

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА****Кудрявых А.А.****научный руководитель канд. техн. наук Саначева Г.С.,****канд. хим. наук Королева Г.А.****Сибирский Федеральный Университет**

Чугун — сплав железа(Fe) (основа) с углеродом(C), содержащий постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а иногда и легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al и др.). Чугун, в котором большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде графита, называется серым чугуном. Этот чугун имеет хорошие литейные свойства, значительно дешевле других сплавов, он достаточно прочный. Серый чугун широко применяется в машиностроении для отливок различных деталей машин. Обычно серый чугун содержит 2,8—3,6% углерода, 1,6—3,0% кремния, 0,5—1% марганца, 0,2—0,8% фосфора и 0,05—0,12% серы.

Основными факторами, с помощью которых осуществляется управление свойствами чугуна в отливке, являются: химический состав; технологические факторы выплавки, включая выбор плавильного агрегата, шихту, легирование; технология получения отливки; термическая обработка.

Влияние химического состава чугуна на структуру и свойства чугунных отливок представлено в табл.1.

Таблица1

Влияние химических элементов на свойства чугуна

<i>Элемент, кол-во элемента (%)</i>	<i>Значение</i>
Углерод 2-4,3%	Повышенное содержание углерода приводит к уменьшению прочности, твердости и увеличению пластичности; углерод улучшает литейные свойства чугуна
Кремний 0,5-4,25%	Кремний увеличивает жидкотекучесть, уменьшает усадку, легирует феррит; повышенное содержание - снижает пластичность, увеличивает твердость, уменьшает предел прочности
Марганец 0,2-2%	Марганец тормозит выделение графита, способствует размельчению перлита и отбеливанию чугуна; взаимодействуя с серой, нейтрализует ее вредное действие. Механические свойства чугуна повышаются при содержании марганца до 0,7-1,3 %, а при дальнейшем увеличении - снижаются. Марганец увеличивает усадку сплава
Сера 0,02-0,2%	Сера - вредная примесь - вызывающая явление краснотекучести. Она ухудшает жидкотекучесть, придает чугуну пузырчатость.
Фосфор 0,1-1,2%	Фосфор - понижает прочность и увеличивает хрупкость, увеличивает жидкотекучесть.
Водород, азот, кислород	Повышают склонность к переохлаждению, метастабильной кристаллизации; снижают механические свойства.

Важнейший процесс, определяющий структуру серого чугуна, а значит, и его

свойства,- это графитизация, от которой зависят не только количество и характер графита, но в значительной степени и структура матрицы. Общеизвестно, что важнейшими элементами, определяющими структуру и свойства серого чугуна, являются углерод и кремний, всегда присутствующие в металле в том или ином количестве.

Углерод в чугунных отливках может находиться в виде свободного углерода графита и в виде химического соединения с железом  $Fe_3C$ , называемого карбидом железа или цементитом. Чем больше углерода в чугуне, тем больше выделяется графита. Графит в сером чугуне располагается в форме пластинок, которые разъединяют основную металлическую массу и понижают прочность чугуна. Чем меньше углерода и более мелкие по величине пластинки его, тем выше механические свойства чугуна, в то же время углерод улучшает его литейные свойства. При изготовлении отливок содержание углерода колеблется в значительных пределах: в обычном сером чугуне—от 3,2 до 3,9%. Для обеспечения высоких литейных свойств ( хорошей жидкотекучести) должно быть не меньше 2,4% С. Процесс выделения графита из цементита во время затвердевания и охлаждения отливки сопровождается увеличением объема, что понижает усадку чугуна.

Кремний в чугуне способствует распаду цементита и образованию графита, т. е. является графитизатором. С железом кремний образует устойчивое химическое соединение  $FeSi$ . Изменяя содержание кремния в чугуне, можно регулировать соотношение между связанным углеродом и графитом. Кремний повышает жидкотекучесть чугуна и уменьшает его усадку. В обычном сером чугуне содержание кремния колеблется от 1,8 до 3%. При содержании кремния до 1,5% механические свойства сплава повышаются.

Марганец увеличивает устойчивость карбидов железа, сам образует карбид  $Mn_3C$  и препятствует графитизации чугуна. Он нейтрализует сильное влияние серы на уменьшение жидкотекучести чугуна, образуя сульфид марганца  $MnS$ , который переходит в шлак. Содержание марганца в отливках из серого чугуна колеблется от 0,5 до 1,2%.

