

УДК 621.74.074

Т.В. Лысенко, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: tv12odessa12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3183-963x>**В.В. Ясюков**, канд. техн. наук, приват-профессор, доц. кафедры, e-mail: odessa810@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6453-5712>**М.П. Тур**, ст. преподаватель, e-mail: tuma@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5028-9744>**А.Н. Бежанова**, инженер 1-й категории, e-mail: sersalmonthefirst@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5723-1710>

Одесский национальный политехнический университет (Одесса, Украина)

Инновационные технологии выплавки стали для фасонных отливок

Продуктивность литейного производства в значительной степени зависит от металлургического передела. При оценке влияния технологии плавки стали в кислых и основных печах установлена связь технологических и прочностных характеристик отливок: прочности и пластичности, свойств отливок после термообработки, формирование трещин и др. Эти и другие различия свойств должны учитываться специалистами, разрабатывающими и подготавливающими технологические процессы. Рассматриваются внедренные и внедряемые технические, технологические и организационные новшества, обеспечивающие повышение эффективности электроплавки стали. Среди них оценка качества шихты по геометрическим параметрам, загрязнению поверхности лома цветными металлами, необходимости брикетирования и пакетирования стружки. Большое внимание уделено физико-химическим процессам, протекающим при удалении серы и фосфора из металлов. Приведены сравнительные технико-экономические показатели работы электродуговых печей с кислой и основной футеровкой, при этом подчеркиваются основные параметры: стойкость кислой футеровки почти в два раза выше стойкости основной; печь на кислой футеровке заваливается на 20 % полнее; длительность основной плавки увеличивается на 30–40 мин в сравнении с кислой. Даны рекомендации по выбору и расчету электродов, устройству электрододержателей, экономайзеров. Описывается технология рафинирования стали синтетическим шлаком в ковше при выпуске стали из печи. Приводятся примеры применения наноматериалов при модифицировании стали, что позволяет получать отливки с однородной мелкозернистой структурой в различных сечениях, повышенной эксплуатационной надежностью литых деталей.

Ключевые слова: электродуговая плавка стали, шихта, кислая и основная плавка, десульфурация, дефосфорация, внепечная обработка, наномодифицирование.

Актуальность работы. Стальное литье используют в конструкциях машин при сопоставимости механических свойств отливок кованным или штампованным заготовкам. Важным преимуществом литья является одномоментное объемное формообразование, минимальный отход металла в стружку, сравнительно низкая трудоемкость. Производственные мощности литейных цехов Украины по стальному литью составляют более 620 тыс. тонн [1] (около 52 % от общего количества литья). Повышение требований к эксплуатационной надежности литых деталей влечет за собой совершенствование всех этапов технологического процесса изготовления отливок с учетом их влияния на конечный результат. Важное место отводится процессам выплавки стали, особенностями которых является большое разнообразие марок, нередко в одном литейном цехе на одном и том же плавильном оборудовании. При этом объемы производства, в основном, незначительны.

Металлическая часть шихты литейных цехов машиностроительных заводов, кроме стального лома, в большей мере содержит возврат собственного производства с высоким содержанием фосфора и серы.

Структура стального лома трансформируется в сторону легковесного (корпуса бытовой техники, автомобилей и др.), что требует подвалки, увеличивает угар и длительность плавки. Низкое качество металлозавалки вызывает необходимость применения новых металлургических процессов в области раскисления стали, удаления неметаллических включений, внепечной обработки и др. Все эти инновации позволяют определить современный уровень металлургии стали, направленный на повышение физико-механических свойств отливок.

Постановка задачи. Главной задачей металлурга, ведущего плавку, является выплавка стали, которая по своему химическому составу и структуре удовлетворяет предъявленным к ней требованиям. При этом необходимо стремиться к наименьшим затратам исходных материалов, энергетических ресурсов, человеческого труда и экологической безопасности. Эти требования невозможно удовлетворить без развития металлургии стали, как науки. Научно-техническим сообществом Украины накоплен большой опыт работы предприятий с обобщением и анализом процессов, прогнозированием путей дальнейшего

развития, созданием систем контроля и управления, обеспечением качественных показателей сталей. В то же время остаются недостаточно изученными вопросы влияния технологических параметров плавки на качество отливок, процессы внепечной обработки стали, применения более дешевых сырьевых ресурсов. Требуют дальнейшего изучения неметаллические включения, определяющие основные плавочные характеристики и свойства стальных отливок.

