурные интервалы их развития. Объяснить полученные изменения в характеристике этапов усадки по сравнению с углеродистой сталью, с точки зрения влияния состава изучаемой стали.

3. Оценить величину полной линейной усадки, объяснив полученный результат с точки зрения механизма влияния состава изучаемой стали.

4. Сравнить полученные результаты по обеим сталям, основываясь на изменениях в их химическом составе. Сделать основные выводы.

Составление отчета

Отчет начинают с изложения цели работы. Затем дают краткое описание методики и порядка проведения опытов. Приводят схему установки с кратким описанием ее устройства, излагают весь порядок подготовки и проведения опыта. Для каждой стали дают расчет шихты и описывают порядок плавки и заливки формы. Приводят вид кривой усадки и дают краткое описание того, как производилась обработка экспериментальных кривых. Все данные помещают в одну сводную таблицу. Анализ полученных результатов описывают в отчете со всеми подробностями.

РАБОТА 2.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Цель работы и общие положения

Цель работы состоит в изучении влияния механического торможения усадки стальных отливок на изменения в кинетике ее развития, на количественные характеристики отдельных этапов и величину полной усадки.

Среди ряда технологических факторов, влияющих на процесс развития и величину усадки отливок, особенно большую роль играет механическое торможение усадки со стороны формы. Оно является следствием силового взаимодействия между отливкой, стенками формы и стержнями из-за наличия в отливках выступающих частей, а также трения поверхности отливки о стенки формы и стержни. В результате такого взаимодействия в стенках отливки возникают соответствующие растягивающие усилия, вызывающие пластические деформации, которые компенсируют часть усадки, уменьшая ее конечную величину. Развитие усадочных деформаций часто приводит к образованию различных деформационных дефектов, среди которых наиболее типичными являются трещины.

В реальных отливках усилия, тормозящие усадку, возрастают постепенно по мере их охлаждения и развития усадки. Конечный результат торможения усадки в определенном интервале температур может опреде-

латься в конечном счете некоторой средней величиной действующего усилия. В связи с этим изучение влияния силового взаимодействия на кинетику усадки в данной работе проводят в условиях торможения усадки постоянной нагрузкой, не меняющейся на всем протяжении охлаждения образца.

Устройство и настройка экспериментальной установки

Схема установки, с помощью которой производится изучение кинетики развития затрудненной усадки, показана на рис. 4. Экспериментальный образец 4 представляет собой брусок длиной 700 мм, разделенный на две равные части неподвижным держателем 3, установленным в нижней полуформе.

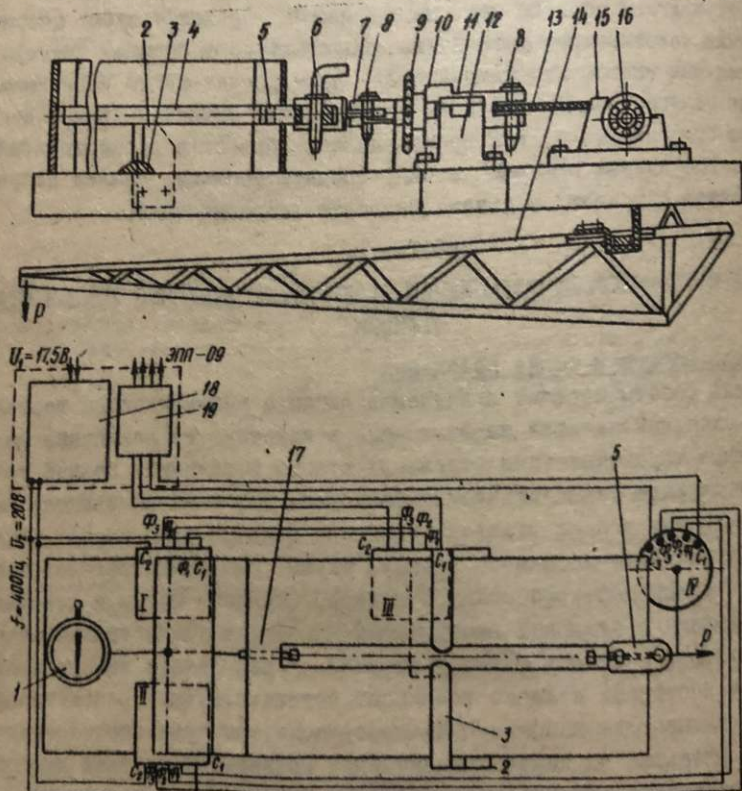


Рис. 4. Схема установки для изучения кинетики развития затрудненной усадки.

Правая половина образца длиной 350 мм претерпевает усадку в условиях торможения под действием определенного усилия, которое создается специальным устройством. Оно состоит из упоров 2, 15, 12, держателей 3, 5, вилки с винтом 7, специальной натяжной гайки 9, штырей 6, 8, планки II, тяги 10, троса 13, блока 16 и коромысла 14. Плечи коромысла выбраны таким образом, что создается десятикратное увеличение приложенной нагрузки P . В держателе 6 имеется прорезь, позволяющая образцу передвигаться во время предусадочного расширения вместе с держателем в направлении, обратном усадке. Зазор между держателем 5 и вилкой с винтом 7 выбирают гайкой 9.

Величина усилия торможения усадки, возникающего из-за трения в передаточных узлах, составляет 8 кгс, что при сечении образца $33 \times 30 \text{ мм}^2$ составляет удельную нагрузку $0,008 \text{ кгс/мм}^2$. Общая нагрузка торможения усадки, таким образом, при указанном сечении образца всегда равна $P + 0,008 \text{ кгс/мм}^2$, где P изменяется в зависимости от условий опыта. По этой части образца записывают кривую затрудненной усадки.

Левая половина образца претерпевает свободную усадку, если не учитывать (как это принято) трения его о форму, в результате записывают кривую свободной усадки. Перемещения концов левой и правой половины образца передаются сельсином через кварцевые трубки 17, заливаемые с обоих торцов образца.

Для одновременной записи свободной и затрудненной усадки необходимо обмотки сельсинов I и III соединить параллельно по схеме $\Phi_I^I - \Phi_I^{III}$, $\Phi_2^I - \Phi_2^{III}$ и $\Phi_3^I - \Phi_3^{III}$, когда с сельсина III снимается сигнал для записи свободной усадки (левая половина образца), а также с сельсинов II и IV (их обмотки соединяются аналогичным образом), когда с сельсина IV снимают сигнал для записи затрудненной усадки (правая половина образца). При этом оси роторов сельсинов I и II рассоединены. Сельсиновый датчик III установлен под держателем 3 и служит для учета возможной деформации держателя под действием приложенной нагрузки. Для определения масштаба записи кривых усадки служит индикатор часового типа I.

