

## ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

Батрак В. В., Вермейчик А. И., Сазонов М. И., Хвисевич В. М.

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

Данная работа посвящена изучению особенностей плазменного упрочнения деталей из нержавеющей стали на примере лопаток смесительной машины для переработки пищевых продуктов. Для повышения надежности и долговечности деталей и экономии энергетических ресурсов используются различные способы упрочнения металлоизделий. Данная работа посвящена изучению особенностей закалки крупногабаритных стальных изделий сложной конфигурации. Традиционно для их упрочнения используют объемную термозакалку [1]. Как показали исследования и практика, при таком способе упрочнения происходят большие затраты электроэнергии, других ресурсов; кроме того, невозможно произвести закалку с постоянной твердостью, в области кромок деталей возникают значительные напряжения, которые в процессе эксплуатации приводят к возникновению трещин и разрушению детали. Для решения этой проблемы предлагается применить поверхностное плазменное упрочнение при помощи сжатой движущейся плазменной дуги, горящей в среде аргона [2, 3]. Применение такого высококонцентрированного источника нагрева позволяет существенно снизить затраты энергии, осуществлять поверхностную закалку изделия, причем лишь только его изнашиваемых участков, что позволяет реализовать процесс упрочнения на незначительную глубину, исключая закалку его сердцевины и сохраняя тем самым пластичные свойства материала. Для реализации такого процесса был модернизирован плазменный генератор и создана плазменная установка. Исследования проводились на образцах из нержавеющей стали заданной толщины.

Проведены обследования лопаток после длительной работы, которые показали ряд типичных дефектов – поверхностная коррозия металла, затупление, растрескивание и выламывание режущей кромки, отламывание кусков в периферийной зоне.

Путем взвешивания лопатки до и после испытаний установлено, что произошел значительный износ материала (до 10–20% общей массы детали). В соответствии с терминологией [4], тип коррозии – точечно-язвенная, кавитационная с проявлением коррозионного растрескивания. Толщина лопатки в сечениях, наиболее удаленных от оси вращения, уменьшилась из-за большей окружной скорости в этих сечениях детали примерно в два раза, при этом ее поверхность не подверглась деформации и осталась плоской. Кроме того, в зоне примыкания детали к утолщению с посадочным отверстием отмечено появление «шейки». При образовании «шейки» произошло утончение поперечного сечения на глубину приблизительно до 1 мм и ширину 2–3 мм (глубина «шейки» одинакова на верхней и нижней сторонах лопатки). Выход шейки к боковым поверхностям лопатки ориентирован под углом  $\sim 80^\circ$ . В периферийной зоне на нижней плоскости и торцевой поверхности видны зарождающиеся трещины глубиной до 1 мм со сплошной зоной коррозионно-поверхностных дефектов в виде остроугольных канавок, которые сориентированы перпендикулярно торцу и изгибающихся в окружном направлении (ширина дефектов в своей средней части составляет 4–6 мм).

Образование «шейки» одинаковой глубины по всей длине своих прямолинейных участков говорит о пластической текучести материала в случае плоского напряженного состояния.

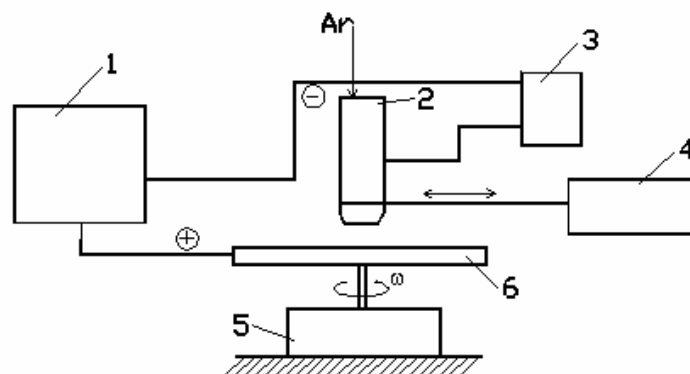
Для повышения износостойкости в процессе трения и повышения сопротивляемости пластическому и хрупкому разрушению в данной работе предлагается применить поверхностную термообработку детали (ПУ), как наиболее полно обес-

печивающая оптимальное сочетание величины вязкости сердцевины детали с высокой поверхностной твердостью. Такое упрочнение реализуется путем локальной закалки при помощи быстро перемещающегося высокоинтенсивного высококонцентрированного источника тепла, а именно – плазменной дуги, генерируемой плазмотроном постоянного тока мощностью 1,0 – 1,4 кВт.

Такое упрочнение деталей характеризуется рядом преимуществ:

- достаточно малой глубиной закалки и всего лишь в местах износа;
- при ПУ твердость поверхностного слоя заметно выше, чем при объемной закалке;
- отсутствие термических деформаций изготавливаемой детали благодаря локальности и кратковременности взаимодействия плазмы с поверхностью металла.

