

Применение способа электродуговой наплавки с ферромагнитной шихтой для изготовления и восстановления роликов системы вторичного охлаждения УНРС

С.Н. Глазунов, В.Г. Вялков, доценты, канд.техн.наук

Л.Д. Варламова, ст. преподаватель

П.А. Цирков, ассистент

(кафедра «Технологии обработки материалов» МГТУ им Н.Э. Баумана,
г. Москва, (499) 267-00-62, mt13welding@gmail.com)

Аннотация. Настоящая работа посвящена повышению работоспособности роликов вторичной системы охлаждения при изготовительной и восстановительной наплавке с ферромагнитной шихтой.

Ключевые слова: ролики системы вторичного охлаждения, изготовительная и восстановительная наплавка, ферромагнитная шихта, легирование поверхности, технологическая прочность.

В настоящее время технология непрерывной разливки стали является доминирующей в металлургическом производстве. Процесс происходит на установках непрерывной разливки сталей (УНРС), одним из основных сменных узлов которых являются роликовые направляющие, обеспечивающие целостность твёрдо-жидкого слитка и его движения по заданной траектории. Особенностью условий эксплуатации роликов системы вторичного охлаждения УНРС является длительное циклическое термомеханическое нагружение в условиях воздействия агрессивной среды. Сложные условия работы приводят к преждевременному возникновению дефектов на поверхности роликов, что отражается на качестве непрерывно-литой заготовки. Слиток может иметь нежелательные закаты, наддавы, царапины. Кроме того, дефекты роликов часто являются причиной их поломки в процессе эксплуатации, что вызывает деформацию и прорыв корочки твёрдо-жидкого слитка. В этом случае выполняется незапланированная остановка УНРС и последующий ее дорогостоящий ремонт.

Поиск способов совершенствования производства роликов, увеличения срока их службы (и, как следствие, всей УНРС в целом) является актуальной задачей в современной металлургии. При изготовлении/восстановлении поверхностного слоя бочки роликов УНРС применяют различные способы, нашедшие широкое применение в машиностроении: перетачивание на меньший диаметр, бандажирование, и наиболее распространённый способ - наплавка.

Изготовительная наплавка позволяет увеличить срок службы ролика в результате нанесения на поверхность готового изделия специального слоя с особыми свойствами, отвечающего необходимым условиям эксплуатации.

При восстановительной наплавке в качестве исходной заготовки используется дефектная, но уже сформированная деталь. В этом случае затраты на выполнение таких операций, как литье,ковка,штамповка и т.п. отсутствуют, что обеспечивает экономию металла, топливно-энергетических и других природных ресурсов. В то же время эксплуатационные свойства получаемой после восстановления детали могут отвечать всем необходимым требованиям, предъявляемым к изделию.

Однако применяемые способы наплавки с использованием стандартных наплавочных материалы часто не формируют требуемый химический

состав наплавленного слоя, обеспечивающий необходимые технологическую прочность и эксплуатационные свойства роликов УНРС, даже несмотря на применение дополнительных технологических мероприятий (подогрев в процессе наплавки, последующая термообработка изделия, упрочнение поверхностного слоя).

Для изготовления или восстановления рабочих поверхностей роликов УНРС предлагается способ электродуговой наплавки ферромагнитной шихтой. Этот способ позволяет в широких пределах изменять химсостав наплавленного слоя, добиваясь получения требуемых эксплуатационных свойств изделия без специальных технологических мероприятий, имеет высокую производительность, обеспечивает необходимую технологическую прочность наплавки, базируется на оборудовании и наплавочных материалах, широко выпускаемых промышленностью.

Общие сведения о роликах УНРС

В комплект УНРС входит до 80 ед. роликов различного назначения: формирующие, направляющие, обжимные и тянущие. Эти ролики имеют диаметр 150-600 мм, длину до 2 500 мм и изготавливаются из теплоустойчивой хромомолибденованадиевой стали типа 24ХМ1Ф (25Х1МФ).

