



## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**В. В. АРТЕМЧУК**, канд. техн. наук  
(Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна)

Рассмотрены факторы, влияющие на качество технологического процесса наплавки. Представлены результаты анализа причин, вызывающих появление дефектов и отклонений от требуемых механических свойств. Показано, что одним из важных факторов, влияющих на надежность технологического процесса наплавки, являются его электрические режимы, параметры которых зависят не только от установленных наплавщиком-оператором, но и от качества питающей электрической энергии. Рассмотрено влияние параметров режима на надежность процесса многослойной наплавки.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, детали железнодорожного транспорта, качество наплавки, надежность технологического процесса наплавки, восстановление

Повышение качества технологических процессов изготовления различных деталей — актуальная и важная проблема для всех сфер производства. Отклонения от заданных параметров технологического процесса за пределы допустимого приводят к браку детали. Эта проблема особенно актуальна в ремонтном производстве, где в силу его специфики не всегда удается обеспечить высокое качество восстановленных деталей.

Ремонтное производство включает ряд технологий, одной из которых является непосредственный процесс восстановления деталей. В настоящее время при восстановлении одной из наиболее востребованных является технология наплавки.

Исследованиям процессов наплавки посвящено большое количество работ, во многих из которых проанализированы причины возникновения дефектов и даны рекомендации по их предотвращению [1–7], однако оценке влияния различных составляющих технологического процесса наплавки на качество наплавляемой детали в целом уделяется, на наш взгляд, недостаточное внимание.

Целью настоящей работы является оценка влияния отдельных этапов технологического процесса наплавки на качество наплавляемых деталей подвижного состава железных дорог.

Оптимальный технологический процесс наплавки должен обеспечивать заданные свойства и качество наплавленных слоев, при этом дефекты в них не должны выходить за пределы, допустимые регламентирующей документацией. Главными факторами, влияющими на эти показатели процесса наплавки (рис. 1), являются качество пред-

варительной подготовки наплавочных материалов и наплавляемых поверхностей деталей; химический состав основного и наплавленного металлов; их свариваемость, физико-механические свойства и структура, а также их изменения при наплавке; режимы наплавки; предварительный подогрев и термическая обработка после наплавки; финишная обработка наплавленных деталей.

Рассмотрим более подробно показатели, определяющие качество наплавленных деталей. Наибольший интерес представляют твердость, износостойкость и усталостная прочность. Указанные показатели выбраны из следующих соображений: износостойкость и усталостная прочность главным образом определяют ресурс деталей, а твердость связана с другими механическими свойствами и при этом наиболее легко определяется в промышленных условиях. При оптимальном выборе наплавочных материалов эти показатели должны удовлетворять требованиям технической документации. В противном случае они сразу переходят в разряд недопустимых.

Согласно ГОСТ 30242–97 дефекты сварки разделяют на следующие группы: трещины, поры (полости), несплавления и непровары, твердые включения, нарушение формы шва и др.

Получить идеальный без дефектов наплавленный слой сложно, однако необходимо минимизировать количество и размеры дефектов, а также

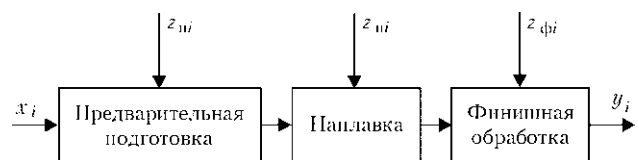


Рис. 1. Структурная схема процесса наплавки ( $x_i$ ,  $y_i$  — соответственно входные и выходные факторы;  $z_{pi}$ ,  $z_{ni}$ ,  $z_{phi}$  — соответственно факторы предварительной подготовки, наплавки и финишной обработки)



Рис. 2. Структурная схема оценки качества и надежности технологического процесса наплавки

выделить допустимые дефекты. Как показывает практика, во многих случаях дефекты появляются вследствие отклонений от установленных режимов процесса наплавки. Для определения качества процесса наплавки систематизируем причины, вызывающие рассмотренные выше дефекты. Согласно [1–6] основными причинами, приводящими к появлению дефектов при наплавке, являются некачественная подготовка материалов и поверхности восстановительной детали; неправильно подобранные сочетания материалов; нарушение технологии наплавки; неправильно выбранные режимы наплавки.

Перечисленные причины появления дефектов главным образом связаны с квалификацией и опытом разработчиков, технологов и наплавщиков.

