



*The influence of complex doping on the structure formation and characteristics of chromium-vanadium cast iron is considered. Influence of the quantity of carbides in the structure of cast iron on its wear resistance is marked.*

С. С. ГУРИН, Ю. А. САУНИН, БГПА

## КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫЕ ХРОМОВАНАДИЕВЫЕ ЧУГУНЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОИЗНОСОСТОЙКИХ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.74

В последнее время белый чугун все более широко применяют как материал для деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному изнашиванию. Из белых чугунов изготавливают детали землеройных, дорожно-строительных, сельскохозяйственных машин, детали горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, текстильного и пищевого машиностроения, автомобилестроения, смесеприготовительных установок литейных цехов, дробеметных аппаратов и т. д. Некоторые белые чугуны можно использовать как заменители инструментальных сталей и сплавов.

Разработка принципов композиционного упрочнения сплавов, а также сочетание нескольких видов упрочнения (например, композиционного и дисперсного, композиционного и деформационного) значительно облегчили оптимизацию микроструктуры и химических составов белых чугунов в зависимости от условий их эксплуатации. Структуры чугунов с эвтектическими композициями на базе специальных карбидов обеспечивают сочетание необходимых высоких механических и эксплуатационных свойств. Такие белые чугуны могут обладать повышенной пластичностью, вязкостью и ударостойкостью, но в то же время сохранять основные преимущества белого чугуна — высокую твердость и износостойкость. Композиционное упрочнение в таких сплавах особенно сильно проявляется при повышенных температурах и термоциклировании.

Деформирующие детали технологической оснастки прокатного производства работают в тяжелых условиях абразивного износа при интенсивных термоциклических и повышенных силовых нагрузениях. Число циклов теплосмен достигает нескольких тысяч в минуту, а силовые нагружения часто превышают 500 МПа. Поэтому материалы для изготовления оснастки должны сочетать противоположные свойства — высокие термостойкость и износостойкость.

Достаточно полно удовлетворить поставленные требования способны высоколегированные белые чугуны с инвертированной структурой эвтектик [1]. Строение эвтектических колоний в белых чугунах очень похоже на структуру волокнистых или слоистых композиций, получаемых путем искусственного сочетания матрицы и упрочнителя. В связи с этим подобные эвтектические структуры называют иногда естественными композициями. В материалах с такой структурой может быть достигнут значительный эффект композиционного упрочнения. Основными преимуществами эвтектических композиций являются исключительно хорошее сопряжение матрицы с упрочняющей фазой и высокая термодинамическая стабильность структуры. Этим объясняется возможность сохранения эффекта композиционного упрочнения в таких материалах при нагревании до высоких температур (вплоть до  $0,9 T_{пл}$ ) [2].

Инвертированная эвтектика, состоящая из пластичной матрицы и высокопрочных волокон, может быть получена в специальных, легированных ванадием, хромом и другими элементами, белых чугунах. Примером полностью инвертированной структуры эвтектики является аустенитно-ванадиевокарбидная (A + VC) эвтектика в ванадиевых белых чугунах. В пределах каждой эвтектической колонии карбид ванадия образует жесткий дендритообразный каркас, расположенный внутри более мягкой, пластичной и вязкой оболочки, состоящей из аустенита (при повышенных температурах) или продуктов его распада (при субкритических температурах). Аустенит располагается в виде непрерывной матричной фазы, а карбидная фаза, имеющая вид пластин или игл, растущих веерообразно из центральной части эвтектического зерна, образует включения, практически полностью изолированные друг от друга и армирующие матрицу. Эвтектические сферолитные колонии стыкуются друг с другом по аустенитной матрице, что обеспечивает повышенную пластич-



ность и вязкость и предохраняет чугун от хрупкого разрушения.

Подобная структура аустенитно-карбидной эвтектики обеспечивает сочетание высоких механических и эксплуатационных свойств чугуна (прочность, пластичность, ударная вязкость, сопротивление многократным ударам, трещиностойчивость, износостойкость и т. д.). Необычным свойством таких чугунов является повышенная пластичность (при повышенных температурах), что не характерно для обычных белых чугунов. Их можно прессовать, ковать, прокатывать и т. д.

