

УДК 621.791.92

## КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ КОМПАКТНЫХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

канд. техн. наук Р.А. ЛАТЫПОВ

(Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта  
и эксплуатации машинно-тракторного парка, Москва)

*Показана возможность управления качеством формируемого покрытия и соединения его с основным металлом при восстановлении или упрочнении деталей электроконтактной приваркой компактных (металлическая лента или проволока) и порошковых материалов, а также их композиций.*

Повышение качества и надежности восстановленных деталей, особенно деталей, работающих в условиях знакопеременных циклических или ударных нагрузок, различного вида изнашивания (например, абразивного, адгезионного, коррозионного и т.п.), всегда было актуальной задачей. Одним из перспективных путей решения такой задачи является создание на рабочей поверхности детали покрытия с повышенной твердостью, коррозионной и износостойкостью в совокупности с достижением (сохранением) высокой пластичности и вязкости зоны соединения покрытия с основным металлом.

Одним из эффективных способов восстановления деталей является электроконтактная приварка (ЭКП), позволяющая наносить на изношенные поверхности деталей покрытия из компактных (металлическая лента или проволока) и порошковых материалов, а также их композиций.

Выбранный подход к объяснению механизма образования соединения при ЭКП с позиций современных представлений о формировании соединения в твердой фазе позволил обосновать и предложить методические предпосылки управления качеством получаемого покрытия и соединения его с деталью, заключающиеся в получении необходимой структуры в зоне их соединения с помощью контроля величины деформации, шероховатости поверхности детали, скорости охлаждения, применения защитной среды, промежуточных слоев и т.п.

Оценку качества соединения покрытия с деталью, качества самого покрытия и восстановленной детали осуществляли с помощью стандартных или специально разработанных методик (прочностных испытаний на срез и на сопротивление ударному срезу, металлографических исследований, усталостных испытаний, коррозионных испытаний, микрорентгеноспектрального анализа, испытаний на ударную вязкость, определения остаточных напряжений в покрытии, испытаний микротвердости и износостойкости), а также методики и алгоритма расчета с помощью персонального компьютера типа Pentium поля температур, скоростей охлаждения и структуры в зоне соединения при ЭКП.

Показано, что разработанные алгоритм и программа позволяют рассчитывать и прогнозировать распределение температуры, скорости охлаждения и структурных составляющих (рис. 1, а, б) в зоне термического влияния при восстановлении и упрочнении цилиндрических деталей ЭКП. Расчетным путем определены значения коэффициента полной поверхностной теплоотдачи, мощности и коэффициента сосредоточенности источника, которые обеспечивают удовлетворительное, приблизительно на 88..96 %, совпадение результатов прогнозируемого и экспериментального распределения микротвердости в зоне термического влияния и, следовательно, структурных составляющих этой зоны. При этом расчет распределения удельного теплового потока и распределение температуры в радиальном сечении детали, скоростей охлаждения и структуры проводили по схеме «расщепленного» источника теплоты, составленного как минимум из пяти нормально-круговых источников, распределенных по образующей цилиндра в соответствии с уравнением [1]:

$$\sum T = \frac{2q}{vrc\rho} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^5 \Phi_n(r_m, t_n) \frac{e^{\frac{-x_m^2}{4at_n} - bt_n}}{\sqrt{4\pi at_n}},$$

где  $R$  – наружный радиус цилиндра;  $r$  – текущее значение радиуса;  $q$  – мощность источника;  $v$  – скорость сварки;  $c\rho$  – объемная теплоемкость;  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $t$  – время, прошедшее с момента выделения теплоты;  $b = \frac{2\alpha}{c\rho R}$ ;  $\Phi(r, t)$  – функция выравнивания температуры.

Показано также, что управлять качеством (пластичностью и вязкостью) соединения покрытия с деталью при ЭКП компактного материала (металлической проволоки или ленты) можно в результате его предварительного деформирования в холодном состоянии при использовании защитной атмосферы (например, аргона, созданием на поверхности детали перед ЭКП микрорельефа с заданной высотой), при

использовании промежуточного слоя из порошкового материала, располагаемого между соединяемыми поверхностями расходом охлаждающей воды.

