

## Литература

1. ГОСТ 20017-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу. - М.: Стандарты, 1986. - 4с.
2. ГОСТ 20018-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности. - М.: Стандарты, 1986. - 5с.
3. ГОСТ 24916-81. Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэзитивной силы. - М.: Стандарты, 1981. - 4с.
4. ГОСТ 9391-80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры. - М.: Стандарты, 1985. - 11с.
5. Долговечность шарошечных долот / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э С. Гинзбург и др. - М.: Недра, 1992. - 271 с.
6. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. - Киев: Наук. думка, 1984. - 328 с.
7. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. - М.: Металлургия, 1970. - 376с.
8. Чернявский К. С. Стереология в металловедении. - М.: Металлургия, 1977. - 280 с.

УДК 669.018.21.8

## ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

**Батрак В.В., Даркович С.С., Онысько С.Р., Хвусевич В.М.**

*Брестский государственный технический университет, г. Брест*

*Данная работа посвящена изучению особенностей закалки деталей сложной конфигурации из нержавеющей стали на примере ножа машины для переработки пищевых продуктов. Для упрочнения таких деталей обычно используется объемная термозакалка. Как показали исследования, при таком способе упрочнения произвести закалку с постоянной твердостью не удается, кроме того, в области острия ножа возникают значительные напряжения, которые в процессе эксплуатации приводят к возникновению трещин и разрушению детали.*

*В соответствии с санитарными нормами, для закалки предлагается применить поверхностное плазменное упрочнение при помощи сжатой движущейся плазменной дуги, горящей в среде аргона. Применение такого высококонцентрированного источника нагрева позволяет осуществлять поверхностную закалку изделия, причем лишь только его изнашиваемых участков, исключая закалку его сердцевины и сохраняя тем самым пластичные свойства материала.*

### Введение

В реальных условиях работы детали машин, механизмов подвергаются воздействиям агрессивной среды, механическим усилиям (центробежные силы, силы трения и т.д.). Это особенно характерно для деталей машин, используемых в пищевой промышленности.

Для повышения надежности и долговечности деталей используются различные способы, методы. Анализ литературных источников, проведенные эксперименты позволяют выделить из этих способов поверхностное упрочнение деталей с помощью лазера и плазменной дуги, применение которой позволяет реализовать процесс упрочнения на незначительную глубину.

Кроме того, одним из основных факторов при создании деталей остается проблема снижения их материалоемкости при одновременном повышении эксплуатационных свойств. Это обстоятельство требует постановку и решение различного рода задач механики и в частности механики разрушения, теории пластичности и т.д.

Цель работы состоит в оценке процессов разрушения детали установки для измельчения и переработки сырья и разработке соответствующих методов увеличения надежности и долговечности детали.

## 1. Особенности эксплуатации детали и постановка задачи

Деталь (нож) имеет плоскую серповидную форму толщиной  $t = 8$  мм, изготовленную из нержавеющей стали X50CrMoV15 (см. рис. 1). В процессе изготовления нож подвергался объемной закалке до величины твердости 42 – 48 HRC.

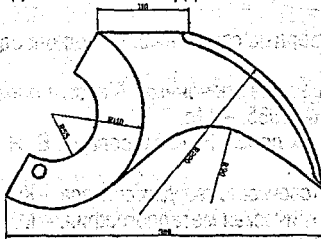


Рис. 1. Эскиз детали

Один цикл нагружения при стационарном режиме  $t = 7$  мин; и с учетом времени перегрузки установки за сутки деталь нагружается  $N = 25 \div 40$  раз. Долговечность ножа – 3 месяца, поэтому разрушение материала является малоцикловым и это свидетельствует о наличии нагрузок большой интенсивности.

Визуальные обследования показали ряд типичных дефектов – поверхностная коррозия металла, затупление, растрескивание и выламывание режущей кромки, разрушение полотна ножа, отламывание кусков в периферийной зоне.

В зоне примыкания ножа к утолщению с посадочным отверстием отмечено появление «шейки».

С помощью лазерного профилометра для изучения характера износа построены профилограммы ножа на различных расстояниях от оси вращения:

Профилограмма показала, что произошел значительный износ материала (порядка 10 – 20% общей массы ножа). В соответствии с терминологией [1] тип коррозии – точечная с проявлением коррозионного растрескивания. Толщина ножа в сечениях, наиболее удаленных от оси вращения, уменьшилась из-за большей окружной скорости в этих сечениях ножа примерно в два раза, при этом его поверхность не подверглась деформации и осталась плоской.