Источником питания сельсинов служит аккумуляторная батарея напряжением $U_1 = 12,5 \text{ В}$, от которой через преобразователь 18 на статорные обмотки сельсинов подается однофазное переменное напряжение $U_2 = 20 \text{ В}$ с частотой $f = 400 \text{ гц}$. Повышенная частота необходима для увеличения чувствительности устройства (фиксации малых перемещений).

Правая половина образца длиной 350 мм претерпевает усадку в условиях торможения под действием определенного усилия, которое создается специальным устройством. Оно состоит из упоров 2, 15, 12, держателей 3, 5, вилки с винтом 7, специальной натяжной гайки 9, штырей 6, 8, планки II, тяги 10, троса 13, блока 16 и коромысла 14. Плечи коромысла выбраны таким образом, что создается десятикратное увеличение приложенной нагрузки P . В держателе 6 имеется прорезь, позволяющая образцу передвигаться во время предусадочного расширения вместе с держателем в направлении, обратном усадке. Зазор между держателем 5 и вилкой с винтом 7 выбирает гайкой 9.

Величина усилия торможения усадки, возникающего из-за трения в передаточных узлах, составляет 8 кгс, что при сечении образца $33 \times 30 \text{ мм}^2$ составляет удельную нагрузку $0,008 \text{ кгс/мм}^2$. Общая нагрузка торможения усадки, таким образом, при указанном сечении образца всегда равна $P + 0,008 \text{ кгс/мм}^2$, где P изменяется в зависимости от условий опыта. По этой части образца записывают кривую затрудненной усадки.

Левая половина образца претерпевает свободную усадку, если не учитывать (как это принято) трения его о форму, в результате записывают кривую свободной усадки. Перемещения концов левой и правой половины образца передаются сельсином через кварцевые трубки 17, заливаемые с обоих торцов образца.

Для одновременной записи свободной и затрудненной усадки необходимо обмотки сельсинов I и III соединить параллельно по схеме $\Phi_I^I - \Phi_I^III, \Phi_2^I - \Phi_2^III$ и $\Phi_3^I - \Phi_3^III$, когда с сельсина III снимается сигнал для записи свободной усадки (левая половина образца), а также с сельсинов II и IV (их обмотки соединяются аналогичным образом), когда с сельсина IV снимают сигнал для записи затрудненной усадки (правая половина образца). При этом оси роторов сельсинов I и II рассоединены. Сельсиновый датчик III установлен под держателем 3 и служит для учета возможной деформации держателя под действием приложенной нагрузки. Для определения масштаба записи кривых усадки служит индикатор часового типа I.

Источником питания сельсинов служит аккумуляторная батарея напряжением $U_1 = 12,5 \text{ В}$, от которой через преобразователь 18 на статорные обмотки сельсинов подается однофазное переменное напряжение $U_2 = 20 \text{ В}$ с частотой $f = 400 \text{ гц}$. Повышенная частота необходима для увеличения чувствительности устройства (фиксации малых перемещений).

Характер изменения амплитуды напряжения в роторной обмотке близок к синусоидальному, поэтому при установке сельсинов в рабочее положение необходимо следить за тем, чтобы угол поворота ротора сельсина находился в пределах линейной зависимости изменения напряжения. При повороте ротора на некоторый угол в процессе линейной усадки образца - отливки на выходе роторной обмотки сельсина возникает медленно меняющееся напряжение, которое через выпрямитель I9 подает на вход электронного автоматического потенциометра ЭПП-09.

Для записи кривой охлаждения с торца формы по оси образца устанавливают защищенную кварцевым колпачком термопару, сигнал от которой также записывается на автоматическом потенциометре ЭПП-09.

Металл в форму подводят по литниковой системе с двумя питателями, выполненной в стержне, который устанавливают в верхней полуформе над держателем 3. Такой подвод обеспечивает равномерное заполнение обеих частей образца и симметричное температурное поле относительно держателя 3.

Методические указания к проведению опытов

Форму экспериментального образца изготавливают из песчано-глинистой смеси для заливки в сыром состоянии. Разъем формы должен быть выполнен с такой тщательностью, чтобы в процессе заполнения ее металлом не могло образоваться заливов, создающих дополнительное сопротивление усадке, которое не может быть количественно учтено. Готовую нижнюю полуформу устанавливают на опорную плиту установки так, чтобы концы держателя 3 плотно прилегали к упорам 2. Затем с торцов нижней полуформы устанавливают кварцевые трубки I7 и держатель 5, кварцевые трубки I7 соединяют с рычагами сельсинов II и IV так, как это выполнялось в работе I. В готовой верхней полуформе устанавливают литниковый стержень, хорошо его крепят в знаке с помощью шпилек. После этого нижнюю полуформу накрывают верхней полуформой и прижимают грузом. Устанавливают масштаб записи кривых свободной и затрудненной усадки в том же порядке, как это делалось в работе I. Потенциометр ЭПП-09 пускают перед началом заливки формы металлом. Сразу же после окончания заливки выбирают зазоры в соединительных звеньях путем поворота гайки 9.

Порядок обработки экспериментальных кривых и анализ результатов работы

Полученные кривые усадки размечают аналогично работе I. Резуль-

гаты измерения отдельных этапов свободной и затрудненной усадки заносит двумя строками в таблицу такой же формы, что и в работе I. Путем наложения кривых свободной и затрудненной усадки в единой температурной шкале вычислить величину упруго-пластической деформации в образце с затрудненной усадкой, исходя из соотношения $\delta = \epsilon_{св} - \epsilon_3$, где $\epsilon_{св}$ и ϵ_3 - величины свободной и затрудненной усадки соответственно. Подсчитывают значения δ при различных температурах и по полученным данным строят кривую развития усадочных деформаций в координатах $\delta - T$. Анализ полученных результатов производят на основе сравнения характеристик всех этапов свободной и затрудненной усадки. Все отмечаемые изменения в развитии усадки под действием тормозящего условия необходимо обосновать теоретически. Отчет по работе составляет по той же схеме, что и по работе I

РАБОТА 3.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЛИТЕЙНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОТЛИВКАХ

Цель работы и основные положения

В работе производится сравнительная оценка склонности двух разных составов конструкционной стали к образованию в отливках из них остаточных литейных напряжений.

