



*There is shown, that complex alloy, containing titan, aluminium, chrome, nickel and others, is rather an effective additive to cast iron, providing the production of high-quality cast iron without complication of the technological process.*

Д. А. ХУДОКОРМОВ, Л. З. ПИСАРЕНКО, ОАО «МЗОО», Д. В. КУИС, БГТУ

УДК 621.74

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СПЛАВА ДЛЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА

На ОАО «МЗОО» с 1995 г. при плавке серого чугуна в вагранках используется комплексный сплав (КС), содержащий 1,45–2,28 %С, 10–12 %Si, 0,5–5 %Ti, 0,5–1,0 %Mn, 0,6–1,5 %Cr, 0,4–0,9 %Ni, 0,5–1,0 %V, 0,3–0,6 %W, 0,3–0,6 %Mo, остальное Fe. Данный сплав является попутным продуктом, получаемым при плавке электрокорунда и полупродукта для синтетического шлака. КС дешевый и недефицитный, поэтому представляется весьма перспективным материалом. В разные годы по конъюнктурным соображениям КС назывался по-разному: сплав ВКЛ (высокремнистый чугун с титаном), доменный присад, металлопродукт плавки электрокорунда вторичный (ТУ14-10-21-91), ферросилиций низкремнистый (ТУ У 0022226-61-95), ферросилиций низкремнистый фракционированный литейный (ТУ У 22118438-001-98). В последнем случае делалась попытка поставки материала по фракциям. Но из-за трудности дробления поставка КС по фракциям до сих пор не организована.

Первоначально КС использовали в производстве секций отопительных радиаторов в литейном цехе радиаторов (ЛЦР), частично замещая ФС45 и чушковый чугун. Уже при использовании КС в количестве 5% от массы металлозавалки отмечали существенные изменения в микроструктуре получаемого чугуна в сторону перлитизации металлической основы, что вызвало повышение прочностных характеристик сплава до уровня СЧ15–СЧ18. Увеличение доли КС до 10–15% обеспечило повышение прочностных свойств серого чугуна еще на две-три марки. Причем повышение прочности, вызванное перлитизацией, не сопровождалось увеличением брака отливок по «отбелу». В дальнейшем стала очевидной значимость прочностных свойств чугуна в производстве секций отопительных радиаторов. Существенно снижен брак по бою этих тонкостенных отливок как в цехе при механической обработке и сборке, так и при перевозке собранных радиаторов.

Необходимо также отметить, что с повышением прочности и твердости при добавках в

шихту более 5% КС происходило некоторое снижение жидкотекучести чугуна. При отсутствии соответствующего перегрева чугуна (более 1400°С) это может привести к браку тонкостенных отливок по спаю и недоливу. Поэтому при использовании КС в качестве кремнийсодержащей добавки необходимо использовать в шихте повышенное (более 40%) количество чушковых чугунов с тем, чтобы обеспечить содержание углерода в чугуне более 3,5%, тем самым повысить жидкотекучесть, снизить твердость до 170НВ, улучшить обрабатываемость отливок.

Эффективное упрочняющее действие КС может оказать помощь в производстве целого ряда отливок, к которым наряду с механическими свойствами и соответствием марке сплава предъявляются определенные требования к микроструктуре. Например, отливки автомобильных тормозных цилиндров (АТЦ). По условиям заказчика, АТЦ изготавливают из серого чугуна марки СЧ20. И хотя заказчиком тип микроструктуры конкретно не оговаривается, для АТЦ необходима перлитная металлическая основа с возможно более равномерным распределением коротких независимых графитных включений и наименьшим количеством колоний графитной эвтектики. Если эти условия не соблюдены, при дальнейшей механической обработке не удастся добиться необходимого качества поверхности в самом цилиндре.