Электрические режимы наплавки оказывают решающее влияние на структуру и свойства наплавленного слоя, а также появление дефектов. В структурной схеме, представленной на рис. 2, в блоке допустимых дефектов не указаны их размеры, поскольку они для конкретной детали зависят от условий ее эксплуатации и указываются в соответствующей технической документации. Основные причины в обобщенном виде, приводящие к недопустимым дефектам, формулируются так: «неудовлетворительная подготовка поверхности детали», включающая характеристику качества очистки и механической обработки при подготовке поверхности детали под наплавку, «неудовлетворительный предварительный подогрев перед наплавкой» — недостаточный или отсутствие подогрева детали при необходимости данной операции, «отклонение от рациональных режимов наплавки детали» — нарушение режимов по напряжению, току и скорости наплавки, по надежности подачи флюса или защитных газов, по соблюдению шага наплавки, вылету электрода, а также его смещению с зенита (последнее — при автоматической наплавке цилиндрических деталей).

В соответствии с представленной структурной схемой оценки качества технологического процесса наплавки (рис. 2) и выбранной системой соответствующих показателей проведен сбор данных по качеству наплавленных деталей на элек-

тровоэлектромеханическом заводе, в локомотивных депо с объемом текущего ремонта ТРЗ и вагонных депо в течение одного года. Анализ подвергали детали автосцепного устройства, пятникового узла грузовых вагонов, шкворневые узлы, цилиндрические детали типа «вал» тормозной рычажной передачи, рессорного подвешивания и др. В объеме этих наблюдений была создана база данных для последующего статистического анализа.

В математическом плане исследуемый объект описываем набором показателей  $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , информацию о которых представим в виде матрицы экспериментальных значений  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix},$$

где  $M$  — количество строк, соответствующее количеству наблюдений за определенный промежуток времени;  $N$  — количество столбцов, соответствующих количеству показателей;  $x_{ij}$  — значение  $j$ -го показателя в  $i$ -м наблюдении (в дальнейшем считаем, что  $M > N$ ).

Рассмотрим основные моменты первичного анализа данных, поскольку этот этап моделирования существенно влияет на дальнейшую точность оценки качества технологического процесса.

В процессе обработки экспериментальных данных были определены трудности, обусловленные разной размерностью выбранных показателей, отсутствием некоторых данных, наличием подозрительных значений наблюдаемых показателей. Важным моментом анализа является проверка данных на наличие «всплесков» с их последующей обработкой. Цензурирование данных (устранение эффекта выбросов) производится с помощью либо удаления этих точек из данных, либо с помощью применения методов оценки параметров, устойчивых к грубым отклонениям (например, метод наименьших модулей).

В качестве процедур цензурирования используют следующие [8]:



### Распределение причин возникновения дефектов и отклонений в механических свойствах при полуавтоматической наплавке порошковой проволокой в среде углекислого газа

№ п/п	Причины появления дефектов и отклонений в механических свойствах	Доля, %	Коэффициент вариации, %
1	Неудовлетворительная подготовка наплавочных материалов и наплавляемой детали	32	23
2	Неудовлетворительный предварительный подогрев или его отсутствие	6	8
3	Отклонение от режимов охлаждения или термической обработки после наплавки	5	15
4	Отклонение от рациональных режимов наплавки	31	19
5	Некачественная очистка от шлака при многослойной наплавке	8	10
6	Отклонение от рациональных режимов финишной обработки наплавленной детали	18	18

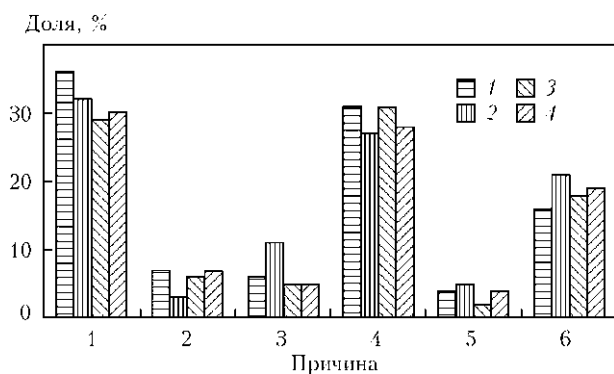


Рис. 3. Распределение причин (1–6 по таблице) появления дефектов и отклонений в механических свойствах в зависимости от способа наплавки: 1 — полуавтоматическая наплавка в среде углекислого газа; 2 — автоматическая наплавка под флюсом; 3 — полуавтоматическая наплавка порошковой проволокой; 4 — ручная дуговая наплавка

визуализацию данных, когда с помощью графического представления информации устанавливаются закономерности, совершенно неочевидные среди множества значений;

анализ некоторых числовых характеристик исследуемых показателей. Например, о наличии выбросов может свидетельствовать сравнение таких величин, как среднее выборочное и мода, если эти характеристики существенно различаются для выбранного признака (поскольку известно, что среднее выборочное чувствительно к всплескам, а модальное значение исследуемого признака характеризуется свойством робастности);

правило «трех  $\sigma$ », если подтверждаются гипотезы о нормальном распределении показателей  $x_i$ :

$$P \{ \varepsilon_i < 3\sigma_i \} = 0,9973,$$

где  $\varepsilon_i = x_i - \bar{x}_i$ ;  $\bar{x}_i$  — среднее выборочное  $x_i$ .