В процессе охлаждения отливки в форме в ней развиваются внутренние напряжения, вызываемые тремя основными причинами: из-за неравномерности охлаждения возникают термические напряжения вследствие неодновременности объемных изменений при фазовых превращениях - фазовые напряжения σ_ϕ и в результате торможения линейной усадки со стороны формы - усадочные напряжения σ_y . Полная величина литейных напряжений в отливке равняется алгебраической сумме всех трех видов напряжений:

$$\sigma_n = \sum (\sigma_T + \sigma_\phi + \sigma_y).$$

После полного охлаждения и выбивки отливки из формы остаются только фазовые и термические напряжения, усадочные же напряжения практически снимаются при выбивке формы и стержней.

Склонность стали к образованию напряжений в отливках оценивают, обычно, экспериментальным путем с помощью специальных проб.

В данной работе в качестве такой пробы заливают образец в виде сегмента с дугой, равной половине окружности радиуса R . Дуга имеет прямоугольное поперечное сечение размером F_1 , а хорда длиной $2R$ также прямоугольного сечения F_2 . При этом $F_1 > F_2$. Таким образом, в

случае, когда в отливке преобладают термические напряжения, в хорде будут иметь место сжимающие остаточные напряжения, а в дуге - растягивающие. Расчет напряжений в рассматриваемом образце как жестко-связанной системе из брусков I и II (см. схему рис. 5) может быть сведен к рассмотрению условия равновесия половины этой системы. В точке А оторванная часть дуги заменена заделкой, хорда или стяжка - действием силы Р в точке В. В результате взаимодействия дуги АВ со стяжкой или заменяющей ее силой Р точка В может перемещаться в направлении оси под действием продольной упругой деформации стяжки и одновременно поворачивается вокруг точки О на некоторый угол ψ под действием изгибающего момента дуги АВ.

Перемещение точки В определяют как частную производную потенциальной энергии рассматриваемой системы по Р:

$$\delta_v = \frac{dv}{dP}$$

Для нахождения перемещения от изгиба дуги используют формулу потенциальной энергии при изгибе бруска постоянного сечения:

$$v = \frac{1}{2EJ} \int_0^l M_x dx$$

Подставив значения E , J и M_x и взяв частную производную по Р, получим

$$\frac{\partial v}{\partial P} = \frac{1}{EJ} \int_0^l M_1 \frac{\partial M_1}{\partial P} dy$$

Индекс "1" указывает, что величина относится к бруску I (рис. 5):

$$M_1 = RP \sin \psi; \quad \frac{\partial M_1}{\partial P} = R \sin \psi; \quad dy = R d\psi$$

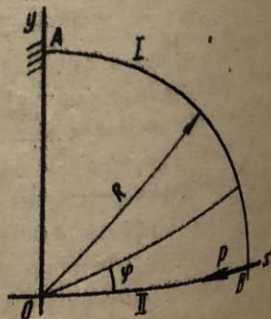
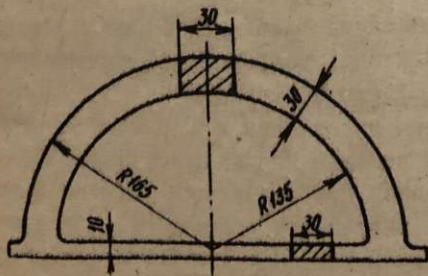


Рис. 5. Экспериментальный образец для определения деформаций дуги

Подставляя эти значения в выражение для частной производной, получим.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial P} &= \frac{1}{EJ_1} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (RP \sin \varphi \cdot R \sin \varphi) R d\varphi = \frac{PR^3}{EJ_1} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi = \\ &= \frac{PR^3}{EJ_1} \left(\frac{1}{2} \left(\varphi - \frac{1}{2} \sin 2\varphi \right) \right) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{PR^3}{EJ_1} \cdot \frac{\pi}{4}. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\delta_B = \frac{\pi PR^3}{4EJ_1} \quad (1)$$

Поскольку найденное перемещение является результатом изгиба только $1/2$ дуги, то от изгиба всей дуги перемещение будет в два раза больше, т.е. $2\delta_B$.

Перемещение точки В под действием деформации стяжки длиной $2R$ может быть подсчитано из выражения

$$\Delta l = \frac{62R}{E} = \frac{2PR}{EF_2} \quad (2)$$

Общее перемещение точки В или деформацию выразим как алгебраическую сумму $\Delta D = 2\delta_B + \Delta l$ (мм),

$$\begin{aligned} \Delta D &= 2 \frac{\pi R^3 P}{4EJ_1} + \frac{2PR}{EF_2}, \\ \Delta D &= \frac{P}{E} \left(\frac{\pi R^3}{2J_1} + \frac{2R}{F_2} \right). \end{aligned}$$

Деформацию ΔD находят экспериментально путем непосредственного измерения на пробе, тогда в полученной формуле остается определить только P (кгс):

$$P = \frac{\Delta D E}{\frac{\pi R^3}{2J_1} + \frac{2R}{F_2}} \quad (3)$$

Напряжения в дуге АВ находят по известному соотношению

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} = \frac{PR}{W_1} \quad (4)$$

$$\sigma_1 = \frac{\Delta D E}{W_1} \cdot \frac{R}{\frac{\pi R^3}{2J_1} + \frac{2R}{F_2}} \quad (5)$$

Напряжения в стяжке (кгс/мм²)

$$\sigma_2 = \mp \frac{P}{F_2} \quad (6)$$

Порядок заливки и обработки экспериментальных образцов

Экспериментальный образец заформовывают в двух опалках. Металл подводят через один питатель в стяжку, а на более массивную часть $\frac{1}{2}$

разда - дугу устанавливают выпор.

Перед заливкой формы измеряют температуру металла в ковше. После заливки образец должен полностью охладиться в форме и только после этого производят выбивку отливки. Литник и выпор отрезают от отливки на механической пиле. Отламывать их нельзя, поскольку удары по отливке вызывают частичное снятие напряжений. Затем подготавливают поверхность, служащую базой для измерения величины деформации. С помощью наждачного круга снимают литейную корку на торцах стяжки и приливе, расположенном на стяжке. После этого поверхности обрабатывают наждачной и шлифовальной бумагой до получения шлифа. На поверхности прилива в поперечном направлении проводят две параллельные риски на расстоянии, примерно, $l = 30-40$ мм.

