

УДК 621.791.927.5

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРАНОВЫХ КОЛЕС ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ШИХТЫ

Лужных Павел Васильевич⁽¹⁾

Студент 6 курса⁽¹⁾,

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Н. Глазунов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время возрастает актуальность к использованию восстановленных деталей при ремонте автомобильной, сельскохозяйственной техники и промышленного оборудования. Главной задачей реновации является восстановление рабочего ресурса изделия и повышения качества поверхности для дальнейшего использования.

В материально-техническом производстве, на данный момент, значительная роль отводится подъемно-транспортному машиностроению, перед которым стоит задача широкого внедрения во всех областях хозяйствования комплексной механизации и автоматизации производственных процессов при выполнении основных и вспомогательных операций, как основы повышения эффективности производства.

Технологический процесс любого производства связан с перемещением огромного количества грузов, от сырья до готовой продукции. На 1 тонну готовой продукции требуется 10...100 тонн сырья, которое транспортируется и складывается различными видами подъемно-транспортной техники.

На металлургических и машиностроительных заводах ПТМ включены в основную цепь технологического процесса, как основное оборудование, обеспечивающее механизацию и автоматизацию технологических операций и ремонтные работы. Например, современный металлургический завод, производящий 5,5 - 6 млн. тонн стали в год потребляет 30 млн. тонн различных материалов. За этот период между цехами перевозят около 60 - 70 млн. тонн различных грузов, на площади в 600 га. Внутри цехов количество транспортируемых материалов в 3 - 4 раза больше.

Для этого цеха металлургических заводов оснащают нормальными и специальными мостовыми и полукозловыми кранами. Специальные технологические краны служат для подъема и перемещения определенных грузов: (слитков, рельсов, сортового проката, листового металла, труб, ковшей с жидким металлом, скрапа, сыпучих тел) или для выполнения специальных операций (подъем копра, завалка шихты в сталеплавильные печи, разделение слитков, открывание и закрывание крышек нагревательных колодцев).

В восьмидесятые годы общее производство кранов в СССР составляло 6...7 тысяч в год, а после 2000 года стабилизировалось на уровне 1,0...1,5 тысяч в год. Несмотря на ограничения, оговоренные в ГОСТ 28448-90 «Краны консольные электрические передвижные. Типы» и ГОСТ 28648-90 «Колёса крановые. Технические условия», количество типов кранов и разновидностей технических решений их узлов, особенно колёс, насчитывает сотни наименований. При этом каждый краностроительный завод работает по нормам собственной разработки.

Унифицировать детали и узлы кранов до настоящего времени не удалось, поэтому каждое предприятие, эксплуатирующее краны, решает проблему запасных частей самостоятельно, в основном, восстанавливая изношенные поверхности наплавкой или изготавливая новые колёса силами ремонтных служб. Как правило,

реборды подвергаются ремонту наплавкой 4 раза, а поверхности катания дважды, что ограничивается появлением циклических трещин в металле колёс.

Срок службы рельсового пути сокращается в результате несоответствия твёрдости дорожки катания и реборд крановых колёс по сравнению с твёрдостью подкрановых рельсов, что необходимо учесть в процессе восстановления колеса. В результате неравномерности приложенной нагрузки (консольное нагружение) и износа колёс появляется значительная разница в диаметрах колёс на рельсовом пути, что приводит к перекосам крана и интенсивному износу реборд колёс и боковых граней рельсов, поэтому желателен ремонт всего комплекта колёс. Очень существенное влияние на износ подкранового пути и реборд колёс оказывает монтажный перекося ходовых колёс относительно друг друга и рельсов.

В процессе движения крана реборды колёс подвергаются значительному износу. Скорость износа реборд крановых колёс зависит от величины сил трения, возникающих в месте контакта реборды колеса с головкой рельса. Колесо из-за знакопеременных кратковременных нагрузок подвергается быстрому усталостному износу.

По данным Справочника по кранам срок службы реборд крановых колёс может составлять от нескольких лет до нескольких месяцев. На долговечность реборд влияют твердость поверхности, точность установки. Высокая твердость реборд повышает срок службы колеса до его ремонта или замены, однако приводит к интенсивному износу головки подкранового рельса. Среди факторов, определяющих износ, основная роль принадлежит химическому составу, упрочняющей (в первую очередь, термической) обработке и формируемым ими структуре и физико-механическим свойствам поверхностных слоев металлов и сплавов.

