

УДК 621.3.032

**ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ СЕТКИ,
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ПРИВАРКИ****Р.Н. САЙФУЛЛИН***(ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, Москва);***А.П. ПАВЛОВ***(ФГБОУ ВПО «Башкирский ГАУ», Уфа, Республика Башкортостан)*

Демонстрируется оценка прочности сцепления покрытий, полученных электроконтактной приваркой сетки, в зависимости от режимов приварки. Показаны преимущества и недостатки существующих и предлагаемого присадочных материалов, методика и результаты испытаний на прочность сцепления покрытий, полученных этими материалами. Приварка присадочных материалов на основе проволок (проволоки и сетки) с точки зрения сохранения предела выносливости (или минимального его снижения) восстановленных деталей более эффективна при приварке в твердой фазе (без образования жидкого ядра), при которой достигаемая прочность сцепления выше, чем при приварке стальной ленты (при соизмеримых режимах).

Согласно [1], способы электроконтактной приварки можно разделить по видам используемых присадочных материалов и конструктивным особенностям их подачи и приварки. Используемыми присадочными материалами для электроконтактной приварки являются стальная проволока, стальная лента и порошковые материалы. Исторически первым присадочным материалом для электроконтактной приварки являлась стальная проволока [2], однако наиболее распространенным присадочным материалом на сегодняшний день является стальная лента. У каждого из этих присадочных материалов есть свои достоинства и недостатки. Например, высокая прочность сцепления стальной проволоки при электроконтактной приварке без подплавления присадочного материала (в твердой фазе) объясняется относительно высокой пластической деформацией проволоки, что является обязательным условием качественного соединения металлов в твердой фазе. В отличие от проволоки, у стальной ленты практически отсутствует пластическая деформация, приварка ведется с образованием жидкой фазы, и ввиду интенсивного теплоотвода в медный ролик литое ядро смещается от стыка в глубь изделия, что снижает качество соединения. Другим достоинством использования проволоки в качестве присадочного материала для электроконтактной приварки являются благоприятные остаточные напряжения в покрытии. Установлено [4], что в покрытиях из стальной проволоки действуют сжимающие остаточные напряжения, равные 0,1...0,2 предела текучести приваренного металла (в покрытиях из стальной ленты и порошков действуют растягивающие напряжения [3; 5]). Благоприятные остаточные напряжения объясняются термомеханическим воздействием роликового электрода на присадочный материал при его приварке. Перечисленные преимущества относятся к сетчатым присадочным материалам (сварным и тканым сеткам), так как их основой является стальная проволока.

Однако несмотря на перечисленные достоинства стальной проволоки, она не нашла широкого применения у производителей в силу своих недостатков, а именно низкой технологичности. Так, при ее использовании затруднительно обеспечить высокое качество соединения между витками проволоки, и при недостаточно точном позиционировании проволоки относительно детали возможны непровары (рис. 1). Кроме того, нередки случаи обрыва проволоки при приварке. В процессе электроконтактной приварки стальной проволоки образуется канавка износа на рабочей поверхности роликового электрода. Образующаяся канавка также затрудняет межвитковое сваривание проволоки.

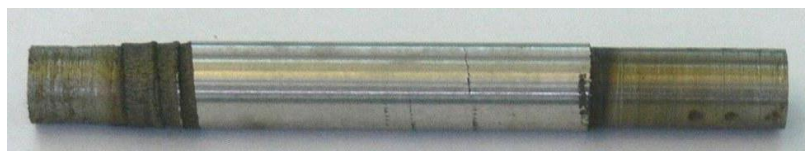


Рис. 1. Непровар между витками проволоки

Использование стальной ленты в качестве присадочного материала для электроконтактной приварки улучшает технологичность процесса восстановления изношенных деталей. Технологичность стальной ленты заключается в следующем: независимо от ошибок оператора при назначении величины подачи