Цель работы. Синтез научно-производственного опыта разработок и внедрения новых технологий плавки стали, обеспечивающих повышение эффективности и улучшение качества литья.

Сущность и методы исследования. Качество шихты непосредственно влияет на свойства отливок. Поэтому стальной скрап подвергается предварительной подготовке. В отличие от подовых печей в электросталеплавильном процессе громоздкие куски лома разделяются на размер не более 650/350/250 мм (группа А2). Легковесный скрап А6-1 (количество которого неуклонно растет) следует пакетировать или брикетировать. Это позволяет исключить операцию подвалки и сократить период плавления шихты. Стальной скрап очищают от загрязнений, – мусора, земли, песка, – которые увеличивают количество шлака в печи. Низкосортный скрап отделяется, если его поверхность покрыта цинком, оловом или свинцом. Цинк (температура кипения 931 °С) легко испаряется из скрапа при плавлении шихты, пары цинка и оксида ZnO разрушают футеровку печи; олово (температура кипения 2218 °С) не испаряется и практически не окисляется, поэтому переходит в сталь, придавая ей красноломкость. Свинец (температура плавления 327 °С) стекает на подину, что снижает ее монолитность и может служить причиной аварии.

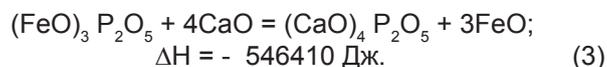
В машиностроении значительный объем деталей изготавливают обработкой резанием, поэтому улучшение обрабатываемости стали имеет большое значение. Это достигается применением автоматной низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием серы и фосфора, которые снижают пластичность, вязкость, коррозионную стойкость. Кроме серы и фосфора эти стали могут содержать селен и теллур (например, сталь марки АС14), свинец (сталь марки АС40). Отходы автоматных сталей в шихте могут быть в виде стружки, бракованных деталей и т. д. Это приходится учитывать при модифицировании жидкой стали силикокальцием, который изменяет морфологию сульфидных включений. Кардинальным методом снижения содержания серы и фосфора в стали является переход из кислой плавки на основную. Удаление фосфора из ванны производится путем окисления по уравнению:



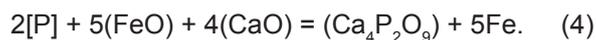
Образовавшийся P_2O_5 связывается избыточным FeO в фосфат железа по уравнению:



Эта реакция экзотермическая, поэтому протекает при более низких температурах. При последующем нагреве ванны фосфат железа нестабилен и может произойти восстановление фосфора с переходом в ванну. Для предотвращения восстановления в печь вводят известь, в результате образуется фосфорно-кальциевая соль по уравнению:



Результирующее уравнение процесса:



Для предупреждения обратного восстановления фосфора в конце плавки следует поддерживать основность шлака, необходимую для стабильного образования фосфорно-кальциевой соли. Это достигается скачиванием шлака и наведением нового с минимальным содержанием P_2O_5 . Раскислить плавку, например, алюминием, следует в ковше по схеме, приведенной на рис. 1.

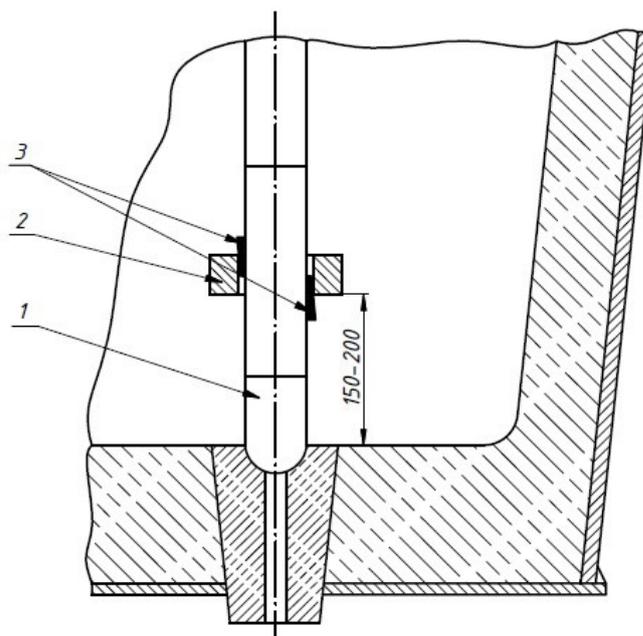


Рис. 1. Установка алюминиевого кольца для раскисления стали в ковше: 1 – стопор; 2 – алюминиевое кольцо; 3 – клинья