К числу свойств материалов, оказывающих значительное влияние на износостойкость, в первую очередь относятся сопротивление сжатию, изгибу, сдвигу, силы молекулярного сцепления, твердость, вязкость, устойчивость механических свойств против воздействия высоких температур и давлений.

Механические свойства материалов определяют фактическую площадь касания и через нее влияют на интенсивность износа. При соприкосновении двух поверхностей их контакт происходит главным образом по вершинам неровностей, причем фактическая площадь контакта очень мала. Поэтому даже при небольшой нагрузке местные давления на площадках фактического контакта достигают высоких значений и вызывают пластическое течение металла. Пластическая деформация продолжается до тех пор, пока площадь контакта не окажется достаточной для данной нагрузки. Таким образом, в процессе износа может наблюдаться увеличение фактической площади контакта и повышение микротвердости поверхностных слоев металла.

Предсказать износостойкость металлов только на основании исследования их механических свойств удается далеко не во всех случаях.

Кроме того, следует иметь в виду, что установить предел прочности, предел текучести, а также пластические и динамические свойства поверхностных слоев весьма сложно, поэтому в большинстве случаев исследовалась только зависимость износостойкости металла от твердости.

Относительную износостойкость обычно рассматривают как характеристику прочности материала, приведенного в состояние наклепа. Этот параметр характеризует механические свойства поверхностного слоя изделия и служит для оценки износостойкости при абразивном износе. Если твердость абразивных зерен значительно выше, чем твердость изнашиваемой стали, то износ зависит от разницы твердостей абразива и стали. Если твердость стали ниже твердости абразивных зерен, но приближается к ней, то при уменьшении этой разницы наблюдается уменьшение износа. Наконец, если твердость абразивных зерен ниже твердости стали, то износ зависит от

разности в твердости и быстро уменьшается с увеличением этой разницы. Как известно, твердость характеризует сопротивление металла вдавливанию индентора, однако при испытании на твердость не выявляются микротрещины, концентраторы напряжений и другие потенциальные источники разрушения. Кроме того, неодинаков характер силового воздействия на металл при вдавливании индентора и при абразивном изнашивании. Так, при абразивном износе наблюдаются две стадии разрушения металла – внедрение абразивной частицы в тущую поверхность и срезание стружки или пластическое деформирование. Испытание на твердость в какой-то степени характеризует способность металла сопротивляться внедрению абразивных частиц, однако сопротивление снятию микростружки при этом не выявляется. Сопротивление металла на второй стадии абразивного износа, по-видимому, определяется сопротивлением движению дислокаций (сопротивлением пластическому деформированию под действием тангенциальных сил) и зависит от напряжений, необходимых для преодоления дислокациями барьеров в виде чужеродных атомов, частиц другой фазы и др.

Таким образом, сопротивление металла на второй стадии износа определяется в основном не его твердостью, а структурой.

Особенно существенно влияет на износостойкость углерод. Содержание углерода в пределах от 0,15 до 1,12%, в условиях сухого трения при скорости скольжения 0,5 м/сек и удельном давлении 5 Мн/м² (0,5 кг/мм²) показало, что с увеличением содержания углерода износостойкость увеличивается.

Анализ источников информации позволяет сделать вывод о том, что интенсивность износа пары рельс-колесо преобладает от действия поперечного скольжения, а продольное качение приводит к интенсивному износу только в режимах пробуксовки и юза.

Нормативный срок службы колеса крана определяется по ГОСТ 28648-90. На основании этого документа определяется срок эксплуатации колес: «Эксплуатация колес допускается при износе их реборд не более 50% первоначальной толщины и/или поверхности катания не более 1,15% первоначального диаметра D».

Помимо требований на эксплуатацию крановых колес, установленных вышеуказанным ГОСТом, на производстве существуют предельные нормы выбраковки, связанные с правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

Запрещается эксплуатация кранов, если:

- трещины, отколы любых размеров на ребордах и в диске;
- износ реборды составляет более 50% от первоначальной толщины;
- износ поверхности катания более 2% от первоначального диаметра.

