

УДК 620.179

**СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА  
И ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ****А. Н. Евдокимова<sup>1</sup>, М. Н. Довбенко<sup>2</sup>**

*Сделана оценка раздельного и совместного воздействия электрического тока и фрикционного высокоскоростного трения на упрочнение рабочих поверхностей. Показано преимущество одновременного влияния рассматриваемых факторов на упрочняющий эффект.*

**Ключевые слова:** электрический ток, фрикционное деформирование, упрочнение, совместное влияние.

Известно, что при образовании белых слоёв существенную роль играют два фактора – температурный и деформационный. При высокоскоростном трении эти два фактора действуют одновременно за счет сил трения. Однако могут возникать условия, при которых белые слои формируются не только при фрикционной обработке [1], но и при одновременном пропускании электрического тока через упрочняемые микрообъемы металла [2]. Эти процессы также являются импульсными, что объяснимо вращением детали с постоянным выходом участка поверхности из зоны обработки с прекращением подачи электрического тока и последующим его кратковременным тепловым действием при повторном входе этой области в зону контакта. Такая периодичность может возникать многократно.

В связи с этим в статье поставлена **цель** показать раздельное и совместное влияние электрического тока и фрикционного высокоскоростного воздействия на эффективность упрочнения поверхностей трения.

Рассмотрим влияние одного только электрического тока на возникновение тепла в небольшом объеме детали. Можно выделить несколько экспериментальных вариантов, показанных схематично на рис. 1.

По первому варианту через неподвижную зону контакта диска 2 с деталью 1 пропускается импульсно электрический ток, где  $\tau_1$  - время существования импульса тока, а  $\tau_2$  - время паузы между импульсами. Эти два параметра определяются исходя из длины зоны контакта диска с дета-

---

<sup>1</sup> © Евдокимова А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой. Одесский государственный аграрный университет (ОГАУ).

<sup>2</sup> © Довбенко М.Н. аспирант, Одесский национальный морской университет.

лю и скоростью ее вращения, когда она будет задана и осуществлена. В рассматриваемом же эксперименте скорости диска и детали равны нулю. По второму варианту деталь медленно и принудительно вращается и, тем самым, вовлекает фрикционный диск во вращение. По этим двум вариантам электрический ток проходит через зону контакта вглубь диска и детали. По третьему варианту ток проходит через поверхностные слои детали между двумя дисками 2 и 3, которые вовлечены во вращение деталью 1. Как предполагается, во всех трех вариантах в поверхностных слоях не должны возникать импульсные сдвиговые деформации, свойственные высокоскоростной фрикционной обработке.