Исходя из вышесказанного, дефосфорацию можно проводить только в основной печи. Однако имеется положительный опыт [2] с ведением кислой плавки на шлаке, содержащем 18–30 % CaO, что делает шлак жидкоподвижным, активным, в металле значительно снижается содержание кислорода. Износостойкость футеровки (стены, откосы, подина) при этом не изменяется, так как шлак остается кислым. При такой технологии отпадает необходимость скачивания шлака и наведения нового для снижения FeO в конце плавки. Механические свойства стали 35Л (табл. 1) обеспечиваются снижением содержания кислорода до 0,002–0,005 % и благоприятной морфологией неметаллических включений. Данный

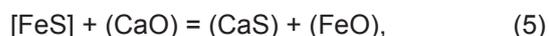
Механические свойства стали 35л

σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	НВ
570–580	300–330	27–33	45	$6,37 \cdot 10^3$ $6,86 \cdot 10^3$	70

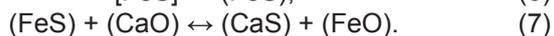
метод ведения процесса плавки обеспечивает более высокие прочностные и, особенно, пластические свойства стали.

Сера в стали присутствует в форме FeS и MnS. Сродство серы к кислороду меньше, чем железа, и ее нельзя удалить из ванны окислением. Основную роль в процессе десульфурации играет шлак. Реакционная способность шлака зависит от его основности, окислительной способности и вязкости; наличие SiO₂ в шлаке снижает его влияние на удаление серы.

Главным компонентом шлака является известь. Десульфурация проходит или на границе контакта шлак-металл по гетерогенной реакции:



или в шлаке по гомогенной реакции:



Условиями качественной десульфурации является высокая концентрация CaO в шлаке с учетом CaO, не связанного с SiO₂ и P₂O₅; низкая концентрация FeO и CaS в шлаке, что вынуждает проводить операции скачивания и наведения свежего шлака; высокое значение константы равновесия гетерогенной реакции [3].

В электродуговых печах достигается более качественное удаление серы, чем в подовых печах. В кислых печах десульфурация не происходит вообще. Устранение серы из металла в ходе плавки требует значительного времени, что влияет на производительность печи. Поэтому целесообразно использовать методы внепечной обработки стали в ковше.

Влияние технологии плавки стали на ее свойства ощутимо при сопоставлении кислой и основной стали. Так, жидкотекучесть и поверхностное натяжение кислой стали электропечной плавки выше, чем у основной. Пластические характеристики стали основной плавки (относительное удлинение, сужение, ударная вязкость) значительно выше, чем кислой; прочностные характеристики (σ_b , σ_T , НВ) стали кислой плавки выше, чем у основных. У кислой стали прокаливаемость более высокая, чем у основной; устойчивость против отпуска кислой стали значительно выше, чем основной; закалка отливок, полученных из кислой стали, дает значительной меньшей пластичность; восприимчивость к отпускной хрупкости у кислой стали выше, чем у основной; отливки из кислой стали более чувствительны к образованию закалочных трещин, чем отливки из основной стали. Эти и другие различия свойств следуют учитывать специалистами, разрабатывающими и поддерживающими технологические процессы.

При выборе способа ведения плавки следует учитывать, что производительность дуговых печей с кислой футеровкой при номинальной вместимости и мощности трансформаторов значительно выше основных, эксплуатационные расходы ниже из-за более высокой стойкости футеровки, которая дешевле магнезита и хромомагнезита, меньшего расхода электроэнергии и электродов, снижения трудоемкости операций. Сравнительные технико-экономические показатели работы дуговых печей ДСП-6 с кислой и основной футеровкой приведены в табл. 2 [4].