Факторы, влияющие на работоспособность роликов системы вторичного охлаждения УНРС

Конструкция зоны вторичного охлаждения состоит из системы роликов, поддерживающих и направляющих заготовку, и устройств, обеспечивающих охлаждение слитка в результате впрыскивания охлаждающей воды, расположенных между роликами.

Ресурс безотказной работы роликов системы вторичного охлаждения в соответствии с условиями эксплуатации определяется их устойчивостью против комплексного воздействия четырех основных факторов [1-3].

Первый фактор - повышенная рабочая температура поверхности роликов, достигающая 750 С в результате контакта роликов с горячим металлом. Если интенсивность водяного охлаждения роликов и слитка оказывается недостаточной, то термические нагрузки на поверхность роликов приводят к появлению на их рабочей поверхности трещин термической усталости (трещины «разгара»). Выполняя функцию концентраторов напряжений, эти трещины ускоряют разрушение поверхности роликов.

Второй фактор – силовой. Для равномерного вытягивания формирующегося слитка к нему, со стороны роликов, должно быть приложено определенное усилие прижима, равное или несколько превышающее ферростатическое давление жидкой фазы заготовки на ролики.

Третий фактор - охлаждающая паровоздушная среда, образующаяся в результате непрерывного струйного охлаждения речной водой высокотемпературной поверхности роликов и слитка. При контакте с горячим металлом водяной пар частично диссоциирует, образуя водород и кислород, а также выделяет другие примесные элементы, входящие в состав речной воды (Cl, S и др.), что создает агрессивную среду.

Четвертый фактор - абразивное действие окалины слитка на рабочую поверхность вращающегося ролика.

Эксплуатация в условиях циклического механического воздействия, а также влияния охлаждающей паровоздушной среды приводит к уменьшению роликов в диаметре вследствие механического изнашивания и окисления.

Основные виды дефектов, возникающие при эксплуатации роликов системы вторичного охлаждения УНРС

Под действием сложных условий эксплуатации (высокой температуры, циклического термомеханического нагружения и агрессивной среды) в роликах системы вторичного охлаждения возникают следующие виды дефектов, которые по уменьшению частоты их возникновения можно расположить в следующей последовательности:

износ наружной поверхности (бочки) ролика, достигающий 10 мм на диаметр;

трещины «разгара» (сетка трещин на рабочей поверхности ролика);

износ поверхности под подшипниками;

бортовые сколы.

Технические условия при приемке роликов для восстановления:

Износ рабочей поверхности (бочки) ролика не более 10 мм на диаметр.

На поверхности ролика не допускаются дефекты:

сколы глубиной более 10 мм;

сетка трещин на рабочей поверхности, распространяющихся в тело ролика глубже 3 мм;

трещины глубиной более 10 мм на всех остальных поверхностях, кроме бочки.

При наличии дефектов, не отвечающих указанным условиям, ролик отбраковывается.

Требования к наплавке рабочей поверхности (бочки) ролика:

толщина наплавляемого слоя до 10 мм;

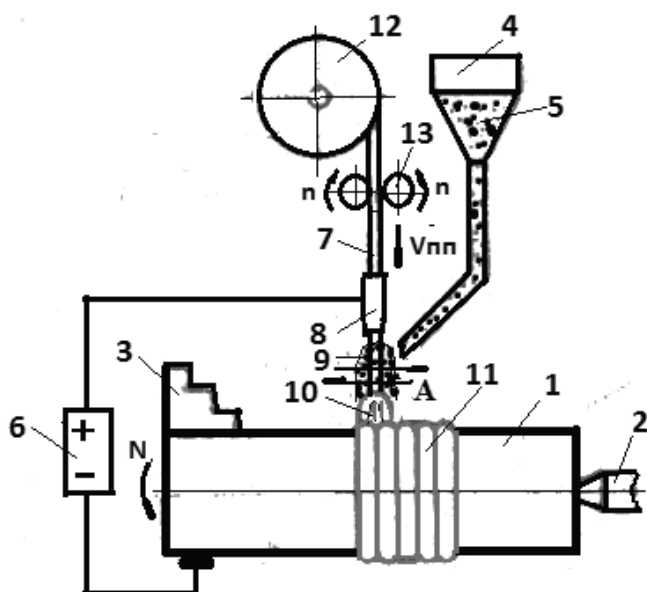
твёрдость поверхности наплавленного слоя HRC 42-45;