Деформацию определяют следующим образом:

1. Измеряют расстояние между рисками на приливе размером l с помощью компаратора с точностью до $0,01$ мм. Обозначим его значение через l_1 . Для уменьшения погрешности оба размера определяют как среднее арифметическое значение из 3-5 измерений.
2. Производят разрезку стяжки между рисками с помощью механической пилочки, либо абразивного камня. Такая разрезка приводит к освобождению образца от внутренних напряжений за счет реализации соответствующих упругих деформаций под действием изгиба дуги АВ (брусок I) и нормальных напряжений в стяжке (брусок II). Суммарную деформацию обоих брусков ($2\delta + \Delta l = \Delta D$) фиксируют по изменению расстояния между рисками на приливе после разрезки. Для ее определения выполняют следующую операцию.
3. Аналогичным образом, как и по I, измеряют расстояние между рисками после разрезки стяжки. Обозначим его значение через l_2 .

В результате суммарная деформация будет

$$\Delta D = l_2 - l_1.$$

Усилие P можно определить и непосредственно экспериментальным путем. Если сжимать образец с торцов стяжки на величину деформации растяжения ΔD , то требующееся для этого усилие и будет равно силе P . В случае уменьшения расстояния между рисками, что соответствует сжимающим напряжениям в бруске II, для определения P необходимо проводить растяжение на величину ΔD .

Все данные измерений вносят в табл. 2.

Таблица 2.

Характеристика состава стали	Расстояние между рис- ками, мм		$\Delta D = l_2 - l_1$	ρ	σ_R
	до разрез- ки l_1	после раз- резки l_2			
	мм	мм	кгс	кгс/см ²	
	среднее	среднее			

Порядок проведения анализа полученных данных

Анализ данных работы должен производиться с использованием результатов работы I. При этом необходимо ответить на следующие основные вопросы:

1. Какова тенденция изменения термических напряжений в пробе при имеющемся изменении состава испытываемых сталей?
2. Какова тенденция изменения фазовых напряжений в пробе в зависимости от изменения состава стали?
3. Какой вид напряжений преобладает по величине в пробах, залитых изучаемыми сталями?
4. В чем состоят основные причины полученной в работе зависимости величины напряжений в отливке от состава стали?

Составление отчета

Вначале формулируют цель работы. Дают краткое описание методики проведения работы: описывают применяемую пробу, для чего приводят ее эскиз с указанием размеров, дают эскиз схемы технологии заливки пробы. Описывают порядок подготовки пробы к измерениям деформаций и методику измерений. Данные измерений приводят в виде таблицы. Анализ результатов работы проводят подробно и сопровождают необходимыми объяснениями.

РАБОТА 4.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА И КРЕМНИЯ НА СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ

Механические и другие свойства стали, как и других сплавов, определяют главным образом их макро-и микростроением. В связи с этим технологический процесс изготовления стальных отливок должен обеспечивать получение их не только без дефектов, но и соответствующего строения.

Строение металла в отливках обычно получается более грубое и крупнозернистое, чем в пластически обработанной стали. Более крупное зерно и менее равномерное распределение отдельных структурных составляющих обуславливают, как правило, более низкие пластические свойства. Вместе с тем литая сталь обладает целым рядом очень важных преимуществ перед кованой. Она менее склонна к росту зерна при нагреве, менее чувствительна к отпускной хрупкости, лучше сопротивляется развитию ползучести и др.

Подробное рассмотрение этих вопросов дается в лекциях курса. В данной работе изучают микроструктуру литой углеродистой и кремнистой стали в зависимости от содержания соответственно углерода и кремния, а также вида термической обработки.

Работу проводят путем визуального изучения с помощью металлографического микроскопа заранее подготовленной коллекции шлифов. Основными составляющими структуры низко- и среднеуглеродистой стали являются феррит и перлит. Примерно до 0,30–0,40% С общее количество перлита невелико и на микрошлифах обычно нельзя различить характер его строения. Зерна перлита после травления 4%-ным раствором азотной кислоты окрашиваются в серый или желтоватый цвет.

Для отливок из низко- и среднеуглеродистой стали, неподвергнутых термической обработке, характерно наличие вытянутых угловатых ферритных зерен с видманштетовым расположением и ферритной сетки.

Структура высокоуглеродистой стали заэвтектоидного состава состоит из перлита и цементита. В литой стали без термообработки цементит располагается не только в виде тонкой сетки вокруг перлитных зерен, но и дает иглы внутри самих зерен.

При изучении структуры углеродистых сталей необходимо обратить внимание на взаимное расположение феррита и перлита, а также перлита и цементита. Отметить ориентацию ферритных зерен относительно друг друга в плоскости шлифа.

Микроструктура кремнистой стали определяется влиянием кремния на положение эвтектоидной точки S , на область гамма-раствора и прокаливаемость. Точку S кремний сдвигает влево, т.е. в сторону меньших концентраций углерода, а гамма-область суживает. В равновесной системе Fe-Si гамма-область диаграммы состояний замыкается уже при 2% кремния. Поскольку углерод довольно значительно способствует расширению гамма-области, то в зависимости от его содержания в стали замыкание ее будет происходить при более высоких концентрациях кремния. Таким образом, в низко- и среднелегированных кремнистых сталях

структура имеет те же составляющие, что и в углеродистой стали.

Структура высоколегированных кремнистых сталей, содержащих более 3% кремния, состоит уже из кремнистого феррита, силицидов типа $Fe_m Si_n$ и эвтектики, при содержании углерода выше 0,2%. При достаточно высоком содержании углерода (0,5% и выше) может выделиться и графит.

Порядок составления отчета

Отчет должен содержать рисунки микроструктур каждой стали с подробным их описанием. В письменной характеристике структуры отражают все наблюдаемые особенности строения: характер основных фаз, размер зерна, толщину границ зерен, ориентацию и форму отдельных зерен основных фаз, наличие выделений и расположение неметаллических включений, карбидов, интерметаллидов. При изучении строения высоколегированных сталей указывают примерное количество в процентах основных составляющих структуры (феррита, аустенита).

Характеристику структуры дают в сравнении со структурами других изучаемых сталей с тем, чтобы прослеживалось влияние состава стали в целом и отдельных ведущих элементов, а также вида термической обработки. При объяснении особенностей строения в каждом отдельном образце используют общие теоретические данные из курсов по стальному литью, металлогрфии и термической обработке. Отчет заканчивают выводами, в которых кратко формулируют основные положения наблюдаемого в работе влияния состава и термической обработки на строение литой стали.

РАБОТА 5.

ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА СТРОЕНИЕ СВОЙСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ

При изучении влияния марганца на строение стали следует учитывать, что, во-первых, марганец расширяет γ -область на диаграмме состояния железо-углерод (рис. 6) и, во-вторых, он образует карбиды. В соответствии с этим точку A_4 марганец повышает, а точку A_3 понижает. Точка перлитного превращения S смещается при повышении содержания марганца в сторону более низких содержаний углерода и более низких температур. Точка E смещается незначительно в сторону большего содержания углерода, т.е. марганец повышает растворимость углерода в аустените при высоких температурах.