Установка состоит из плазмотрона постоянного тока 2, силового источника 1 питания дуги, устройства ВЧ-поджига дуги 3, системы газоснабжения плазмотрона аргоном и системы водоохлаждения плазмотрона. Для перемещения плазмотрона с заданной скоростью создана система устройств, реализующая плоскопараллельное движение упрочняемой детали относительно плазмотрона (рис.1). Силовой источник обеспечивает горение дуги при напряжении 14-35 В и токах до 32 А, а его напряжение холостого хода - 60 В. При закалке различных деталей источник позволяет изменять ток от 6 А до 32 А.



**Рис.1.** Принципиальная схема установки для поверхностной плазменной закалки.

1 – силовой источник питания; 2 – плазмотрон; 3 – высокочастотный генератор;  
4 – манипулятор; 5 – манипулятор; 6 – упрочняемая деталь.

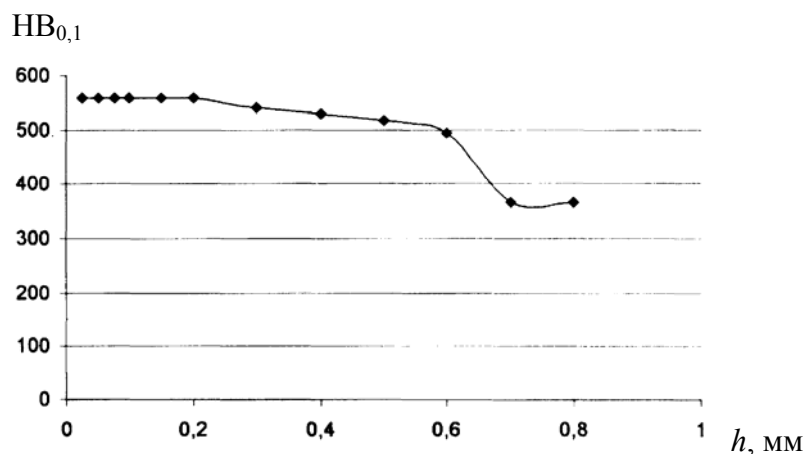
Поджиг дуги производится при помощи высоковольтного ВЧ-генератора 3, который подключен одним полюсом к катоду плазмотрона, другим – к его соплу. Перед запуском плазмотрона устанавливаются заданные расходы рабочего газа – аргона. Кроме того, задается определенная скорость перемещения плазмотрона на основе предварительно проведенных экспериментов по упрочнению на образцах. Затем на плазмотрон подается напряжение от силового источника и включается ВЧ-генератор, который обеспечивает пробой газового зазора между катодом и соплом; в этот момент сопло служит поджигающим электродом. По образовавшемуся искровому каналу развивается дежурная дуга между катодом и соплом, причем ток дуги ограничивается переменным сопротивлением, которое включено в электрическую цепь между соплом и анодом и устанавливается в пределах 4–6 А. Под действием потока аргона через плазмотрон слабощадная дуга выдувается из плазмотрона и замыкается на анод-деталь. Приложенное напряжение к плазмотрону от силового источника обеспечивает горение основной дуги между катодом и анодом, а дежурная дуга автоматически отключается.

Для перемещения плазмотрона относительно закаливаемой детали использован манипулятор с двигателем с магнитным роликом, который приводится во вращательное движение ротором; в свою очередь, ролик катится по торцу модели закаливаемой детали. Кроме того, разработан и изготовлен специальный манипулятор, ко-

торый непосредственно вращает упрочняемую деталь с заданной скоростью, причем угловая скорость детали может изменяться в пределах 0,5–180 об/мин при помощи разработанной электронной системы управления двигателем. Таким образом, на созданной установке могут проводиться исследования с целью разработки основ поверхностной закалки образцов и деталей.

Плазменная закалка производилась при токах дуги  $I = 6\text{--}32$  А и использовании в качестве плазмообразующего газа аргона; в плазмотроне применено обжимающее сопло с диаметром отверстия, равным 1,2 мм. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 4 до 27 мм/с. В результате проведенных экспериментов определены оптимальные параметры упрочнения, а именно: скорость перемещения плазмотрона  $v = 6$  мм/с, причем ток дуги составляет  $I = 26$  А для плоской утолщенной части лопатки, а при закалке острия  $I = 7$  А и  $v = 24$  мм/с. Установлено, что ширина упрочненной плазменной дугой «дорожки» составляет 0,8–1,2 мм.

Исследованы микротвердость поверхностного слоя в зависимости от расхода аргона, тока дуги, скорости перемещения плазмотрона. На рис. 2 представлено типичное распределение микротвердости по глубине.



**Рис.2.** Распределение микротвердости упрочненного слоя по глубине при токе дуги  $I = 16$  А.

Достигнуто увеличение микротвердости до 500–560  $HV_{0,1}$ , причем толщина упрочненного слоя может изменяться в зависимости от скорости упрочнения от 0,1 до 0,7 мм. Экспериментально подтверждена возможность закалки при наложении соседних дорожек друг на друга с расстояниями между их осями, равном 0,4мм; при этом микротвердость составила 532 – 566  $HV$ .

### Список литературы

1. Райцес В.Б. Термическая обработка. – М.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 155 с.
3. Рыкалин Н.Н., Углов А.Л., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Трощенко В.Т. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. - Киев: Наукова думка, 1994.