УДК 621.78

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-123-128

И.Р. Гаскаров, И.Р. Максюттов, В.В. Арсланов, А.В. Арсланов

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ

Ключевые слова: электроконтактная приварка; стальная лента; толщина покрытия; твердость, прочность сцепления.

Основной целью исследования является оценка характеристик упрочнения деталей при контактной обработке. Упрочнение деталей при этом можно реализовать двумя различными ме-

тодами: контактной приваркой и поверхности деталей стальной ленты, получающей в результате приварки высокую твердость и износостойкость; собственно контактной обработкой (за-

колкой) поверхностного слоя деталей. Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда **задач** по выявлению влияния на характеристики упрочнения режима обработки, химического состава ленты и основного материала, а также исходного состояния ленты и основного материала [2–12].

Методика исследований. Для решения задач исследований были разработаны методики, позволяющие оценивать полезную толщину приваренной ленты, твердость покрытия и прочность сцепления ленты с материалом основы. Контактная приварка ленты к исследуемым образцам и деталям производилась на установке 011-1-02Н. Механическая обработка (точение) отдельных серий образцов производилась на токарно-винторезном станке модели 16К20. Шлифование образцов и деталей производилось на круглошлифовальном станке модели 3Б151. В качестве материала для образцов использовалась сталь марок 45 (ГОСТ 1050-94) и 20Х13 (ГОСТ 5632-92). Размеры образцов, имитирующие шейки валов деталей технологического оборудования, были приняты для образцов из стали 45 – диаметр 30, 35, и 80 мм, длина 265 мм; для образцов из стали 20Х13 – диаметр 30 мм, длина 125 мм. В соответствии с поставленными задачами исследования были использованы образцы с различной исходной структурой: образцы из стали 45 – в состоянии поставки (горячекатаное состояние), после нормализации, после объемной закалки (с нагревом в электрической муфельной печи), после поверхностной закалки с индукционным нагревом, а образцы из стали 20Х13 – в состоянии поставки (горячекатаное состояние) и после объемной закалки в масле [1]. В качестве материала для привариваемой ленты использовалась стальнаякатаная лента из стали марки 30 и 50 (ГОСТ 1050-94) толщиной 0,3; 0,4 и 0,8 мм. Полезная толщина приваренной ленты – слой металла, остающийся на поверхности детали после механической обработки. Величина (толщина) этого слоя характеризует использование материала ленты, что обусловлено, в свою очередь, наименьшим, минимально необходимым припуском на механическую обработку (шлифование), обеспечивающим заданный квалитет точности. Режим приварки оказывает большое влияние на шероховатость («гребнистость») поверхности ленты и, следовательно, на величину дефектного, удаляемого при механической обработке слоя, т. е. на величину припуска на шлифование. Припуск на шлифование устанавливался как разность значений диаметров шеек образцов, определенных измерением поверхности приваренной ленты и после шлифования обработанных шеек «как чисто» до шероховатости поверхности, соответ-

ствующей Ra 0,8 мкм. Диаметр шейки образца измерялся в двух сечениях по длине при двух взаимно перпендикулярных положениях микрометра.

Основные измерения твердости проводились на твердомере Роквелла ТК-2М в единицах HRA при нагрузке на алмазный конус 60 кгс (588 Н). Общее количество замеров на одной шейке образца составляло 50, они проводились по 5 образующим, расположенным через 70...75° друг от друга. Интервал между соседними уколами составлял 3 мм. Полученные при измерении твердости данные обрабатывались для получения статистических характеристик: средней арифметической величины твердости (HRA, HV) или микротвердости (H₀), дисперсии (S²), среднего квадратического отклонения (S), коэффициента вариации (V). Указанные характеристики позволяют оценить как величину средней твердости, так и степень структурной неоднородности и зависящие от них показатели износостойкости поверхности, сопротивляемости поверхностного слоя разрушению от переменных нагрузок и другие эксплуатационные характеристики. Качество сцепления ленты с основным металлом исследовалось путем обкатки (накатки) приваренного слоя стальным закаленным роликом под заданной нагрузкой. Специально изготовленные ролики из стали У10А, закаленные до твердости HRC 60...62, закреплялись на сварочных клещах установки 011-1-02 вместо роликов-электродов. Давление на ролики при обкатке составляло 0,3...0,4 МПа. Частота вращения шпинделя с закрепленным в патроне образцом составляла при обкатке 9 мин⁻¹. Продолжительность обкатки каждого участка составляла 25 мин.

Результаты исследований. Величина полезного слоя приваренной ленты, следовательно, и величина минимально необходимого припуска на механическую обработку (шлифование) зависят от многих параметров режима приварки, главными из которых являются: величина сварочного тока, длительность импульса и паузы, частота вращения детали, величина продольной подачи сварочных роликов (таблицы 1 и 2).