В литейном цехе ковкого и серого чугуна (ЛЦКСЧ) ОАО «МЗОО» освоено производство отливок АТЦ. Было установлено, что при использовании в шихте ферросилиция марки ФС45 чугун должен содержать 3,2–3,4% С, 1,9–2,2%Si, 0,5–0,7%Mn. При этом если содержание Si меньше 1,85%, возникает опасность появления «отбела», в основном кромочного. Если же содержание Si больше 2,45%, в микроструктуре появляется повышенное количество феррита, формируются колонии графитной эвтектики. При механической обработке в этих отливках невозможно добиться необходимой чистоты поверхности из-за выкрашивания колоний графитной эвтектики. Частич-

ным решением проблемы воздействия на формирующуюся металлическую основу чугуна и распределение графитных включений было введение Sb в количестве 0,03% от массы обрабатываемого металла. Sb является эффективным перлитизатором, в 2 раза эффективнее Sn и примерно в 10 раз эффективнее Cu. Чугун с добавкой Sb имеет равномерную перлитную металлическую основу, а при совместной добавке Sb и графитизирующего модификатора – равномерно распределенные неориентированные графитные включения. Недостаток Sb состоит в ее накоплении в чугуне через возврат, а ее избыток вызывает охрупчивание и резкое ухудшение обрабатываемости чугуна.

Использование КС в качестве компонента шихты в количестве 55–60 кг на металлозавалку массой 900 кг позволило получить высокие механические свойства в достаточно большом диапазоне концентраций Si. Например, в ходе опытной плавки чугуна марки СЧ20 для отливок АТЦ содержание Si в течение смены изменялось от 1,9 до 2,85% при содержании С 3,35–3,42%. Механическая обработка партии АТЦ опытной плавки показала весьма незначительный брак по выкрашиванию обрабатываемого материала. Замеры твердости и временного сопротивления разрыву, проводившиеся по ходу плавки, показали, что при увеличении содержания Si прочностные характеристики тоже увеличиваются. Детальный анализ микроструктуры образцов опытной плавки показал не только возрастание количества феррита, но и повышение дисперсности перлита. Кажущееся противоречивым увеличение твердости чугуна при увеличении содержания феррита может быть объяснено следующим образом. При введении КС в чугуне повышается доля легирующих элементов, которые можно условно разделить на две группы по их влиянию на термодинамическую активность С. Такое разделение оправдывается возможностью анализа процессов фазовых превращений при комплексном легировании железоуглеродистых сплавов. Поскольку при легировании  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердых растворов одновременно несколькими элементами влияние каждого из них на коэффициент активности С является независимым, можно с достаточным основанием говорить об индивидуальном влиянии каждого легирующего элемента на процессы структурообразования. К первой группе относятся Si и Ni, которые будучи растворенными в жидком сплаве, аустените и далее в феррите повышают термодинамическую активность С и не участвуют в процессах карбидообразования. Это особенно касается Si. В легированном Si или Ni аустените и феррите путем замещения атомов Fe атомами Si и Ni углерод становится диффузионно более подвижным, поскольку его связь с атомами Si и Ni слабее, чем с атомами Fe. Углерод из легированных аустенита и феррита диффундирует в исходные фазы –

расплав при кристаллизации аустенита и аустенит при образовании феррита. Такое перераспределение С связано с тем, что он стремится в те фазы, где возможна более прочная связь углерода с атомами металла, т.е. с атомами элементов, понижающих термодинамическую активность углерода. К таким металлам относятся элементы второй группы – Ti, V, W, Cr. Связь С с атомами этих элементов прочнее связи с атомами Fe. Легированный аустенит претерпевает эвтектическое превращение при некотором переохлаждении, что вызывает измельчение продуктов распада аустенита – ферритно-цементитной смеси (перлита).

Элементы второй группы характеризуются высоким сродством к С, особенно V и Ti. При сравнительно небольших добавках Cr (до 7%) и W (до 2%) самостоятельных карбидов W и Cr не образуется. Хром растворяется в цементите путем замещения атомов Fe в цементите, усиливая межатомную связь и образуя  $(Fe, Cr)_3C$ , твердость которого сравнима с твердостью  $Fe_3C$ . Вольфрам при отношении к углероду не более 0,33 даже не растворяется в цементите, он полностью сосредоточивается в аустените, затем в феррите, упрочняя их. Сильные карбидообразующие Ti и V, имеющие наибольшее сродство к С даже при незначительных добавках, проявляют склонность к образованию первичных карбидов, отличающихся прочностью межатомных связей и стабильностью существования. Вероятно, эти карбиды образуются в расплаве раньше всех других фаз и оттесняются при дальнейшей кристаллизации расплава в объемы, затвердевающие в последнюю очередь. Далее при эвтектическом распаде аустенита – в его последние объемы, и оказываются, в конечном итоге, в перлите. Такой перлит будучи мелкодисперсным, увеличивает не только свою, но и общую твердость чугуна. Титан обладает не только высоким сродством к углероду, но и к газообразным элементам, содержащимся в жидком чугуне. При температурах, больших температуры кристаллизации основных фаз чугуна, Ti, введенный в количестве менее 1 %, почти весь расходуется на образование не только  $TiC$ , но и  $TiO$  и  $TiN$ , выступая в роли рафинирующего элемента и центрообразующего модификатора, размельчая зерно и еще больше повышая дисперсность перлита. Элементы обеих групп растворяются в аустените, легируя и переохлаждая его, и в феррите, упрочняя его. Известно, что при комплексном легировании феррита прирост упрочнения от каждого элемента, растворенного в феррите с учетом его массы, может быть просуммирован. При плавке с использованием КС в чугун наряду с Si попадает множество легирующих элементов. Графитизирующее действие Si обеспечивает увеличение количества феррита в структуре, но, так как остальные легирующие