В конструкционных низко- и среднелегированных марганцевых сталях свободных карбидов марганца не образуется, но атомы марганца могут замещать атомы железа в цементите, поэтому в структуре присутствует карбид типа $(Fe, Mn)_3C$. Содержание марганца в карбиде зависит от его содержания в стали, а также углерода. Так, в низкоуглеродистых

сталих содержание марганца в карбиде относительно выше, чем в высокоуглеродистых. Такое положение объясняется разницей в абсолютном количестве карбидных частиц и связанной с ним степенью обеднения феррита марганцем. Обеднение феррита тем сильнее, чем больше частиц карбида, т. е. чем больше углерода в стали.

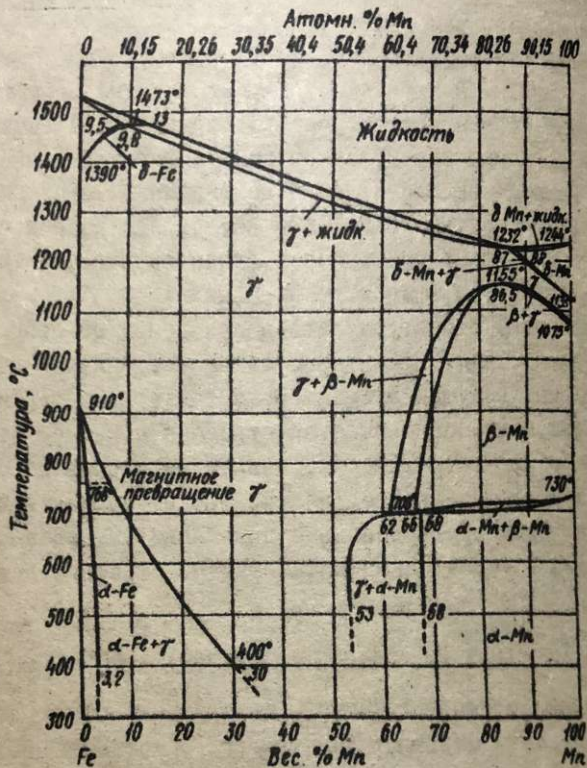


Рис. 6. Вид диаграммы состояния системы Fe-Mn

Марганец тормозит процесс превращения аустенита, и оно протекает медленнее, чем в обычных углеродистых сталях, что частично объясняется смещением температуры превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ в область более низких температур. Вследствие понижения температуры превращения замедляются все диффузионные процессы, а также процесс обособления и коагуляции феррита и карбидов. В результате структура сталей перлитного класса получается тем дисперсней, чем выше содержание марганца.

В зависимости от содержания в стали марганца и углерода структура может изменяться в весьма широких пределах: от перлитной до аустенитной.

тенистой, как это видно из структурной диаграммы на рис. 7 для случая охлаждения на воздухе. Для отливок после охлаждения в форме границы соответствующих областей диаграммы переместятся несколько вверх и вправо, т.е. в сторону больших концентраций марганца и углерода.

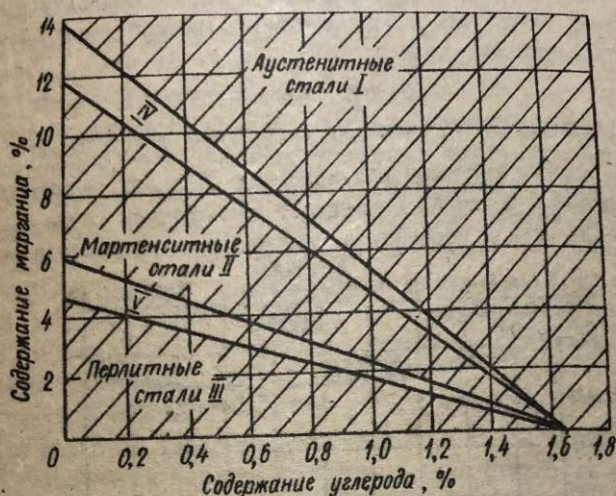


Рис. 7. Структурная диаграмма марганцевых сталей.

В чистых сплавах системы железо-марганец устойчивое однофазное строение в виде γ -твердого раствора получается при содержании марганца около 30% и выше. В сталях, где в составе имеется углерод, способствующий повышению устойчивости аустенита, аустенитное строение может получиться при тем более низком содержании марганца, чем выше содержание углерода. Типичным примером такой аустенитной высокомарганцевистой стали является широко распространенная сталь ПЮГЗЛ, содержащая 12-13% и 1,2 и - 1,3% С. Из-за медленного охлаждения отливок в условиях литейной формы эта сталь не получает чисто аустенитного строения. При таком охлаждении происходит выпадение большого количества карбидов, обедняющих твердый γ -раствор углеродом и марганцем, в результате чего аустенит становится неустойчивым и распадается. В зависимости от степени обеднения отдельных участков аустенита в них образуется мартенсит, либо даже перлит. В структуре отливок стали ПЮГЗЛ в сыром состоянии, следовательно, могут одновременно

присутствовать аустенит, мартенсит и перлит.

Такая сталь обладает очень высокой износостойкостью только в аустенитном состоянии, поэтому отливки из нее подвергают закалке в воде с 1000–1050°, чтобы зафиксировать аустенитное состояние.

Увеличение содержания марганца выше 13% не приводит к каким-либо принципиальным изменениям в получающемся строении стали. Отчет по работе составляют аналогично отчету к работе 4.

РАБОТА 6.

ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ

Никель подобно марганцу расширяет γ -область, повышает температуру превращения в точке A4 и понижает температуру точки A₃. Так же как и марганец, никель образует с железом твердый раствор замещения (рис. 8).