Проанализировав рынок кранов и наиболее часто изнашиваемых и ответственных деталей к ним, хочу предложить техническое решение для восстановления изношенных поверхностей крановых колес, в котором берется во внимание экономическая целесообразность этого процесса, по сравнению с изготовлением новых деталей. Затраты на материалы и количество технологических операций сокращается в несколько раз, что способствует экономии металла, топливно-энергетических и других природных ресурсов. Восстановление крановых колес методом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты обладает максимальной универсальностью, обеспечивает технические характеристики и ресурс восстановленных деталей не ниже требований, заданных техническими условиями на новую, имеет высокую производительность и технологическую устойчивость, базируется на доступном оборудовании, позволяет использовать имеющиеся на рынке материалы и обладает высокой технологичностью.

Восстановление деталей методом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты – сложный организационно-технологический процесс, при котором, в отличие от производства новых деталей, в качестве заготовки используют изношенную, но уже сформированную деталь. В этом случае затраты на выполнение таких операций, как литье, ковка, штамповка и др. отсутствуют.

Сущность метода электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты (рис. 1) заключается в том, что наплавка ведётся непрерывной электродной проволокой, на которую специальным устройством подается ферромагнитная шихта, налипающая на электрод за счет собственного магнитного поля цепи, образуя тем самым покрытие аналогичное покрытию сварочного электрода. Для обеспечения налипания шихты на проволоку в её состав вводятся ферромагнитные компоненты (железный порошок + FeCr, FeV).

Рассматриваемый способ позволяет варьировать в широких пределах химический состав наплавленного слоя, визуально наблюдать процесс наплавки, а также подобрать состав шихты и такие режимы наплавки, которые обеспечат стабильное горение дуги при относительно небольших значениях сварочного тока и получение бездефектного слоя с небольшими напряжениями и деформациями, отвечающие необходимым эксплуатационным требованиям без дополнительной термообработки.

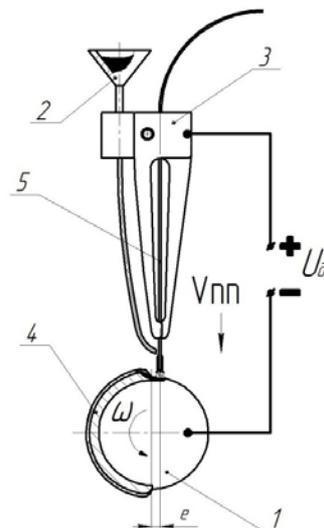


Рис. 1. Схема процесса электродуговой наплавки с ферромагнитной шихтой: 1 – деталь; 2 – бункер с шихтой; 3 – сварочная головка; 4 – наплавленный металл; 5 – сварочная проволока.

Наплавка дорожки катания может осуществляться четырьмя возможными способами (рис. 2): а) по винту; б) по кольцу; в) широкослойная; г) широкослойная с перекрытием.

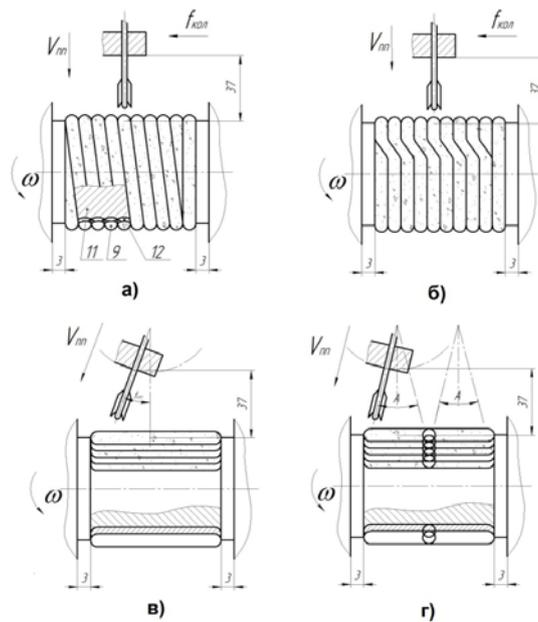


Рис. 2. Виды наплавки: а) по винту; б) по кольцу; в) широкослойная; г) широкослойная с перекрытием.

