

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НОЖЕЙ КУТТЕРА

Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Веремейчик А.И., Дорофеев П.Е.

Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

Серповидные ножи-измельчители установки для измельчения продуктов (куттера) (рис. 1, а), изготовленные из хромистой жаропрочной нержавеющей стали 14X17Н2 (ГОСТ 5632–2014), упрочнялись объемной закалкой, в результате твердость детали достигала 42–48 HRC.

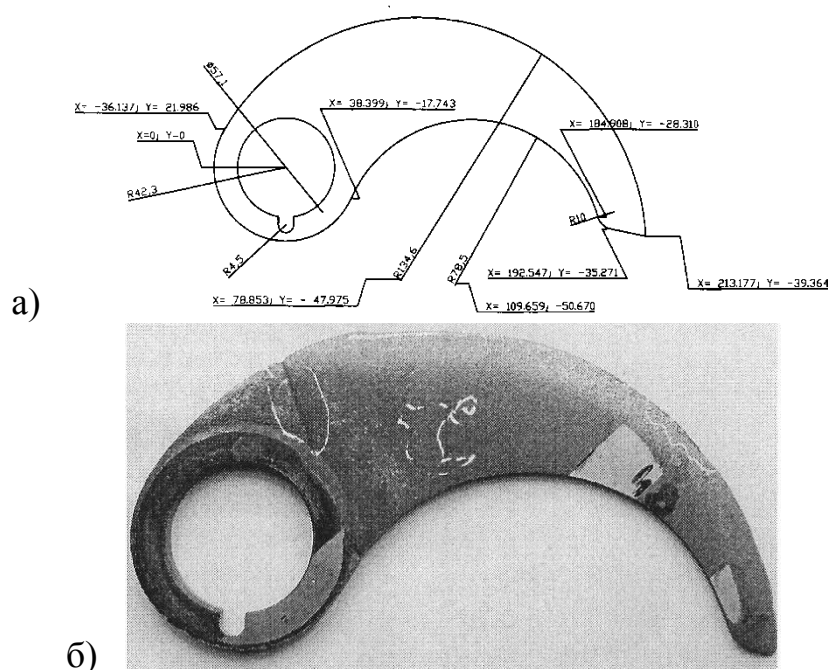


Рисунок 1 – Нож-измельчитель: а) схема с координатами характерных точек, б) вид упрочненного после эксплуатации объемной закалкой

Нож толщиной 8 мм имеет плоскую серпообразную форму. В установке одновременно используются два ножа, установленные в горизонтальном положении на вращающемся валу емкости, в которую загружается сырье для измельчения общей массой до 70 кг. Режущая кромка детали, заточенная под углом 21° , обращена вниз. В емкость подается пар с температурой $T=150^\circ\text{C}$, после размельчения и расплавления сырья часть его остается под поверхностью детали. Ведущий вал вращается с высокой скоростью, совершая $n=740\text{--}1480$ об/мин. Один цикл нагружения при стационарном режиме составляет 7 мин; а с учетом времени перезагрузки установки за сутки нож нагружается до 40 раз.

В процессе эксплуатации ножи подвергались кавитационному и коррозионно-механическому изнашиванию и имели короткий срок использования. Визуальные обследования показали ряд типичных дефектов – поверхностная корро-

зия металла, нарушение формы режущей кромки путём её смятия, растрескивание и выламывание режущей кромки, разрушение полотна детали, отламывание кусков в периферийной зоне (рис. 1, б). Для повышения надежности и долговечности ножей предложено использование поверхностного плазменного азотирования (ППА) при помощи движущегося высокоинтенсивного источника нагрева для создания упрочненного поверхностного слоя ножей с высокой твердостью и износостойкостью [1].