В результате исследований микроструктуры образца нержавеющей стали X50CrMoV15, которая часто применяется для изготовления деталей машин в пищевой промышленности установлено, что образец имеет слоистую структуру (рис 2).

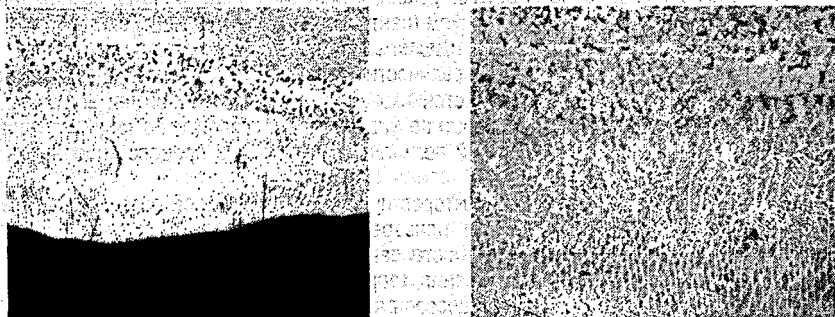


Рис. 2. Микроструктура стали X50CrMoV15

Химический состав образца из нержавеющей стали X50CrMoV15 представлен в таблице 1.

Таблица 1: Химический состав образца из нержавеющей стали X50CrMoV15.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	W	Co	Nb	Ti	Al	B	Fe
0.545	0.265	0.347	<0.0018	<0.0003	17.18	0.165	1.13	0.146	0.053	0.0063	<0.0011	0.0161	0.0071	0.0098	0.0012	80.13

Ввиду слоистости структуры определены механические характеристики образцов вдоль и поперек слоев. Прочность материала вдоль волокон оказалась на 17 + 12% выше прочности материала поперек волокон, что должно быть учтено при производстве ножа. Эксперименты показали, что из-за высоких градиентов напряжений при объемной закалке появляются трещины на глубину до 3,7 мм.

Таким образом, проблема повышения надежности и долговечности детали может быть решена 2-мя путями:

- анализом напряженного состояния с оптимизацией геометрии детали;
- использованием поверхностного упрочнения заготовки с помощью плазменной струи.

Анализируя характер работы установки, имеющихся механических повреждений, можно сделать вывод, что касательные силы инерции не влияют на работоспособность ножа.

## 2. Поверхностное плазменное упрочнение детали.

Как отмечено выше, объемная термозакалка не обеспечивает требуемой прочности ножа. Для повышению износостойкости в процессе трения и повышению сопротивляемости пластическому и хрупкому разрушению в данной работе предлагается применить поверхностную термообработку детали (ПУ), как наиболее полно обеспечивающую 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 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, силового источника питания дуги, устройства ВЧ-поджига дуги, щиток газоснабжения плазмотрона аргоном и азотом, системы водоохлаждения плазмотрона. Для перемещения плазмотрона с заданной скоростью создана система устройств, реализующая плоскопараллельное движение упрочняемой детали относительно плазмотрона.

Силовой источник обеспечивает горение дуги при напряжениях 14-35 В при токах до 30А, а его напряжение холостого хода 60В. При закалке различных деталей источник позволяет изменять ток от 15А до 32А. Напряжение дуги измеряется вольтметром типа М42100, а ток - амперметром типа М42100.

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 который, непосредственно вращает упрочняемую деталь с заданной скоростью, причем угловая скорость детали может изменяться в пределах 0.5 – 180 об/мин при помощи разработанной элек-

тронной системы управления двигателем. Таким образом, на созданной установке могут проводиться исследования с целью разработки основ поверхностной закалки образцов и деталей.

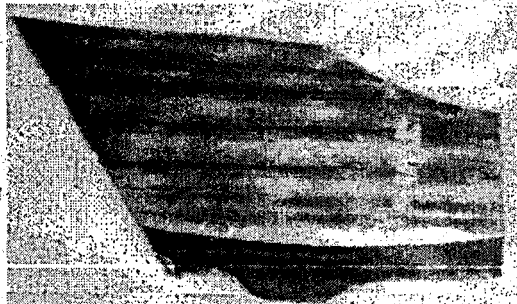


Рис. 3. Закаливаемый образец

Плазменная закалка производилась при токах дуги  $I = 6 - 32$  А и использовании в качестве плазмообразующего газа аргона, а в плазмотроне применено обжимающее сопло с диаметром отверстия, равном 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 ножа, а при закалке острия ножа  $I = 7$  А и  $v = 24$  мм/с. Типичное распределение микротвердости поверхностного X50CrMoV15 слоя стали по ширине «дорожки» приведено на рис. 4.

