

Минерально-сырьевой базой для производства электротермического фосфора и попутно получаемого феррофосфора являются фосфориты. Наиболее крупные месторождения фосфоритов расположены в фосфоритоносном бассейне Каратау (Казахстан). Однако запасы богатых фосфоритов (27-29%  $P_2O_5$ ) постоянно истощаются и ставится задача освоения технологий производства фосфора (желтой модификации) с вовлечением фосфоритов с содержанием 20-22%  $P_2O_5$ .

При производстве фосфора в дуговых электропечах методом восстановления фосфора углеродом и его возгонки в качестве попутного сплава получается феррофосфор.

В странах, не производящих желтый фосфор и, следовательно феррофосфор, последний получают по традиционным ферросплавным технологиям.

В Украине имеется несколько месторождений фосфоритов. В последние годы разведано малокамышеватское месторождение фосфорита с содержанием 13-16%  $P_2O_5$ . В настоящей работе исследован минералогический состав фосфорита методом петрографии и РСМА, выполнены исследования по его обогащению, получен концентрат с содержанием 27%  $P_2O_5$ . В лабораторной печи Таммана проведены поисковые исследования по восстановлению фосфора из фосфорита коксом в присутствии стальной (чугунной) стружки. Подтверждена возможность получения феррофосфора с 15-20% P.

Работа продолжается в направлении получения феррофосфора и его применения для модифицирования чугунных отливок, а также выплавки медьфосфористой лигатуры и его использования для раскисления медных отливок контактных щек электродов ферросплавных электропечей.

УДК 621.74

*А. В. Рабинович, Г. Н. Трегубенко, Ю. А. Бубликов, Г. А. Поляков,  
А. В. Пучиков, А. А. Катрич, Д. В. Лелеко  
Национальная металлургическая академия Украины,  
Днепропетровск*

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ  
С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ДЛЯ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ  
ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ**

Главным резервом повышения долговечности и надежности продукции машиностроения является применение сталей, обладающих как в литом, так и в деформированных состояниях комплексом высоких технологических и эксплуатационных свойств – прочностью, вязкостью, сопротивлением уста-

лостному разрушению, свариваемостью, хладо- и коррозионной стойкостью.

Основным направлением решения этой задачи в мировой практике является увеличение степени легированности стали, что далеко не всегда обеспечивает их конкурентоспособность в связи с резким ростом стоимости металлопродукции. Именно по этой причине существенно ограничивается область и объемы применения перспективных сталей с карбонитридным упрочнением, в которые вводят не только относительно недорогие марганец и кремний, а и дорогостоящие и дефицитные в Украине хром, никель и, как правило, ванадий.

Независимо от степени легирования сталей этого класса основной вклад в обеспечение комплекса перечисленных выше требований вносят карбонитриды ванадия, регулирующие зеренную микроструктуру металла. При этом дисперсность и количество этой избыточной фазы определяется не столько уровнем концентраций и соотношением фазообразующих элементов, сколько температурными режимами термической обработки.

Нами предложена замена дорогостоящего и дефицитного ванадия в азотсодержащих конструкционных сталях титаном в комплексе с алюминием, что принципиально меняет механизм формирования микроструктуры, так как нитриды титана образуются уже при кристаллизации и регулируют рост зерна литого металла.

Металлографическим и рентгеноспектральными методами показано, что избыточные азотсодержащие фазы в новых литых сталях представлены карбонитридом титана  $Ti(C,N)$ , нитридом алюминия  $AlN$  и комплекса указанных фаз. Их размер колеблется в очень широких пределах: от 10 нм до 10-12 мкм. Относительно крупные частицы карбонитрида титана имеют правильную прямоугольную форму и именно они регулируют размер зерна литого металла при кристаллизации. Очень мелкие частицы  $Ti(C,N)$  размером 15-20 нм частично могут формироваться и в твердом состоянии. Нитриды алюминия образуются при охлаждении уже закристаллизовавшегося металла, а также при горячей деформации или при термической обработке, и имеют размеры от 40 до 200 нм (реже до 500 нм) при максимальном количестве частиц размера 60-100 нм. Комплексные частицы, как правило, представлены высокотемпературным карбонитридом титана в центре с оторочкой из вторичного нитрида алюминия. Результирующий размер этих частиц составляет от 100-150 нм до 1-2 мкм. Мелкие частицы всех трех типов эффективно измельчают ферритное зерно. Их наличие допускает высокотемпературную термическую обработку стали и ее сварку без опасности чрезмерного роста аустенитного зерна и последующего ухудшения комплекса механических свойств металла.