Для определения оптимальных режимов процесса поверхностного плазменного азотирования проведены теоретические исследования температурных полей, напряжений и деформаций в ноже, выполненные с применением программного комплекса ANSYS. В ходе численного эксперимента разработана 3D модель ножа [1]. При решении температурной задачи использовался термический конечный элемент SOLID70 (Brick 8node), при исследовании НДС – восьмиузловой конечный элемент SOLID185 (Brick 8node). Модель разбивалась на 53572 конечных элемента. В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам дискретной модели последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде конвекции. Во избежание оплавления максимальная температура на поверхности ножа должна быть на 3...5 % меньше температуры плавления стали. Конвекция задавалась на всех поверхностях модели, т.к. температура плазменной струи в центре составляет около $T_0=6000$ °С. Так как тепловой поток плазменной струи распределяется по ширине пятна нагрева по закону, близкому к кривой вероятности Гаусса, то на нагреваемой поверхности коэффициент конвекции задавался различным по ширине пятна нагрева в соответствии с законом нормального распределения [2]. Зависимости температуры и коэффициента конвекции от координат и времени задавались в виде:

$$T(x, y, t) = \frac{T_0}{10^{-3} \left[\left(R \cdot \cos\left(\frac{v}{R}t - 0,122\right) + x \right)^2 + \left(R \cdot \sin\left(\frac{v}{R}t - 0,122\right) - y \right)^2 \right] + 1} + T_H, \quad (1)$$

$$k(x, y, t) = \frac{k_0}{10^{-3} \left[\left(R \cdot \cos\left(\frac{v}{R}t - 0,122\right) + x \right)^2 + \left(R \cdot \sin\left(\frac{v}{R}t - 0,122\right) - y \right)^2 \right] + 1},$$

где $R=0,13$ м – радиус кривизны траектории движения плазменной струи, определяемый из геометрии режущей кромки ножа, v – скорость движения источника нагрева, $T_H=20$ °С – температура окружающей среды, $k_0=7000 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ – коэффициент конвекции в центре плазменной струи. Удельная теплоемкость стали 14X17H2 принималась зависящей от температуры и находилась в интервале $c=400...600 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ [3]. Время движения дуги определялось в зависимости от длины режущей кромки при скорости движения плазматрона $v=10$ мм/с. Коэффициент теплопроводности стали 14X17H2 принимался равным $\lambda=50 \frac{Вт}{К \cdot м}$, модуль Юнга $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0,28$.

На рис. 2 приведено распределение температурного поля на поверхности ножа при скорости движения пятна нагрева $v=10$ мм/с.

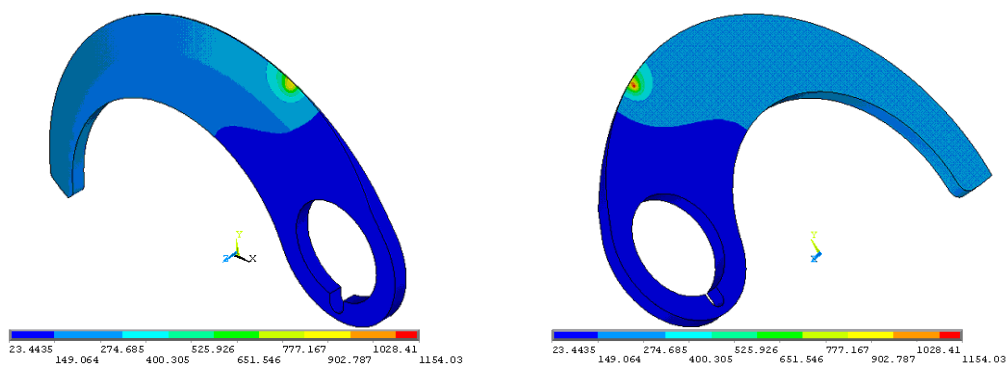


Рисунок 2 – Температурное поле на нижней и верхней поверхности ножа при $t=26$ с

При исследовании НДС нож закреплялся по нижней торцевой поверхности и по поверхности шпоночного паза. На рис. 3 представлено типичное распределение интенсивности напряжений и суммарных перемещений на рабочей зоне ножа.

