

# СВАРКА

ISSN 2071-5234

# ДИАГНОСТИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ПО СВАРКЕ, КОНТРОлю И ДИАГНОСТИКЕ



## НАЦИОНАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО КОНТРОЛЯ СВАРКИ

Лауреат премии Правительства РФ в области качества 2012 года

Лауреат премии СНГ за достижения в области качества 2013 года

Член Международного Института Сварки

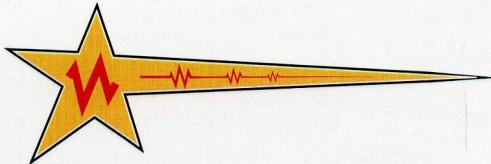


№ 2-2017  
март–апрель

[www.svarka.naks.ru](http://www.svarka.naks.ru)

ПОДВЕДЕНЫ ИТОГИ КОНКУРСА СВАРЩИКОВ

Победители представляют Россию на международном конкурсе Arc Cup 2017 >>> стр. 6



Якушин Б.Ф.



Сударев А.В.

УДК 621.791.01

Якушин Б.Ф., д-р техн. наук,

Сударев А.В., инженер

МГТУ им Н.Э. Баумана

Тихомиров Ю.А.,

Егоров Ю.В.

ООО «Коксохиммонтаж-Строймеханизация»

jakushinbf@mail.ru

## ОПЫТ ИЗНОСОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ КОЛЕЦ КРУПНЫХ ПОДШИПНИКОВ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В статье изложена новая технология механизированной дуговой наплавки в защитных газах деталей из закаливающейся стали без предварительной и последующей термической обработки и первые результаты ее применения в мелкосерийном ремонтном производстве.

**Ключевые слова:** стреловые грузоподъемные краны, опорно-поворотное устройство, легированная сталь 35ГС, закалка, холдные трещины, наплавочные материалы, технология наплавки без термообработки, износостойкость наплавленных слоев

*In article describes the new technology of the mechanized deposit welding in shielding gas of carbon steel details without preliminary and subsequent heating and the first results of application in low-volume production.*

**Keywords:** jib crane, rotary support, alloy steel, quenching, cold crack, welding deposit, deposit welding without heat-treatment, wear-resistance of deposited beads

В стреловых грузоподъемных кранах главным конструктивным узлом, определяющим ресурс безотказной работы, является опорно-поворотное подшипниковое устройство (далее ОПУ), изготовленное из стали 35ГС и подобных. В процессе длительной эксплуатации поверхность колец в контакте с шариками изнашивается, а при износе свыше 5 мм необходим ремонт (рис. 1).

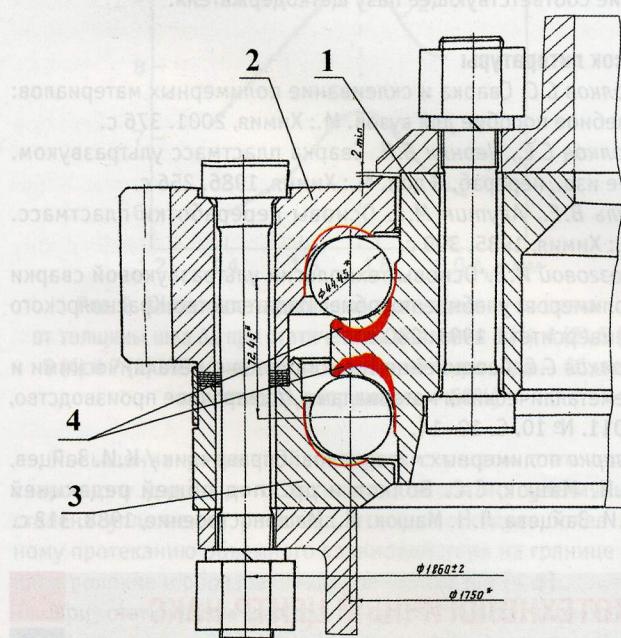


Рис. 1. Схема опорно-поворотного устройства крана МГК-40:  
1 – соединительное кольцо; 2, 3 – верхнее и нижнее  
кольца соответственно; 4 – зоны интенсивного износа  
и радиальных трещин под наплавкой

В связи с невозможностью замены ОПУ новыми узлами, в ООО «Коксохиммонтаж-Строймеханизация» решена задача восстановительной наплавки по технологии, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1, 2]. В настоящее время в эксплуатации находится 43 крана, в которых ОПУ восстановлены по этой технологии в период 2008–2016 года.