сварочной тележки (при механической или ручной подаче), величины паузы и частоты вращения шпинделя, износов направляющих, шарнирных механизмов клещей и устройства вращения роликовых электродов стальная лента будет приварена к поверхности детали даже при отсутствии перекрытия между сварными точками и витками сварки. Это объясняется тем, что стальная лента представляет собой сплошной листовой материал, при приварке которого отсутствие перекрытия между сварными точками и витками сварки не влечет за собой отслаивания всего покрытия (если оно достаточной толщины). Поэтому даже при низкой квалификации оператора установки электроконтактной приварки стальная лента будет приварена к поверхности изношенной детали. Единственными оставшимися параметрами режима электроконтактной приварки являются продолжительность импульса сварочного тока и сила сварочного тока. Продолжительность импульса сварочного тока назначается обычно в интервале 0,06...0,20 с. Любая выбранная из этого интервала величина продолжительности импульса тока будет достаточной для приварки стальной ленты к цилиндрическим деталям диаметром 20...200 мм. Остается назначить силу сварочного тока. При ее недостаточной величине стальная лента не приварится уже на стадии закрепления ее на поверхности изделия, и оператор будет вынужден повысить силу сварочного тока. То есть подбор режимов электроконтактной приварки стальной ленты ведется оператором зачастую не по рекомендациям, а непосредственно при восстановлении изношенной детали.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что стальная лента неприхотлива при выборе режимов электроконтактной приварки и не требовательна к жесткости установки. Также при использовании стальной ленты для восстановления изношенных поясков (например, золотников гидрораспределителей или гидросилителей) не предъявляются жесткие требования для приварки края пояска, где возможен сход роликового электрода и соответственно брак детали. Стальная лента берется шире длины пояска, а приварка может производиться не до края пояска (после приварки край стальной ленты стачивается до его торца).

Таким образом, можно констатировать, что использование стальной ленты в качестве присадочного материала для электроконтактной приварки является более технологичным, чем использование стальной проволоки и порошковых материалов. Недостатком стальной ленты является относительно невысокая прочность сцепления покрытия с основным металлом детали, особенно при приварке среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей, а также при приварке лент из цветных сплавов, в частности бронз. При толщине покрытия менее 0,1 мм возможно отслаивание ленты от основы. Отслаивание наблюдается, например, при шлифовании восстановленных валов без исправленной овальности (в местах наибольшего диаметра) (рис. 2). Поэтому перед восстановлением необходимо исправлять геометрию цилиндрических деталей, а толщина покрытия после окончательной обработки должна быть не менее 0,2 мм.