Из данных таблиц 1 и 2 следует, что при увеличении длительности импульса от 0,02 до 0,06 с шероховатость поверхности приваренной ленты заметно увеличивается и припуск на механическую обработку повышается с 0,14 мм до 0,23 мм на сторону. Уменьшение длительности паузы от 0,3...0,4 до 0,18 с существенно не влияет на шероховатость и величину припуска на механическую обработку. При увеличении продольной подачи до 5,5 мм/об поверхность приваренной ленты остановится «чешуйчатой».

Таблица 1 Влияние режима приварки ленты на величину припуска на механическую обработку

№ образца	Сварочный ток $I_{св}$, кА	Длительность импульса $T_{имп}$, С	Длительность паузы $T_{паузы}$, С	Припуск на шлифование, мм (на сторону)
1	3,5...3,8	0,02	0,3...0,4	0,14
2	3,5...3,8	0,06	0,3...0,4	0,23
3	2,3...3,8	0,06	0,18	0,22
4	11,3...11,8	0,02	0,3...0,4	0,14
5	11,3...11,8	0,06	0,3...0,4	0,26
6	11,3...11,8	0,05	0,18	0,33
7	11,3...11,8	0,05	0,3...0,4	0,17
8	11,3...11,8	0,06	0,3...0,4	0,20

Примечание: материал ленты – сталь 30, толщина 0,4 мм; диаметр образцов 30 мм; частота вращения шпинделя 8 об/мин; продольная подача – 4 мм/об – образцы 1–6; 5,5 мм/об – образцы 7,8.

Таблица 2 Влияние химического состава материала, размеров ленты, образцов и режима приварки на величину припуска на механическую обработку

Образец		Лента		Сварочный ток $I_{св}$, кА	Припуск на шлифование, мм (на сторону)
марка стали	диаметр, мм	марка стали	толщина, мм		
45	80	50	0,3	9,0...9,3	0,10
			0,3	10,9...11,2	0,15
		30	0,4	10,9...11,2	0,10
			0,8	10,9...11,2	0,16
		50	0,4	10,9...11,2	0,10
			0,8	9,0...9,3	0,15
	30	50	0,3	10,9...11,2	0,13
			0,4		0,12
		30	0,8	10,9...11,2	0,17
			0,4		0,14
20X13	30	50	0,8	10,9...11,2	0,11
			0,8		0,11

Примечание. Режимы приварки: сварочный ток – 9...11 кА, длительность импульса – 0,05 с; длительность паузы – 0,18 с; для 80 мм частота вращения шпинделя 2 мин⁻¹, продольная подача роликов – 9 мм/об; для 30 мм частота вращения шпинделя – 6 мин⁻¹, продольная подача роликов – 4 мм/об.

При этом припуск на шлифование уменьшается в 2 раза. При увеличении толщины ленты от 0,3 до 0,8 мм припуск на шлифование увеличивается примерно на 0,1 мм на сторону. Анализ состояния поверхности приваренной ленты при проведении магнитной дефектоскопии показал, что макроскопические трещины и другие дефекты в слое приваренной ленты в зоне соединения с основным металлом и в зоне термического воздействия сварочного тока на основной металл образца практически не наблюдаются. Результаты измерения твердости на твердомере Роквелла ТК-2М (по шкале HRA) приведены в

таблицах 3–6. Контрольные измерения, проведенные на твердомере Викерса ТПП-2, показали хорошее совпадение с данными, полученными при измерении на твердомере Роквелла. Исследование влияния режимов приварки на характеристики твердости показало, что при увеличении длительности импульса от 0,02 до 0,06 с увеличиваются среднее значение твердости приваренной ленты и разброс значений твердости. С увеличением шага продольной подачи сварочных роликов среднее значение твердости повышается незначительно (до HRC 43...46), а колебание значений твердости уменьшается.

Таблица 3 Влияние режима приварки на статистические характеристики твердости (образцы Ф30 мм, сталь 45, лента – сталь 30, толщина 0,4 мм)

Образец	Характеристика твердости					
	$\overline{HRA}$	перевод в HRC	σ^2	σ	V	K
1	63	25	10,59	3,25	5,14	0,46
2	72	43	13,55	3,68	5,11	0,52
3	73	45	19,95	4,47	6,05	0,63
4	61	21	6,74	2,59	4,23	0,37
5	76	50	14,19	3,76	4,96	0,53
6	72	43	45,13	6,72	9,37	0,95
7	74	46	24,74	4,76	6,76	0,70
8	67	35	44,51	6,67	9,91	0,94

Исследования качества приварки (прочности сцепления) ленты к основному металлу обкаткой закаленными роликами показали следующее. Лента из стали марок 30 и 50 толщиной 0,3 и 0,4 мм достаточно хорошо приваривается и обеспечивает удовлетворительную прочность сцепления с основным металлом образцов из стали 45 и 20X13 диаметром 30 мм даже при сварочном токе 2,5...3,5 кА [2, 3].

