

Проблемы оценки и технологического обеспечения конкурентного уровня качества подшипниковой, нержавеющей и других специальных сталей

На основании анализа состояния отечественного и мирового производства специальных сталей и сплавов прогнозируются направления развития современных передовых технологий, которые обеспечивают конкурентоспособный уровень качества и требуемый сортамент металлопродукции. Предложения для создания общей концепции научно-технологического развития внепечной обработки и непрерывной разливки специальных сталей учитывают специальные требования стандартов к технологии и качеству, например, к методам выплавки и термической обработки в зависимости от назначения металлопродукции из подшипниковых, инструментальных, коррозионностойких, легированных конструкционных высокопрочных сталей, жаропрочных сплавов. Необходимо учитывать и перспективный рост требований к качеству в связи с бурным развитием отраслей: топливно-энергетического комплекса с атомной промышленностью и тяжелым машиностроением, транспорта, авиационно-космической промышленности, приборостроения, специальной техники, химической промышленности, сельского хозяйства, которые используют эти стали и сплавы. Особое внимание должно уделяться обеспечению конкурентоспособности металлопродукции как за счет развития эффективных ресурсо- и энергосберегающих современных сталеплавильных технологий, так и качества.

Сталеплавильное производство наиболее массовых групп специальных сталей (конструкционных легированных с термоулучшением или цементацией, коррозионностойких, подшипниковых) должно базироваться на электродуговой выплавке и внепечной обработке на установках «печь-ковш» (УПК), газокислородного рафинирования (ГКР), вакууматорах. Технология внепечной обработки активно развивается и внедряется, но для обеспечения постоянно повышающихся требований по качеству металла необходимы определенные мероприятия. Это – сокращение лишних этапов и оборудования действующих технологий и переоснащение имеющихся технологических линий, в частности необходимо: оснастить вакууматоры устройствами ГКР для аустенитных коррозионностойких сталей, что позволит уменьшить в них содержание углерода ниже 0,02 %; оборудовать промежуточные ковши устройствами динамического воздействия на расплав и керамическими фильтрационными вставками для сниже-

На основании анализа современного состояния сортамента, технологий и качества металла прогнозируются направления развития производства специальных сталей с применением внепечной обработки. Рассматриваются жесткие требования к качеству металлопродукции по свойствам, структуре, чистоте от газов, вредных примесей, неметаллических включений и возможности их обеспечения с помощью современных технологий выплавки

ния в 2,0-2,5 раза загрязненности стали неметаллическими включениями; ввести усовершенствованные системы электромагнитного перемешивания металла на УПК для обеспечения более однородной структуры. Необходимо переоснащение металлургических предприятий оборудованием не только зарубежного производства, но и современными плавильными агрегатами, комплексами для внепечной обработки, машинами непрерывного литья заготовок, которые разрабатывает, изготавливает и вводит в эксплуатацию АО «Новокраматорский машиностроительный завод» [1]. Необходимо создание моделей кинетики тепловых и физико-химических процессов на всех стадиях технологии выплавки, внепечной обработки, разливки, кристаллизации, передела слитков, а также исследование влияния различных физико-технологических процессов на эффективность непрерывной разливки стали. Эти мероприятия позволят решить ряд проблем качества и технологии, характерных для специальных сталей.

Основным общепризнанным критерием качества металлопродукции является соответствие самым высоким (и прогнозируемым на ближайшее время) требованиям современных стандартов ISO, EN, DIN, ASTM, AMS стран-лидеров – ЕС, США, Японии. Еще более жесткие требования к качеству предъявляют передовые фирмы этих стран, продукция которых признана на мировых рынках. Развитие сталеплавильных внепечных технологий в последнее десятилетие позволило существенно повысить качество стали по чистоте от газов, вредных примесей и неметаллических включений, но и здесь остаются нерешенными вопросы для разных классов сталей. Особую роль в современных требованиях к качеству играют жесткие нормы и методы контроля неоднородности макро- и микроструктуры, а именно: микропористости, точечной и пятнистой ликвации, зональной ликвации (подсадочной, осевой, кристаллизационной), структурной и карбидной полосчатости. Недостаточное качество по этим параметрам часто приводит к снижению технологической пластичности,

механических свойств, внутренним дефектам, выявляемым у потребителя при изготовлении, например, из-за локального перегрева в местах ликваций и повышенной микропористости слитка, точечной крупнозернистости и др. Ниже рассматриваются особенности качества разных групп специальных сталей и их связь с технологией производства.