В условиях Кременчугского сталелитейного завода, Миргородского завода литой трубопроводной арматуры ПНЦ в широких промышленных

масштабах подтверждена возможность производства низколегированных хладостойких сталей с карбонитридным упрочнением для литых изделий повышенной прочности.

Установлено, что комплексное модифицирование низколегированных хладостойких сталей (например, 20ГЛ, 15ГСЛ) азотом, титаном и алюминием стабильно обеспечивает:

- измельчение зерна металла до 8 – 9 балла;
- полное отсутствие неметаллических включений II типа;
- увеличение предела текучести в нормализованном состоянии на 30-50 МПа, а после закалки и высокого отпуска – на 60-150 МПа;
- повышение циклической долговечности литого металла не менее чем в 1,7 раза.

По результатам усталостных испытаний опытно-промышленных образцов отливок «Балка надрессорная» и «Рама боковая» из стали 20ГЛ с карбонитридным упрочнением коэффициент запаса усталостной прочности составляет 2,29 и 2,03, соответственно, что отвечает требованиям к грузовым вагонам нового поколения.

Показано, что литые низколегированные стали, комплексно микролегированные азотом, титаном и алюминием (типа АТЮЛ), обладают уникальным комплексом свойств, превосходящим отечественные и зарубежные аналоги. Например, сталь 15ГСАТЮЛ имеет  $\sigma_s > 400$  МПа,  $KCV_{60} > 29,4$  Дж/см<sup>2</sup> при углеродном эквиваленте не более 0,43. При этом высокие значения прочности и ударной вязкости обеспечивают эксплуатационную надежность даже в экстремальных условиях крайнего Севера, а также позволяют существенно уменьшать металлоемкость используемого литья. Низкий углеродный эквивалент литых сталей типа АТЮЛ позволяет проводить сварные работы (например, варку запорной литой арматуры в трубопровод) в «полевых» условиях, исключая подогрев с последующей термообработкой.

УДК 621.74

*А. А. Радченко, А. В. Гальченко*

*АО «Харьковский тракторный завод им. С.Орджоникидзе», Харьков*

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК**

Рост требований к качеству продукции приводит к поиску способов экономии материалов и энергетических ресурсов. Наблюдаемое снижение объемов лома, его загрязнение примесями, влияющими на качество отливок, рост цен на шихтовые материалы приводит к поиску эффективных техно-

логий, раскислителей, флюсов и модификаторов для обработки жидкого металла.

С этой целью в литейных цехах ХТЗ были опробованы предлагаемые в настоящее время новые комплексные модификаторы, содержащие щелочноземельные (ЩЗМ) и редкоземельные металлы (РЗМ).

Приготовленную методом переплава высокомарганцовистую сталь 110Г13Л, жидкий чугун обрабатывали дополнительно в разливочном ковше следующими модификаторами:

- БСК-2 (барий стронций кальций);
- РЗМ-содержащие;
- алюминием или ферросилицием в количестве до 0,5 % от массы жидкого металла.

Сравнительные исследования образцов для определения механических свойств чугуна и стали показали незначительное изменение изучаемых параметров.

Так обработка расплава карбонатами ЩЗМ в разливочном ковше емкостью 300 кг не обеспечивает необходимый временной интервал для полной обработки расплава, ввиду чего на образцах обнаружены крупные неметаллические включения из-за нерастворившегося материала.

Замечено более эффективное влияние модификаторов с РЗМ на повышение жидкотекучести жидкого металла, улучшение микроструктуры и незначительное (на 15%) повышение уровня механических свойств, как стали, так и серого чугуна. Наблюдаемое снижение брака литья в опытных партиях в основном по дефектам газового происхождения.

Для оценки экономических показателей эффективности использования модификаторов необходимо проведение дополнительных работ в данном направлении.