обеспечение жаропрочности, коррозионной износостойкости при длительной эксплуатации в области температур 500-750°C.

Способ электродуговой наплавки ферромагнитной шихтой

Способ электродуговой наплавки ферромагнитной шихтой позволяет восстанавливать как плоские, так и цилиндрические поверхности деталей, изготовленных из широкого спектра материалов.

Схема процесса наплавки представлена на рис. 1.

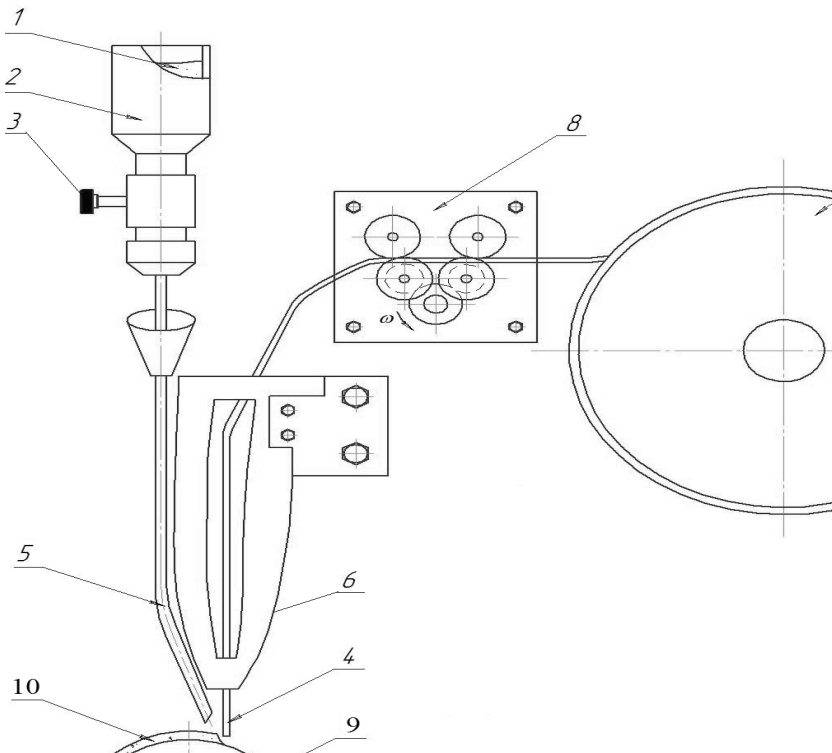


1- наплавляемая заготовка; 2- центр; 3- трехкулачковый патрон; 4- бункер;
5- ферромагнитная шихта (порошкообразная сухая масса); 6- источник питания постоянного тока; 7- сварочная проволока; 8- скользящий токоподвод; 9 -покрытие

из ферромагнитной шихты; 10 – сварочная дуга; 11 – наплавленный слой; 12 – кассета со сварочной проволокой; 13 – механизм подачи проволоки;
 N – скорость вращения наплавливаемой заготовки; $V_{пп}$ – скорость подачи сварочной проволоки, A – поперечные колебания сварочной проволоки
 Рис. 1. Схема электродуговой наплавки ферромагнитной шихтой