Принципиальная новизна освоенной технологии состоит в том, что на закаливающуюся сталь по специальной технологии производится аустенитная наплавка без подогрева и послесварочной термообработки, обеспечивающая отсутствие трещин и высокую износостойкость колец [3].

Как правило, проблема наплавки таких деталей состоит в предотвращении горячих и холодных трещин подогревом. Однако в рассматриваемом варианте подогрев и отпуск после наплавки недопустимы, так как при этом искается геометрия колец и снижается твердость поверхности катания колец. Применению аустенитных наплавочных материалов препятствует малая твердость в наплавке и образование в зоне сплавления хрупкой карбидной грязи из химических соединений Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, по которой происходит разрушение [4].

Целью работы было выявление факторов, обеспечивающих одновременную бездефектность наплавленного слоя и его износостойкость.

**Методика исследования.** При разработке технологии наплавки применяли образцы 8×80×100 мм из стали 35ГС и стали 60С2. Для повышения скорости охлаждения малогабаритные образцы помещали в оснастку с медной водоохлаждаемой подкладной массивной пластиной (рис. 2). Измерения термического цикла показали, что в ЗТВ скорость нагрева в зоне α – γ и γ – α превращения при охлаждении практически одинаковы с наплавкой конкретного кольца (рис. 3).

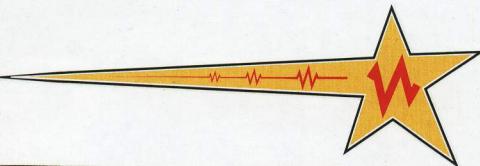


Рис. 2. Приспособление для наплавки образцов

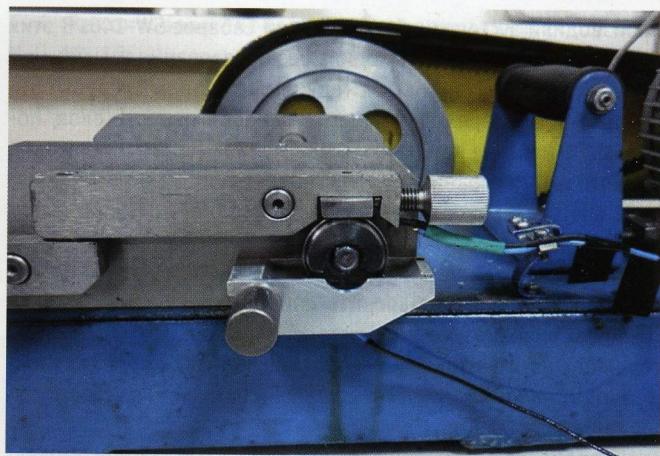


Рис. 4. Машина трения МТ-10

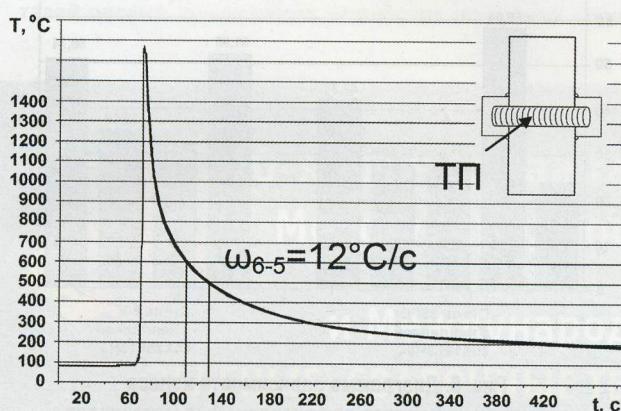


Рис. 3. Сварочно-термический цикл наплавки на образцы

Автоматическую наплавку выполняли в защитном газе на стенде, оснащенном механизмом подачи проволоки. Применили наплавочные проволоки Сабарос 395ТГН и SW-146, диаметром 1,6 мм. Наплавку производили в режимах:  $I_{cb} = 250-280$  А,  $U_d = 26-28$  В,  $V_{cb} = 18$  м/ч. Химический состав наплавочных материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1.

Хим. состав	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Св-10Х15Н25М6АГ2С (Сабарос 395 ТГН)	≤0,12	0,3-0,7	1-2,2	22-27	13,5-17	4,5-7
Св-10Х19Н9Г9С (Сабарос SW-146)	≤0,10	0,7-0,9	8,5	8,5	18,5	—

Для выявления склонности к горячим трещинам в образцах малых размеров применяли изгиб кристаллизующегося шва в оснастке машины ЛТП-1-4, а в оснастке ЛТП-2-3 — склонность к холодным трещинам по стандартам РФ 26388-84 и 26389-84.

Производственную апробацию технологии наплавки колец производили с использованием сварочного вращателя.

После наплавки поверхность металла подвергали механическому наклепу по схеме осадки валика по высоте на установке EUS-100.

Скорость износа устанавливали путем трения плоского образца о контртело в виде кольца подшипника на установке МТ-10 (рис. 4).

Образцы шлифов вырезали абразивом из поперечных темплетов. После полировки для металлографического исследования травили азотной и пикриновой кислотой для выявления структуры в зоне перемешивания перлита и austенита.

Твердость измеряли с помощью твердомера Digital Display Vickers HVS-50 по траектории поперек оси шва и по вертикали в центре шва. Микроструктуру в зоне сплавления анализировали при высоком увеличении.

**Результаты исследования.** В первых опытах с наплавкой кольца электродами типа УОНИ-13/55, с неконтролируемым газовым местным подогревом обнаружены трещины под наплавкой в диаметральной плоскости.

При микроисследовании выявили окисленные участки, т.е. горячие трещины, переходящие в холодные трещины, а также хрупкое разрушение (рис. 5), т.е. долом под действием остаточных напряжений.

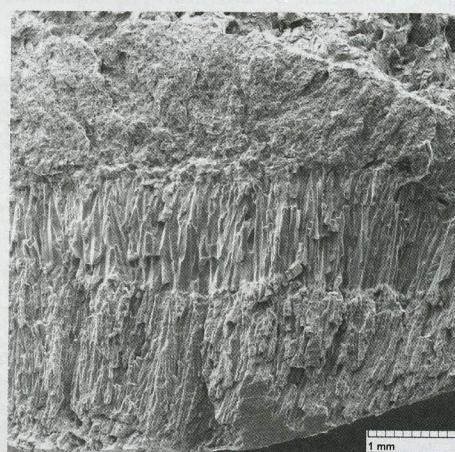
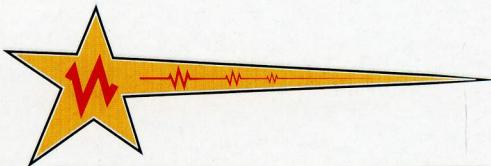


Рис. 5. Фрактограмма хрупкого разрушения кольца опорно-поворотного устройства

Для предотвращения дефектов, вызванных перемешиванием и закалкой, в дальнейшем применили наплавку стали типа 35ГС по подслою полученному глубоко austenитной проволокой ЭИ-395 или Сабарос 395ТГН при колебании поперек оси наплавки и с весьма малой маршевой скоростью. При этом в объеме наплавки сохраняется стабильно austenитная структура в связи с малой глубиной проплавления и практически отсутствием участия основного металла. Наплавку верхнего слоя



производили аустенитной проволокой Сабарос SW-146. В этих вариантах наплавка происходила без образования трещин.

Отсутствие склонности к горячим трещинам следует объяснить малым перемешиванием с основой первого слоя, поскольку в металле наплавки было высокое (25%) содержание Ni (который неограниченно растворяется в Fe), а также большой скоростью охлаждения при возвратно-поступательном перемещении горелки.

Меньшая склонность к холодным трещинам в зоне наплавки подслоя следует объяснить снижением скорости охлаждения при возвратно-поступательной траектории движения горелки с малой маршевой скоростью, меньшим уровнем диффузионного водорода в ГЦК решетке и пониженными остаточными напряжениями.

В процессе реализации технологии с двухслойной наплавкой выявлена недостаточная производительность, длительное использование карусельного станка, частую смену сварочных материалов и режимов.

С целью упрощения технологии наплавки на детали из стали 35ГС апробирована наплавка колец по спирали одной аустенитной проволокой Сабарос SW-146. Для предотвращения закалки стали под наплавкой, наплавку вели с большой скоростью ( $V_{\text{св}} = 16-18 \text{ м/ч}$ ) с перекрытием предыдущего валика на 1/3 ширины последующим проходом.

Однако наплавку при восстановлении деталей из сталей с более сложным легированием следует выполнять по подслою Сабарос 395 ТГН [2].

Анализ качества нового варианта наплавок подтвердил отсутствие горячих и холодных трещин и сохранение в зоне сплавления шва со стабильно аустенитной структурой. Кроме того, обнаружено, что под воздействием холодного наклела в наплавленном слое изменяется структура: аустенит переходит в мартенсит деформации (рис. 6) с увеличением объема, что обуславливает снижение остаточных напряжений по механизму разгрузки.

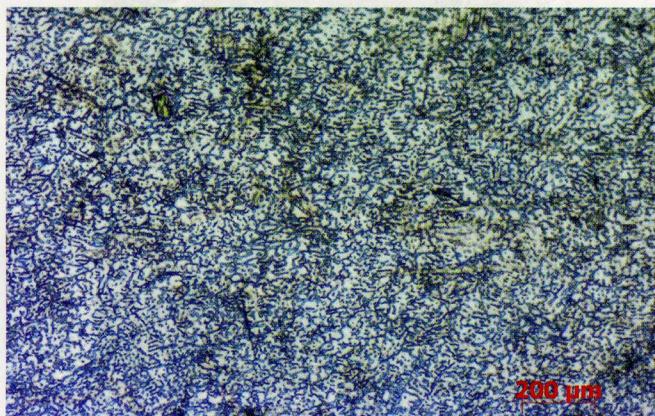


Рис. 6. Наплавленный слой со структурой мартенсита деформации

Испытания на износ проводились на машине трения МТ-10 по схеме на рис. 7. Пара трения 1–2 образце и кольцо в качестве контр тела смазывалась маслом 3. Через систему рычагов к ней прилагалась нагрузка, определяемая количеством подвешенных грузов. Контр телом являлось внешнее кольцо подшипника из стали ШХ15. Вращение происходило с постоянной скоростью.

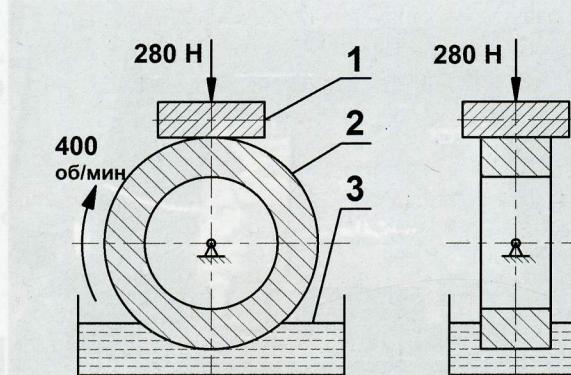


Рис. 7. Схема испытания наплавленных образцов на износ

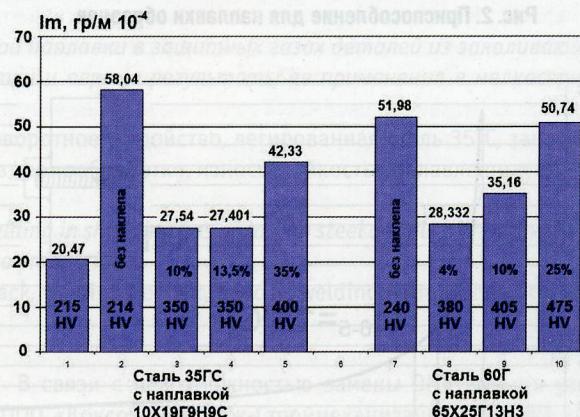


Рис. 8. Диаграмма зависимости износа от величины накледки для исследуемых материалов

Испытывались аустенитные наплавочные материалы ЦНИИН-4 (65Х25Г13Н3) и SW-146 с различной степенью осадки (наклена) от 4% до 30% и сравнивались с исходной сталью 35ГС. Кроме того, на всех образцах измеряли твердость (Рис. 8).