Для подшипниковых сталей главные проблемы технологии выплавки и разлива связаны, в основном, с наличием неметаллических включений (НВ), которые из металлургических факторов наиболее влияют на долговечность и надежность подшипников. На снижение их количества и размера, а также содержания газов, особенно кислорода, направлены новые технологические схемы выплавки и, в первую очередь, внепечная обработка. Однако остается нерешенной проблема загрязненности металла крупными (более 13 мкм) включениями глобулярного типа. Несмотря на достигнутое при внепечной обработке снижения кислорода до 10-15 ppm, не обеспечивается стабильное качество подшипниковой и других специальных сталей по кислородным включениям при оценке НВ по ASTM E45-05 (метод А) и нормам ведущих фирм ЕС, США и Японии. На наш взгляд [2], низкое содержание кислорода не является обязательным фактором в снижении загрязненности стали такими включениями. Такое же мнение у авторов статьи [3], причем они проанализировали результаты контроля 720 плавок стали ШХ15, выплавленных с внепечной обработкой, и обнаружили, что изменение массовой доли кислорода было в пределах 4-18 ppm при среднем значении 9,5 ppm.

Для решения проблемы сверхнормативных включений требуется разработка адекватной модели физико-химических процессов происхождения и удаления НВ. Установленные в работах УкрНИИспецстали характеристики включений (размер, морфология, фазовый состав), данные других исследователей (например, в работах [4-6]) подтверждают многофакторность влияния разных этапов, параметров сталеплавильной технологии и отсутствие такой модели. Для создания физико-химических моделей процессов внепечной обработки следует предусмотреть организацию комплексных экспериментальных и теоретических исследований по проблеме неметаллических включений в сталях специального назначения. Одновременно должны разрабатываться новые технологии и оборудование внепечной обработки, которые обеспечат приближение к качеству «чистой стали». На первом этапе требуется внедрение циркуляционного метода вакуумирования.

Решение проблемы загрязненности металла НВ является одним из приоритетных заданий программы развития ГКМ Украины до 2011 г. Однако, для подшипниковых сталей имеются и другие проблемы получения качественного металла по макро- и микроструктуре, связанные с ликвационными процессами. Например, в непрерывнолитых трубных заготовках из стали ШХ15 обнаружена подсушадочная ликвация [7]; это дефект, которого не было в металле традиционной выплавки в электропечах с разливкой в слитки. При новых технологиях с внепечной обработкой степень развития ликвационных зон, несмотря на снижение общего уровня газов и примесей, может быть даже выше, чем в слитках

традиционной технологии. Это следует учитывать при совершенствовании технологий и разработке нового оборудования.

Для коррозионностойких сталей также актуальна проблема неметаллических включений (кислородных, нитридных, сульфидных), так как они нормируются в металле, например, для атомной энергетики СНГ, а также при экспорте по заказам зарубежных фирм по стандартам ASTM, DIN, ISO. Можно прогнозировать быстрое развитие «рафинирующих» технологий внепечной обработки для этих сталей, причем они должны учитывать требования по снижению углерода, особенно в металле для карбомидной и атомной промышленности. Эти требования стимулировали в 70-80 гг. XX века работы по отечественному способу газоокислородного рафинирования. Усовершенствованием его является дополнение ГКР установками «печь-ковш» и вакууматором. Перспективным является также замена аргоно-кислородной обработки в отдельном агрегате комплексной обработкой методом циркуляционного вакуумирования RH/RHOV. В этом случае обеспечивается большинство современных требований к коррозионностойким сталям по содержанию газов (в том числе азота и водорода), примесей (в том числе углерода) и по неметаллическим включениям. Для каждой группы марок коррозионностойких сталей необходимы свои исследования качества и технологии внепечной обработки. Например, для ферритных сталей одной из нерешенных проблем является стабилизация качества относительно склонности к хрупкому разрушению вследствие присутствия в твердом растворе атомов углерода, кислорода, азота.

Использование внепечной обработки коррозионностойких сталей позволяет получать более суженные и стабильные интервалы по химическому составу как углерода, так и легирующих элементов (хрома, никеля, марганца, молибдена) и азота, который в некоторых марках выступает в роли аустенитно стабилизирующего элемента вместо углерода. Это позволяет осуществить дальнейшее расширение марочного сортамента, сталей с дуплекс-структурой, суперферритных и супераустенитных коррозионностойких сталей [8]. Внепечная обработка особенно эффективна для расширения использования малоникелевых (в том числе тех, в состав которых входят марганец и азот), аустенитных сталей.

Общей проблемой в развитии технологий металлургического производства, в частности непрерывной разлива, является обеспечение возрастающих требований по однородности микроструктуры: карбидной – в подшипниковых и инструментальных сталях, α -фазы – в коррозионностойких сталях, а также макроструктуры – по дефектам ее неоднородности из-за развития ликвационных процессов при кристаллизации. Для высоколегированных жаропрочных сплавов, быстрорежущих и некоторых других порошковых инструментальных сталей остается нерешенным вопрос технологичности при деформационно-термическом переделе (рванины, термические трещины). Эта проблема существует и для подшипниковых и коррозионностойких сталей.