Установлено, что при ЭКП металлической ленты или проволоки получение пластичной и вязкой зоны соединения покрытия с основой приводит к повышению сопротивления ударному изгибу и усталостной прочности восстановленных или упрочненных деталей. Повышение пластичности и вязкости зоны соединения в этом случае связано с образованием общих зерен при протекании процессов рекристаллизации в зоне соединения, реализации которой, в частности, можно достигнуть предварительной холодной деформацией одного из соединяемых или обоих материалов перед сваркой.

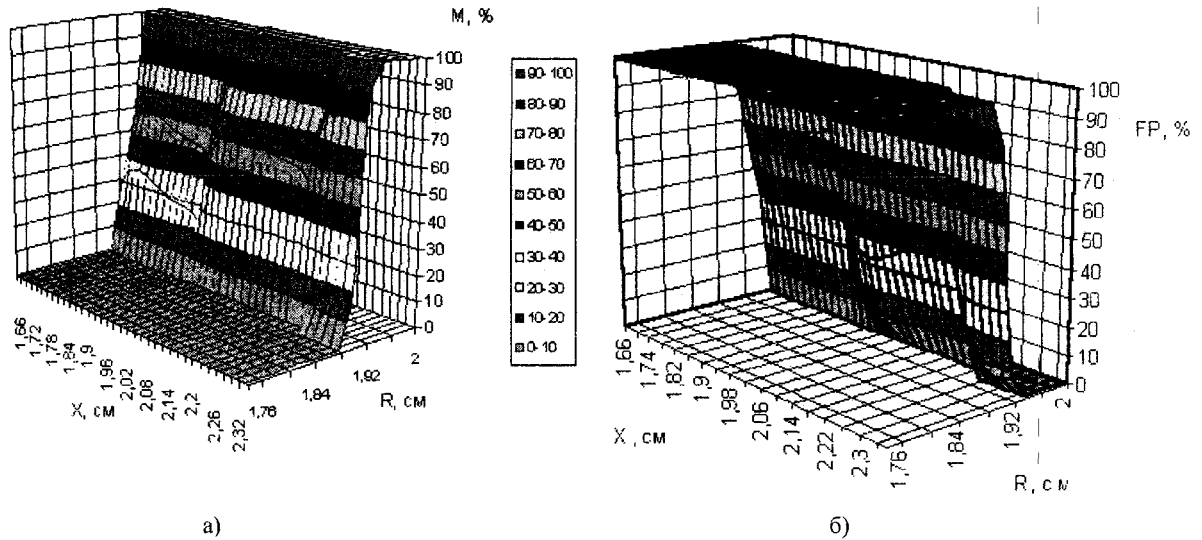


Рис. 1. Распределение мартенситной (а) и феррито-перлитной фазы (б) в зоне соединения покрытия из стали 50ХФА со сталью 45

При проведении экспериментов предварительную деформацию стальной ленты в холодном состоянии осуществляли на величину  $\epsilon_x = 5,0 \dots 65,0$  %. Анализ зоны соединения образцов, полученных ЭКП при  $J = 5,5 \dots 6,5$  кА,  $P = 1,4$  кН,  $t = 0,06$  с, показал, что при  $\epsilon_x = 5,0$  % граница раздела наблюдается по всей длине зоны соединения. С увеличением  $\epsilon_x$  до 20 % граница раздела становится прерывистой, и на отдельных участках просматриваются общие для соединяемых металлов зерна. При  $\epsilon_x = 25$  % граница раздела в зоне соединения не наблюдается. Это свидетельствует о том, что в зоне соединения образовались общие для соединяемых металлов зёрна. Последующее увеличение  $\epsilon_x$  до 40...65 % приводит снова к появлению границы раздела.

Таким образом, на основании металлографических исследований можно заключить, что для повышения пластичности и вязкости зоны соединения, и следовательно повышения эксплуатационных свойств

восстановленных или упрочненных деталей, работающих в условиях знакопеременных циклических или ударных нагрузок, привариваемый металл (например, стальную ленту) перед ЭКП следует предварительно продеформировать в холодном состоянии на величину  $\epsilon_x = 25$  %. На рис. 2 представлены результаты испытаний зоны соединения на сопротивление ударному срезу. Видно, что при ЭКП с предварительным деформированием стальной ленты в холодном состоянии на величину 25...35 % сопротивление ударному срезу  $a_y$  зоны соединения покрытия с основным металлом увеличивается, приблизительно, на 37 %.

