



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, трещиностойкость, 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 σ_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

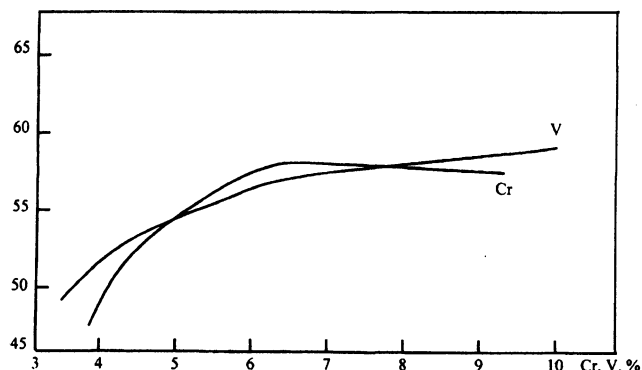


Рис. 1. Влияние содержания ванадия и хрома на твердость чугуна, содержащего 3% С, 1% Si, 0,5% Mn, закаленного при температуре 950°C

σ_a , МПа

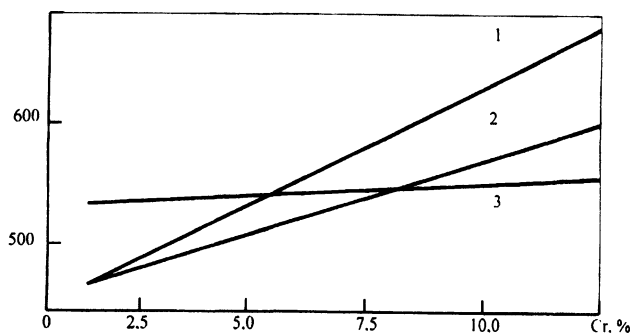


Рис. 2. Влияние хрома и марганца на прочность чугуна, содержащего 3,3%, 6,5% V и Mn: 1 — 3,4%; 2 — 3,8; 3 — 4,2%



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 σ_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 + Me₇C₃ + 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 + Me₇C₃ + 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.