

Методика проведения экспериментальных исследований остаточных напряжений при ЭКНПО

77-48211/459785

Инженерный вестник # 07, июль 2012

Зыбин И. Н.

УДК 621.791

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

igor.zybin@mail.ru

Одной из перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления деталей машин различного назначения (сельскохозяйственной техники, городского и железнодорожного транспорта, технологического оборудования и т.д.) для незначительных объемов производства, характерных для единичного и мелкосерийного типов, является электроконтактная наварка проволокой оплавлением (ЭКНПО) [1-3].

Опыт восстановления ЭКНПО деталей вращения на НПП “Велд” (г. Калуга) показал, что часто восстанавливаемые детали являются тонкостенными деталями вращения. К тонкостенным деталям, как правило, относятся детали, у которых $R \geq 3h$ [4], где R - средний радиус детали в поперечном сечении, h – толщина стенки.

Анализ номенклатуры тонкостенных деталей вращения, восстанавливаемых ЭКНПО на НПП “Велд”, показал, что большинство деталей имеют длину навариваемой поверхности в диапазоне 50...250 мм, наружный диаметр поверхности 50...100 мм, толщину стенки детали, находящуюся обычно в диапазоне 4...8 мм. Величина износа таких поверхностей обычно находится в диапазоне 0,1...1 мм.

В качестве примера на рисунке представлен червяк зубошлифовального станка, восстанавливаемый ЭКНПО и относящийся к тонкостенным деталям. Наварка осуществляется двух поверхностей: в области шлицев и у противоположного торца детали. Длина навариваемых поверхностей 100 мм, толщина стенки детали в зоне наварки 8 мм, наружный диаметр поверхностей 60 мм. Величина износа восстанавливаемых поверхностей может достигать 1 мм.



В результате наварки таких деталей возможна их деформация, что связано с наличием остаточных напряжений в детали после восстановления вследствие термомеханического воздействия на деталь в процессе наварки. Также недостаточно данных о характере влияния остаточных напряжений на эксплуатационные свойства деталей, например, на усталостную прочность.

Предварительно был проведен эксперимент по наварке цилиндрических образцов из стали 45 диаметром 50 мм, толщиной стенки 4 мм и длиной 120 мм для образцов первой серии и 180 мм для образцов второй серии. Длина наварки для первой серии образцов составляла 60 мм, а для второй серии – 120 мм. Каждая серия состояла из трех образцов. В качестве присадочного материала применялась сварочная проволока из стали 65Г диаметром 2 мм. Режим наварки выбирался из условия получения прочности соединения металлов соответствующей прочности одному из соединяемых металлов при отсутствии дефектов в наваренном слое.

Результаты проведенного эксперимента показали, что для первой серии длина образцов сократилась на 0,25...0,3 мм, а для второй серии – на 2...2,1 мм. При этом в разных продольных сечениях образцов эти значения отличались между собой. Различные значения укорочения образцов в разных продольных сечениях образцов свидетельствуют о возможном изгибе. Уменьшение диаметра внутренней поверхности для двух серий составила 0,15...0,2 мм. Причем внутренняя поверхность образцов характеризуется эллипсностью в поперечном сечении и конусностью в продольном сечении.

Поэтому актуальным представляется определение остаточных напряжений в тонкостенных деталях вращения после наварки с целью разработки технологических мероприятий, направленных на регулирование этими напряжениями для предотвращения деформаций восстанавливаемых деталей.

Известно, что более достоверные результаты при проведении различных исследований могут быть получены экспериментальными путем. Поэтому для определения остаточных напряжений выбраны экспериментальные исследования с использованием метода Закса, широко распространенного для определения остаточных напряжений в различных сварных изделиях и конструкциях.

Для проведения данных исследований после наварки детали согласно методу Закса вырезается цилиндрический образец определенной длины. Далее выполняется последовательное снятие слоев наваренного металла с измерением окружной и осевой деформации на внутренней поверхности образца. Снятие слоев наваренного металла целесообразно выполнять травлением, чтобы не вносить дополнительные напряжения в поверхностный слой детали. При этом выполняются измерения не всей длины образца, а его центральной части, исключая участки длиной не менее R_2 (где R_2 – наружный диаметр образца) с каждого торца образца, согласно известному принципу Сен-Венана вследствие того, что на торцах образца осевые напряжения обращаются в ноль.