При производстве стали в электродуговых печах используют нерасходуемые углеродистые электроды – угольные и графитированные. Графитизация

Таблиця 2

Сравнительные технико-экономические показатели работы дуговых печей ДСП-6 с кислой и основной футеровкой

Показатель	Футеровка	
	кислая	основная
Стойкость футеровки, число плавов	230	110
Масса плавки, т	7,1	6,3
Длительность плавки, мин	140	185
Производительность, т/ч	3,1	2,1
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	585	650
Расход графитированных электродов кг/т стали	6,0	7,2

значительно улучшает свойства электродов, в частности, уменьшает удельное сопротивление, дает небольшой расход на 1 т выплавляемой стали. Поэтому такие электроды получили преимущественное применение. Основными требованиями к электродам являются: высокая электропроводность, низкая теплопроводность, высокая температура начала окисления, небольшое содержание золы и серы, достаточная механическая прочность, низкая цена.

Удельное электрическое сопротивление графитированных электродов составляет $(8-12) \cdot 10^{-4}$ Ом·см при плотности тока $(12-15)$ А/см². Эти электроды обладают повышенной температурой начала окисления поверхности $(630-660)$ °С. Они имеют меньшее содержание золы $(0,1-0,5 \%)$ и серы (не более $0,1 \%$) в сравнении с угольными электродами. Предел прочности графитированных электродов при сжатии – не менее $16,5$ МПа. Стоимость этих электродов в $3-3,5$ раза превышает стоимость угольных электродов, однако это окупается меньшим расходом на 1 т жидкой стали, снижением времени на наращивание, уменьшением аварийных ситуаций при поломке электродов, снижением расхода электродов на огарки и обломки, улучшением условий труда.

Диаметр поперечного сечения электрода $d_э$ определяют из соотношения [5]:

$$d_э = 2 \sqrt{\frac{I}{\pi \sigma_{\text{доп}}}}, \quad (8)$$

где I – сила тока, А; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, А/см².

При расположении электродов по вершинам равностороннего треугольника следует обеспечивать равномерный нагрев стен и понижать их тепловое напряжение. Это соотношение $d_э/D_1$ принимают равным $0,37-0,40$ ($d_э$ – диаметр распада электродов, D_1 – диаметр рабочего пространства). Кроме того, такое соотношение позволяет свободно разместить электрододержатели и электродные уплотнители (экономайзеры, рис. 2).

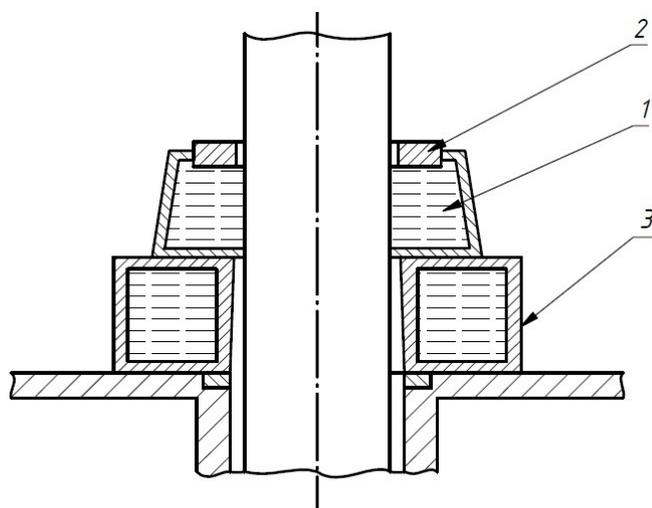


Рис. 2. Электродный уплотнитель (экономайзер): 1 – шлаковая вата; 2 – груз; 3 – электродное охлаждающее кольцо

Основными требованиями к электрододержателям являются высокая жесткость конструкции и хороший контакт с поверхностью электродов. При прочих равных условиях наименьшим сопротивлением обладает контакт медь-графит, при котором отсутствуют местные нагревы и искрения, значительные потери электроэнергии.

Процессы диффузионного раскисления и обескисливания стали в печи в восстановительный период протекают медленно в связи с малой скоростью диффузии в металле и шлаке. Интенсивность перемешивания металла и шлака можно повысить выпуском плавки в ковш; в этом случае струя металла разбрызгивается и, перемешиваясь со шлаком, очищается от кислорода и серы.

При взаимодействии металла со шлаком в ковше происходит интенсивное раскисление металла кремнием. Раскислительная способность кремния выражена таким уравнением:

$$[O]_{\text{Si}} = L \sqrt{\frac{K_{\text{Si}} a_{\text{SiO}_2}}{[\text{Si}]}}, \quad (9)$$

где L – коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком; K_{Si} – равновесная концентрация кремния в металле; a_{SiO_2} – активность кремнезема в шлаке.