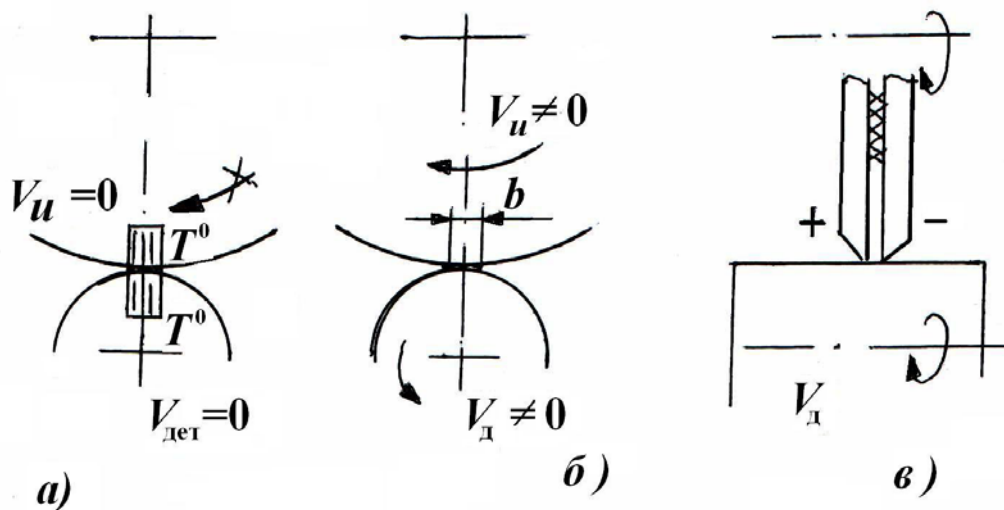


Рис. 1. Варианты воздействия тока на поверхностный слой детали

Общее количество теплоты  $Q$ , необходимое для нагревания массы  $m$  вещества с удельной теплоёмкостью  $c$  от температуры  $T_1, ^\circ C$  до температуры  $T_2, ^\circ C$  выражается формулой

$$Q = mc(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где удельная теплоемкость составляет  $\left[ \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}} \right]$ .

В тоже время, общее количество теплоты, сообщенное телу, может быть записано в дифференциальной форме

$$dQ = c\gamma \cdot dv \cdot dT, \text{ или } Q = c \cdot \gamma \cdot v \cdot T,$$

где  $\gamma$  - плотность вещества;  
 $dv$  – микрообъем нагреваемого металла с приращением температуры  
 $dT$ .

Мощность электрического тока, измеряемая в ваттах, определяется произведением напряжения на силу тока

$$N = V \cdot J = J^2 R, \text{ 1 вольт} = 1 \text{ ватт} = \frac{\text{джоуль}}{\text{секунда}}.$$

Работа электрического тока, выраженная в калориях, составляет

$$Q = V \cdot J \cdot t = J^2 R \tau \cdot K, \quad (2)$$

где  $K = 0,239 = 0,24 \frac{\text{кал}}{\text{джоуль}},$

$\tau$  - время работы в секундах.

Если приравнять выражения (1) и (2), то получим

$$mc(T_2 - T_1) = 0,24J^2 R \tau, \quad (3)$$

Откуда

$$(T_2 - T_1) = \frac{0,24J^2 R}{mc} \cdot \tau. \quad (4)$$

Для нахождения температуры нагрева необходимо знать время действия тока и массу вещества, а в нашем случае стали. При обработке диском образца возникает площадка контакта. В начальный момент обработки без разогрева поверхности детали полуширину площадки контакта можно рассчитать по формулам (2), (4), (5).

Для контакта двух цилиндров с параллельными осями при

$$E_1 = E_2 = E \quad \text{и} \quad \mu_1 = \mu_2 = 0,3$$

$$b = 1,522 \sqrt{\frac{P}{lE} \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}, \quad (5)$$

а при контакте цилиндра и плоскости полуширина полости контакта находится из формулы

$$b = 1,526 \sqrt{\frac{PR}{lE}}. \quad (6)$$

Эти два случая соответствуют двум вариантам проводимых экспериментов. Время контакта при вращении детали со скоростью  $v$  равно  $\tau = 2 \text{ в}/v$ . При диаметре детали 60 мм и оборотах шпинделя 60 об/мин окружная скорость составляет 157 мм/с. тогда время нахождения площадки 2 в контакте с диском будет

$$\tau_1 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad \text{и} \quad \tau_2 = 1 \cdot 10^{-3}$$

соответственно формулам (5) и (6).

Используя формулы (3), (4), можно определить температуру вспышки  $T$  или по заданной температуре назначить режимы тока. При этом массу  $m$  поверхностного микрообъема, вовлеченного в нагрев электрическим импульсом, можно условно принять при условии допущения, что глубина микрообъема будет в пределах 150-300 мкм, где происходят фазовые превращения в стали с образованием белых слоёв. Такой микрообъем при контакте одного фрикционного диска с деталью определится произведением

$$(2b \cdot l \cdot h),$$

где  $l$  – ширина диска;

$h$  – активная глубина фазовых превращений;

$2b$  – ширина контакта.

С учетом этого микрообъема и удельного веса обрабатываемой стали определяем его массу  $m$ .