Наплавливаемая заготовка устанавливается в трехкулачковом патроне 3 и центре 2. Включаются вращение заготовки, колебания электродной проволоки и обеспечивается подача ферромагнитной шихты 5 из бункера 4. От источника питания 6 к сварочной проволоке 7 и изделию 1 подается ток наплавки. Между торцом сварочной проволоки и поверхностью наплавливаемой заготовки зажигается сварочная дуга 10. Ток наплавки, проходя по сварочной проволоке, создает вокруг нее магнитное поле. Ферромагнитная шихта, содержащая магнитные компоненты, притягивается в месте ссыпания к сварочной проволоке и создает вокруг нее покрытие 9. Сварочная проволока с покрытием в виде шихты поступает в зону сварочной дуги, расплавляется и наносится на поверхность наплавливаемого изделия. После охлаждения и кристаллизации расплавленного металла образуется наплавленный слой 11.

Способ наплавки ферромагнитной шихтой может быть реализован на базе установки УД 209 с применением наплавочной головки (рис. 2), модернизированной из серийной, с незначительными материальными и временными затратами.



- 1 – ферромагнитная шихта; 2 – бункер для шихты; 3 – дозатор расхода шихты; 4 – сварочная проволока; 5 – медная трубка для подачи шихты на сварочную проволоку; 6 – плоский мундштук для токоподвода и поперечных колебаний электродной проволоки, приводящийся в движение с помощью механизма колебаний (на схеме не показан);
 7 – бухта с проволокой; 8 – механизм подачи проволоки; 9 – наплавливаемая заготовка; 10 – наплавленный слой

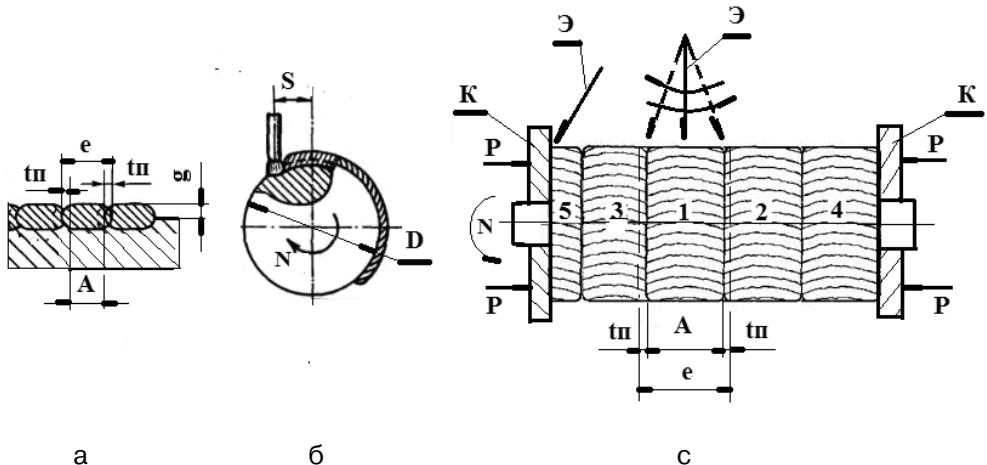
Рис. 2. Схема наплавочной головки

Технология наплавки

Технология наплавки предусматривает нанесение наплавляемого слоя широкими кольцевыми валиками, полученными в результате поперечных к направлению оси валика колебаний электрода с общей амплитудой «А» (рис. 3, а, в). Амплитуда колебаний зависит от ширины наплавляемого валика «е» и с учетом растекания расплавленного металла по поверхности изделия может быть рассчитана по формуле $A = (0,7 - 0,8) \times e$. Экспериментально установлено, что для обеспечения устойчивого процесса наплавки с качественным формированием наплавляемого слоя на режимах с минимальными значениями сварочного тока ($I = 140 - 220 \text{ A}$), значение «е» должно лежать в диапазоне от $(8,5 \times g)$ до 30 мм, где g – толщина наплавки, мм. При меньших значениях образуются узкие и высокие валики, которые не имеют плавного сопряжения с основным металлом, что может привести к образованию трещин в процессе наплавки, при больших – возрастают сварочные деформации.