Раскисление происходит на поверхности раздела металла со шлаком. Так как в шлаке мало SiO_2 и много CaO , то активность SiO_2 в шлаке низкая. Поэтому на поверхности раздела металла со шлаком кремний и кислород, содержащиеся в металле, взаимодействуют с CaO шлака с образованием силикатов кальция. Учитывая большую поверхность соприкосновения разбрызгиваемого металла со шлаком, процесс протекает с большой интенсивностью и наиболее полно.

Одно из преимуществ процесса рафинирования стали синтетическим шлаком заключается в том, что наряду с интенсификацией плавки в электропечах повышается качество стали, снижается содержание неметаллических включений (НВ), улучшается морфология НВ, растут пластические свойства, уменьшается анизотропия свойств металла. Рекомендуемый состав шлака: $50-55 \%$ CaO , $38-46 \%$ Al_2O_3 , $0,9-4,5 \%$ MgO , $1,7-3,5 \%$ SiO_2 , $0,3-0,4 \%$ TiO_2 , $0,4-0,9 \%$ FeO . Температура шлака на выпуске $1670-1730$ °С. В качестве шлакоплавильного агрегата используют дуговую печь ДПСШ-1 производительностью $1,6$ т/час. Печь футерована угольными блоками либо использован гарнисаж. Расход синтетического шлака составляет $4-4,5 \%$ от массы металла. В процессе обработки из стали удаляется, как правило, $70-80 \%$ S, с конечным содержанием $0,003-0,006 \%$. Производительность печи за счет сокращения восстановительного периода повышается на $10-15 \%$.

Эффективным методом внепечной обработки стали может служить вдувание в металл порошкообразных материалов (CaO , $\text{CaO} + \text{CaF}_2$, CaC_2 , $\text{SiCa} + \text{CaO}$ и др.) в струе инертного газа. При использовании

этого способа в ковшах с основной футеровкой удаляется до 90 % серы. Одновременно с этим изменяется количество и состав НВ в стали.

Наноразмерные материалы (1 нм = 10^{-9} м), введенные в расплав, позволяют получать отливки с однородной мелкозернистой структурой в различных сечениях. Применение наноматериалов повышает устойчивость технологических процессов плавки стали, обеспечивает эксплуатационную надежность литых деталей. Управление структурой отливок в присутствии наночастиц достигается наличием физической поверхности раздела с жидкой фазой, определяющей гетерогенный механизм кристаллизации. Из этого следует, что наночастицы изменяют свойства сплавов (объемный вес, теплоемкость, теплопроводность, теплоту кристаллизации) и формируют благоприятную структуру при модифицировании. Видоизменение структуры сопровождается снижением содержания газов, удалением НВ, десульфурацией, дефосфорацией и т. д., то есть свойства сплавов приближаются к теоретической прочности.

Вышеизложенные свойства наноструктур позволяют использовать их для модифицирования сталей путем введения в расплав нанодобавок в составе специальных лигатур. Добавки SiO_2 (аэросил) и SiC вводили в сталь 20Л в виде лигатур на основе алюминия [6]. Полученные результаты свидетельствуют об измельчении зерна литой структуры, что подтверждает наличие механизма гетерогенного зародышеобразования. При этом повышаются прочностные и пластические характеристики сплава и сопротивление хрупкому разрушению при динамических нагрузках, что особенно важно для вагонного литья. Аналогичные результаты достигнуты при модифицировании сталей с перитектическими превращениями (сталь 20ГЛ) нанодисперсными карбонитридами титана и алюминия в комплексе с микролегированием азотом. Такая обработка расплава формирует мелкозернистую структуру при кристаллизации, нитриды алюминия ограничивают рост зерна аустенита при рекристаллизации. Эффективность технологического решения подтверждается повышением механических свойств литья. При оценке влияния модифицирования нанодисперсными материалами на свойства отливок стрелочных переводов из стали 110Г13Л [7] установлено значительное улучшение однородности структуры, повышение плотности и изотропности. Это способствует более равномерному распределе-

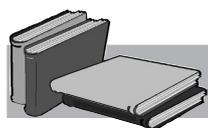
нию внутренних напряжений под нагрузкой, уменьшению трещин, пористости, сколов.

Таким образом, наноразмерные материалы, введенные в расплав, позволяют получить отливки с однородной мелкозернистой структурой в различных сечениях. Отличительной особенностью наномодифицирования является одновременный рост прочностных, пластических и служебных свойств отливок.

