

цов 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  $\sigma_t \geq 400$  МПа,  $KCV^{60} \geq 29,4$  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.

#### **ПОВЫШЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ФУТЕРОВОЧНЫХ ПЛИТ ТЕЧЕК ПАО «ММК ИМ. ИЛЬИЧА»**

*Малинов Л.С., Солидор Н.А., Милентьев В.А.*

*Приазовский государственный технический университет*

На металлургических комбинатах в качестве литой износостойкой стали используется 70ХЛ. Для этой стали наиболее часто применяется нормализация с 860 °С и высокий отпуск (650 °С, 1 ч), обеспечивающие хорошую механическую обработку. Однако долговечность деталей из рассматриваемой стали зачастую неудовлетворительна, что вызывает необходимость изготавливать большое количество сменно-запасных частей. В связи с этим повышение износостойкости стали 70ХЛ является важной задачей, обеспечивающей ресурсосбережение. С целью повышения долговечности быстрознашивающихся при абразивном воздействии футеровочных плит течек аглофабрики ПАО «ММК им. Ильича» сотрудниками ГВУЗ «ПГТУ» была разработана микролегированная ванадием и титаном сталь 75ХФТЛ.

Из ранее выполненных исследований известно, что наиболее высокую абразивную износостойкость обеспечивает структура, представляющая собой отпущенный мартенсит, метастабильный аустенит и карбиды ванадия, титана и ниобия. Однако в сталях близких по содержанию углерода к эвтектоидному составу такую структуру обычно не получают. В работе проводились исследования по влиянию термической обработки новой стали на ее абразивную износостойкость. Термическая обработка включала в себя

закалку в масле от различных температур в интервале 850-1050 °С и отпуск при 200 °С в течение 1 ч.

В исследованиях использовались рентгеновский и металлографический методы. Рентгеноструктурный анализ стали проводили на аппарате ДРОН-3 в железном  $K_{\alpha}$  излучении. Испытание на абразивное изнашивание осуществлялось на установке типа Бринелля-Хаурта.

Полученные результаты позволили определить оптимальную температуру нагрева под закалку, которая составляет 960 °С. В результате после низкого отпуска в структуре наряду с мартенситом и карбидами титана и ванадия получено 25-30 % остаточного аустенита. Более низкая температура нагрева под закалку, чем оптимальная, приводит к получению меньшего его количества, а более высокая температура аустенитизации – уменьшает количество карбидов в структуре, увеличивает долю остаточного аустенита, но повышает его стабильность по отношению к динамическому мартенситному превращению. Закалка с оптимальной температуры и низкий отпуск повышают абразивную износостойкость стали 75ХФТЛ на 25-30 % по сравнению с термообработкой, обеспечивающей получение структуры мартенсита отпуска и карбидов. Новая технология термообработки футеровочных плит течек, отливаемых из стали 75ХФТЛ, внедрена в РМЦ 1 комбината.

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

*Размышляев А.Д., Миронова М.В.*

*Приазовский государственный технический университет*

При сварке и наплавке используют продольные и поперечные магнитные поля. Для уточнения эффективности применения таких полей при дуговой наплавке под флюсом выполнены исследования, результаты которых приведены ниже.

Применительно к использованию продольного магнитного поля (ПРМП) разработана математическая модель поведения капли на торце электрода, которая позволила определить оптимальные параметры ПРМП, обеспечивающие удаление капли и повышение коэффициента расплавления электрода при дуговой наплавке. Установлено, что коэффициент расплавления электрода в ПРМП зависит от магнитных свойств материала электрода, возрастая при увеличении магнитной проницаемости материала. Это наблюдается при наплавке в постоянном и переменном, в том числе и частотой 50 Гц ПРМП проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками, имеющими

оболочки из ферромагнитных материалов.

Повышение коэффициента расплавления электродной проволоки при обратной полярности наплавки под флюсом с воздействием постоянного ПРМП составляет 30 %, а с воздействием переменного частотой 50 Гц ПРМП – 22 %. При прямой полярности процесса наплавки под флюсом коэффициент расплавления проволоки с воздействием как постоянного, так и частотой 50 Гц ПРМП повышается на 50 %.

При наплавке под флюсом на обратной полярности с воздействием ПРМП глубина и площадь проплавления основного металла уменьшаются в 2 раза, а доля участия основного металла в наплавленном – в 1,3...1,5 раза.

