

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В работе рассмотрены факторы, влияющие на качество и надежность технологического процесса наплавки. Представлены результаты анализа причин, вызывающих появление дефектов и отклонения от заданных механических свойств. Показано, что одним из важных факторов, влияющим на надежность технологического процесса наплавки, являются электрические режимы, параметры которых зависят не только от установленных наплавщиком - оператором, но и от качества питающей электрической энергии. Рассмотрено влияние параметров на надежность процесса при многослойной наплавке.

Ключевые слова: дуговая наплавка, качество наплавки, надежность технологического процесса наплавки, восстановление деталей железнодорожного транспорта.

Повышение качества и надежности технологических процессов изготовления различных деталей является актуальной и важной проблемой для всех сфер производства. Отклонения от заданных параметров технологического процесса за пределы допустимого приводит к браку детали. Особенно актуальна эта проблема в ремонтном производстве, в котором, в силу его специфики, не всегда удается обеспечить высокое качество восстановленных деталей.

Ремонтное производство складывается из многих составляющих, одной из которых является непосредственное восстановление деталей. В настоящее время в этом производстве одной из наиболее распространенных технологий является наплавка.

Исследованием процессов наплавки посвящено большое количество работ. Во многих работах проведен анализ причин возникновения дефектов и даны рекомендации по их предотвращению [1-7], однако оценке влияния различных составляющих технологического процесса наплавки на качество наплавленной детали в целом уделяется, на наш взгляд, недостаточное внимание.

Цель данной работы заключается в оценке влияния отдельных этапов технологического процесса наплавки на качество наплавленных деталей. В качестве примера рассматривается качество и надежность восстановленных с помощью дуговой наплавки 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 по технической документации. Главными факторами, влияющими на эти показатели процесса наплавки, являются качество предварительной подготовки наплавочных материалов и наплаваемых поверхностей деталей; химический состав основного и наплавленного металлов; их свариваемость, физико-механические свойства и структура, а также их изменение при наплавке; режимы наплавки; предварительный подогрев и термическая обработка после наплавки; финишная обработка наплавленных деталей. Упрощенная структурная схема технологического процесса наплавки представлена на рис. 1.

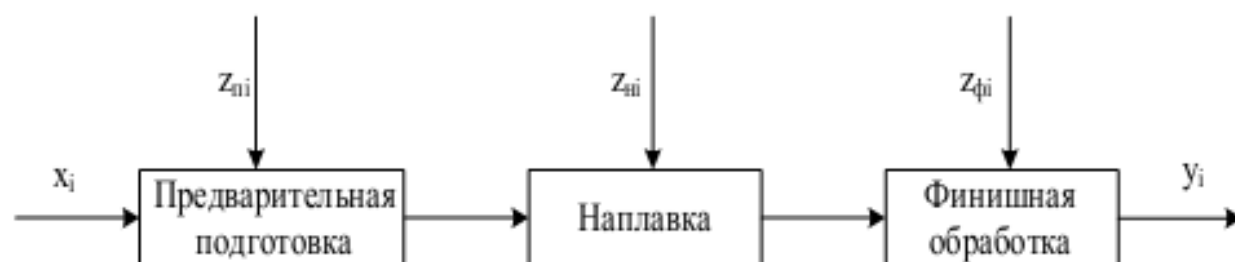


Рис. 1. Структурная схема процесса наплавки

x_i - входные факторы, y_i - выходные параметры, z_{pi} - факторы предварительной подготовки, z_{ni} - факторы процесса наплавки, z_{fi} - факторы финишной обработки.

Рассмотрим более подробно факторы, влияющие на качество наплавленных деталей. Среди свойств наплавленных деталей, представляющие наибольший интерес, отметим твердость, износостойкость и усталостную прочность. Указанные свойства 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 том случае, если они не удовлетворяют этим требованиям, то сразу переходят в разряд не допустимых.

Согласно ГОСТ 30242-97 дефекты сварки разделяют на шесть групп: трещины, поры (полости), несплавления и непровары, твердые включения, нарушение формы шва, другие дефекты.

Получить идеальный, без дефектов наплавленный слой сложно, однако необходимо минимизировать количество и размеры дефектов, а также выделить допустимые дефекты. Как показывает практика, во многих случаях дефекты появляются вследствие отклонений от установленных режимов процесса наплавки. Для определения качества и надежности 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 на появление дефектов. Структурная схема оценки качества и надежности технологического процесса наплавки с учетом основных причин, вызывающих дефекты и отклонения от заданных свойств представлена на рис. 3.



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

Сделаем некоторые пояснения к структурной схеме (рис. 2). В блоке допустимых дефектов не указаны их размеры, поскольку эти показатели для конкретной детали зависят от условий ее эксплуатации и указываются в соответствующей технической документации. Основные причины, приводящие к недопустимым дефектам, имеют такие обобщения. «Неудовлетворительная подготовка поверхности детали» включает 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; соблюдение шага наплавки, вылета электрода, а также его смещения с зенита (последнее - при автоматической наплавке цилиндрических деталей).

В соответствии с представленной структурной схемой оценки качества и надежности технологического процесса наплавки (рис. 2) и выбранной системы соответствующих показателей был проведен сбор данных по качеству наплавленных деталей на электровозоремонтном заводе, в локомотивных депо с объемом текущего ремонта ТРЗ и вагонных депо в течение одного года. Анализировали детали автосцепного устройства, пятникового узла грузовых вагонов, шкворневые узлы, цилиндрические детали типа «вал» тормозной рычажной передачи, рессорного подвешивания и др. На базе этих наблюдений была создана база данных для последующего статистического анализа.

