

УДК 620.22:621.74.042

Н.А. Жижкина, С.А. Ипатов

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ЧУГУНОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Проанализированы особенности строения белых, половинчатых и серых чугунов.

Ключевые слова: белый чугун, микроструктура чугунов, половинчатый чугун, свойства чугунов, серый чугун, состав чугунов.

Известно [1-5], что чугун благодаря своим высоким показателям надежности, износоустойчивости, неприхотливости в эксплуатации и вместе с тем относительной дешевизне относится к металлическим композициям, которые нашли широкое применение как в повседневной жизни людей (печное, газовое, бытовое оборудование, уличная архитектура, памятники), так и в промышленной сфере их деятельности (станки, корпусные детали).

Так, в автомобильной промышленности из чугуна получают блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, а также коленчатые валы дизельных двигателей.

Вместе с тем одним из недостатков чугунных изделий является их большая масса. При этом в большинстве случаев чистый чугун хрупкий и легко крошится. Для повышения качества таких изделий при плавлении чугуна применяют различные добавки.

В связи с этим актуальным направлением исследований представляется приготовление чугуна нового состава, характеризующегося более высоким уровнем свойств.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей строения чугунов различного состава.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- охарактеризована существующая система классификации современных чугунов;
- оценены особенности качества каждого их типа;
- проанализированы структура и свойства чугунов различного химического состава.

Анализ существующих технологий производства чугунных отливок [5-7] показал, что особенностью таких изделий является более высокое по сравнению со стальными содержание углерода (более 2,14% С). В зависимости от общего его содержания чугуны подразделяют на доэвтектические (менее 4,3% С), эвтектические (4,3% С), заэвтектические (более 4,3% С).

Чугунные изделия характеризуются гетерогенностью строения (рис. 1), а следовательно, и большим разнообразием технологических и эксплуатационных свойств. В зависимости от химического состава и скорости охлаждения чугунные образцы характеризуются белой, половинчатой или серой структурой, что обусловливается соотношением карбидных и графитных включений в ней.

Структура белых чугунов, образуемая при быстром охлаждении, содержит большое количество цементита. Такие чугуны обладают высокой твердостью и износоустойчивостью. Изделия из них поддаются обработке резанием только сверхтвердыми сплавами. Белые чугуны применяют для рабочего слоя деталей конструкций, подвергающихся действию одновременно температурного и абразивного износа.

Анализ результатов исследований [1;4] показал, что половинчатый чугун характеризуется изломом, состоящим из светлых (карбидных) и темных (графитных) участков. Такой чугун получил широкое распространение как конструкционный материал в машиностроительной, металлургической и других отраслях промышленности. Его технологичность обеспечена невысокой стоимостью, достаточно высокими литейными свойствами и обрабатываемостью режущими инструментами. При этом изделия, изготовленные из половинчатого чугуна, имеют достаточно высокую прочность и износоустойчивость, а также

характеризуются меньшей, чем у стальных изделий, чувствительностью к концентраторам напряжений.