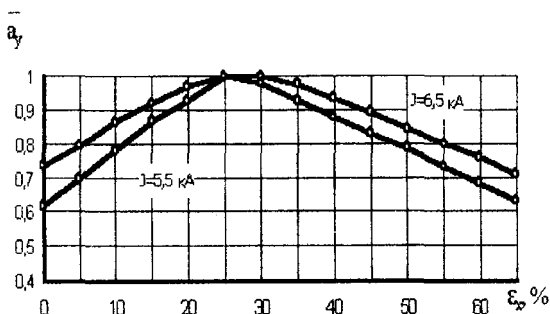


Рис. 2. Зависимость  $a_y$  от величины предварительной деформации стальной ленты в холодном состоянии

среды в технологиях восстановления или упрочнения получать соединения с общими для соединяемых металлов зёрнами, наличие которых приводит к повышению пластичности и вязкости зоны соединения, и в конечном итоге - к повышению сопротивляемости циклическим и ударным нагрузкам восстановленной или упрочненной детали (например, повышение  $a_y$ )

соединения покрытия с основой на 11...22 % при ЭКП трудноокисляемых материалов и на 40...50 % при ЭКП легкоокисляемых металлов (например, титана и его сплавов, рис. 3).

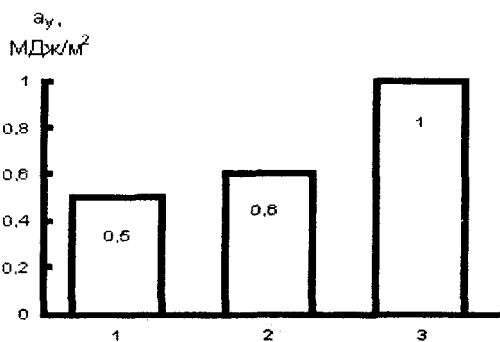


Рис. 3. Влияние защитной среды на сопротивление ударному срезу при электроконтактной приварке сплава ВТ6 к валам из сплава ВТ6:

1 – на воздухе, 2 – в потоке воды, 3 – в аргоне

ней общих для соединяемых металлов зерен, обеспечивающих повышение ее пластичности и вязкости и, следовательно, повышение сопротивления циклическим и ударным нагрузкам.

Исследовано влияние промежуточного слоя, располагаемого между соединяемыми поверхностями при ЭКП, на качество формируемого покрытия и соединения его с основным металлом.

Экспериментально показано, что использование промежуточного слоя из порошкового материала при ЭКП компактных материалов, приблизительно, на 10 % повышает ударную вязкость (рис. 5) образцов в сравнении с образцами, полученными без промежуточного слоя, а циклическая прочность  $s_N$  приблизительно равна  $a_N$  стали 45 в исходном состоянии (рис. 6).

Применение промежуточного слоя позволяет приблизительно в 2,0 раза снизить остаточные напряжения в покрытии, возникающие в нем в результате воздействия термомеханического цикла ЭКП и последующего шлифования в размер.

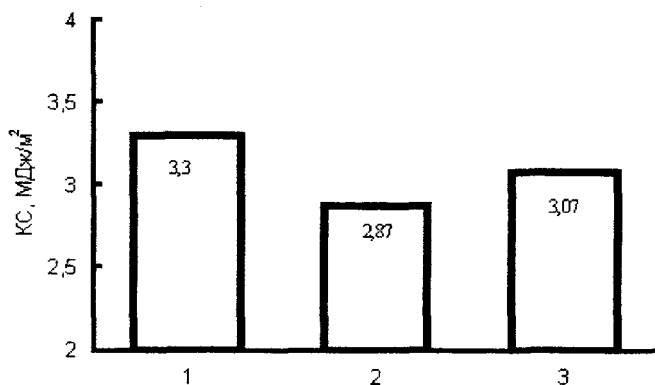


Рис. 5. Влияние электроконтактной приварки на ударную вязкость образцов:

1 - сталь 45 в исходном состоянии; 2 - с покрытием из стали 50ХФА; 3 - с покрытием из стали 50ХФА через промежуточный слой из порошкового материала