Ориентировочный расчет показывает, что при заданных режимах пропускания электрического тока через микрообъем в нем возникают температуры больше фазовых превращений, т.е. выше точки  $A_{c3}$  по диаграмме состояния для сплавов железо-углерод. Измерение температуры с помощью термопары, закрепленной зачеканкой в приповерхностном слое образца, показало величину  $960^\circ \text{C}$ . Заметим, что эту температуру можно увеличивать или уменьшать, варьируя электрическими режимами и скоростью движения образца. Аналогичная ситуация с температурой имеет место и при пропускании электрического тока между двумя дисками по поверхности детали.

Измерения микротвердости поверхности образца в зоне прохождения импульсного электрического тока, а также в зоне между контактами двух дисков по схемам рис. 1 не показало образование белых слоёв с твердостью порядка  $9 \cdot 10^3$  МПа. В лучшем случае имела место закалка микрообъемов до твердости  $6 \cdot 10^3$  МПа, а в самом поверхностном слое наблюдалось еще большее снижение твердости, что видно по данным на рис. 2.

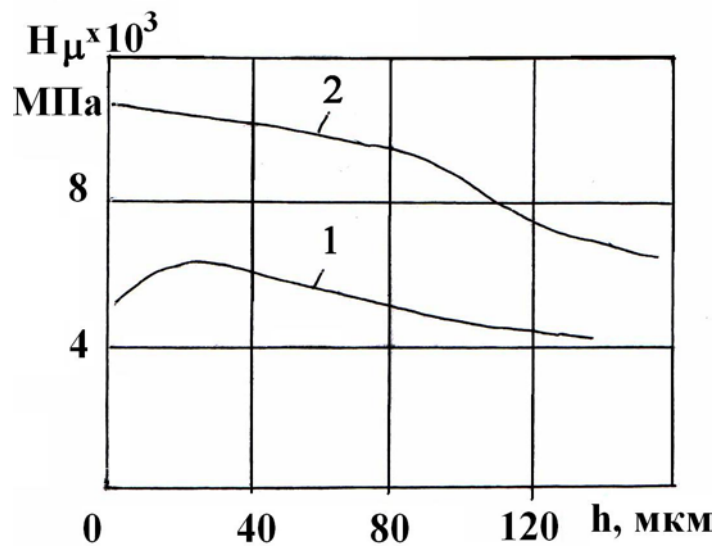


Рис. 2. Влияние электрического тока на распределение микротвердости в стали 45

Кривые:

- 1 – влияние тока без трения, без образования белого слоя;
- 2 – совместное влияние тока и фрикционной обработки с образованием белого слоя

Таким образом, импульсное пропускание одного только электрического тока не приводило к образованию белых слоёв. Для их возникновения необходимо одновременное воздействие помимо температуры и деформационного фактора в виде сдвиговых деформаций от трения скольжения.

В развитие этих исследований были также оценены с учетом температур, возникающих в процессе высокоскоростного трения скольжения [2].

### **Выводы**

1. Показано отдельное и совместное влияние электрического тока и фрикционного высокоскоростного воздействия трения на упрочняющий эффект.
2. Установлено, что пропущенные через зону контакта одного лишь электрического тока не обеспечивает должного упрочнения стали.
3. Комбинированное воздействие рассмотренных факторов вызывает увеличенный упрочняющий эффект с образованием белых слоёв, что может быть использовано в практических целях для повышения долговечности деталей машин.

### *СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Евдокимова А. Н. Знакопеременное высокоскоростное трение и его технологические возможности. – Киев-Одесса: Консалтинг, УМАОИ, 1997. – 210 с.
2. Евдокимов В.Д., Кравец В.В. Знакопеременность трения поверхностей с покрытиями и фрикционно-электрическим упрочнением. – Одесса: Интерпринт, 2012. – 104 с.

*Рукопись поступила в редакцию 15.12.2012 г.*