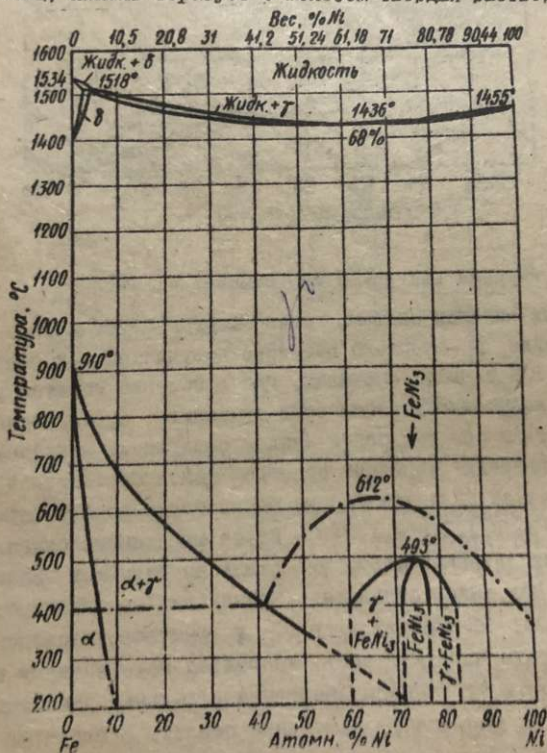


Рис. 8. Вид диаграммы состояний системы Fe - Ni

Введение в сталь никеля сдвигает перлитную точку к более низким содержаниям углерода. Одновременно с этим каждый процент никеля снижает температуру перлитного превращения примерно на 3° .

Скорость диффузии в кристаллитах, имеющих γ -решетку, относительно мала по сравнению с кристаллитами с α -решеткой, а при понижении температуры превращения аустенита (точки A_3) диффузия еще более замедляется, в связи с чем в никелевых сталях имеет место значительное пересхлаждение аустенитного превращения. Из этого следует, что эффект пересхлаждения, наблюдающийся в реальных условиях охлаждения отливок, обуславливает замедление распада аустенита. Процесс превращения аустенита не будет завершаться полностью и останавливается на тем более ранней стадии, чем выше содержание никеля. В результате, по мере повышения содержания никеля, в отливке получают все более дисперсные промежуточные структуры, а затем происходит лишь мартенситное превращение. При 25-30%Ni наступает полное подавление превращения аустенита, т.е. получается аустенитное строение в полностью охлажденной отливке.

В низколегированной никелевой стали основными составляющими структуры являются никелевый феррит и перлит, либо один перлит. Карбидной составляющей перлита является только цементит, поскольку никель не образует карбидов. Отчет по работе составляют аналогично отчету к работе 4.

РАБОТА 7.

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ

В двойной равновесной системе Fe-Cr при 12,5-13% хрома замыкается область гамма твердого раствора (рис.9). Точка A_3 примерно до 8%Cr понижается, а затем несколько повышается. В сталях из-за присутствия углерода, который расширяет область гамма раствора и связывает часть хрома в карбиды, для замыкания гамма области потребуются уже более высокое содержание хрома. При концентрации хрома, ниже соответствующей замыканию гамма области, в стали при охлаждении будет происходить превращение аустенита с получением соответствующей конечной структуры. Хром в этом случае тормозит процесс превращения аустенита, т.е. в реальных неравновесных условиях охлаждения отливок способствует получению более дисперсной и менее равновесной структуры. Так, если при содержании хрома до 2% сталь по структуре относится к перлитному классу, то с 5% Cr и выше получается сталь уже мартенситного класса. Точку S хром смещает влево.

В сталях, содержащих до 2% Cr, образуется сложный карбид типа цементита $(Fe, Cr)_3C$.

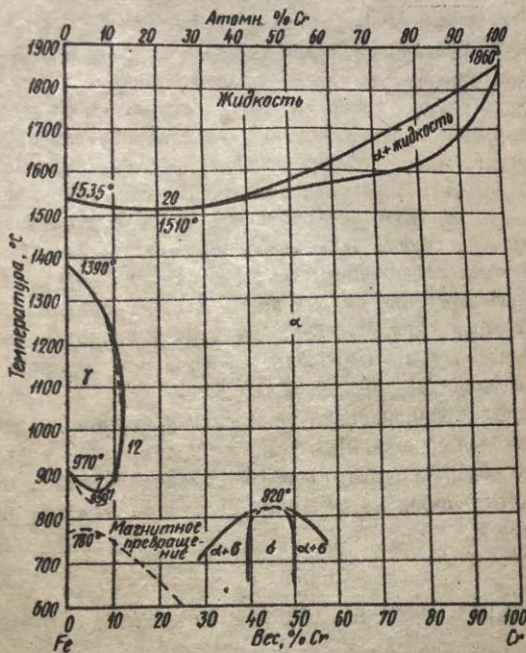


Рис. 9. Вид диаграммы состояний системы Fe - Cr

При 3% Cr и более образуется карбид с тригональной решеткой $(Fe, Cr)_7C_3$. Основная и большая часть хрома находится в растворе в феррите. При 16% Cr и более образуется карбид типа $Me_{23}C_6$. Хромистая сталь состава, находящегося уже вне гамма-области, не испытывает структурных превращений при охлаждении и получает однофазное ферритное строение.

В зависимости от содержания углерода в структуре таких сталей будут всегда присутствовать в большем или меньшем количестве карбиды хрома, располагающиеся по границам зерен феррита. В высокохромистых сталях, содержащих 25% Cr и выше, при концентрации углерода 0,5-0,8% получается карбидо-ферритная структура.

При содержании углерода 1% и выше в структуре будет иметь место помимо феррита карбидная эвтектика, так как хром значительно сни-

гает эвтектическую точку влево. Отчет по работе составляют аналогично отчету к работе 4.

РАБОТА 8.

СТРОЕНИЕ ЛИТЫХ КИСЛОУПОРНЫХ СТАЛЕЙ

Основные марки кислотоупорных сталей представляют собой высоколегированные стали на хромоникелевой основе. В зависимости от требуемого уровня коррозионной стойкости отливок, часто производится дополнительное легирование этих сталей молибденом, марганцем, медью, титаном и некоторыми другими элементами. Структура может быть чисто аустенитной и аустенито-ферритной. Так, 18% Cr и 8% Ni при 0,1% C обеспечивает получение почти чисто аустенитного строения стали в сыром состоянии при наличии около 5% феррита. Чисто аустенитное строение может быть обеспечено повышением содержания никеля, либо никеля и углерода совместно. Увеличение хрома против 18% или уменьшение никеля приводит к росту количества феррита в структуре. Например, при 25% Cr и 5% Ni в структуре получается до 50-60% феррита. С уменьшением содержания никеля происходит не только уменьшение количества аустенита в структуре, но и снижается устойчивость получающихся аустенитных зерен, что приводит к их распаду с образованием мартенсита. В результате при относительно малых содержаниях никеля структура становится феррито-мартенситной или полностью мартенситной.