Частота поперечных колебаний электрода и скорость вращения заготовки назначаются в зависимости от ширины валика «е», исходя из условия формирования плотного кольцевого наплавляемого слоя, имеющего заданную высоту g . Сплошной слой наплавленного металла на восстанавливаемой поверхности (рис. 3, а) образуется в результате перекрытия валиков на величину $tp = (0,1 - 0,15) \times A$.

При кольцевой наплавке цилиндрических поверхностей возникают некоторые дополнительные требования к ведению процесса наплавки, связанные с влиянием кривизны изделия на формирование наплавляемого слоя. Для улучшения формирования наплавки и предотвращения стекания ванны жидкого металла по направлению вращения изделия, необходимо сместить торец электродной проволоки с верхней точки цилиндрической поверхности («зенита») в сторону, обратную вращению (рис. 3, б). Однако при этом необходимо иметь в виду, что чрезмерное смещение электрода может вызвать стекание ванны расплавленного металла в сторону, обратную вращению. Величина этого смещения зависит от режимов наплавки и диаметра изделия. В первом приближении значение смещения электродной проволоки от «зенита» можно определить по эмпирической зависимости $S = 0,1 \times D$.



А – общая амплитуда колебаний электродной проволоки; tp – перекрытие валиков при наплавке; e – ширина валика; S – смещение торца электродной проволоки от «зенита»;

D – наружный диаметр наплавляемого изделия; N – скорость вращения наплавляемой заготовки; Э – электрод; К – медные кольца; P – усилия прижатия медных колец к торцовым поверхностям роликов; 1; 2; 3; 4; 5 – очередность укладки наплавочных валиков

Рис. 3. Схема укладки наплавочных валиков

Для уменьшения перегрева наплавляемого изделия, а также снижения сварочных деформаций и напряжений, наплавка выполняется поочередно от центра к краям (рис. 3, в). Для качественного формирования концевых валиков и предотвращения стекания расплавленного металла по торцам наплавляемого ролика устанавливаются специальные медные кольца «К». Применение маятниковых колебаний электрода, в отличие от плоскопараллельного его движения, позволяет наплавить концевые валики в «угол» (валик №5) с минимальной амплитудой колебаний или без колебаний, неподвижным наклонным электродом в случае наплавки узкого валика.

С целью увеличения производительности процесса наплавку можно выполнять одновременно двумя наплавочными головками, двигающимися в разные стороны.

Наплавочные материалы

Наплавочные материалы назначаются исходя из условий эксплуатации изделий и обеспечения высокой технологической прочности наплавки. Материалами при электродуговой наплавке являются: сварочная проволока и ферромагнитная шихта.

Сварочная проволока

Марка сварочной проволоки назначается в зависимости от эксплуатационных требований, предъявляемых к наплавленному слою. В качестве электродной проволоки может применяться и обычная сварочная проволока марок Св08, Св08А или Св08Г2С при условии дополнительного легирования наплавляемого слоя элементами, входящими в состав шихты. Для наплавки используется электродная проволока малого диаметра 1,6-2 мм. Указанные диаметры позволяют использовать низкие сварочные токи, что способствует уменьшению зон нагрева основного металла и, как следствие, снижению уровня сварочных деформаций и напряжений. Кроме того, при низких токах наплавки уменьшается глубина проплавления основного металла, что снижает долю основного металла в наплавленном слое.