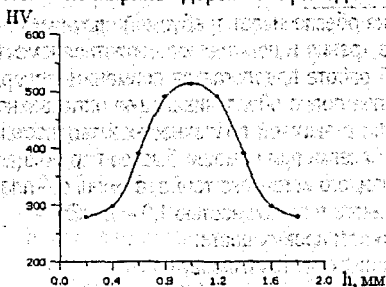


Рис. 4. Распределение микротвердости закаленного слоя стали X50CrMoV15 по ширине дорожки

Исследованы микротвердость поверхностного слоя в зависимости от расхода аргона, тока дуги, скорости перемещения плазмотрона. На рис.5 представлено типичное распределение микротвердости по глубине.

HB<sub>0,1</sub>

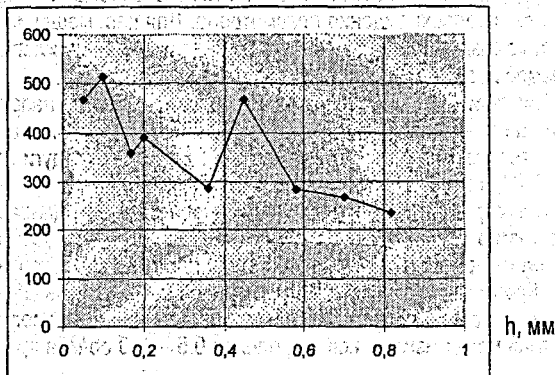


Рис.5. Распределение микротвердости упрочненного слоя по глубине при токе дуги  $I = 16$  А

Достигнуто увеличение микротвердости до 500-560 НВ0,1, причём толщина упрочненного слоя может изменяться в зависимости от скорости упрочнения от 0,5 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 НВ. Упрочненные таким способом ножи установлены на длительные испытания.

### 3. Выводы и предложения

Анализ напряженно-деформированного состояния детали, оценка ее характеристик при локальном плазменном упрочнении позволяют заключить:

- форма детали в плане не является рациональной при действующих нагрузках;
- существующая заточка детали увеличивает давление на кромку, возникающее трением и износ материала;
- при существующей схеме работы установки возникает пиковое значение моментной нагрузки в начальный период работы;
- технологический процесс объемной закалки приводит к растрескиванию материала, что с учетом коррозии значительно снижает долговечность детали;
- поверхностное упрочнение образцов из стали X50CrMoV15 при помощи плазменной струи увеличивает твердость материала до 540HV, при этом не наблюдается растрескивание материала.

Для обеспечения надежности детали, повышения ресурса ее работы необходимо:

- изменить в плане форму детали, выполнив ее более широкой путём добавления материала со стороны стекания потока. Такое решение позволяет снизить напряженность периферийной зоны, где имеет место разрушение детали на части (это относится и к корневой зоне детали);
- придать детали меньшую серповидность, т.к. она существенно не влияет на характер измельчения материала, а только увеличивает нагрузку на двигатель за счет поверхностных сил трения;
- изменить заточку детали так, чтобы скос кромки начинался с верхней плоскости детали;
- дополнительно установить крестообразно два укороченных ножа, расположив их на оси вала выше места расположения существующих ножей приблизительно на 1/3 высоты емкости. Это уменьшит пиковое значение моментной нагрузки за счет увеличения периода разгона электродвигателя (максимальные усилия развиваются после некоторого уплотнения сырья – выборки пустот);
- провести поверхностное упрочнение детали с помощью плазменной дуги при токах  $I=7-26$  А и скоростью движения источника  $v = 7-12$  мм/с.

### Литература

1. Трощенко В.Т. (1994) Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Киев: «Наукова думка».
2. Качанов Л.М. (1969) Основы теории упругости. Москва: «Наука».
3. Спиридонов Н.В., Кобяков В.С. (1988). Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. Минск: «Высшая школа».
4. Рыкалин Н.Н., Кулагин И.Д., Николаев А.В. Тепловые характеристики взаимодействия плазменной струи с нагреваемым телом. / Автоматическая сварка -1963г. – N6- С3-13.