По винту и по кольцу используются для наплавки тонких слоев, а также на деталях где не допускается значительных термических вложений (детали малых диаметров). Широкослойная используется на небольших длинах участка наплавки, а широкослойная с перекрытием – для больших длин участков наплавки. Так как деталь имеет большой диаметр (250 мм), то тепло будет успевать рассеиваться по детали, и колесо не будет испытывать перегрева. Теоретически широкослойная наплавка может дать за счёт колебательного механизма длину наплавочного участка 70–80 мм., но оптимально 30–40 мм. (известно из опыта наплавки). Ширина восстанавливаемого участка поверхности дорожки катания – 70 мм. Используем наплавку широкослойную с перекрытием. Величина перекрытия – 3мм. Для наплавки реборды необходимо оставить с каждой стороны по 2 мм. Получаем, что ширина наплавляемого слоя при широкослойной наплавке с перекрытием будет составлять – 22 мм.

Наплавку реборды осуществляют следующим образом. Так как реборда может быть совсем изношена, тогда вначале наносится 1 слой по кольцу, 2 слой, затем 3-й и 4-й как показано на рисунке 15 (красным цветом обозначена практически полностью изношенная реборда, штриховкой – медное подкладное кольцо для формирования восстанавливаемой реборды).

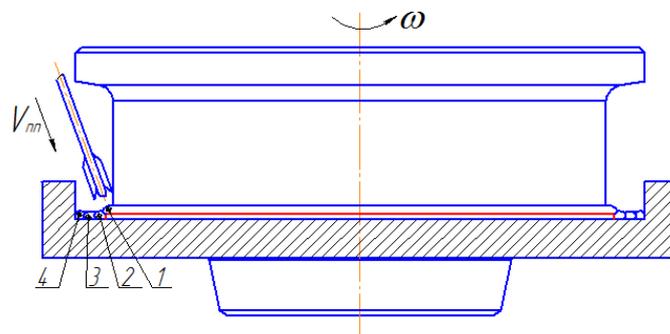


Рис. 3. Укладка первых слоёв при восстановлении реборды.

Далее производят наплавку на полученный валик, используя наплавку по кольцу (рис. 4), и восстанавливая реборду до её первоначальной величины (необходимо 20 кольцевых валиков).

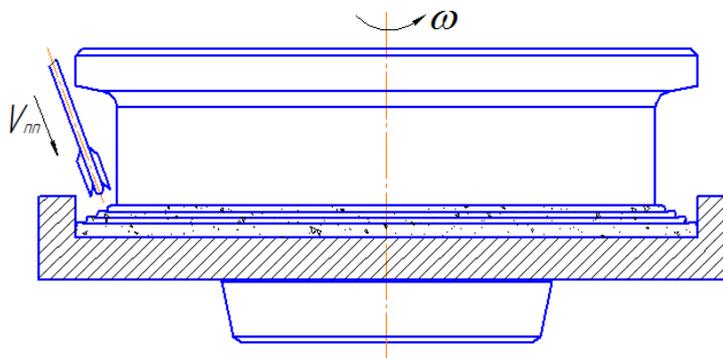


Рис. 4. Наплавка реборды по кольцу.

Материалами при электродуговой наплавке являются: сварочная проволока и шихта.

В качестве электродной проволоки применяется обычная сварочная проволока марок Св08, Св08А, Св08ГС, Св08Г2С и др. диаметром от 1,2 до 1,6 мм.

Защита дуги и сварочной ванны осуществляется ферромагнитной шихтой, в состав которой входят компоненты, используемые при изготовлении защитно-легирующего покрытия сварочных электродов.

Ферромагнитная шихта – это гранулируемая спеченная смесь тонко-помолотых материалов, замешанных на жидком стекле с размером частиц не более 0,4 мм. В состав шихты входят следующие компоненты: углерод (С), ферротитан (FeTi), феррохром (FeCr), феррованадий (FeV), мрамор электродный (CaCO₃), плавиковый шпат (CaF), силикат щелочного металла, порошок железа.

Варьируя процентным содержанием входящих в шихту компонентов можно в широком диапазоне изменять свойства наплавленного слоя в зависимости от требуемых механических и эксплуатационных характеристик.