Очевидно, что наиболее простой методикой цензурирования данных является визуализация, однако при большом количестве данных, как в нашем случае, ее применить не представляется возможным. Процедура цензурирования с применением нормального закона также малоэффективна, поскольку требует неоправданных затрат времени, тем более, что рассматриваемые показатели

могут иметь другой закон распределения. Поэтому среди перечисленных методик исключения всплесков наиболее приемлемой оказалась та, которая связана с анализом числовых данных и сравнением среднего выборочного значения с модой по каждому показателю качества.

После выполнения приведенных выше процедур получаем распределение причин появления дефектов и отклонений механических свойств от ожидаемых. В таблице приведено распределение причин возникновения дефектов при полуавтоматической наплавке порошковой проволокой в среде углекислого газа, а на рис. 3 — при основных способах дуговой наплавки.

Как и следовало ожидать, статистический анализ подтвердил, что наиболее стабильное и высокое качество восстановленных деталей обеспечивает автоматическая наплавка под флюсом. Наихудшие показатели по вероятности появления дефектов различного рода имеет ручная дуговая наплавка штучными электродами. Промежуточное положение занимает полуавтоматическая наплавка в защитных газах и открытой дугой самозащитными порошковыми проволоками.

Для всех способов наплавки наиболее существенными показателями, влияющими на ее качество, являются предварительная подготовка наплавляемых деталей и наплавочных материалов, а также режимы наплавки.

Влияние этих факторов находится примерно на одном уровне. Достаточно существенно на качество влияет и механическая обработка наплавляемых деталей. Возможно это связано с тем, что зачастую в депо механическая обработка наплавленных поверхностей производится ручным шлифовальным инструментом.

Для всех способов дуговой наплавки, используемых в железнодорожном ремонтном производстве, указанные причины возникновения дефектов являются доминирующими, хотя и с несколько разными долями влияния. Таким образом, для повышения качества и надежности процесса наплавки именно они подлежат первоочередному рассмотрению и устранению.

**Выводы**

1. Статистический анализ показывает, что более высокие показатели качества восстановленных деталей обеспечивает автоматическая наплавка, затем полуавтоматическая в среде защитных газов и открытой дугой самозащитными проволоками, а более низкие — ручная наплавка штучными электродами.

2. Ранжирование причин, приводящих к появлению дефектов и ухудшению качества наплавленных деталей, показывает, что наиболее существенно на эти показатели влияют некачественная подготовка к наплавке наплаваемых деталей и наплавочных материалов, а также отклонения от режимов наплавки.

1. Фруммин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
2. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: Екотехнологія, 2004. — 160 с.
3. *Машиностроение*. Технология сварки, пайки и резки. Т. 3 / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 2006. — 768 с.
4. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
5. Деев Г. Ф., Пацкевич И. Р. Дефекты сварных швов. — Киев: Наук. думка, 1984. — 208 с.
6. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла / В. М. Власов, Л. М. Нечаев, Н. Б. Фомичева, Е. В. Фомичева // *Соврем. наукоемкие технологии*. — 2004. — № 1. — С. 9–11.
7. Молодых Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин: Справочник. — М.: Машиностроение, 1989. — 480 с.
8. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975. — 848 с.

Factors influencing the quality and reliability of the technological process of surfacing are considered. Results of analysis of the causes leading to appearance of defects and deviations from the required mechanical properties are presented. It is shown that one of the important factors. Influencing reliability of the technological process of surfacing, is its electrical mode, parameters of which depend not only on those established by surfacing operator, but also on the quality of supplied power. Influence of mode parameters on reliability of the process of multilayer surfacing is considered.

Поступила в редакцию 30.03.2012



## **IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»**

24–29 сентября 2012 г.

Украина, г. Запорожье–Алушта

### **Тематика конференции:**

- двигатели аэрокосмических летательных аппаратов и энергетических установок;
- повышение долговечности деталей машин методами поверхностного деформационного упрочнения;
- нетрадиционные методы обработки труднообрабатываемых материалов;
- защитные покрытия для деталей энергетических установок;
- методы ремонта и восстановления деталей;
- методы диагностики, неразрушающего контроля и испытаний ответственных деталей и двигателей летательных аппаратов;
- расчет и прогнозирование ресурса деталей и двигателей летательных аппаратов;
- экспертиза разрушений элементов конструкций;
- методы исследования характеристик поверхностного слоя.

**Контакты: тел.: (061) 769-82-69; тел. моб.: (067) 261-96-50**

**E-mail: nat76sah@rambler.ru**

**Skupe: nata76sah**