С повышением содержания углерода в металле стальной ленты, увеличением толщины ленты и диаметра образцов привариваемость ухудшается. Удовлетворительная сцепляемость при приварке ленты к образцам диаметром 80 мм достигается только при сварочном токе 8...12 кА. Сопrotивляемость отслаиванию у приваренной ленты из стали 30 ($\approx 0,3\%$) примерно в 3 раза выше, чем у ленты из стали 50

($\approx 0,5\%$). Наиболее часто отслоение ленты при приварке на малых сварочных токах наблюдается в зоне станка кольцевой заготовки ленты. Результаты магнитной дефектоскопии и металлографический анализ показывают, что исходное состояние ленты и основного металла не оказывает заметного влияния на образование микротрещин и других дефектов в слое приваренной ленты и в зоне соединения с основным металлом. Влияние исходного состояния привариваемой ленты и основного металла образцов на характеристики твердости приведено в таблицах 5 и 6. По данным таблицы 5 видно, что предварительный перед приваркой отпуск ленты вызывает повышение твердости после приварки на 4...6 единиц HRC. Приварка высоко отпущенной ленты вызывает увеличение разброса твердости.

Таблица 4 Влияние состава, размера ленты, образца и режима приварки на статистические характеристики твердости

Образец		Лента		Характеристика твердости					
марка стали	диаметр, мм	марка стали	толщина, мм	$\overline{\text{HRA}}$	перевод в HRC	σ^2	σ	V	K
45	30	50	0,3	75	48	16,54	4,07	5,40	0,57
	80			75	48	14,85	3,54	5,16	0,54
	80	30	0,4	67	35	7,56	0,75	4,10	0,38
		50		74	46	12,69	3,56	4,83	0,50
		30	0,8	75	48	7,40	2,72	3,62	0,38
		50		78	54	11,91	3,45	4,45	0,49
20X13	30	30	0,4	73	45	11,33	3,37	4,62	0,48
		50		71	42	15,56	3,94	5,57	0,56
		30	0,8	75	48	15,63	3,85	5,30	0,56
		50		71	45	8,64	2,94	4,16	0,42

Таблица 5 Влияние исходного состояния ленты на статистические характеристики твердости после контактной приварки

Исходное состояние перед приваркой		$\overline{\text{HRA}}$	Перевод в HRC	σ^2	σ	V
Состояние поставки		76	50	8,42	2,91	3,81
После отпуска при температуре, °C	200 ± 25	78	54	8,82	2,97	3,81
	400 ± 25	79	56	6,99	2,64	3,37
	600 ± 25	78	54	10,40	3,23	4,16

Таблица 6 Влияние исходного состояния металла, состава и толщины ленты из стали 50 на статистические характеристики твердости

Образец	Толщина ленты, мм	$\overline{\text{HRA}}$	Перевод в HRC	σ^2	σ	V
Состояние поставки (горячекатаное)	0,8	81	58	8,69	2,95	3,64
После нормализации	0,8	80	57	7,85	2,80	3,51
После объемной закалки	0,3	78	55	7,72	2,78	3,54
	0,8	82	59	8,66	2,94	3,61

Примечание: сварочный ток 10...12 кА, частота вращения шпинделя – 6 мин⁻¹, продольная подача роликов – 6 мм/об, длительность импульса – 0,06, длительность паузы – 0,16 с, диаметр образца – 30 мм.

По данным таблицы 6 видно, что исходное состояние основного металла практически не оказывает влияния на среднюю твердость приваренной ленты. Некоторые различия наблюдаются только в колебании значений твердости.

Выводы. Оптимальные режимы контактной приварки обеспечивают высокую твердость по-

верхности (на 5...6 ед. HRC превышающую твердость, достигаемую при закалке с печным нагревом стали данного состава), хорошую сцепляемость ленты с основным металлом, отсутствие значительных макро- и микродефектов в слое приваренной ленты и зоне сплавления. Обоснование полезной толщины привариваемой

лены позволяет повысить эффективность технологического процесса путем уменьшения трудоемкости предварительной и окончательной обра-

ботки восстанавливаемых поверхностей, а также снижения расхода присадочного материала, абразивного инструмента и электроэнергии.