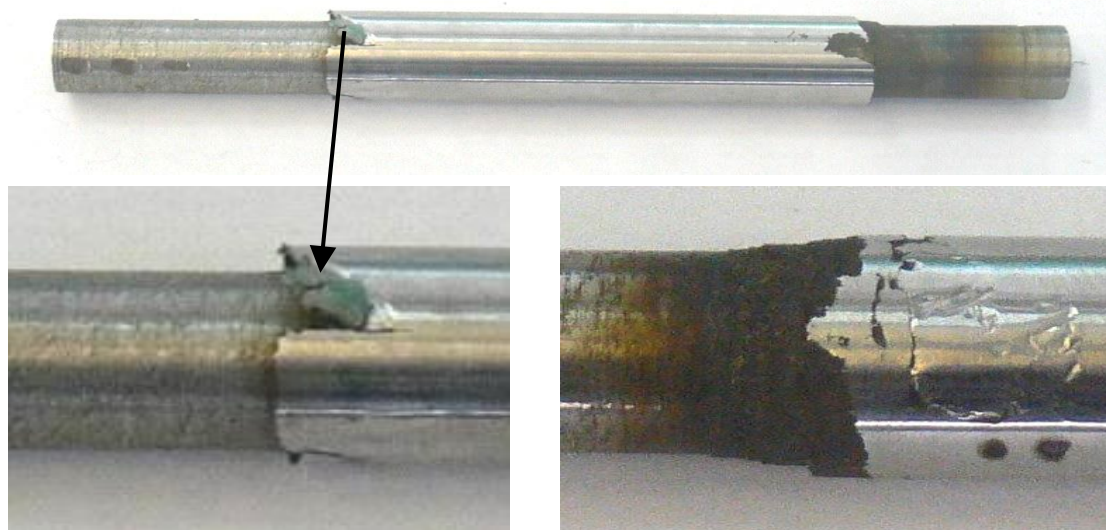


Рис. 2. Отслаивание приваренной стальной ленты при шлифовании

Сетчатый материал (сварная или тканая сетка), как и листовой материал, вбирает в себя практически все достоинства электроконтактной приварки стальной ленты и стальной проволоки и практически исключает все их недостатки, поэтому их опробование в качестве присадочного материала для восстановления деталей электроконтактной приваркой было бы целесообразным. Поэтому мы провели оценку прочности сцепления сетчатых присадочных материалов в сравнении с существующими присадочными материалами – стальной лентой и проволокой.

Для оценки прочности сцепления данных присадочных материалов с основой нами были проведены соответствующие эксперименты, методика которых заключалась в следующем. Присадочный материал приваривался к детали двумя роликовыми электродами за половину оборота детали (рис. 3). В качестве основного металла детали применялись образцы из стали 45 диаметром $38_{-0,02}$ мм.

Учитывая, что большинство восстановленных деталей работают в условиях трения скольжения, т.е. восстановленный слой испытывает усилие сдвига, прочность сцепления с основой исследовалась на срез. Для реализации срезания покрытия боковые поверхности приваренного слоя шлифовались до ширины 4...5 мм. Подготовленные таким образом образцы продавливались на прессе типа П-125 ГОСТ 8905-73 (рис. 4) сквозь стальное закаленное кольцо диаметром $38^{+0,01}$ мм. Предварительно пресс был проверен на точность показаний образцовым динамометром ДОСМ-3-5 ГОСТ 9500-75. Количество образцов в одной серии 5 шт.

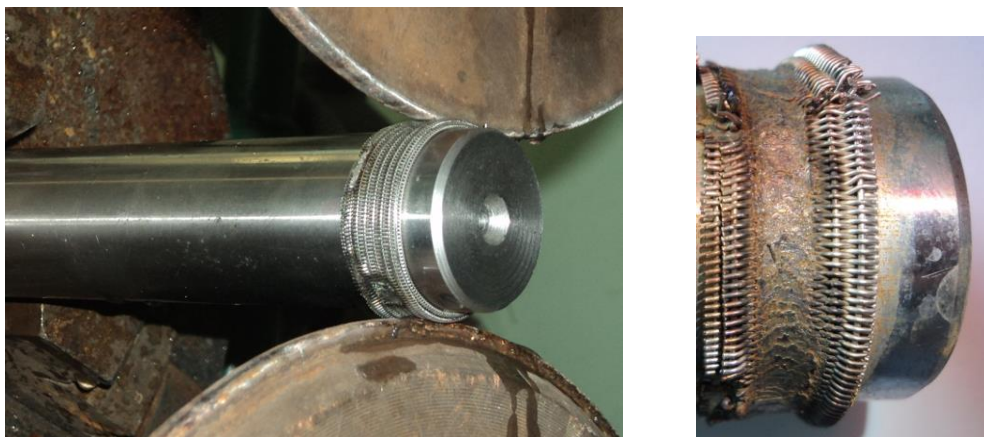


Рис. 3. Электроконтактная приварка стальной сетки на образцы для испытания на прочность сцепления

Электроконтактная приварка велась на установке 01-11.022М при частоте вращения шпинделя $1,6 \text{ мин}^{-1}$, давление составляло 0,3 МПа. В качестве металлических сеток использовались сетки из низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали (марки Ст. 1 и сталь 45), а также сетки из коррозионно-стойкой стали марки AISI 316 (DIN 1.4401) (отечественный аналог – сталь 03X17H14M2).