Варьированием химическим составом чугуна и условиями его кристаллизации можно регулировать содержание в эвтектике упрочняющей карбидной фазы, что обеспечивает получение чугунов с широким спектром механических, технологических и эксплуатационных свойств. Карбид ванадия в эвтектике имеет  $\sigma_b$  свыше 10 000 МПа, т. е. по свойствам близок к монокристаллам. Он обладает очень высокой твердостью (микротвердость 21 000 — 25 000 МПа), имеет высокий модуль упругости ( $\sim 43 \cdot 10^4$  МПа). При нагревании чугуна до 950—1000°C он может в значительном количестве (до 15 %) раствориться в матрице, обеспечивая ее дисперсное упрочнение в процессе охлаждения чугуна или его низкотемпературной обработке.

На структуру и свойства ванадиевых белых чугунов существенно влияет дополнительное легирование. Комплексное легирование позволяет снизить содержание в чугуне ванадия, который является дорогим и дефицитным элементом.

Общее содержание карбидов ванадия и хрома в структуре может достигать 25—30 %, благодаря чему обеспечивается весьма высокая износостойкость чугуна.

Легирование чугуна ванадием в сочетании с хромом позволяет при более экономном легировании повышать его износостойкость за счет образования большого количества специальных карбидов. Эти карбиды в сочетании с аустенитом образуют

при кристаллизации двойные эвтектики и  $A + (Fe, Cr) C$  и тройную эвтектику  $A (Fe + Cr) C + VC$ .

Содержание карбидов хрома в эвтектиках колеблется в достаточно широких пределах (от 8 до 23 %). Максимум твердости достигается при содержании ванадия 6 — 7% и хрома 8 — 9% (рис. 1). Близкими к оптимальным являются следующие параметры [3]: при  $(V/Cr) = 0,4 - 0,5$   $(V + Cr) = 19 - 20$  %, при  $(V/Cr) = 0,8 - 0,9$   $(V + Cr) = 14 - 15$  %, при  $(V/Cr) = 1,0 - 1,1$   $(V + Cr) \approx 13$  %.

Более высокое легирование чугуна, чем то, которое следует из приведенных соотношений, неэкономично и не оказывает существенного влияния на износостойкость чугуна. При  $V + Cr < 13$  % в чугуне присутствует эвтектический цементит в виде сетки по границам колоний двойной эвтектики аустенит + специальный карбид ( $A + VC$  — в случае преобладания ванадия,  $A + Me_7C_3$  — при более высоком содержании хрома), что нежелательно, так как он охрупчивает чугун.

Однако влияние хрома зависит от содержания марганца. При содержании марганца около 4,2% хром практически не влияет на прочность чугуна (рис. 2). Марганец обеспечивает максимум твердости при содержании его около 3,5 %. Особенно резко (при любом содержании углерода) падает твердость с увеличением содержания марганца сверх данного уровня, что объясняется аустенизацией структуры. Влияние марганца зависит и от суммарного содержания в чугуне хрома и ванадия. Чем больше содержится в чугуне хрома и ванадия, тем меньше марганца требуется для обеспечения максимального количества мартенсита в структуре чугуна и выше его твердость. В высоколегированных чугунах при сумме  $(V + Cr)$  около 18% может быть достигнута очень высокая твердость (более 65 HRC) при пониженном содержании марганца.

Молибден вводится в чугун с целью повышения теплостойкости. При содержании молибдена 2 — 3 % теплостойкость чугуна повышается до 500 — 600 °C [4].

HRC, МПа

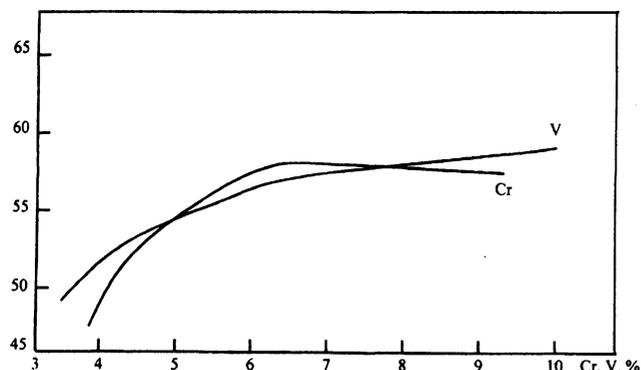


Рис. 1. Влияние содержания ванадия и хрома на твердость чугуна, содержащего 3% С, 1% Si, 0,5% Mn, закаленного при температуре 950°C