Измерения окружной и осевой деформации на внутренней поверхности образца необходимо выполнять с высокой точностью. Ранее для этих целей широко применялись тензорезистивные преобразователи. В настоящее время за рубежом все более интенсивно разрабатываются и находят применение измерительные приборы, системы и машины; кругломеры и т.д. для контроля различных параметров (например, изменение диаметра внутренней поверхности детали, отклонение от круглости, цилиндричности и др.) деталей вращения типа “втулка”. Точность измерения таких приборов достигает 1 мкм. Использование данных приборов позволяет непосредственно определять координаты различных точек поверхности детали (обычно щупом) прямым методом, что дает возможность строить трехмерную модель детали после каждого измерения и более тщательно анализировать формоизменение детали.

Сочетание современных измерительных приборов, примененных для контроля осевой и окружной деформаций (или перемещений) детали с методом Закса для ЭКНПО тонкостенных деталей вращения позволяет определять остаточные напряжения по толщине наваренного металла.

Основными факторами для экспериментального исследования остаточных напряжений являются наружный диаметр детали, длина наварки и толщина стенки детали. Материал деталей Сталь 45, присадочная проволока из стали 65Г диаметром 2 мм. Режим наварки и расход воды в зону наварки приняты постоянными.

Для получения зависимостей окружной и осевой деформации (или перемещения) детали от параметров процесса рассматривается метод планирования эксперимента, позволяющий получить достоверные результаты и одновременно сократить объем проводимых опытов. Предварительно неизвестно о характере зависимостей окружной и осевой деформации (или перемещения) детали от наружного диаметра детали, толщины стенки детали, длины навариваемого участка поверхности. Поэтому для описания указанных зависимостей принят полином второго порядка, описывающий нелинейную зависимость функции отклика от факторов процесса.

Для построения математических моделей используется некомпозиционный план второго порядка.

Некомпозиционный план представляет собой выборки строк из матрицы планирования полного факторного эксперимента 3^3 . Использование данного плана упрощает и удешевляет проведение эксперимента, поскольку план предусматривает использование трех уровней факторов, а не пяти, как это имеет место при центральном композиционном планировании (для трех и более факторов), обеспечивающим получение нелинейной модели описываемого процесса. Строки матрицы планирования некомпозиционного плана характеризуются наличием большого числа нулей, что существенно упрощает вычисление коэффициентов модели. При этом по сравнению с соответствующим рототабельным центральным композиционным планом второго порядка этот план требует постановки меньшего числа опытов (15 вместо 27) [5].

Согласно этому плану получению нелинейной зависимости функции отклика y (перемещение точек на внутренней поверхности образца) от факторов (x_1 - наружный диаметр образца, x_2 - толщина стенки образца, x_3 - длина наварки) отвечает эксперимент, проведенный по трехфакторному плану на трех уровнях, которые представлены в таблице.

Уровни факторов при проведении эксперимента

Уровень	x_1 , мм	x_2 , мм	x_3 , мм
Верхний (+1)	100	8	200
Основной (0)	75	6	125
Нижний (-1)	50	4	50

Для повышения результатов измерений партия состояла из трех образцов. При этом наварка каждой партии образцов производилась в одинаковых условиях.

Математическая модель зависимости осадки проволоки от параметров процесса имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2;$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ - неизвестные коэффициенты.

Значения отклика при решении различных технологических задач чаще всего подчиняются нормальному закону распределения, который используется в тех случаях, когда случайная переменная обуславливается действием независимых или слабозависимых факторов, среди которых отсутствуют доминирующие. Поскольку априори о доминирующем характере рассматриваемых факторов неизвестно, то при проведении эксперимента для случайной величины отклика целесообразно принять нормальный закон распределения ее значений. Перед обработкой эксперимента предварительно следует исключить возможные промахи, а после обработки необходимо определить адекватность математической модели полученным результатам. После получения математической модели рассчитываются осевые, окружные и радиальные напряжения в поверхностном слое детали по известной методике Закса по толщине наваренного металла.

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность определять остаточные напряжения после ЭКНПО, что позволяет в дальнейшем разработать технологические рекомендации и мероприятия, направленные на регулирование остаточными напряжениями для предотвращения деформаций деталей при их восстановлении.

Список литературы

1. Логинов Г.П., Дубровский В.А. Электроконтактная наплавка проволокой – эффективный способ восстановления изношенных деталей машин // Автоматизация и современные технологии. 1998. № 7. С. 10-12.
2. Дубровский В.А., Булычев В.В., Хабаров В.Н. Восстановление деталей путевых машин электроконтактной наплавкой // Путь и путевое хозяйство. 2001. № 2. С. 13-15.
3. Дубровский В.А. Восстановление деталей сельхозмашин двухпроводочной электроконтактной наплавкой // Техника в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С. 38.
4. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.