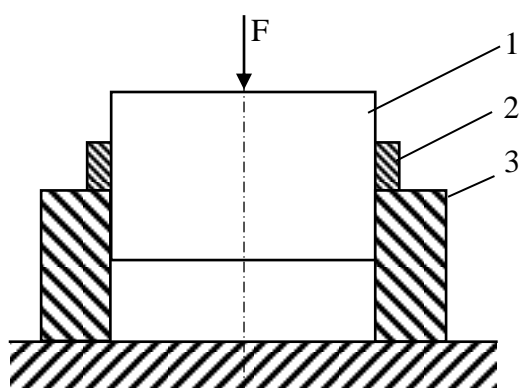


Рис. 4. Схема испытания и пресс для испытания прочности сцепления покрытия на срез:
1 – образец; 2 – покрытие; 3 – кольцо

Для сравнительной оценки прочности сцепления стальных лент и сеток необходимо, чтобы толщина металлопокрытия после приварки была одинаковой. Также должны быть соизмеримыми режимы приварки: сила тока, продолжительность импульса тока и паузы.

Прочность сцепления определялась по формуле:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi db},$$

где F – сила сжатия, Н; S – площадь контакта приваренного слоя и детали, м^2 .

Числовые результаты испытаний представлены в таблице. В качестве толщины покрытия выступала половина разности между диаметрами образцов до и после приварки, измеренными по впадинам покрытия (при электроконтактной приварке, выполненной роликовыми электродами по винтовой линии, образуются впадины, рис. 5).

Результаты испытания на прочность сцепления покрытий, полученных электроконтактной приваркой стальных сеток, ленты и проволоки

№ п/п	Присадочный материал	Толщина покрытия по впадинам, мм	Среднее значение прочности сцепления на срез, МПа	Отклонение среднеарифметического значения m , МПа	Режимы электроконтактной приварки		
					среднее значение силы тока, кА	продолжительность импульса тока, с	время паузы, с
1	Сетка тканая со стороной ячейки в свету 4 мм, Ø проволоки 1,6 мм из стали 45 (ТУ 14-4-1566-89)	0,6...0,8	174	29	2,1	0,06	0,08
			230	47	3,2	0,08	0,1
			266	45	4,2	0,12	0,2
			318	52	5,6	0,2	0,2
2	Сетка тканая со стороной ячейки в свету 2 мм, Ø проволоки 1,2 мм из стали Ст. 1	0,5...0,8	192	34	2,6	0,06	0,08
			246	25	3,8	0,08	0,1
			271	51	4,6	0,12	0,2
			298	48	5,1	0,2	0,2
3	Сетка шелевая 14×88, d = 0,50/0,32 из стали AISI 316 (DIN 1.4401), два слоя отечественный аналог 3Х17Н14М2)	0,8...0,9	203	42	3,5	0,06	0,08
			256	44	4,1	0,08	0,1
			287	65	4,9	0,12	0,2
			297	61	4,9	0,2	0,2
4	Легированная присадочная проволока Нп-30ХГСА, Ø проволоки 1,8 мм ГОСТ 10543-75	0,4...0,5	186	23	2,8	0,06	0,08
			234	42	4,0	0,08	0,1
			230	56	4,7	0,12	0,2
			312	58	5,1	0,2	0,2
5	Лента из стали 45 толщиной 0,8 мм	0,5...0,7	102	43	2,0	0,06	0,08
			158	34	3,1	0,08	0,1
			377	64	3,9	0,12	0,2
			392	26	5,4	0,2	0,2