$\sigma_a$ , МПа

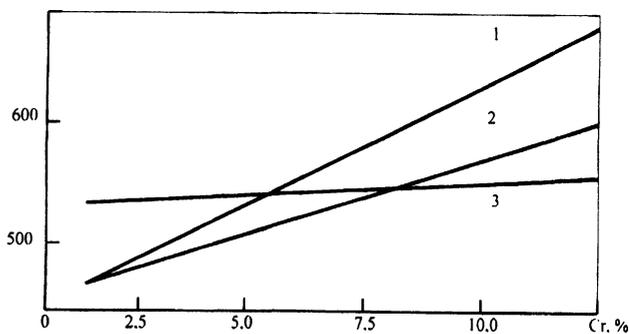


Рис. 2. Влияние хрома и марганца на прочность чугуна, содержащего 3,3%, 6,5% V и Mn: 1 — 3,4%; 2 — 3,8; 3 — 4,2%



Оптимизацию составов чугунов и их структуры необходимо проводить в зависимости от конкретных условий изнашиваемых деталей. При небольших давлениях (до 0,7 МПа) и безударном воздействии целесообразно использовать чугуны с мартенситной или мартенситно-аустенитной структурой матрицы. При повышенных давлениях (более 0,7 МПа) и ударных нагрузках наиболее высокой износостойкостью обладают чугуны с матрицей из упрочняющегося аустенита с преобладанием в структуре эвтектики А + VC. Поэтому чем жестче условия работы, тем больше должно быть в составе чугуна ванадия и марганца. В зависимости от удельной нагрузки можно выделить два оптимальных интервала содержания марганца: при удельной нагрузке до 0,7 МПа содержание марганца должно составлять 3,4—4,2 %, при этом структура будет мартенситной или мартенситно-аустенитной; при удельной нагрузке свыше 0,7 МПа содержание марганца должно быть повышено до 4,5—6,0 %.

Исходя из изложенного выше, можно рекомендовать для производства деформирующих роликов следующий химический состав чугуна: 3,0 — 3,2% С; 0,1 — 1,5% Si; 1,0 — 2,0% Mn; 5,5 — 6,5% V; 5,0 — 6,0% Cr; 2,5 — 3,0% Mo.

Значительное повышение прочности и твердости хромованадиевых чугунов может быть получено термической обработкой на мартенситную или мартенситно-аустенитную структуру матрицы. В результате закалки от 950—1000 °С и отпуска при 200—250 °С  $\sigma_b$  повышается до 1100 МПа, а твердость HRC до 65—68, благодаря чему достигается

весьма высокая абразивная износостойкость чугуна, превышающая аналогичный показатель у быстрорежущей стали P18.

В мартенситно-аустенитных чугунах высокой твердостью обладают не только участки с мартенситной структурой, но и аустенит благодаря его склонности к дисперсионному и деформационному упрочнению. В литом состоянии структурные составляющие имеют следующие значения, МПа: аустенит — 6000 — 7000; мартенситно-аустенитные участки — 6500 — 7500; эвтектика А + VC — 8000 — 12000, эвтектика А + Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> + VC — 9000 — 11000. После термической обработки структура более однородна и разброс по микротвердости уменьшается: остаточный аустенит — 6500 — 7000; эвтектика А + VC — 10 500 — 12 000, эвтектика А + Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> + VC — 10 000 — 10 500 МПа.

Обрабатываемость резанием хромованадиевых чугунов затруднена, поэтому желательно получать детали точными методами литья с минимальными объемами механической обработки шлифованием. Для улучшения обрабатываемости резанием таких чугунов рекомендуется отжиг при температурах 920—970 °С (3—6 ч в зависимости от толщины сечения) до твердости HB 300—350.

#### Литература

1. Гречин В. П. Износостойкие чугуны и сплавы. М.: Машгиз, 1961.
2. Чугун. Справочник / Под ред. А. Д. Шерман и А. А. Жуков. М.: Металлургия, 1991.
3. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984.
4. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М.: Металлургия, 1976.