Ферромагнитная шихта

Легирование наплавляемого слоя, а также защита дуги и сварочной ванны от влияния атмосферы, осуществляется ферромагнитной шихтой. Ферромагнитная шихта - это гранулированная спеченная смесь тонко помолотых материалов, замешанных на жидком стекле с размером частиц не более 0,4 мм. В состав шихты вводятся специальные компоненты, которые в случае недостатка легирующих элементов в сварочной проволоке обеспечивают заданный химический состав наплавляемого слоя. Варьируя процентное содержание входящих в шихту компонентов, можно в широком диапазоне изменять свойства наплавки, приводя их в соответствие с требуемыми. Легирование наплавки элементами шихты особенно важно в тех случаях, когда не удастся подобрать стандартные наплавочные материалы, обеспечивающие заданный химсостав наплавляемого слоя, а также при однослойной наплавке разнородных металлов, когда химсостав наплавленного слоя отличается от требуемого в результате перемешивания основного и наплавляемого материалов.

Требования, предъявляемые к шихте

Шихта должна быть магнитной, чтобы притягиваться электродом под действием электромагнитных сил.

Шихта должна обеспечивать:

необходимые эксплуатационные свойства наплавки желательны без дополнительных технологических мероприятий (подогрев и термообработка изделия, упрочнение поверхностного слоя);

стабильное горение дуги на малых токах наплавки ($I = 140 - 220 \text{ A}$), что позволяет снизить уровень сварочных напряжений и деформаций, а также уменьшить глубину проплавления основного металла;

защиту расплавленного, кристаллизующегося и твердого наплавленного слоя от влияния атмосферы;

получение бездефектного наплавленного изделия (без пор, трещин, шлаковых включений).

Материалы, входящие в состав шихты, должны быть относительно дешевыми и доступными.

Требования к компонентам шихты

В состав шихты входят доступные порошкообразные компоненты, используемые при изготовлении защитно-легирующего покрытия сварочных электродов. Магнитные свойства обеспечиваются введением в шихту ферромагнитных материалов, например: Fe, FeCr, FeMn. Помимо магнитных компонентов в состав шихты могут входить немагнитные материалы, такие как Ni, SiCa, CaCO₃, CaF₂ и др. Эти материалы обеспечивают легирование и рафинирование расплавленного металла, устойчивое горение сварочной дуги, а также образование на поверхности наплавленного слоя шлака, защищающего зону наплавки от влияния атмосферы.

Для более полного протекания металлургических процессов в наплавленном слое и получения заданных эксплуатационных свойств наплавки необходимо обеспечить:

определенную грануляцию шихты и ее компонентов;

определенное процентное соотношение элементов, входящих в состав шихты;

спекание магнитных и немагнитных материалов.

Изготовление шихты

Материалы шихты в зависимости от их магнитных свойств просеиваются через сита с различными размерами ячейки:

магнитные через сито №04 (размер ячейки 0.4 мм);

немагнитные через сито №018 (размер ячейки 0.180 мм).

После просеивания компоненты взвешиваются в определенной порции и замешиваются на жидком натриевом стекле до получения влажной однородной массы. Жидкое натриевое стекло выполняет функцию не только связующего компонента при изготовлении шихты, но и обеспечивает стабильное горение дуги на малых токах в процессе наплавки.

С целью спекания магнитных и немагнитных материалов, полученную влажную массу прокаливают в печи при температуре 400°C до полного ее просыхания. Применение немагнитных материалов малого размера способствует концентрированному их налипанию на крупные частицы магнитных компонентов, притягиваемых к электроду. Это обеспечивает поступление немагнитных материалов в жидкий металл наплавочной ванны и позволяет избежать их потерь при подаче шихты на сварочную проволоку.

Далее полученную спеченную смесь подвергают дроблению и просеивают через сито №04, получая готовую к применению ферромагнитную шихту.

Обеспечение технологической прочности наплавки

Стойкость наплавки против образования горячих и холодных трещин обеспечивается определенным процентным содержанием и соотношением

компонентов, входящих в состав шихты, малым содержанием в них вредных примесей (в основном, серы и фосфора), а также технологией наплавки.