При наплавке под флюсом на прямой полярности с воздействием ПРМП глубина и площадь проплавления основного металла уменьшаются в 3 раза, а доля участия основного металла в наплавленном – в 2...2,5 раза.

Эффективность проплавления основного металла при дуговой наплавке под флюсом уменьшается в одинаковой степени при увеличении индукции как постоянного, так и переменного частотой 50 Гц ПРМП, и это обусловлено не только изменениями давления дуги и распределением его по радиусу при воздействии ПРМП, но и тормозящим действием этого поля на потоки жидкого металла в сварочной ванне, ухудшением условий теплопередачи тепла от дуги к основному металлу.

С использованием математических и физических моделей разработаны рекомендации по выбору оптимальных параметров ПРМП, обеспечивающие минимальную долю участия основного металла в наплавленном, максимальную производительность наплавки и улучшение структурного состояния металла.

При наплавке на обратной полярности воздействие постоянного и переменного частотой 50 Гц поперечного магнитного поля (ПОМП) повышает коэффициент расплавления электродных проволок ( $\alpha_p$ ) как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов. Максимальное относительное повышение  $\alpha_p$  проволок диаметрами 4, 5 мм при наплавке с воздействием постоянного ПОМП составляет 27... 30 % при уровне индукции поля  $B_x = 40 \dots 45$  мТл, а для проволок диаметром 3 мм – 23 ... 25 % при уровне индукции  $B_x = 30 \dots 35$  мТл. Для переменного частотой 50 Гц ПОМП относительное повышение  $\alpha_p$  составляет 30, 25, 20 % соответственно для диаметров электродов 5, 4 и 3 мм

Следует отметить, что процесс дуговой наплавки проволокой под флюсом с воздействием ПРМП и ПОМП является ресурсо- и энергосберегающим процессом. При этом экономия электрической энергии на наплавку составляет 30 %, а производительность процесса наплавки повышается приблизительно на 25 ... 30%.

## РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДОЛИ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В ВЫСОКОХРОМИСТЫХ КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНАХ

*Скобло Т.С., Клочко О.Ю., Сидашенко А.И.  
Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П.Василенко*

В работе рассмотрены вопросы, посвященные поиску оптимальных параметров термообработки высокохромистых прокатных валков. Основными фазами исследуемых высокохромистых чугунов являются: карбиды различных типов, аустенит и продукты его распада. Высокая степень легированности аустенита (15,0-18%Cr) в высокохромистых массивных отливках и большая масса металла при кристаллизации, не позволяют получить бейнитную или мартенситную структуры при литье или термической обработке. В таких изделиях распад происходит по механизму: аустенит  $\rightarrow$  дисперсные спецкарбиды ( $Me_3C$ ,  $Me_7C_3$ ,  $Me_{23}C_6$ ) + легированный феррит. Фазой, обеспечивающей упрочнение при термической обработке, является остаточный аустенит. Его наиболее полный распад на дисперсную ферритокарбидную смесь будет способствовать изменению твердости, формированию однородной структуры и уменьшению склонности к трещинообразованию. Поэтому, при исследовании таких чугунов, необходимо рассматривать вопрос о полноте процессов распада остаточного аустенита, поскольку наличие его большой доли является одним из существенных недостатков таких материалов в эксплуатации. Распад остаточного аустенита определяется уровнем его стабильности, который зависит от степени легированности сплава. Следовательно, основным направлением повышения технологичности при производстве и эксплуатации таких изделий является полнота процессов распада остаточного аустенита. Однако, применение высокотемпературной термической обработки для распада остаточного аустенита в высокохромистых чугунах практически невозможно при производстве двухслойных массивных отливок с разнородным металлом (рабочего слоя и сердцевины). На основании предварительно проведенных исследований [1] было установлено, что наиболее эффективной и менее опасной, с позиций трещинообразования, упрочняющей обработкой для рабочего слоя массивных отливок является низкотемпературный циклический отжиг.

Исходя из вышесказанного, представляется важным рассмотреть вопрос о влиянии химического состава на структуру и свойства высокохромистого чугуна для прокатных валков, а также определение параметров оптимальной низкотемпературной циклической термообработки (отжиг), приводящей к наиболее полному распаду остаточного аустенита в высокохромистом комплекснолегированном чугуне. Объектом исследования служили образцы 42 плавок,