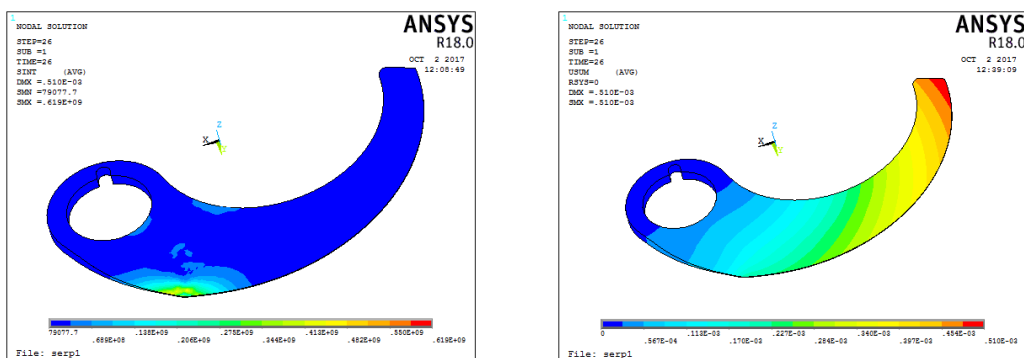


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений и суммарных перемещений для момента времени $t=26$ с при $v=10$ мм/с

Для осуществления процесса поверхностного плазменного азотирования в комплексе с плазменной установкой был разработан специальный манипулятор, при помощи которого осуществляется перемещение детали с заданной скоростью относительно плазменной дуги. Упрочняемая деталь располагалась на столике манипулятора горизонтально. Осуществлен процесс поверхностного плазменного азотирования ножей.

По результатам экспериментов определены оптимальные параметры процесса поверхностного плазменного азотирования: скорость движения точки нагрева $v=10$ мм/с, расход аргона $Q_{Ar}=1,2$ л/мин, расход азота $Q_{N_2}=3,6$ л/мин, ток дуги $I=28$ А.

В результате экспериментальных исследований микротвердость поверхности детали увеличена до 466–600 $HV_{0,1}$. Экспериментально подтверждена возможность закалки при наложении соседних дорожек друг на друга с расстояниями 0,4 мм между их осями; при этом микротвердость составила 532–566 $HV_{0,1}$. Наибольшая глубина упрочненного слоя достигается при $v = 10$ мм/с. Уменьшение скорости движения плазменной дуги приводит к увеличению глубины упрочненного слоя.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиридонов, Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Веремейчик, А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния ножей установки для измельчения пищевых продуктов при воздействии плазменной дуги / А.И. Веремейчик, М.И. Сазонов, В.М. Хвисевич // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2018. – № 3. – С. 5–16.
3. Таблицы физических величин. Справочник. / Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

УДК 621.923.7

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Миранович А.В.,¹ Мрочек Ж.А.²

- 1) Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
- 2) Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», Минск, Республика Беларусь

Для упрочнения (восстановления) рабочих поверхностей деталей машин, износ которых превышает 0,1 мм, используется электромагнитная наплавка (ЭМН) специальными пастами, обеспечивающая многослойное нанесение износостойких покрытий [1] из ферромагнитных порошков (ФМП). Наряду с известными преимуществами этого способа [1, 2], существенными дефектами, снижающими износостойкость формируемых поверхностных слоев, является их шероховатость и разнотолщинность [2, 3].

С целью стабилизации толщины наносимого покрытия и уменьшения его шероховатости предложена технологическая схема и разработан модуль для ЭМН с дополнительным технологическим воздействием – поверхностным пластическим деформированием (ППД) [4].

Модуль содержит все необходимые составляющие (рисунок) мехатронной технологической системы: объекты управления (заготовка 9, инструменты 3, 7 и 8, источники энергии 2, 13 и 14), приводы (механизмы перемещения заготовки, инструмента, источника энергии), датчики и управляющие устройства, сопряженные между собой (персональный компьютер, блоки управления инструментом и источником энергии) и систему программного обеспечения.

Для управления стабильностью технологической системы процесса ЭМН с ППД используются критерии, характеризующие электромагнитные потоки: энергетический Si , магнитного взаимодействия Sm , напряженности электрического поля Se и их соотношения: