УДК 620.17:621.791

ПРАКТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ СВАРОЧНЫМИ МЕТОДАМИ

С. В. Райков[1], Ю. А. Шлярова[2]

[1]**ООО «Вест 2002»** (Россия, 654041, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Бардина, 21)

[2]**Сибирский государственный индустриальный университет** (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Описана технология восстановления и защиты зубчатых передач, изношенных шестеренок сварочным методом. Приведены сведения о сварочных материалах, применяемых для восстановления зубчатых передач. Показаны примеры восстановленных зубьев и шестеренок.

Ключевые слова: зубчатые передачи, шестеренки, сварочный метод, восстановление, защита

Для цитирования: Райков С.В., Шлярова Ю.А. Практика восстановления зубчатых передач сварочными методами // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 2 (40). С. 39 – 46.

PRACTICE OF RECOVERY OF GEARS BY WELDING METHODS

S. V. Raikov[1], Yu. A. Shlyarova[2]

[1]**OOO "Vest 2002"** (42 Bardina Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

[2]**Siberian State Industrial University** (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. The technology of restoration and protection of gears, worn gears by welding is described. Provides information about the welding materials used in the restoration of gears. Examples of restored teeth and gears are shown.

Keywords: gears, gears, welding method, restoration, protection

For citation: Raikov S. V., Shlyarova Yu. A. Practice of recovery of gears by welding methods. *Bulletin of SibSIU.* 2022, no. 2 (40), pp.. 39 – 46 (In Russ.).

Введение

Направление сварочного производства, связанное с разработкой и применением технологий ремонта, восстановления и создания покрытий со специальными свойствами на поверхностях деталей машин, приобрело особую актуальность в России за последние десятилетия. Это связано с поступлением на горнодобывающие и горно-шахтные предприятия значительного количества импортной техники (экскаваторы, бульдозеры, грейферы, дробилки и т.д.). Приобретаемое оборудование не имеет ремонтного фонда, а изменившийся налоговый кодекс ограничивает складские ресурсы. В этих случаях наличие мобильных технологий ремонта поврежденных деталей машин, позволяющих проводить ремонт непосредственно рядом с техникой (даже в полевых условиях), имеет актуальное значение. Такие технологии начали поставляться в Россию в начале 90-х годов. Они основаны на использовании мобильных инверторных сварочных источников питания и применения сварочных и наплавочных материалов как российского, так и импортного производства. Некоторые производители материалов осуществляли сопровождение технологии ремонта с обучением персонала приемам подготовки поверхности и тактике нанесения покрытий.

Практика показала, что одним из эффективных направлений ремонта деталей машин стало использование технологических приемов восстановления геометрии зубчатых передач сварочными методами. Зачастую незначительное разрушение профиля зубьев шестерен (попадание инородных предметов, нарушение соосности, отсутствие смазки и т.д.) при значительных габаритах агрегата приводит к аварийной остановке машины и необходимости полной замены поврежденного агрегата. Убеждение технического персонала, обслуживающего машины, что невозможно осуществлять ремонта выломанных зубьев и создавать работоспособный профиль шестерни, связано с отсутствием практики использования современных технологий и материалов.

По сути процесс восстановления профиля выломанных или изношенных зубьев разделяется на следующие этапы:

– удаление дефектной области металла (наклеп, деформация и др.) специальными методами (например, воздушно-дуговая резка (ВДР), плазменная строжка, использование разделочных электродов);

– восстановление («лечение») опорной платформы под зуб материалами с повышенной пластичностью (относительное удлинение более 30 %);

– формирование профиля зуба материалами, обеспечивающими свойства поверхности в соответствии с условиями эксплуатации;

– окончательная обработка поверхности зуба по шаблону с небольшим припуском на обкатку;

– обкатка профиля зуба на холостом ходу.

В таблице приведены марки сварочных материалов, используемых для проведения ремонта зубчатых передач [1 – 4].

Вид и марка применяемых сварочных материалов определяются размерами восстанавливаемого изделия, сложностью профиля зуба и условиями эксплуатации создаваемой поверхности.

Технико-экономические показатели. Наплавка и последующее упрочнение изношенных зубьев позволяют продлить срок эксплуатации и сократить расходы, связанные с покупкой новых деталей.

При заключении договора на выполнение ремонта дается гарантийное обязательство (конкретно для каждого узла), определяемое условиями эксплуатации и степенью изношенности оборудования. Рассмотрим некоторые примеры выполненных ремонтов.

Ниже приведены параметры и на рис. 1 показаны изношенная и восстановленная шестеренка.

Предприятие / Цех	Шахта Юбилейная-Н г. Новокузнецк
Агрегат	Редуктор транспортирующего конвейера
Деталь	Передаточный вал
Масса детали	50 кг
Материал детали	
Контртело	Шестерня-колесо
Основной вид износа	Откол зубьев (усталость металла)
Срок службы	3 года
Рабочая среда	Масло (T = 10 ÷ 30 °С)

Технология восстановления. Зуб восстанавливается по шаблону с припуском под упрочнение 0,5 – 1,0 мм. Твердость после наплавки 200 НВ. Твердость после холодного упрочнения в процессе работы до 450 – 500 НВ. Прикатка зуба производится на холостом ходу. В случае необходимости проводится восстановление профиля соседних зубьев по шаблону с повышением твердости рабочей поверхности.

Ниже приведены параметры и на рис. 2 показаны изношенная шестеренка и восстановление профиля.

Предприятие / Цех	Шахта Юбилейная-Н г. Новокузнецк
Агрегат	скрепковый конвейер СПЦ-271
Деталь	звездочки
Масса детали	160 кг
Материал детали	
Контртело	Цепь
Основной вид износа	Откол зубьев (усталость металла)
Срок службы	2 года

Технология восстановления. Перед восстановительными работами необходимо провести механическую обработку места откола зуба на глубину не менее 5 мм.

Выточенный по чертежу зуб (с припуском под наплавку рабочего слоя), приваривается к звездочке. Затем проводится наплавка рабочего слоя зуба с помощью шаблона до окончательных размеров. Прикатка зубьев осуществляется на холостом ходу агрегата. Максимальная твердость рабочей поверхности составляет 40 – 45 HRC.

Ниже приведены параметры и на рис. 3 показаны трещины на отдельных частях экскаватора ЭШ-15/90 (эксплуатация на ОАО «Южный Кузбасс» – «Сибиргинский разрез»).

Цех (участок)	Сибиргинский разрез
Агрегат (Сооружение)	Экскаватор ЭШ 15/90 Зав.№ 88
Деталь	Венец механизма поворота
Материал детали	
Дефектность	Трещины между зубьями
Рабочая среда (контртело)	Большие динамические нагрузки

Технология ремонта. Работу проводили в полевых условиях без снятия дефектных зубчатых обойм. Расположение трещин определяли с помощью ультразвукового и цветового контроля. Выполнена полная разделка образовавшихся трещин с помощью воздушно-дуговой и плазменной резки. Все сварные швы образованы материалами аустенитного класса с повышенным содержанием никеля (что способствует большей пластичности сварных швов). В процессе сварки проводился предварительный и последующий подогрев.

Сведения о сварочных материалах, используемых для восстановления зубчатых передач
Information about welding materials used to restore gears

№	Марка, описание	Классификация	Технология сварка	Содержание элементогв, %, в наплавленном металле	Механические свойства наплавленного металла
1	**EnDOtec DO*02** (Castolin&Eutectic) Порошковая проволока для сварки мартенситных, аустенитных, аустенитных нержавеющих сталей. Наплавленный металл коррозионностойкий, склонен к самоупрочнению (наклеп) в процессе работы. Окалиностойкость до 600 °С. Температура эксплуатации до –80 °С. Подходит для упрочняющей наплавки и наплавки подслоев на закаливаемые стали.	DIN 8556: ~SG X15 CrNiMn 18 8 DIN 8555: MF8 – 200 – KNPZ W-N°: 1,4370 AWS A522: ~E370T1-4	Предварительный подогрев зависит от эквивалента углерода (С) и размера свариваемых деталей. Стали, содержащие 12 – 14 % Mn, не требуют подогрева, температура детали во время сварки не должна превышать 250 °С. Сваривать короткой, струйной или импульсной дугой, предпочтительно Puls-Arc техникой. Контролировать температуру промежуточных слоев – 150 °С. Сварочные позиции: все кроме PG(f). Вид тока: =(+) Защитный газ: EN 439-M21 (5 – 25 % CO_2 – ост % Ar)	C – 0,05 Si < 0,8 Mn – 2,5 Cr – 18,0 Ni – 8,2	$\sigma_{т,}$ – 390 МПа $\sigma_{в}$ – 650 МПа δ – 35 % KC_V (20 °С) –70 Дж HB – 310
2	**EnDOtec DO*05** (Castolin&Eutectic) Порошковая проволока на основе сплава FeMnCr. Наплавленный металл коррозионностойкий, самоупрочняется в процессе работы, устойчив против ударных нагрузок и высокого давления. Возможна многослойная наплавка без образования трещин. Высокая вязкость сплава. Обрабатывается режущим инструментом.	DIN 8555: MF7 – 400 – GKP	Предварительный подогрев зависит от эквивалента углерода (С) и размера свариваемых деталей. Стали, содержащие 12 –14 % Mn, не требуют подогрева, температура детали во время сварки не должна превышать 250 °С. Контролировать температуру промежуточных слоев – 150 °С. Сварочные позиции: PA. PB. PC. Вид тока: =(+) Защитный газ: EN 439-M21 (5 – 25 % CO_2 – ост % Ar)		$\sigma_{т,}$ – 420 МПа $\sigma_{в}$ – 650 МПа δ – 35 % KC_V(20 °С) –75Дж HB – 400
3	**Castolin XHD 646** (Castolin&Eutectic) Высокопроизводительный электрод с высоколегированным стержнем на основе сплава CrNiMn. Наплавленный металл окалиностойкий до 900 °С, не склонен к образованию горячих трещин и самонаклепывается в процессе работы. Имеет высокую ударную вязкость и пластичность.	DIN 8555: E8 – UM - - 200 – CKZ	Предварительный подогрев зависит от эквивалента углерода (С) и размера свариваемых деталей. Аустенитные марганцовистые стали сваривать без предварительного подогрева в холодном состоянии. Сварочные позиции: PA. PB. PC. Вид тока: =(+)или~	C – 0,08 Si < 1,0 Mn – 7,2 Cr – 18,5 Ni – 8,5	$\sigma_{т,}$ – 500 МПа $\sigma_{в}$ – 650 МПа δ – 30 % KC_V(20 °С) –55Дж HB – 430

4	**OK Autrod 16.95** (ESAB) Проволока сплошного сечения корозионностойкая на основе сплава CrNiMn. Самоупрочняется в процессе работы, устойчив против ударных нагрузок и высокого давления. Возможна многослойная наплавка без образования трещин.	G 18 8 Mn/ EN 12072	Аналог проволоки Св-08Х20Н9Г7Т Сварочные позиции: PA. PB. PC. Вид тока: =(+) EN 439-M12 (5 % CO_2 – ост % Ar)	C – 0,1 Si < 1,2 Mn – 6,5 Cr – 18,5 Ni – 8,5	$\sigma_{т}$ – 450 МПа $\sigma_{в}$ – 640 МПа δ – 41 % KC_V(20 ^oC) –130 Дж HB – 380
5	**ОК 67.60** (ESAB) Электрод предназначен для сварки низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей перлитного класса с высоколегированными сталями аустенитного класса, а также для наплавки переходных слоев при сварке изделий из двухслойных сталей, плакированных высоколегированным слоем типа 12Х18Н10Т.	ISO 3581-A: E22 12 L R 3 2 AWS A5.4: E309L-17 EN 12072: G18 8 Mn	Покрытие: кисло-рутиловое Содержание ферритной фазы в металле шва 5,5 – 13 % Вид тока: =(+)или ` Пространственное положение: 1, 2, 3, 4, 6.	C – 0,03 Si < 0,8 Mn – 0,9 Cr – 23,7 Ni – 12,4 P < 0,025 S < 0,020	$\sigma_{т}$ – 470 МПа $\sigma_{в}$ – 580 МПа δ – 32 % KC_V(20 ^oC) –63 Дж HB – 400
6	**LNM 307** (LINCOLN ELECTRIC) Проволока сплошного сечения для аргонодуговой и полуавтоматической сварки трудносвариваемых сталей. Используется для формирования буферных слоев при наплавке.	AWS A5.9: ER309 EN 12072: G18 8 Mn	Аналог проволоки Св-08Х20Н9Г7Т Сварочные позиции: PA. PB. PC. Вид тока: =(+) EN 439-M12 (5 % CO_2 – ост. % Ar)	C – 0,05 Si < 0,5 Mn – 1,8 Cr – 24,0 Ni – 13,5 Mo – 0,2	$\sigma_{т}$ – 400 МПа $\sigma_{в}$ – 630 МПа δ – 40 % KC_V(20 ^oC) –80 Дж HB – 410
7	**OK GPC (OK 21.03)** (ESAB) Электрод предназначен для строжки, резки и прошивки отверстий в нелегированных и легированных сталях, чугунах, а также материалах, не содержащих в своем составе железо (за исключением чистой меди) от стандартных источников питания РДС.		Вид тока: ~/ =(-) Пространственное положение: 1, 2, 3, 5, 6. Напряжение холостого хода: 70 В.		
8	**OK Carbon** (ESAB) Омедненный графитовый электрод, предназначенный для ВДР и строжки металла. В отличие от OK GPC данный процесс обладает значительно более высокой производительностью, так как расплавленный металл удаляется потоком сжатого воздуха, подаваемого в специальный держатель для ВДР.		Вид тока:~/ =(-) Пространственное положение: 1, 2, 3, 5, 6 Напряжение холостого хода: 70 В		

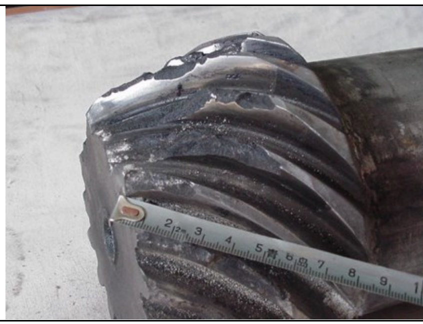
Изношенная шестеренка		
		
а – общий вид	*б и в – откол зубьев*	
Восстановление профиля		
		
г – выборка зубьев	*д – восстановленная шестеренка*	

Рис. 1. Общий вид (*а*) и откол зубьев (*б*, *в*) изношенной шестеренки, выборка зубьев (*г*), восстановленная шестеренка (*д*, *е*)
Fig. 1. General view (*а*) and tooth breakage (*б*, *в*) of a worn gear, tooth sampling (*г*), restored gear (*д*, *е*)

Изношенная шестеренка		
		
а – общий вид	*б – откол зубьев*	
Восстановление профиля		
		
в - приварка зуба	*г - наплавка рабочего слоя*	*д – восстановленная звездочка*

Рис. 2. Общий вид (*а*), откол зубьев (*б*) изношенной шестеренки и восстановление профиля (приварка зуба (*в*), наплавка рабочего слоя (*г*), восстановленная звездочка (*д*))
Fig. 2. General view (*а*), tooth breakage (*б*) of a worn gear and restoration of the profile (welding of the tooth (*в*), surfacing of the working layer (*г*), restored sprocket (*д*))

а – экскаватор ЭШ-15/90 *б – виды трещин*

в и г – виды трещин

Рис. 3. Общий вид экскаватора ЭШ-15/90 (*а*) и виды трещин (*б – г*)

Fig. 3. General view of the excavator ESH-15/90 (*a*) and types of cracks (*б – г*)

На рис. 4 показан общий вид и отдельные части шестерни (малая) сборки редуктора напора экскаватора ЭКГ 5.

Выводы

Рассмотрена технология восстановления шестеренок и зубьев шестеренки сварным методом. Приведена технология ремонта отдельных частей экскаватора ЭШ-15-90. Показано восстановление зубьев шестерен сборки редуктора напора экскаватора ЭКГ 5. Представлены сведения о сварных материалах, используемых для восстановления зубчатых передач.