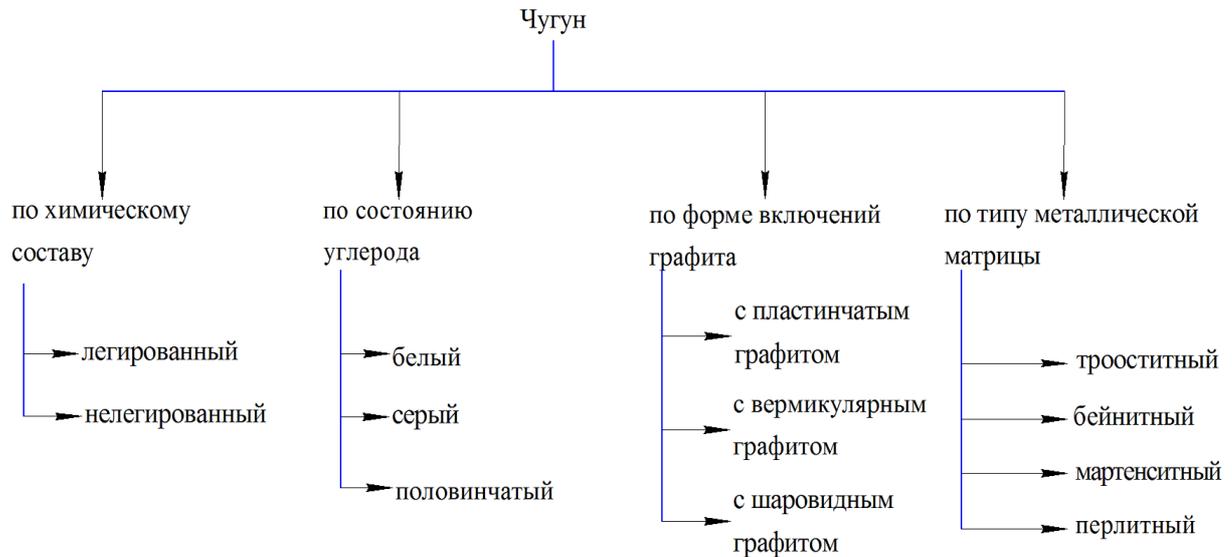


Рис. 1. Классификация чугунов

При медленном охлаждении в чугунах структурообразование происходит по стабильной диаграмме железо-углерод, в результате чего углерод выделяется в виде графита [6]. Такие чугуны, как правило, имеют пластинчатую форму графита, что обеспечивает серый излом, и классифицируются по типу металлической основы на ферритные, ферритно-перлитные, перлитные. Наличие включений пластинчатого графита, края которых являются дополнительными концентраторами напряжений, снижает прочность серых чугунов.

Однако при сжатии серого чугуна форма, количество и размеры графитных включений практически не оказывают влияния на предел его прочности. Этот показатель близок к уровню стальных образцов и зависит главным образом от типа металлической основы. Прочность серых чугунов при сжатии в 3-5 раз больше, чем при растяжении. Поэтому серые чугуны рекомендуется использовать для изделий, работающих в основном на сжатие.

Наличие графитных включений такой формы способствует улучшению обрабатываемости серых чугунов резанием, а также повышению демпфирующей способности и антифрикционных свойств. Такие чугуны малочувствительны к различным внешним концентраторам напряжений (дефекты поверхности, надрезы, выточки и т.д.), что обеспечивает стойкость деталей из них к усталостному разрушению.

Для повышения прочностных свойств серого чугуна в него вводят специальные добавки редкоземельных металлов или магния в количестве 0,03...0,07%. Такая обработка способствует кристаллизации графита в виде глобулей и образованию чугуна с шаровидным графитом. Шаровидный графит имеет минимальную поверхность раздела с металлической матрицей и не является таким сильным концентратором напряжений, как пластинчатый. В результате одновременно повышаются показатели временного сопротивления при растяжении и относительного удлинения чугуна, благодаря чему его широко используют в авто- и дизелестроении (для коленчатых валов, крышек цилиндров и других деталей), тяжелом машиностроении (для деталей прокатных станков, кузнечно-прессового оборудования), химической и нефтяной промышленности.

Поскольку цементит является метастабильной фазой и при высокой температуре распадается на аустенит и графит, то из белого доэвтектического чугуна с содержанием

углерода 2,5...3% и кремния 0,8...1,6% путем длительного (около 100 часов) графитизирующего отжига при температуре около 900-1000 °С получают ковкий чугун [5].

Структура такого чугуна характеризуется хлопьевидной формой графита. По прочности ковкие чугуны занимают промежуточное положение между чугунами с мелкопластинчатой и шаровидной формами графита. Областью их применения являются детали, работающие при ударных и вибрационных нагрузках.

В связи с этим важной научно-практической задачей представлялось проведение дополнительных исследований структуры и свойств белых, половинчатых и серых чугунов.

Для проведения исследований структуры и свойств анализируемых чугунов согласно стандартным методикам [1] были отобраны образцы непосредственно от массивных отливок, отличающихся содержанием химических компонентов (табл. 1). Микроструктура исследуемых образцов приведена на рис. 2.