Феррохром (FeCr), ферротитан (FeTi), феррованадий (FeV) и углерод (С) в совокупности позволяют получить наплавленный слой повышенной прочности и износостойкости без последующей термообработки в результате образования структуры мартенсита или перлита с карбидами Cr, V, Ti, обладающей более высокой твердостью по сравнению с карбидами железа.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика твердости карбидов.

Карбиды	F ₂ C	Cr ₂ C ₂	Mo ₂ C	WC	VC	TiC	B ₄ C
Твердость НВ, МПа	10500	12500	16000	17500	21000	32000	50000

Кроме того, ферротитан, феррохром и феррованадий способствуют раскислению расплавленного металла и измельчению структурных составляющих наплавленного слоя, что снижает вероятность образования трещин в процессе восстановления поверхности детали.

Электродный мрамор и плавиковый шпат, входящие в состав шихты, обеспечивают защиту расплавленного металла от воздействия атмосферы и способствуют связыванию и удалению в шлак серы, фосфора и водорода.

Для того чтобы добиться качественной наплавки были проведены исследования по влиянию компонентов ферромагнитной шихты на твердость наплавленного слоя, а также отработаны необходимые режимы, приближенные к наплавке реальной детали. Главной идеей экспериментов было получение необходимой твердости в наплавленном слое, а так же рассмотреть влияние второго наплавленного слоя на

первый и влияние разных компонентов, вводимых в шихту, на твердость (её увеличение).

В результате экспериментов были получены данные, позволившие составить сравнительную характеристику наплавочных материалов и наплавленных слоев.

Для эксперимента была осуществлена наплавка на болванку из материала сталь 65Г диаметром 50 мм. Было получено две наплавки шириной по 33,5 мм на расстоянии 33,5 мм с перекрытием (рис. 5). Наплавка производилась на подогретый металл, это связано с особенностью наплавки стали 65Г.

Для наплавки слоя использовалась шихта 2-х разных составов:

Состав №1	Состав №2
✓ Fe – 45%;	✓ Fe – 50%;
✓ FeV – 20%;	✓ FeSiCa – 20%;
✓ FeMn – 8%;	✓ FeTi – 6%;
✓ FeTi – 7%;	✓ CaCo ₃ – 12%;
✓ CaCo ₃ – 10%;	✓ CaF ₂ – 12%;
✓ CaF ₂ – 10%;	

Это связано с тем, что во время наплавки на образец из стали 65Г происходит диффузия углерода в наплавленный слой, вследствие чего значительно увеличивается твердость наплавленного слоя. Поэтому был выбран состав шихты №1, который должен обеспечить твердость наплавленного слоя 43 – 48 HRC, а также состав №2 – который является более мягким с учетом диффузии углерода на поверхность наплавки.

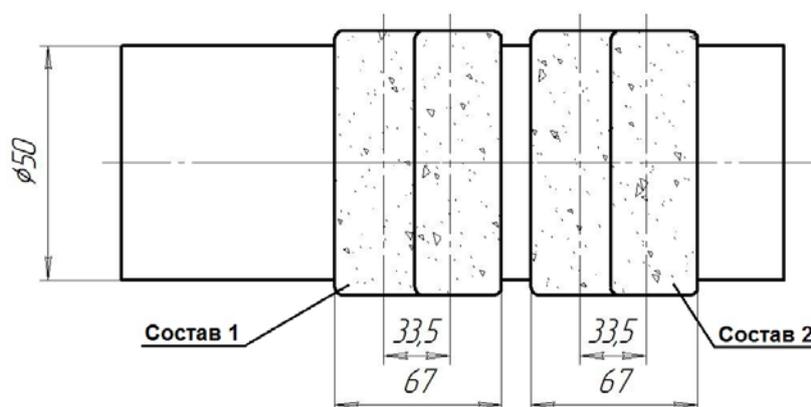


Рис. 5. Схема наплавляемых слоев.

Далее были вырезаны два образца шириной 7 мм, а затем замерена твердость HRC, как показано на рис. 6.