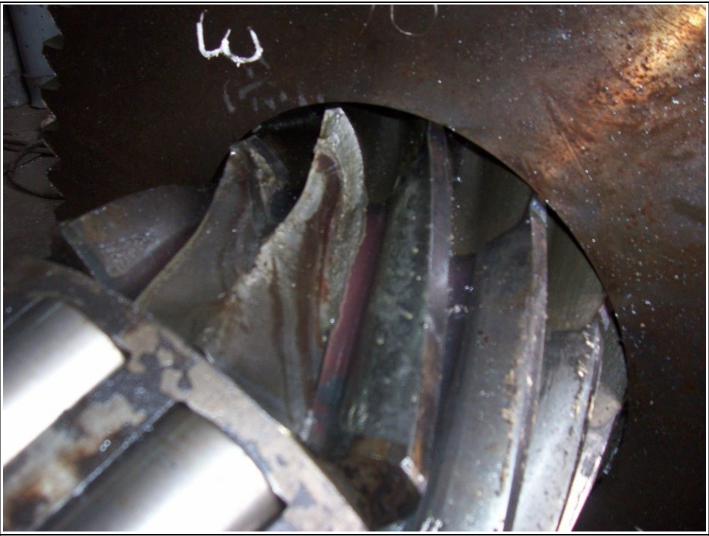
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог наплавочных материалов Castolin&Eutectic. Швейцария. 2000. 115 с.
2. Каталог продукции ESAB. Сварочные материалы. М.: 2016. 268 с.
3. Каталог сварочного оборудования и материалов Lincoln Electric. Апекс. М.: 2012. 172 с.
4. Каталог. Электроды для ручной дуговой сварки. Лосиноостровский электродный завод. М.: 118 с.

REFERENCES

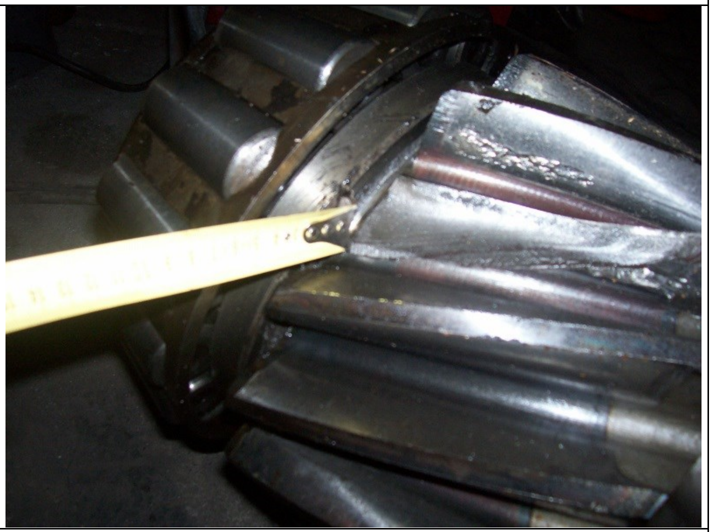
1. Catalog of Castolin&Eutectic surfacing materials. Switzerland. 2000, 115 p.
2. ESAB product catalog. Welding materials. Moscow: 2016, 268 p.
3. Catalog of welding equipment and materials of Lincoln Electric. Apex. Moscow: 2012, 172 p.
4. Catalog. Electrodes for manual arc welding. Losinoostrovsky electrode plant. Moscow: 118 p.

а – общий вид



б – выров из тела шестерни 40 мм

в – длина зуба 200 мм



г – ширина зуба 10/50 мм

д и е – высота зуба 40 мм

Рис. 4. Восстановление зубьев шестерен сборки редуктора напора экскаватора ЭКГ 5:
а – общий вид шестерни; *б* – выров из тела шестерни 40 мм; *в, г* – длина и ширина зуба шестерни;
д, е – высота зуба шестерни

Fig. 3. Restoration of gear teeth of the EKG 5 excavator pressure reducer assembly:
а – general view of the gear; *б* – 40 mm out of the gear body; *в, г* – the length and width of the gear tooth;
д, е – the height of the gear tooth

Сведения об авторах

Сергей Валентинович Райков, *д.т.н., доцент, генеральный директор,* ООО «Вест 2002»
E-mail*:* raykov_s_v@mail.ru

Юлия Андреевна Шлярова*, аспирантка кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля*, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0001-5677-1427
E-mail*:* rubannikova96@mail.ru

Information about the authors

Sergei V. Raikov, *Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor*, *General Director*, West 2002 LLC
E-mail*:* raykov_s_v@mail.ru

Yuliya A. Shlyarova*, postgraduate student of the Department of Natural Sciences n.a. Professor V.M. Finkel*, Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0001-5677-1427
E-mail*:* rubannikova96@mail.ru

Поступила в редакцию 21 декабря 2021 г.