Износ определяется по формуле:

$$I_m = \frac{\Delta}{L}; \left[ \frac{\text{гр}}{\text{м}} \right]$$

где  $\Delta$  — потеря массы, гр;  $L$  — путь трения, м.

$$L = \omega \cdot \pi D \cdot t_{\text{исп}},$$

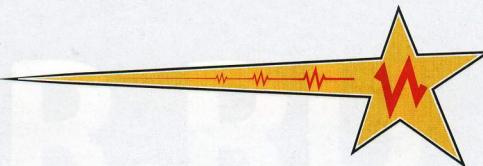
где  $\omega$  — скорость вращения, об/мин;  $t_{\text{исп}}$  — время испытания.

Испытания показали, что чрезмерное осадка (наклена) порядка 30% и упрочнение более 400HV ведет к увеличению дефектов кристаллической решетки и выкрашиванию наплавленного металла.

По полученным результатам разработаны рекомендации по наплавке с деформированием аустенитной наплавки проволокой SW-146 или электродами ЦНИИН-4 с целью повышения ее износостойкости в пределах 10% с контролируемым упрочнением до 350-380 HV.

### Выходы

1. Выявлено, что на линии сплавления стали 35ГС с наплавкой SW-146 образуется структура с эпигаксиальной кристаллизацией [5], что препятствует образованию карбидной грязи и трещин различного типа.



2. Наплавку подшипниковых колец из стали типа 35ГС цесообразно производить Cr-Mn проволокой SW-146 без подогрева и не допускать последующего высокого отпуска.

3. Наплавка может быть осуществлена на ремонтном участке с использованием сварочного вращателя и сварочно-го автомата.

4. Затраты времени на ремонт одного комплекта из 3-х колец 7 дней, из них 1 день на разборку ОПУ, подготовку мест наплавки и 6 дней на наплавку, механическую обработку, обкатку с наклепом и сборку ОПУ.

5. Можно рекомендовать деформирование аустентной наплавки проволокой SW-146 или электродами ЦНИИН-4 с целью повышения ее износостойкости в пределах наклева до 10% и увеличения твердости до 350-380 HV.

**Список литературы**

1. Якушин Б.Ф., Сударев А.В. Восстановительная наплавка деталей опорно-поворотного устройства стреловых кранов

// Ремонт, восстановление и модернизация, 2009. № 8. С. 12–16.

2. Пат. 2530977 Российской Федерации. МПК F16L 55/172: Способ износостойкой слоистой наплавки стальных подшипниковых колец опорно-поворотных устройств стреловых кранов / Б.Ф. Якушин, А.В. Сударев; Заявитель и патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана. №2013118076; Заяв. 19.04.2013, опубл. 20.09.2014.

3. Максимов С.Ю., Ляховая И.В. Мокрая подводная сварка низколегированных сталей повышенной прочности // Автоматическая сварка, 2013. № 8. С. 43–46.

4. Якушин Б.Ф., Сударев А.В., Прудников С.В. О преимуществах хромомарганцевых наплавочных материалов при восстановлении деталей рельсового транспорта // Ремонт, восстановление и модернизация, 2011. № 1. С. 2–7.

5. Металлургия сварки и свариваемость нержавеющих сталей: [пер. с англ.] / Д. Липпольд, Д. Котеки; под ред. Н.А. Соснина, А.М. Левченко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 467 с.



## 70-я Ежегодная Генеральная Ассамблея Международного Института Сварки



### и Международная конференция «ЗЕЛЕНЫЕ\* СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО И НАДЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

\* экологически чистые и энергосберегающие технологии, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду и экономию энергии



25-30 июня 2017 года

Шанхайский Международный Конференц Центр, Шанхай, Китай

(Shanghai International Convention Center, Shanghai, China)