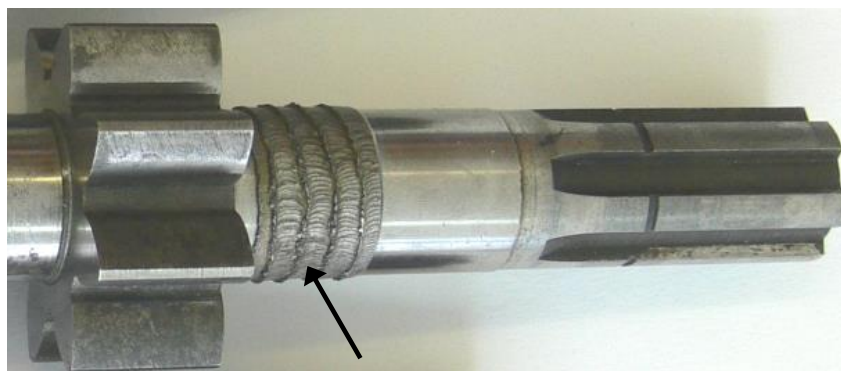


Рис. 5. Впадины на покрытии, полученном электроконтактной приваркой

Как можно увидеть из таблицы, значения прочности сцепления различных присадочных материалов не имеют четко выраженных преимуществ или недостатков. Прочность сцепления в большей степени зависит от режимов электроконтактной приварки. Как и во многих предыдущих работах, можно только подтвердить, что с увеличением силы тока и продолжительности импульса тока прочность сцепления возрастает. Можно отметить, что при одинаковых режимах электроконтактной приварки присадочные материалы на основе проволок имеют соизмеримые значения прочности сцепления (значения не имеют достоверной статистической разницы). Наибольший интерес представляет сравнение прочности сцепления присадочных материалов на основе проволок (строки 1 – 4) и стальной ленты (строка 5). Так, прочность сцепления ленты из стали 45 (при режимах: $I = 5,4...5,6$ кА; $t_{имп} = 0,2$ с; $t_{паузы} = 0,2$ с) 392 МПа, а тканой сетки (строка 1) при тех же режимах и соизмеримой толщине покрытия составляет всего 318 МПа

(разница 19 %). Однако более мягкие режимы электроконтактной приварки ($I = 2,0 \dots 2,1$ кА; $t_{\text{умн}} = 0,06$ с; $t_{\text{паузы}} = 0,08$ с) изменяют положение. Так, прочность сцепления стальной ленты становится 102 МПа, а тканой сетки 174 МПа (разница 41 %). Наиболее наглядно вышеизложенное представлено на рисунке 6.

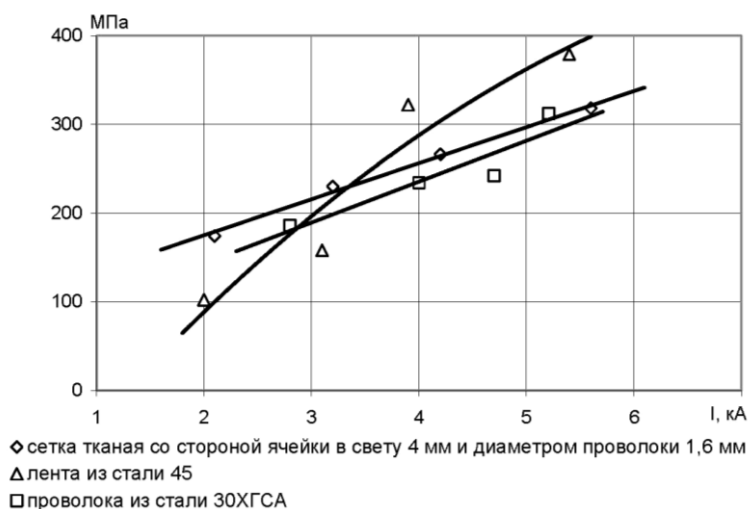


Рис. 6. Зависимость прочности сцепления от силы тока при электроконтактной приварке различных присадочных материалов

Зависимость прочности сцепления присадочных материалов на основе проволоки от силы тока имеет линейный характер и возрастает менее интенсивно по сравнению с прочностью сцепления стальной ленты. Из этих зависимостей можно предположить, что при относительно малых токах электроконтактная приварка стальной ленты ведется в твердой фазе (без образования жидкого ядра), а при достижении токов более 3,5 кА электроконтактная приварка стальной ленты ведется с образованием жидкой фазы. Об этом также свидетельствует картина поверхности под стальной лентой, срезанной на прессе (рис. 7). При этом присадочные материалы на основе проволоки также могут привариваться с образованием жидкой фазы. Выплески жидкого металла при электроконтактной приварке стальной сетки (таблица 1, строка 1) наблюдались при силе тока более 4 кА.