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

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

где M - число строк, соответствующее числу наблюдений за определенный промежуток времени; N - количество столбцов, соответствующих числу показателей; x_{ij} - значение j -го показателя в i -м наблюдении. В дальнейшем будем считать, что $M > N$.

Кратко остановимся на основных моментах первичного анализа данных, поскольку этот этап моделирования существенно влияет на дальнейшую точность оценки качества и надежности технологического процесса.

В процессе обработки экспериментальных данных были определенные трудности, связанные с 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 либо с помощью удаления этих точек из данных, либо с помощью применения методов оценивания параметров, устойчивых к грубым отклонениям (например, метод наименьших модулей).

В качестве процедур цензурирования используют следующие [8]:

1. Визуализация данных, когда с помощью графического представления информации оказываются закономерности, совершенно неочевидные среди множества числовых значений;
2. Анализ некоторых числовых характеристик исследуемых показателей. Например, о наличии выбросов можно говорить при сравнении 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 обладает свойством робастности);
3. Если подтверждаются гипотезы о нормальном распределении показателей x_i , то при цензурировании данных может применяться правило «трех σ »:

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

где $\varepsilon_i = x_i - \overline{X_j}$, $\overline{X_j}$ - среднее выборочное x_i .

Очевидно, что наиболее простой методикой цензурирования данных является визуализация, однако при большом количестве данных, как в нашем случае, данную методику применить не представляется возможным. Процедура цензурирования с применением нормального закона также малоэффективна, поскольку требует неоправданных затрат времени, тем более, рассматриваемые показатели могут иметь другой закон распределения. Поэтому среди перечисленных методик исключения всплесков наиболее приемлемой оказалась та, что связана с

анализом числовых данных и сравнением среднего выборочного значения с модой по каждому показателю качества.

Выполнив приведенные выше процедуры, получили распределение причин появления дефектов и отклонений механических свойств от ожидаемых. В таблице приведено распределение причин возникновения дефектов для полуавтоматической наплавки в среде углекислого газа порошковой проволокой, а на рис. 3 – для основных способов дуговой наплавки.

Таблица.

Распределение причин возникновения дефектов и отклонений механических свойств для полуавтоматической наплавки порошковой проволокой в среде углекислого газа

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

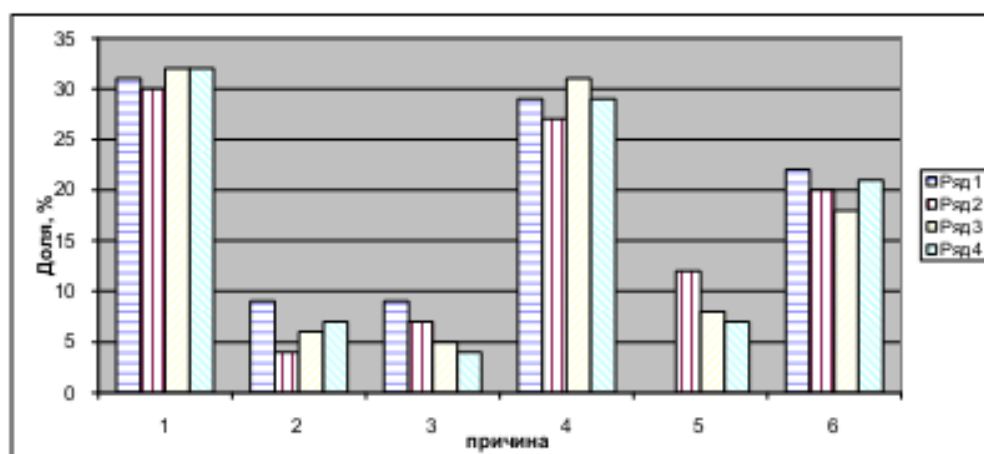


Рис. 3 Распределение причин появления дефектов и отклонений механических свойств: ряд 1 - полуавтоматическая наплавка в среде углекислого газа; ряд 2 - автоматическая под слоем флюса; ряд 3 - полуавтоматическая наплавка порошковыми проволоками; ряд 4 - ручная наплавка. Номер причины см. таблицу.

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 качество наплавки, являются предварительная подготовка наплавляемых деталей и наплавочных материалов и режимы наплавки. Их влияние находится примерно на одном уровне. Достаточно существенно влияет на качество и механическая обработка наплавленных деталей. Возможно, это связано с тем, что зачастую в депо механическая обработка наплавленных поверхностей производится ручным шлифовальным инструментом.

Важно также тот факт, что для всех способов дуговой наплавки, которые используются в железнодорожном ремонтном производстве, указанные причины появления дефектов являются доминирующими, хотя и с несколько разными долями. Таким образом, для повышения качества и надежности процесса наплавки именно они подлежат первоочередному рассмотрению и устранению.

Выводы.

1. Статистический анализ показывает, что лучшие показатели качества восстановленных деталей обеспечивает автоматическая наплавка, затем следует полуавтоматическая в среде защитных газов и открытой дугой самозащитными проволоками. Наихудшие показатели качества были у ручной наплавки 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 наплавляемых деталей и наплавочных материалов, а также отклонения от режимов наплавки.

Литература.

1. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков: Metallurgizdat, 1961. – 421 с.
2. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. - Киев: Экотехнология, 2004. - 160 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сварки, пайки и резки. Т. III-4. Под редакцией 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. Власов В.М., Нечаев Л.М., Фомичева Н.Б., Фомичева Е.В. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла //Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 1 – С. 9-11 URL.
7. Молодык 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.