Выводы

Продуктивность литейного производства в значительной степени зависит от металлургического передела. Поэтому так важно использовать внедренные или внедряемые технологические, организационные, технические новшества, обеспечивающие повышение эффективности процесса плавки, улучшение качества литья, востребованное рынком. Сюда относятся следующие составляющие электрометаллургии стального литья:

- качество шихты, включающее в себя распределение по размерам, пакетирование или брикетирование легковесной составляющей и стружки, отбор цветных металлов, чистоту по сере и фосфору. Эти факторы необходимо учитывать при выборе способа плавки – кислой или основной;
- тщательное проведение операций удаления фосфора (окисление) и серы (гетерогенные и гомогенные реакции на границе контакта шлак-металл);
- оценка влияния технологии плавки на свойства стали;
- определение технико-экономических показателей кислой и основной плавки в зависимости от требуемых свойств литья;
- рациональный выбор электродов для электродуговой плавки;
- использование экономайзеров, позволяющих снизить тепловую нагрузку на свод печи и увеличить кампанию агрегата, замедлить скорость окисления поверхности электродов, улучшить экологическое состояние плавильного участка сталелитейного цеха;
- внедрение внепечной обработки синтетическими шлаками и порошкообразными материалами, позволяющими проводить раскисление и обессеривание расплава в ковше;
- модифицирование расплава наноразмерными материалами.

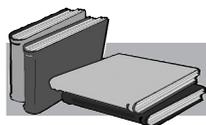


ЛІТЕРАТУРА

1. Ясюков В.В., Лысенко Т.В., Пархоменко Е.А. Газы и неметаллические включения в стальных отливках. *Металл и литье Украины*. 2017. № 11–12. С. 19–24.
2. Фролов С.Ф. Влияние процесса плавки под шлаком с высоким содержанием окиси кальция на газонасыщенность и механические свойства кислой углеродистой электростали. *Газы в литом металле*. М.: Наука, 1964. С. 66–69.
3. Ветишка А.И. и др. Теоретические основы литейной технологии. Киев: Вища школа, 1981. 320 с.
4. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. Киев–Донецк: Вища школа, 1983. 184 с.

5. Крамаров А.Д., Соколов А.Н. Электрометаллургия стали и ферросплавов. М.: Metallurgiya, 1976. 376 с.
6. Кондратюк С.Є., Пархомчук Ж.В. Ефективність використання нанокристалічних матеріалів для модифікування сталей. Литво, металургія. 2017: Матеріали XIII міжнародної наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 2017. С. 135–136.
7. Федосеев С.Н. Повышение надежности стрелочных переводов с помощью модифицирования. XI международная научно-практическая конференция «Литье – 2015». Запорожье, 2015. С. 423–425.

Надійшла 11.12.2019



REFERENCES

1. Yasyukov, V.V., Lysenko, T.V., Parkhomenko, E.A. (2017). Gases and non-metallic inclusions in steel castings. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 11–12, pp. 19–24 [in Russian].
2. Frolov, S.F. (1964). The effect of the smelting process under high calcium oxide slag on the gas saturation and mechanical properties of acid carbon steel. *Gazy v litom metalle. Gases in cast metal*. Moscow: Nauka, pp. 66–69 [in Russian].
3. Vetishka, A.I. et al. (1981). The foundations of foundry technology. Kyiv: Vyshcha shkola, 320 p. [in Russian].
4. Shul'te, Yu.A. (1983). Steel casting. Kyiv–Donetsk: Vyshcha shkola, 184 p. [in Russian].
5. Kramarov, A.D., Sokolov, A.N. (1976). Electrometallurgy of steel and ferroalloys. Moscow: Metallurgiya, 376 p. [in Russian].
6. Kondratyuk, S.Ye., Parkhomchuk, Zh.V. (2017). Efficiency of using nanocrystalline materials for modifying steels. *Lytvo, metallurgiya*. 2017: Materialy XIII mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. Casting, metallurgy. 2017: Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference, m. Zaporizhzhia, pp. 135–136 [in Ukrainian].
7. Fedoseyev, S.N. (2015). Improving the reliability of turnouts by modifying. XI mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Lit'e – 2015». XI International Scientific and Practical Conference "Casting – 2015", Zaporozh'ye, pp. 423–425 [in Russian].