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов

№ образца	Тип чугуна	Содержание компонентов, %						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1	Белый	3,3	0,6	0,8	0,5	0,003	1,5	3,5
2	Половинчатый	3,4	1,0	1,0	0,4	0,003	1,0	3,5
3	Серый	3,6	2,3	0,8	0,5	0,003	0,1	1,0



а)



б)



в)

Рис. 2. Микроструктура исследуемых чугунов (x100, травлено 3-5%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте): а – белый; б – половинчатый; в – серый

Из рис. 2 следует, что исследуемые образцы характеризуются различным соотношением структурных составляющих (табл. 2). В соответствии с ГОСТами [2;4] был измерен уровень свойств: твердости и временного сопротивления при изгибе (табл. 2). Для измерения уровня твердости исследуемых образцов, значительно отличающихся структурой, применили методы Бринелля и Роквелла. Вместе с тем для сравнения качества анализируемых образцов измеренные значения твердости привели к единой шкале Шора [3], поскольку такой метод применим для различных материалов (табл. 2).

Белый чугун представлен цементитно-перлитной структурой, серый – перлитно-графитной, а половинчатый – всеми тремя составляющими. В результате установлено, что при изменении структуры от серой к белой наблюдается повышение уровня анализируемых свойств (рис. 3,4).

Таблица 2

Анализ микроструктуры и свойств исследуемых образцов

№ образца	Тип чугуна	Содержание фазы, %			Свойства	
		Перлит	Цементит	Графит	Твердость HSD	Временное сопротивление при изгибе, МПа
1	Белый	60	40	0	75	420
2	Половинчатый	70	25	5	68	400
3	Серый	85	0	15	35	320

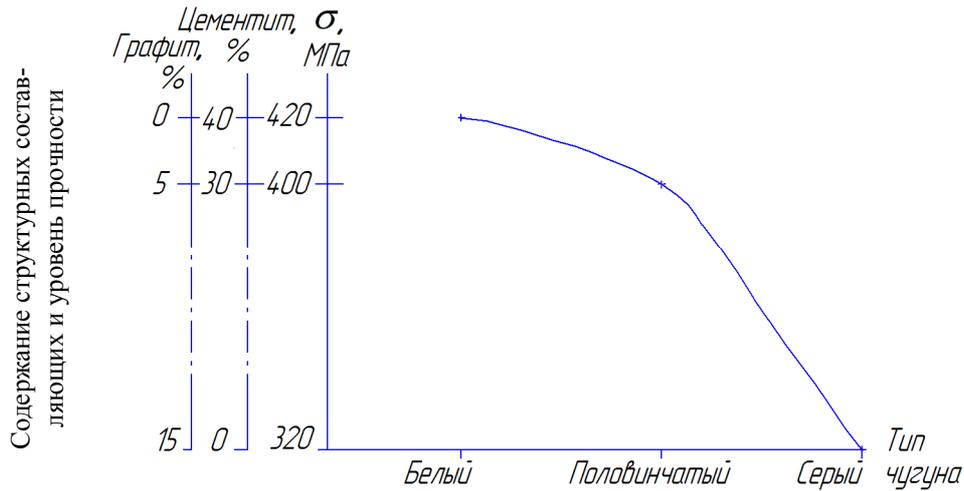


Рис. 3. Зависимость временного сопротивления при изгибе от структурных составляющих (графит и цементит)

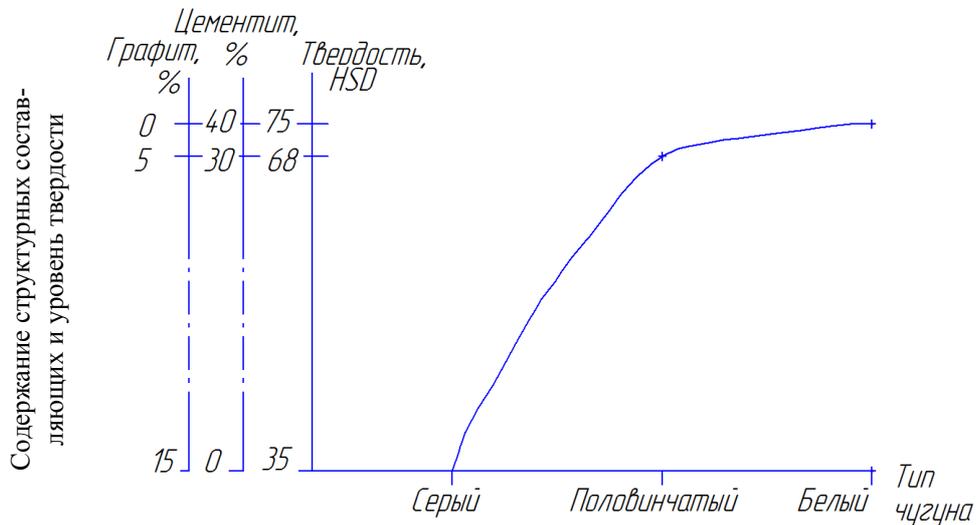


Рис. 4. Зависимость твердости от структурных составляющих (графит и цементит)