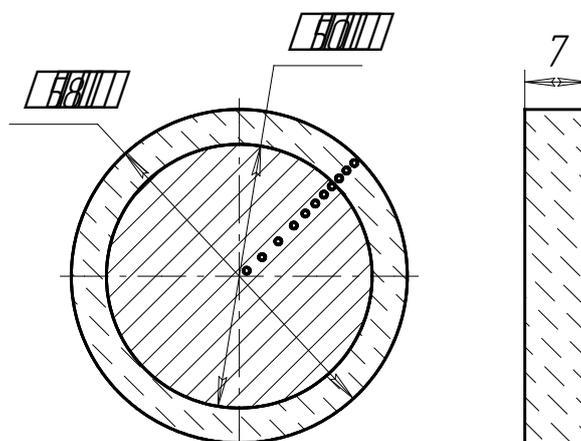


Рис. 6. Вид образца для измерения твердости.

Таблица 2 – Изменение твердости по радиусу среза.

R, мм	Твердость, HRC	
	Образец №1	Образец №2
1	8	9
5	8	9
7	8	9
10	9	10
14	10	9
16	9	9
20	11	10
22	10	12
24	11	13
25	23	22
26	25	28
27	52	39
28	54	41
29	55	43

Ниже приведены графики зависимости изменения твердости (HRC) наплавленного слоя по радиусу образца.

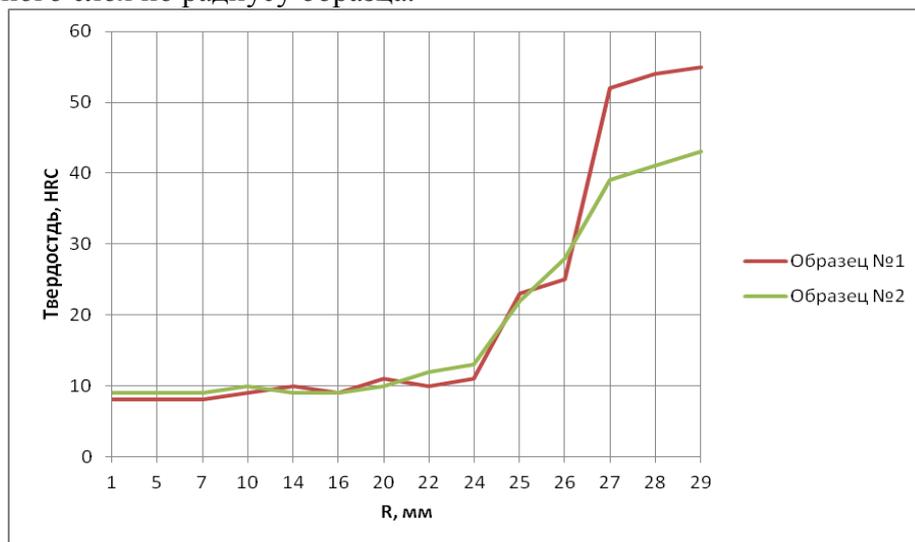


Рис. 7. График изменения твердости по радиусу среза.

Так же на этих же образцах была померена твердость по всей окружности.

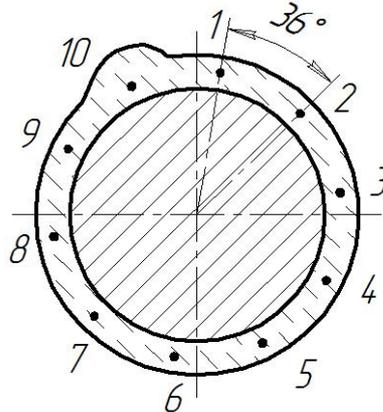


Рис. 8. Схема измерения твердости на образцах №1 и №2.

Таблица 3 – Изменение твердости наплавленного слоя по длине окружности.

№ п/п	Твердость, HRC	
	Образец №1	Образец №2
1	54	44
2	53	41
3	55	41
4	52	41
5	55	43
6	53	40
7	53	42
8	55	42
9	55	42
10	59	46

Ниже приведен график зависимости изменения твердости наплавленного слоя по длине окружности.