Дополнительное легирование молибденом и титаном увеличивает количество феррита в структуре. Для того чтобы компенсировать такое влияние этих элементов, необходимо увеличивать содержание никеля либо вводить, например, медь или азот. Медь не влияет на увеличение количества первичного аустенита, но способствует большей его устойчивости. Азот довольно сильно увеличивает количество первичного аустенита. В некоторых кислотоупорных сталях с целью экономии никеля заменяют его марганцем как элементом, способствующим увеличению аустенита. Однако марганец в этом отношении действует значительно слабее, чем никель и азот. При определении количественного соотношения между аустенитной и ферритной составляющей структуры, помимо оценки по занимаемой площади аустенитом и ферритом на шлифе, следует параллельно оценить и по силе притяжения магнитом шлифа. В тех случаях, когда феррита в структуре очень мало, при испытании шлифа магнитом его надо подвешивать на нитку или устанавливать в наименее устойчивое положение. Это следует делать с целью увеличения чувствительности метода испытания. Отчет по работе составляют аналогично отчету к работе 4.

РАБОТА 9.

СТРОЕНИЕ ЛИТОЙ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ

Высоколегированные хромоникелевые стали обладают жаропрочными свойствами. Для повышения жаропрочности эти стали должны иметь аустенитную основу, их дополнительно легируют, например, молибденом, вольфрамом, ванадием, титаном, ниобием и др. в различных сочетаниях с целью получения в структуре упрочняющих фаз. Такими упрочняющими фазами обычно являются карбиды, нитриды, карбонитриды, а иногда и интерметаллиды.

В процессе медленного охлаждения отливок в форме упрочняющие фазы выпадают из раствора-аустенита в виде достаточно крупных выделений, располагаясь преимущественно у границ зерен аустенита, либо получают междендритную ориентировку.

Для получения максимального положительного эффекта от выделяющихся упрочняющих фаз необходимо обеспечивать наиболее дисперсное их состояние и равномерное распределение по всему объему металла. С этой целью отливки подвергают специальной обработке, включающей закалку-аустенитизацию и старение.

В процессе нагрева отливки под закалку и выдержки при этой температуре происходит гомогенизация стали.

В результате при старении выделение дисперсных упрочняющих фаз происходит уже равномерно по всему объему.

Изучая структуры жаропрочных сталей, необходимо обратить внимание на размер аустенитного зерна и в этом отношении дать сравнительную характеристику рассматриваемых сталей. Для каждой стали необходимо сравнить характер распределения упрочняющих дисперсных фаз в сыром, закаленном и состаренном состояниях; дать сравнительную характеристику количества и степени дисперсности указанных фаз.

Отчет по работе составляет аналогично отчету к работе 4.

РАБОТА 10.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Работа включает разработку технологии формовки и заливки отливки из заданной марки стали. По заданному чертежу детали производят технологическую проработку указанных этапов изготовления литой заготовки, основываясь на соответствующих положениях, изложенных в курсе теории и технологии литейных форм. Все технологические решения принимают с учетом особенностей литейных свойств заданной марки стали, исходя из

анализа ее химического состава, используя данные и теоретические положения, изложенные в курсе теории и технологии стального литья.

При выполнении задания должны быть сделаны следующие технические эскизы и расчеты:

1. Эскиз отливки.
2. Эскиз собранной литейной формы в необходимом количестве проекций с разрезами.
3. Выбор конструкции и расчет литниковой системы.
4. Выбор мест установки и расчет размеров приливей.

Конструкцию литниковой системы в соответствии с задачей получения качественного изделия выбирают исходя из особенностей литейных свойств стали и конструкции отливки. При этом литниковая система должна способствовать условию режима направленного или одновременного затвердевания.

В основу расчета литниковой системы обычно берут продолжительность заполнения формы τ (с):

$$\tau = S\sqrt{\delta G},$$

где δ - преобладающая толщина отливки, мм;

G - масса заливаемого через литниковую систему в форму металла, кг;

S - коэффициент, зависящий от ряда факторов.

Значения коэффициента S при заливке отливок углеродистой стали

Таблица 3.

Характеристика отливок	G, кг	При толщине стенки отливки δ , мм				
		До 15	16-30	31-50	51-100	Св. 100
Отливки типа плит и особо ответственного назначения при заливке в сырые и сухие формы.	до 500	1,0	0,90	0,80	0,75	-
	500-1000	1,05	1,0	0,90	0,80	0,75
	5000-15000	1,25	1,10	1,0	0,90	0,85
	1000-5000	1,15	1,05	0,95	0,85	0,80
Отливки зубчатых колес и с развитыми тонкими стенками при заливке в сухие формы	до 500	1,10	1,0	0,90	0,85	-
	500-1000	1,20	1,10	1,0	0,95	0,90
	1000-5000	1,30	1,20	1,05	1,0	0,95
	5000-15000	1,40	1,30	1,15	1,05	1,0
Отливки с развитыми обрабатываемыми поверхностями при заливке в сухие формы	до 500	1,25	1,10	1,0	0,95	1,0
	500-1000	1,30	1,20	1,15	1,05	1,05
	1000-5000	1,45	1,30	1,25	1,15	1,10
	5000-15000	1,55	1,40	1,25	1,15	1,10

Характеристика отливок	G, кг	При толщине стенки отливки, δ мм.				
		до 15	16-30	31-50	51-100	св. 100
		Отливки, имеющие преимущественно вертикальное положение при заливке в сухие формы.	до 500	1,35	1,20	1,10
	500-1000	1,40	1,30	1,20	1,15	1,10
	1000-5000	1,60	1,45	1,30	1,25	1,20
	1000-15000	1,75	1,60	1,45	1,35	1,25

Значение S должно быть умножено на следующие поправочные коэффициенты при изготовлении отливок:

из стали П10Г13Л	0,8
20Х13Л	0,6
10Х13Н9ТЛ	0,55
30Х24Н12СЛ	0,50

При содержании (Сr+Mo+W) = 1,8-2,5% 0,8-0,9

При содержании Al от 2 до 5% 0,6-0,4

При заливке форм из поворотного ковша через носок суммарную площадь сечения питателей (см²) рассчитывают по формуле.

$$F_{\text{пит.}} = \frac{G}{\mu \cdot 0,31 \sqrt{H_p}}$$

$$H_p = H_c - \frac{h_1^2}{2h}$$

где μ - коэффициент расхода в литниковой системе;

H_p - расчетный напор металла, см;

H_c - высота стояка до уровня металла в воронке, см;

h - высота отливки в форме, см;

h_1 - высота отливки над питателями, см.