Стойкость против трещинообразования повышается в результате использования следующих технологических приемов:

выполнение наплавки тонкой сварочной проволокой (1,6 – 2 мм) на умеренных режимах при минимально возможных значениях погонной энергии;

применение поперечных колебаний электродной проволоки, что способствует измельчению кристаллитов в процессе кристаллизации металла наплавленного слоя и увеличению скорости кристаллизации ванны расплавленного металла и, как следствие этого, уменьшению ее объема;

обеспечение рациональной формы и размеров наплавляемого валика, что позволяет повысить стойкость сварных соединений против образования трещин, а также исключить подрезы и уменьшить сварочные деформации;

назначение определенной последовательности наложения наплавочных валиков с целью уменьшения сварочных деформаций и напряжений.

В ряде случаев для повышения технологической прочности наплавки необходимо применять подогрев наплавляемого изделия и/или последующую термообработку.

Выводы

Способ электродуговой наплавки ферромагнитной шихтой при изготовлении/восстановлении роликов УНСП обладает рядом преимуществ по сравнению с другими способами. К этим преимуществам относятся:

Возможность в широких пределах варьировать химический состав наплавляемого слоя в результате изменения состава шихты и, как следствие, получать необходимые эксплуатационные свойства наплавки в ряде случаев даже без дополнительного подогрева заготовки в процессе изготовления и последующей дорогостоящей термообработки получаемого изделия.

Устойчивое горение дуги на минимальных сварочных токах (150-170 А), применение которых обеспечивает незначительные сварочные деформации и напряжения, а также малую глубину проплавления основного металла (на стандартных режимах наплавки менее 3 мм).

Возможность визуального наблюдения за процессом наплавки.

Своевременная корректировка режимов наплавки в случае нарушения устойчивости сварочного процесса.

Формирование качественного наплавленного слоя без пор, трещин, шлаковых включений.

Доступность компонентов шихты, широко используемых при изготовлении защитно-легирующего покрытия сварочных электродов.

Возможность получения требуемых свойств наплавки с использованием экономичных и доступных сварочных проволок типа Св08, Св08А или Св08Г2С при условии дополнительного легирования наплавляемого слоя элементами, входящими в состав шихты.

Высокая производительность процесса, обусловленная тем, что широкослойная наплавка позволяет получать за один проход толщину наплавленного слоя до 10 мм.

Литература

Якушин Б.Ф., Цирков П.А. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей // Сварка и диагностика. 2009. № 5. С. 35-40.

Цирков П.А. Восстановление роликов УНРС из высокопрочных сталей, работающих при высокотемпературном и силовом циклическом нагружении

в агрессивной среде // Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». 2009.

Цирков П.А. Восстановление роликов установок непрерывной разливки сталей // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 105. С. 204-206.

Макаров Э.Л., Вялков В.Г., Глазунов С.Н., Коновалов А.В., Апраксин Д.В. Ферромагнитная шихта для дуговой наплавки деталей машин, изготовленных из железоуглеродистых сплавов. Патент на изобретение № 2448823, 2012 г.

Глазунов С.Н., Вялков В.Г., Цирков П.А. Модернизированное оборудование для восстановления деталей машин с горизонтальной осью вращения // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 117. С. 256-261.

UDC 621.791

The method of electric arc welding with a ferromagnetic charge for fabrication and restoration of the rollers of the secondary cooling system by continuous casting machine

S.N. Glazunov, V.G. Vjalkov, Senior lecturers, Cand.Tech.Sci.

L.D. Varlamova, senior lecturer

P.A. Tsirkov, assistant

(department «Treatment of materials technology» BMSTU, Moscow,
phone (499) 267-00-62, mt13welding@gmail.com)

Annotation. *This work is devoted to improving the efficiency of the rollers of the secondary cooling system during production and restoration surfacing with a ferromagnetic material.*

Keywords: *the rollers of the secondary cooling system, production and restoration by surfacing, the ferromagnetic charge, the alloying of surface, the technological strength.*