Сера считается вредной примесью в чугуне. Она образует соединение  $FeS$ , которое растворяется в чугуне в неограниченном количестве. Сульфид железа (II) образует с железом легкоплавкое соединение  $FeFeS$  с температурой плавления  $985^{\circ}C$ . Это соединение при затвердевании отливки кристаллизуется последним по границам кристаллов и снижает механические свойства чугуна, вызывая краснотокость. Сера препятствует графитизации, понижает жидкотекучесть чугуна, увеличивает усадку, повышает твердость и хрупкость чугуна в холодном состоянии. Предельно допустимое содержание серы в чугуне 0,12—0,15%. При модифицировании чугунов магнием сера с ним образует сульфид магния, скопления которого приводит к образованию черных пятен, ослабляющих сечение отливок. Уменьшение содержания серы можно достигнуть процессом десульфурации. Основным источником повышения содержания серы в чугуне является топливо, которое содержит 0,5-2% серы. Насыщение чугуна серой возможно путем прямого контакта с твердым топливом и через газовую фазу. Прямой переход серы из твердого топлива в чугун зависит от величины поверхности топлива. Сера, содержащаяся в топливе, распределяется между чугуном, шлаком и газовой фазой в следующем соотношении:  $S_{\text{чугун}} : S_{\text{шлак}} : S_{\text{газ}} = 25 : 25 : 50$

Переход серы из газовой фазы в чугун происходит особенно интенсивно на окисленной поверхности металла. В случае применения мелкой шихты насыщение серой более значительное. Переход серы из шлака в чугун в вагранке почти не возможен. Содержание серы в шлаках составляет 0,05-3% при содержании серы в чугуне около 0,1%.

Фосфор в чугуне при содержании до 0,3% находится в растворе. При избытке фосфора образуется двойная и тройная фосфидная эвтектика ( $\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{P}$  и  $\text{Fe} + \text{FeP} + \text{Fe}_3\text{C}$ ) с температурой плавления около  $950^\circ \text{C}$ . Фосфидная эвтектика обладает большой твердостью. При содержании фосфора до 0,7% она выделяется в виде отдельных включений, при большем содержании — в виде сплошной сетки по границам кристаллов. Она увеличивает хрупкость (хладноломкость) чугуна. Фосфор способствует графитизации и увеличивает его жидкотекучесть. Содержание фосфора в чугуне допускают до 0,3% в ответственных отливках, до 0,8% в отливках, работающих на истирание, и до 1,2% в тонкостенном и художественном литье.

Неметаллические включения в чугуне являются чаще всего *эндогенными*, возникающими за счет химических реакций, происходящих в расплаве, или особенностей технологических процессов приготовления сплавов и их последующей кристаллизации. Могут быть включения и *экзогенными*, попавшими в отливку из внешней среды после приготовления жидкого расплава. Содержание включений в обычном сером чугуне с учётом графита может достигать 5-6%. В легированных чугунах и в чугунах, содержащих примеси цветных металлов, могут присутствовать самые разнообразные включения, представляющие соединения этих металлов с кислородом и другими элементами. Многие включения содержатся в виде чрезвычайно тонких образований коллоидного размера ( $1\text{см}^3$  обычного серого чугуна может находиться : до 5млн устойчивых оксидных включений, в числе которых содержится около 70% включений размером от 0,2 до 1 мкм; около 43 млн сульфидов; около 5 млн. карбонитридов). Таким образом, в  $1\text{см}^3$  чугуна, помимо включений графита, можно обнаружить более 50 млн неметаллических включений микро- и макроскопического размера. Все эти эндогенные включения, существующие в жидком чугуне и образующиеся во время кристаллизации, могут оказывать заметное, а часто и решающее, влияние на физические свойства металла, процессы структурообразования чугуна и его свойства в отливках, причем в тем большей степени, чем выше эти свойства.

Свойства серого чугуна (механические и литейные) целиком зависят от химического состава и структур, возникающих в процессе его получения. Механическая прочность серого чугуна зависит от формы, величины и распределения графитовых включений, а также от прочности основной металлической массы, т.е. структуры.

Структурные составляющие чугуна - графит, феррит, перлит, ледебурит, цементит и фосфорная эвтектика. Их состав и характеристики:

- Графит - стабильная высокоуглеродистая фаза.
- Феррит - твердый раствор внедрения С в  $\alpha$ -железе с объемно-центрированной кубической решеткой.
- Перлит - эвтектоидная смесь, состоящая из тонких чередующихся пластинок феррита и цементита.
- Ледебурит - эвтектическая смесь кристаллов цементита и аустенита, превращающегося при охлаждении в перлит.
- Цементит - карбид железа;  $\text{Fe}_3\text{C}$  метастабильная высокоуглеродистая фаза.

Серые чугуны по структуре бывают ферритные, перлитные, перлитно-ферритные. Известен серый чугун с шаровидным графитом на ферритной основе (табл.2).

Таблица 2

## Микроструктура чугуна

Вид чугуна, состав	Свойства	 <p data-bbox="826 674 1374 741">1 – перлит; 2 – графит; 3 – шаровидный графит; 4 – феррит; 5 – цементит</p>
Серый ферритный (феррит, графит)	Низкая твердость, прочность, высокая вязкость	
Серый перлитный (перлит, графит)	Твердость и высокие механические свойства	
Перлитно-ферритный (феррит, перлит, графит)	Высокая прочность.	

Описанный в работе серый чугун характеризуется высокими литейными (низкой температурой кристаллизации, текучестью в жидком состоянии, малой усадкой) и механическими свойствами (растяжением, сжатием), что позволяет ему являться основным материалом для литья.