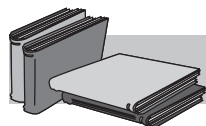
Среди специальных сталей группа конструкционных составляет в электрометаллургии наибольший объем производства, в том числе с использованием внепечной обработки и непрерывной разлива. В последние годы

значение внепечной обработки существенно возросло для обеспечения как резко расширенного и усложненного марочного сортамента, так и повышенных требований по качеству (чистота по газам, примесям и НВ). Обе задачи успешно решаются благодаря быстрому развитию как современных технологий традиционной ковшевой обработки (раскисление, десульфурация, модифицирование, микролегирование и другие), так и внепечной обработки на УПК, вакууматорах разного типа. Перспективной является дальнейшая разработка экономнолегированных, но с более высокими стабильными свойствами сталей, что возможно при использовании преимуществ внепечной обработки. Требования к чистоте по неметаллическим включениям для экспортной металлопродукции из конструкционных сталей могут изменяться в зависимости от назначения стали. Например, для улучшения холодного обточивания закупаются плавки с повышенным содержанием серы и нормированием количества сульфидов и окисульфидов, что требует специальной технологии выплавки в агрегатах «печь-ковш».

Наибольший объем производства с нормированием НВ составляют цементуемые, улучшенные углеродистые и легированные конструкционные стали. В случае контроля по ASTM и DIN металл выплавляют в зависимости от уровня требований потребителя без внепечной обработки

или с обработкой на УПК и вакууматорах. В последнем случае также достигается существенное снижение газов, обеспечивается качество металла по флокенам, межкристаллитным кристаллизационным трещинам и другим дефектам макроструктуры (по «белым пятнам» в изломах осевой стали). Результаты положительного влияния внепечной обработки на качество конструкционных сталей подтверждено на многих металлургических заводах стран СНГ, таких как ОАО «Днепроспецсталь», ММЗ «Истиль Украина», ОАО «Мечел» и «Электросталь» (Россия), БМК (Беларусь) и др.

Важным вопросом в получении высококачественной металлопродукции из всех классов сталей и сплавов является развитие энергосберегающих технологий деформационно-термического производства проката. Перспективным в этом направлении является совмещение горячей деформации и термообработки и создание интегрированных в прокатных станах линий. В них будет реализовано как энергосбережение за счет использования тепла прокатного нагрева, так и структурные эффекты ТМО в виде сверхмелкого зерна, ускорения фазовых превращений при охлаждении, предупреждения выделений зернограницных фаз и увеличения на границах вредных примесей. Все это позволяет повысить комплекс свойств, надежность, долговременность эксплуатации изделий из подшипниковых, легированных конструкционных, коррозионноустойчивых и других спецсталей и сплавов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Тиунов В. Н., Матвейков С. В., Сафонов В. М. Современное оборудование АО «НКМЗ» для внепечной обработки и непрерывной разливки стали // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 1. – С. 40-43.
2. Спектор Я. И., Оржицкая Л. К., Терновой Ю. Ф. Проблемы технологии и качества подшипниковой стали // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 1. – С. 80-83.
3. Zou Dedunang, Fu Jie, Chen Xichun, Li Jing. Влияние способов выплавки на содержание кислорода и неметаллических включений в подшипниковой стали и ее усталостную стойкость // *Электрометаллургия*. – 2002. – № 2. – С. 44-45.
4. Шахпазов Е. Х., Зайцев А. И., Зинченко С. Д. и др. Новые металлургические процессы и проблема неметаллических включений в стали // *Сталь*. – 2005. – № 11. – С. 137-142.
5. Neifer M., Rodl S., Bannenberg N., Lachmund H. Untersuchungen zur Bewegung and Abscheidung von Einschlüssen in gasgerührten Stahlschmelzen // *Stahl und Eisen*. – 1997. – № 5. – S. 117-120.
6. Онищук В. П., Дюдкин Д. А., Бать С. Ю. и др. Совершенствование технологии внепечной обработки стали // *Металл и литье Украины*. – 2000. – № 1-2. – С. 24-25.
7. Горюшин В. В., Клименкова О. Л., Контер Л. Я., Протасевич П. П. Исследование непрерывнолитой подшипниковой стали и изготовленных из нее колец подшипников // *МиТОМ*. – 1995. – № 3. – С. 11-16.
8. Оржицкая Л. К., Спектор Я. И. Развитие марочного сортамента коррозионноустойчивых сталей // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2006. – № 9. – С. 48-55.

Вниманию авторов!

С 2009 г. в соответствии с требованиями ВАКа все статьи, поступающие в редакции научных журналов, должны обязательно проходить рецензирование, иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи – не более 10 страниц, рисунков – не более 5.

Статьи в редакции могут поступать как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.