Рис. 7. Поверхность образцов после испытания на прочность сцепления покрытий из стальной ленты при режимах:
 а — $I = 2$ кА, $t_{\text{умн}} = 0,06$ с, $t_{\text{паузы}} = 0,08$ с; б — $I = 3,9$ кА, $t_{\text{умн}} = 0,12$ с, $t_{\text{паузы}} = 0,2$ с

Электроконтактная приварка присадочных материалов без образования жидкого ядра, по нашему мнению, благоприятнее воздействует на свойства восстановленных деталей, а именно на остаточные напряжения в покрытии, которые имеют сжимающий характер при приварке в твердой фазе и растягивающий характер при приварке в жидкой фазе. Данное утверждение подтверждается и в работах [6; 7]. В свою очередь остаточные напряжения сжимающего характера положительно воздействуют на предел выносливости восстановленных деталей [6; 8].

В целом по экспериментальным исследованиям прочности сцепления присадочных материалов на основе проволок можно сделать следующий **вывод**: приварка присадочных материалов на основе проволок (проволоки и сетки) с точки зрения сохранения предела выносливости (или минимального его снижения) восстановленных деталей более эффективна при приварке в твердой фазе (без образования жидкого ядра), при которой достигаемая прочность сцепления на 30...50 % выше, чем при приварке стальной ленты (при соизмеримых режимах).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин, Р.Н. Электроконтактная приварка порошковых материалов при восстановлении деталей и получении защитных покрытий / Р.Н. Сайфуллин. – Уфа: Изд-во БашГАУ, 2008. – 182 с.
2. Клименко, Ю.В. Электроконтактная наплавка / Ю.В. Клименко. – М.: Металлургия, 1978. – 128 с.
3. Сайфуллин, Р.Н. Повышение эффективности технологии восстановления деталей электроконтактной приваркой порошковых материалов: дис. ... д-ра техн. наук / Р.Н. Сайфуллин. – Уфа, 2010. – 361 с.
4. Нафиков, М.З. Остаточные напряжения в металлопокрытии, нанесенном электроконтактной наплавкой / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, А.Г. Игнатъев // Технология металлов. – 2008. – № 9. – С. 29 – 33.
5. Фархшатов, М.Н. Определение остаточных напряжений покрытий, нанесенных электроконтактной приваркой ленты из коррозионностойких сталей / М.Н. Фархшатов // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2006. – № 9. – С. 343 – 349.
6. Нафиков, М.З. Обоснование технологических процессов и разработка технических средств восстановления автотракторных деталей электроконтактной приваркой: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М.З. Нафиков. – Саранск, 2010.
7. Игнатъев, А.Г. Диагностирование поверхностных остаточных напряжений в металлических покрытиях, нанесенных при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.Г. Игнатъев. – Челябинск, 2008.
8. Дубровский, В.А. Создание технологий и оборудования электроконтактной наварки проволокой оплавлением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Дубровский. – Калуга, 2006.

Поступила 21.01.2013

ESTIMATION OF COHESIVE STRENGTH, OBTAINED BY ELECTROCONTACT WELDING OF NETTING DEPENDING ON WELDING MODES

R. SAYFULLIN, A. PAVLOV

The evaluation of cohesive strength of coverings, obtained by electrocontact welding of netting depending on welding modes is demonstrated. Advantages and disadvantages of the existing and offered additive materials, methodology and results of testing for coupling of durability of the coverings received by these materials are shown. Welding of additive materials on the basis of wires (a wire and a netting) is more effective at welding at solid stage (without formation of a liquid core), at which the cohesive strength is higher than at welding of steel belt (at commensurable modes) from the point of view of saving the endurance limit (or its minimal decrease).