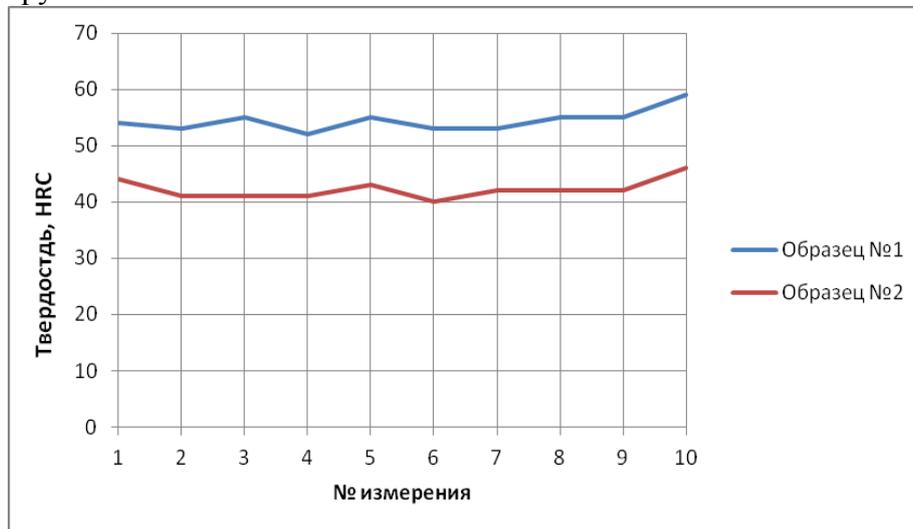


Рис. 9. График измерения твердости по длине окружности.

Из графика видно, что твердость по длине наплавки остается относительно постоянной, за исключением места, где происходит перехлест наплавленного слоя. В этом месте твердость увеличивается. Из этого следует, что при наплавке поверх предыдущего слоя не происходит перемешивания с основным металлом.

Из полученного исследования видно, что состав шихты №1 обладает большей твердостью, чем состав №2. Но по ГОСТ 28648-90 установлена твердость для крановых колес 32 – 42 HRC. Поэтому выбираем состав шихты №2. В состав шихты №1 добавлено слишком много карбидообразующих элементов FeMn, FeCr, FeTi, а также сказался эффект перемешивания наплавленного слоя с углеродом (в стали 65Г содержится 0,65% углерода), поэтому мы получили твердость, выходящую за нормы, установленные ГОСТ 28648-90.

Таким образом, в ходе проведенных исследований подобран требуемый состав ферромагнитной шихты заданной твердости, что обеспечивает продление срока службы подкрановых путей. Также предложен метод восстановления крановых колес на примере электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты как наиболее производительный и экономически менее затратный.

Необходимость в реновационных (восстановительных) процессах в нашей жизни возникает всё чаще и чаще, что позволяет экономить природные ресурсы,

снижает затраты и трудоёмкость на производство новых деталей, бережет экологию нашей планеты.

Литература

1. *Александров М.П.* Грузоподъёмные машины: Учебник для вузов. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000 г. – 552с.
 2. *Глазунов С.Н., Гаврилюк В.С., Вялков В.Г., Овешников А.В.* Технология восстановления стальных и чугунных деталей транспортных машин методом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 6. С. 3–5.
 3. Ферромагнитная шихта для дуговой наплавки деталей машин, изготовленных из железоуглеродистых сплавов: пат. 2448823 Российская Федерация: МПК В23К 35/36 / Глазунов С.Н. и др.; заявитель и патентообладатель Апраксин Д.В. – № 2010104100/02; заявл. 09.02.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12. – 7 с.
 4. *Глазунов С.Н.* Курс лекций: Технологические процессы реновации. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г., 99с.
 5. *Апраксин Д.В., Варламова Л.Д., Вялков В.Г., Глазунов С.Н., Слинко Д.Б.* Методические указания к лабораторным работам по дисциплине технологические процессы реновации (способы сварки и наплавки). – М.: Изд-во МГТУ, 2009. 60 с., ил.
- <http://www.metaljournal.com.ua/crane-engineering-2/>
<http://www.kranimpex.ru/cranes/crane-console>
http://www.tehnom.ru/kolesa_kranovye.htm
http://www.el-kran.ru/category_6.html
<http://www.uralremdetal.ru/production/shtampovka/>