Received 11.12.2019

Анотація

Т.В. Лисенко, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри,
e-mail: tvl12odessa12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3183-963x>
В.В. Ясюков, канд. техн. наук, приват-професор, доц. кафедри,
e-mail: odessa810@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6453-5712>
М.П. Тур, ст. викладач, e-mail: tuma@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5028-9744>
А.М. Бежанова, інженер 1-ї категорії, e-mail: sersalmonthefirst@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5723-1710>

Одеський національний політехнічний університет, (Одеса, Україна)

Інноваційні технології виплавлення сталі для фасонних виливків

Продуктивність ливарного виробництва значною мірою залежить від металургійного переділу. При оцінці впливу технології плавки сталі в кислих та основних печах встановлено зв'язок технологічних і міцнісних характеристик виливків: міцності і пластичності, властивостей виливків після термообробки, формування тріщин та ін. Ці та інші відмінності властивостей повинні враховуватися фахівцями, які розробляють і готують технологічні процеси. Розглядаються впроваджені і впроваджувані технічні, технологічні та організаційні нововведення, що забезпечують підвищення ефективності електроплавки сталі. Серед них оцінка якості шихти за геометричними параметрами, забрудненням поверхні брухту кольоровими металами, необхідністю брикетування і пакетування стружки. Велику увагу приділено фізико-хімічним процесам, що протікають при видаленні сірки і фосфору з металів. Наведено порівняльні техніко-економічні показники роботи електродугових печей з кислою і основною футеровкою, при цьому підкреслюються основні параметри: стійкість кислої футеровки майже в два рази вища стійкості основної; піч на кислої футеровці завалюється на 20 % повніше; тривалість основної плавки збільшується на 30–40 хв в порівнянні з кислою. Дано рекомендації з вибору і розрахунку електродів, обладнання електродотримачів, економайзерів. Описано технологію рафінування сталі синтетичним шлаком в ковші під час випуску сталі з печі. Наводяться приклади застосування наноматеріалів при модифікуванні сталі, що дозволяє одержувати виливки з однорідною дрібнозернистою структурою в різних перетинах, підвищеною експлуатаційною надійністю литих деталей.

Ключові слова

Електродугова плавка сталі, шихта, кисла та основна плавка, десульфуріяція, дефосфорація, позапічна обробка, наномодифікування.

Summary

T.V. Lysenko, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, e-mail: tvl12odessa12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3183-963x>
V.V. Yasyukov, PhD (Engin.), private professor, Associate Professor of the Department, e-mail: odessa810@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6453-5712>
M.P. Tur, Senior Lecturer, e-mail: tyna@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5028-9744>
A.N. Bezhanova, 1st category engineer, e-mail: sersalmonthefirst@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5723-1710>

Odessa National Polytechnic University (Odessa, Ukraine)

Innovative steelmaking technologies for shaped castings

The productivity of the foundry largely depends on the metallurgical stage. When assessing the influence of steel melting technology in acidic and basic furnaces, a connection was established between the technological and strength characteristics of castings: strength and ductility, properties of castings after heat treatment, cracking, etc. These and other differences in properties should be taken into account by specialists developing and preparing technological processes. The introduced and implemented technical, technological and organizational innovations are considered, which provide an increase in the efficiency of electric steel smelting. Among them are the evaluation of the quality of the charge by geometric parameters, pollution of the scrap surface with non-ferrous metals, the need for briquetting and chip packing. Much attention is paid to the physicochemical processes that occur when sulfur and phosphorus are removed from metals. Comparative technical and economic indicators of the operation of electric arc furnaces with acidic and basic lining are given. The main parameters are emphasized: the resistance of an acid lining is almost two times higher than the basic; the acidlined furnace charges off 20 % more; the duration of the basic heat is increased by 30–40 minutes in comparison with acidic. Recommendations are given on the selection and calculation of electrodes, the arrangement of electrode holders, and economizers. The technology of steel refining with synthetic slag in a ladle when releasing steel from a furnace is described. Examples of the use of nanomaterials in the modification of steel are given, which makes it possible to obtain castings with a homogeneous fine-grained structure in various sections, and increased operational reliability of cast parts.

Keywords

Electric arc steel smelting, charge, acidic and basic melting, desulfurization, dephosphorization, out-of-furnace treatment, nanomodification.