При этом выявлено, что в зависимости от типа чугуна изменяется уровень свойств. Для определения интенсивности их изменения предложен коэффициент  $k$ :

$$k = \frac{\text{уровень свойства}_{\text{анализируемый чугун}}}{\text{уровень свойства}_{\text{серый чугун}}} \cdot 100\%.$$

Установлено, что в зависимости от типа чугуна уровень твердости повышается интенсивнее, чем уровень прочности (рис. 5).

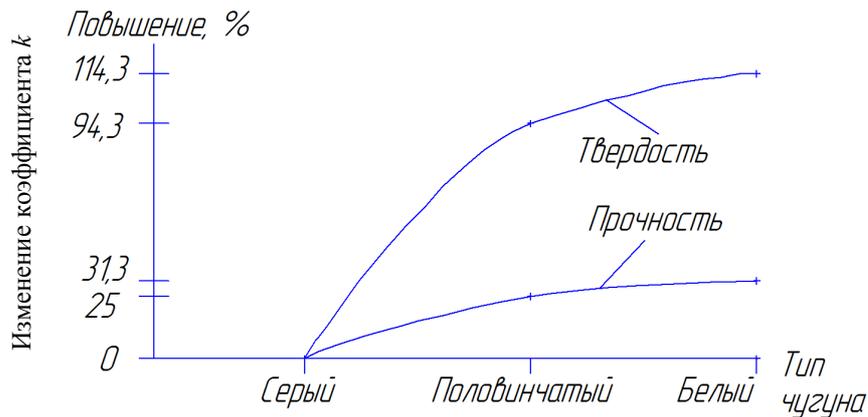


Рис. 5. Сравнение изменения уровня свойств

**Выводы:**

1. Анализ существующих химических составов чугунов показал, что в зависимости от условий эксплуатации изделий применяют различные их композиции. Так, для изделий, подвергающихся одновременному действию температуры и абразива, применяют белый чугун, характеризующийся более твердыми структурными составляющими. Появление в структуре незначительного количества графита обеспечивает прочность при достаточном уровне износостойкости изделий, что обуславливает их широкое применение в промышленности.

Для работы при вибрационных и ударных нагрузках в структуре таких чугунов путем термообработки цементит превращают в хлопьевидный графит. Чугун с шаровидным графитом применяют для коленчатых валов, крышек цилиндров, валков, а с пластинчатой формой графита - для изделий, работающих в основном на сжатие.

2. Предложено значения твердости, определяемые по различным методикам, приводить к единой системе измерений Шора по шкале Д.

3. Результаты собственных исследований показали, что применение белых чугунов в условиях повышенного износа обусловлено наличием твердой структурной составляющей – цементита. Наличие в структуре одновременно карбидной составляющей и графита значительно снижает уровень твердости. Согласно полученным данным, твердость и прочность белого чугуна выше соответственно на 114,3 и 31,3%, чем у серого чугуна.

4. Установлено, что минимальным уровнем свойств характеризуется серый чугун: твердость HSD – 35, прочность – 320 МПа. Такой уровень обусловлен наличием в структуре образца из серого чугуна графита пластинчатой формы. Повысить уровень свойств изделий из такого чугуна можно путем сфероидизирующего модифицирования. Исследования в этом направлении продолжаются.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Богомолова, Н. А. Практическая металлография: учеб. для техн. училищ / Н. А. Богомолова. - 2-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 1982. - 272 с.
2. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
3. ГОСТ 23273-78. Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору).
4. ГОСТ 26159-84. Сосуды и аппараты чугунные. Нормы и методы расчета на прочность.
5. Жижкина, Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем / Н. А. Жижкина; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск : Ноулидж, 2011. - 166 с.
6. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: учеб. для высш. техн. учеб. заведений / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1990. — 528 с.
7. Теплухин, Г.Н. Высокотемпературные материалы в энергетике: учеб. пособие / Г.Н. Теплухин, А. М. Пейсахов. - СПб.: СПбГТУРП, 2005. - 132 с.

Материал поступил в редколлегия 24.12.14.