Библиографический список

1. Сайфуллин, Р.Н. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочных материалов из стальных лент [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, М.Н. Фархшатов, Э.Л. Левин, М.З. Нафиков, В.С. Наталенко, Л.Ф. Исламов, К.В. Юферов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 3 (111). С. 13–16.
2. Сайфуллин, Р.Н. Восстановление изношенных деталей машин электроконтактной приваркой [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, Э.Л. Левин, М.Н. Фархшатов, И.Р. Гаскаров, Н.М. Юнусбаев, В.С. Наталенко // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. № 11. С. 28–31.
3. Сайфуллин, Р.Н. Долговечность деталей, восстановленных электроконтактной приваркой стальной ленты [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, И.Р. Гаскаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 1. С. 44–47.
4. Пат. 2307010 Российская Федерация. Способ электроконтактной приварки металлических порошков / Р.Н. Сайфуллин, М.Н. Фархшатов, И.Р. Гаскаров; заявитель и патентообладатель Башгосагроуниверситет. № 2006105314; заявл. 20.02.06; опубл. 27.09.07, Бюл. № 12. С. 4.
5. Гаскаров, И.Р. Восстановление авто-тракторных деталей электроконтактной приваркой композиционных материалов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Гаскаров Ильнар Рагипович. Уфа, 2006. 130 с.
6. Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для студ. вузов по агроинженерным спец. / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов. М.: Колос, 2000. 776 с.
7. Черноиванов, В.Н. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве [Текст] / В.Н. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный и др.; под ред. В.И. Черноиванова. М. Челябинск: ГОСНИТИ, 2003. 992 с.
8. Сайфуллин, Р.Н. Распределение микротвердости в покрытиях и ее влияние на сопротивление усталости деталей, восстановленных электроконтактной приваркой [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, М.Н. Фархшатов, В.С. Наталенко, Н.М. Юнусбаев // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 2. С. 18–21.
9. Левин, Э.Л. Восстановление деталей машин электроконтактной приваркой металлопорошковых композиций [Текст] / Э.Л. Левин, М.Н. Фархшатов, Р.Н. Сайфуллин // Новые методы ремонта и восстановления деталей сельскохозяйственных машин. Материалы международной научно-технической конференции. Саранск: Мордовский государственный университет, Институт механики и энергетики, 2001. С. 88–92.
10. Гаскаров, И.Р. Анализ технологий восстановления деталей электроконтактной приваркой присадочных материалов [Текст] / И.Р. Гаскаров, Р.Н. Сайфуллин // Достижения науки и инновации для аграрного производства. Материалы национальной научной конференции. Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. С. 142–148.
11. Сайфуллин, Р.Н. Результаты исследования толщины покрытий, полученных электроконтактной приваркой сетчатых присадочных материалов [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, Н.М. Юнусбаев // Инновационно-промышленный салон. Ремонт. Восстановление. Реновация: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 2012. С. 196–199.
12. Нафиков, М.З. Контактная приварка растянутой присадочной проволоки [Текст] / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, Н.М. Юнусбаев, В.С. Наталенко, И.Р. Шакиров // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 5 (149). С. 198–204.

Сведения об авторах

1. **Гаскаров Ильнар Рагипович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: gaskarov_ilnar@mail.ru.
2. **Максютов Ильяр Радикович**, аспирант 2 курса механического факультета кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34.
3. **Арсланов Вадим Вакилович**, магистрант 2 курса механического факультета кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34.
4. **Арсланов Артур Вадимович**, магистрант 2 курса механического факультета кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34.

Приводятся результаты исследования свойств покрытий, получаемых электроконтактной приваркой стальной ленты. Определены за-

висимости толщины, твердости и прочности сцепления покрытия в зависимости от режимов процесса и материала заготовки и ленты.

I. Gaskarov, I. Maksjutov, V. Arslanov, A. Arslanov

STUDIES OF COATING PROPERTIES AFTER ELECTROCONTACT WELDING WITH STEEL TAPE

Key words: *electrocontact welding; steel tape; coating thickness; hardness; adhesive strength.*

Authors' personal details

1. **Gaskarov Ilnar**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Metal Technology and Car Repair department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: gaskarov_ilnar@mail.ru.

2. **Maksjutov Ilyar**, 2-nd year Post-graduate student of the Mechanics department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34.

3. **Arslanov Vadim**, 2-nd year Master's degree student of the Mechanics department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34.

4. **Arslanov Arthur**, 2-nd year Master's degree student of the Mechanics department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34.

The paper presents the results of studies on coating properties after electrocontact welding with steel tape. Coating thickness, hardness and adhesive

strength depends on process modes, work material and welding tape.

© Гаскаров И.Р., Максютлов И.Р., Арсланов В.В., Арсланов А.В.