Коэффициент расхода $\mu < 0,75$ при заливке в сырую форму равен 0,25 (при большом сопротивлении формы) и 0,40 (при малом сопротивлении формы). Для сухих форм он соответственно составляет 0,3 и 0,5. Повышение температуры заливки на 50° увеличивает μ на 0,05, а малая газопроницаемость формы (при отсутствии выпоров и приоблей) уменьшает коэффициент на ту же величину.

Коэффициент μ увеличивается на 0,05-0,20, когда $\frac{F_{\text{ст}}}{F_{\text{лит}}} > 1,6$ и $\frac{F_{\text{лх}}}{F_{\text{лит}}} > 1,3$ (где $F_{\text{ст}}$ и $F_{\text{лх}}$ - площади поперечного сечения стояка и литникового хода).

Сечения литникового хода и стояка определяют на основании соотношения

$$F_{\text{лит}} : F_{\text{лх}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : (1,05-1,3) : (1,15-1,6).$$

Заливка форм из стопорного ковша может производиться по двум вариантам. В первом варианте пропускная способность литниковой системы равна или больше, чем у стопорного отверстия ковша, которое будет самым узким сечением во всей системе. Продолжительность заполнения формы в этом случае не зависит от размеров литниковой системы и определяется только диаметром отверстия стакана и металлостатическим напором в ковше. Литниковая система в процессе заливки при этом обычно не бывает запорной, и все ее элементы имеют одинаковые площади поперечного сечения, т. е.

$$F_{\text{лит}} : F_{\text{ст}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1 : 1.$$

Диаметр отверстия стопорного стакана подсчитывают исходя из определенной весовой скорости заливки ($\frac{G}{t}$, кг/сек):

$$F_c = \frac{G}{\mu_k \gamma \sqrt{2g H_{\text{ср}}}}$$

где F_c - площадь сечения отверстия стакана, см²;

μ_k - коэффициент расхода отверстия стакана, равный 0,8-0,95;

γ - удельный вес жидкой стали (6,8-6,9 кг/дм³);

$H_{\text{ср}}$ - средний напор металла (см) в ковше за период заполнения данной формы;

$$\sqrt{H_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}}{2},$$

где H_1 и H_2 - напор металла в ковше соответственно в начале и в конце заливки.

Суммарное сечение питателей (см²) находят по формулам:

для начального момента

$$F_{\text{лит}} = F_c \frac{\mu_k \sqrt{H_1}}{\mu \sqrt{H_1'}}$$

для конечного момента заливки

$$F_{\text{лит}} = F_c \frac{\mu_k \sqrt{H_2}}{\mu \sqrt{H_2'}}$$

где H_1' - высота стояка от питателей до уровня металла в литниковой воронке;

H_2' - высота от верхней точки отливки до уровня металла в воронке.

Из полученных двух значений выбирают большее.

Первый вариант заливки применяют обычно для сравнительно крупных отливок, когда литниковую систему выполняют в шамотных трубках. Заливку по второму варианту производят с частичным уменьшением расхода отверстия стакана при помощи стопора, поскольку оптимальная продолжительность заполнения формы для какой-либо отливки больше, чем получилось бы при заливке через полное отверстие стакана. При таких условиях разливщик должен регулировать струю металла так, чтобы литниковая

система была заполненной и поддерживался более или менее постоянный уровень металла в литниковой воронке. В этом случае расчет литниковой системы ведут так же, как и при заливке из поворотного ковша.

Место установки прибылей определяется расположением термических узлов в отливке и ее положением при заливке формы. Место расположения термического узла находят способом вписанных окружностей, либо построением расчетных изосолидусов. Для равностенных отливок, как например, плит или венцов, протяженность термического узла в центральной зоне равна протяженности всей отливки.

Руководящим принципом в выборе расположения прибыли является создание наилучших условий направленного к прибыли затвердевания отливки. Наряду с этим необходимо руководствоваться и следующими положениями:

1. Следует избегать установки прибылей на необрабатываемых поверхностях отливки.

2. Когда термический узел имеет большую протяженность, то предпочтительно ставить вместо одной массивной прибыли две меньших размеров, чтобы не замедлять чрезмерно охлаждения прилегающей к прибыли зоны отливки.

3. Верхние прибыли, т.е. располагающиеся непосредственно над питаемым узлом, работают более эффективно, чем боковые.

4. При одновременной заливке нескольких отливок в одной форме рационально устанавливать групповые боковые прибыли, питающие одновременно несколько узлов рядом расположенных отливок.

5. При установке прибылей на термические узлы, располагающиеся на разных уровнях отливки, необходимо выдерживать баланс давлений жидкого металла в затвердевающей отливке с тем, чтобы предотвратить перекачивание металла из одной прибыли в другую. С этой целью необходимо принять меры (установить холодильники) для быстрого обособления области питания каждой прибыли.

6. Желательно, чтобы расположение прибыли позволяло подводить металл под прибыль, либо непосредственно через ее полость.

7. Расположение прибыли должно обеспечивать наиболее легкое отделение ее от отливки. После определения места установки прибыли выбирают ее отливку. После определения места установки прибыли выбирают геометрическую форму. Наиболее экономичными являются шаровые прибыли, затем цилиндрические и в форме призмы.

При определении размера сечения прибыли исходным моментом является выполнение соотношения

$$R_n \geq R_0,$$

где R_n - приведенная толщина прибыли;

R_o - приведенная толщина питаемого узла отливки.

Для обеспечения нормального питания отливки, затвердевающей в одинаковых с прибылью условиях, необходимо принять отношение

$$\frac{R_n}{R_o} = 1,1 \div 1,2.$$

В случае установки боковых прибылей соотношение между приведенными толщинами питаемого узла R_o , перешейка, соединяющего прибыль с отливкой R_c , и прибыли R_n рекомендуется выдерживать следующим:

$$R_o : R_c : R_n = 1 : 1, 1 : 1, 2$$

Высоту прибыли H_{np} рассчитывают по формуле

$$H_{np} = \frac{m R_o}{\delta \sqrt{1 - \frac{\delta}{d}}}$$

где $d = 0,035$ для отливок из углеродистой стали;

$\delta = 0,75$ коэффициент запаса;

$m = 2$ для открытой прибыли и $m = 1$ для закрытой.

Приведенную толщину R_o необходимо рассчитывать как отношение объема питаемого узла V_o к его поверхности S_o . При этом в объем V_o включают все стенки, сопряженные с термическим узлом, на расстоянии, равном не менее удвоенной толщины соответствующей стенки или ребра.

Литература

- Гулаев Б. Б. Теория литейных процессов. - Л.: Машиностроение, 1976. - 214 с.
- Василевский П. Ф. Технология стального литья. - М.: Машиностроение, 1974. - 408 с.