элементы активно упрочняют феррит, увеличение количества легированного феррита способствует повышению прочностных свойств и твердости. Кроме того, как было показано выше, введение некоторых легирующих элементов способствует измельчению перлита, что тоже способствует упрочнению металлической основы.

Таким образом, при правильном использовании КС является достаточно эффективной добавкой, содержащей большое количество ценных легирующих элементов, суммарное действие которых способствует получению высококачественного чугуна без какого-либо усложнения технологического процесса.



## МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

### Крепеж и метизы

#### Литье по выплавляемым моделям — мировой рынок и перспективы

Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) представляет собой современную прецизионную технологию получения металлических деталей, для которых требуется точное соблюдение размера и высокое качество отделки поверхности. Этим методом традиционно получают небольшие отливки массой менее 500 г, но также и крупные, в частности стальные отливки массой до 300 кг и алюминиевые — до 30 кг. По данной технологии чаще всего изготавливают отливки из алюминия, стали и сплавов, но вообще она подходит для многих видов металлов.

В силу того что в процессе ЛВМ используются огнеупорные материалы и связующие, он обходится дороже, чем другие виды литья. Так, в изготовлении оболочковых форм применяются цирконий, кремнезем и алюмосиликаты, а стержень формы получают из керамического материала. Однако интерес к применению данного метода литья растет в силу многих предоставляемых им выгод, в том числе: возможность получения разнообразных форм, высокая производительность при производстве мелких деталей, высокая точность размеров, целостность структуры отливок, хорошее качество отделки поверхности, возможность применения длинных и коротких циклов, исключение машинной обработки, возможность применения любых металлов и сплавов, снижение потерь металла.

Литье по выплавляемым моделям применяется для получения самых разнообразных компонентов многих видов оборудования. На начальном этапе оно стало стандартным методом изготовления турбинных роторов из суперсплавов и лопаток статоров авиадвигателей. В настоящее время ЛВМ остается основным методом получения деталей авиадвигателей, но оно также нашло распространение в производстве точных отливок для многих отраслей обрабатывающей промышленности, прежде всего автомобильной.

По данным Комитета ассоциаций европейских литейных компаний, за последние 5 лет применение ЛВМ росло более быстрыми темпами по сравнению с другими методами литья.

Производство отливок по технологии ЛВМ сконцентрировано в США, странах Европы и Азии, причем на США приходится 50% его объема. В Европе действует 108 предприятий, работающих по данной технологии (исключая Австрию, Испанию, Бельгию и Нидерланды), в том числе в Великобритании — 48, Франции — 14, Италии — 13, ФРГ — 12, Венгрии — 10, Польше — 8, Финляндии — 1, Португалии — 1 и Швеции — 1.

Что касается прогнозов развития рассматриваемого сектора, то, по мнению ряда специалистов, ЛВМ является лабораторией по разработке новых технологий для будущего развития всей литейной промышленности. Полагают, что в 2003–2004 гг. производство в данном секторе возрастет в силу ожидаемого оживления на мировом рынке гражданской авиации и роста спроса со стороны других потребителей.

Предполагается также рост спроса на титановые отливки, причем не только со стороны авиакосмических предприятий. По мнению специалистов, имеется огромный потенциал в применении титановых отливок в изготовлении компонентов нефтехимического и газового оборудования. Согласно прогнозу, через 20–30 лет титановые отливки будут использоваться в производстве бытовой техники, прежде всего кухонных ножей.

Заказчики предъявляют спрос на более крупные и дешевые отливки. Это может быть достигнуто за счет снижения цен на литейные материалы и внедрения новых технологий.