Установлено также, что микрорельеф поверхности детали перед ЭКП оказывает влияние на формирование покрытия и прочность соединения его с основным металлом, рис. 4. Показана целесообразность восстанавливаемой или упрочняемой детали перед ЭКП микрорельефа высотой  $h = 0,1...35$  мкм (например, обработка восстанавливаемой или упрочняемой поверхности детали шлифованием, токарной или пескоструйной обработкой). При указанной высоте микрорельефа величина контактного электросопротивления между соединяемыми поверхностями оказывается достаточной для обеспечения такого тепловыделения в зоне контакта, при котором создаются оптимальные условия для деформации соединяемых металлов и развития процесса их взаимодействия. Это обстоятельство позволяет создавать в зоне соединения благоприятные условия для образования в

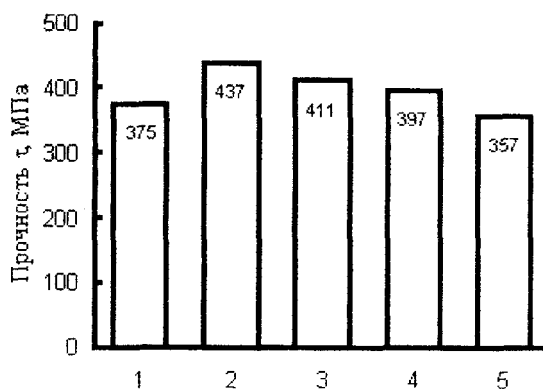


Рис. 4. Влияние подготовки поверхности на прочность соединения покрытие из стали 50ХФА – сталь 45 при  $I = 5,5$  кА;  $P = 1,4$  кВ;  $t = 0,04$  с:

1 – резьба с шагом 0,25 мм; 2 – пескоструйная обработка; 3 – токарная обработка; 4 – шлифование; 5 – резьба с шагом 0,5 мм

Разработан расчётно-экспериментальный метод определения прочности соединения покрытия с деталью и глубины зоны термического влияния (ЗТВ) от величины деформации компактного материала (например, стальной ленты) в процессе ЭКП. Показано, что при оптимальной величине деформации прочность соединения равна прочности основного металла, а глубина ЗТВ не превышает 0,4...0,41 мм.

Отмечено, что величину деформации привариваемого материала легко контролировать как в процессе ЭКП, так и после, что дает основание для разработки активного метода контроля качества получаемого соединения при восстановлении или упрочнении детали.

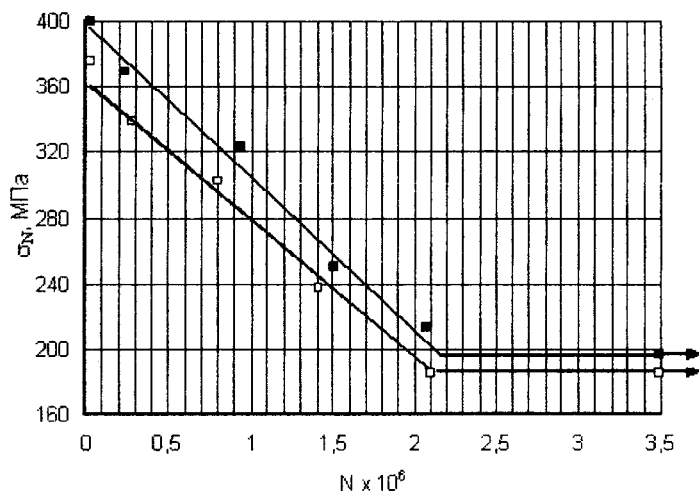


Рис. 6. Результаты испытаний на усталостную прочность:  
 □ – образцы с покрытием из стали 50ХФА, полученные электроконтактной приваркой через промежуточный слой из порошка;  
 ■ – сталь 45 в исходном состоянии

**Закключение.** С учетом полученных результатов разработаны технологические рекомендации восстановления и упрочнения деталей ЭКП компактных и порошковых материалов, позволяющие организовать процесс управления структурой зоны соединения покрытия с основным металлом, зоны термического влияния, а также структурой самого покрытия и, следовательно, качеством восстановленной или упрочненной детали, апробированные в производстве. Себестоимость восстановленных деталей составляет 20...50 % от стоимости новых при сроке окупаемости не более 1,5...2,0 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теория сварочных процессов / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1988.
2. Махненко В.И., Кравцов Т.Г. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров. - Киев: Наукова думка, 1976.