

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Громаковский Д.Г., Ковшов А.Г., Ибатуллин И.Д.

*Научно-исследовательский институт проблем  
надежности механических систем при Самарском  
государственном техническом университете  
443010 Самара, ул. Галактионовская, 141  
E-mail: pnms@sstu.samara.ru*

**АННОТАЦИЯ.** Разработан новый неразрушающий способ склерометрического контроля пластичности материалов, предназначенный для применения в исследовательских лабораториях и как средство технического контроля качества металлопродукции в производстве.

Качество металлических изделий, получаемых обработкой давлением (штампованием, ковкой, прокаткой, волочением), надежность и долговечность узлов трения машин, в которых пластическая деформация и усталостные процессы развиваются в тонких поверхностных слоях, во многом определяются способностью материалов выдерживать многократные пластические деформации без разрушения, т.е. их пластичностью.

В настоящее время оценка показателей пластичности материалов производится по результатам объемных испытаний образцов на какой-либо один вид деформации: растяжение, сжатие, кручение, изгиб и др. Количественные критерии пластичности разделяются на силовые (максимальные нагрузки и напряжения), энергетические (активационные параметры процесса) и деформационные (максимальные перемещения и деформации). Однако до сих пор нет надежного обобщающего показателя пластичности. Кроме того, объемные методы деформации основаны на разрушающих испытаниях и не приспособлены для оценки пластично-

сти материала в поверхностном слое, модифицированном технологической обработкой и трением, что необходимо при разработке новых трибоматериалов. Указанные недостатки связаны с отсутствием универсальной, объединяющей теории деформации и разрушения металлов и сплавов.

В отделе "Надежность трибосистем" НИИ ПНМС при СамГТУ разработан новый неразрушающий способ оценки пластичности металлов и сплавов на базе склерометрии, в основу которого заложены идеи термофлуктуационной кинетической теории прочности материалов.

Сущность нового способа заключается в том, что на поверхности исследуемого материала алмазным индентором Виккерса оттесняют микроборозды (микроцарапины), оценивают количество оттесненного материала и рассчитывают энергию активации пластической деформации -  $U_0$  как удельную работу, затрачиваемую на пластическое оттеснение одного моля деформируемого вещества, и активационный объем (структурно-чувствительный коэффициент  $\gamma$ ).

Склерометрический способ оценки энергии активации характеризуется высокой чувствительностью и воспроизводимостью результатов, а также позволяет учитывать физико-химическую и структурную модификацию материалов под влиянием комбинированного действия среды, статических и динамических нагрузок, температур и др. факторов. Важным преимуществом метода склерометрии является то, что он позволяет производить деформацию исследуемого материала в условиях малоциклового усталости и исследовать анизотропию его свойств. Величина энергии активации пластической деформации, получаемая при совместном действии нормальных и касательных напряжений, является универсальным, однозначным и аддитивным критерием пластичности, знание которой позволяет: оценивать пластичность металлопродукции; осуществлять контроль качества изделий при химико-термической и механической обработке, выбор, контроль и оптимизацию методов упрочнения материалов и восстановления изношенных поверхностей; контролировать качество материалов покрытий; оптимизировать

условия деформирования и трения; оценивать совместимость конструкционных и смазочных материалов.

Приведенное описание способа обосновывается на базе кинетической теории прочности. Основы такой теории начали разрабатываться в 50-е годы советскими учеными (С.Н.Журковым, В.А.Петровым, А.В.Савицким и др.), которая в настоящее время известна как кинетическая термофлуктуационная теория прочности. В этой теории связь между долговечностью (либо скоростью деформации) материалов и внешними факторами – температурой и напряжением-осуществляется через энергию активации процесса деформации. При изучении пластической деформации энергия активации соответственно отражает пластичность испытываемого материала.

Лабораторный вариант разработанного способа оценки пластичности содержит следующие этапы:

- изготовить образец исследуемого материала;
- закрепить образец на нагревательном устройстве и разместить на столике микротвердомера ПМТ-3 таким образом, чтобы исследуемая поверхность располагалась под индентором;
- установить нагрузку на индентор: 15÷20 г для исследования тонких покрытий; 30 г - цветных металлов; 50÷100 г - нецветных металлов, сталей и сплавов;
- нагреть образец до требуемой температуры и, при необходимости, нанести на поверхность смазочный материал;
- опустить индентор на исследуемую поверхность и нанести царапину длиной ~0,01 мм путем вращения маховика поперечного смещения столика (при этом столик с образцом перемещается относительно неподвижного индентора),
- нанести на поверхность не менее трех царапин при 5 проходах индентора. Повторные проходы индентора осуществляются возвратно-поступательным движением столика с образцом путем вращения маховика попеременно в разные стороны при опущенном инденторе;
- измерить оптическим микрометром ширину борозд, полученных при однократном  $D_1$  [мкм] и пятикратном  $D_5$  [мкм] проходах индентора;

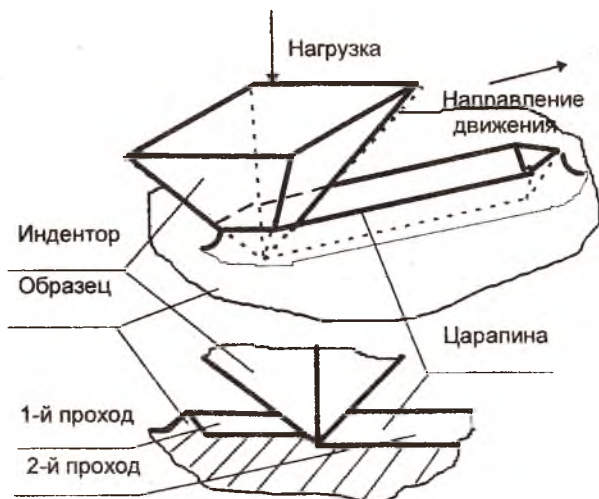


Рис.1 Царапание поверхностного слоя индентором Виккерса

- усреднить данные замеров ширины царапин при однократном и пятикратном проходах индентора по трем царапинам;

- рассчитать энергию активации разрушения материала поверхностного слоя и структурно-чувствительный коэффициент по формулам

$$U_0 = \frac{14,286 \cdot V_m \cdot (P - 1) \cdot N \cdot f}{D_5^2 - D_1^2} \text{ [кДж/моль]}, \quad (1)$$

$$g = U_0 / H_{\mu 1} \quad (2)$$

где  $V_m$  - молярный объем [мм<sup>3</sup>/моль];  $P$  - число проходов;  $f$  - коэффициент трения;  $N$  - нагрузка на индентор, [Н];  $H_{\mu}$  - микротвердость [кгс/мм<sup>2</sup>].

Способ реализован на базе микротвердомера Виккерса ПМТ-3. Дополнительное оснащение включает нагревательное устройство и активатор динамических нагрузок. Предлагаемый способ является базовым для других методов кон-

контроля качества материалов, в частности для оценки активационных параметров термомеханической деструкции смазочных материалов [1]. Для производственных испытаний на деталях проектируются специализированные приборы, на которых могут быть размещены испытываемые детали.

Способ прошел широкую лабораторную апробацию на различных металлах и сплавах, а также на металлоизделиях в условиях производства.

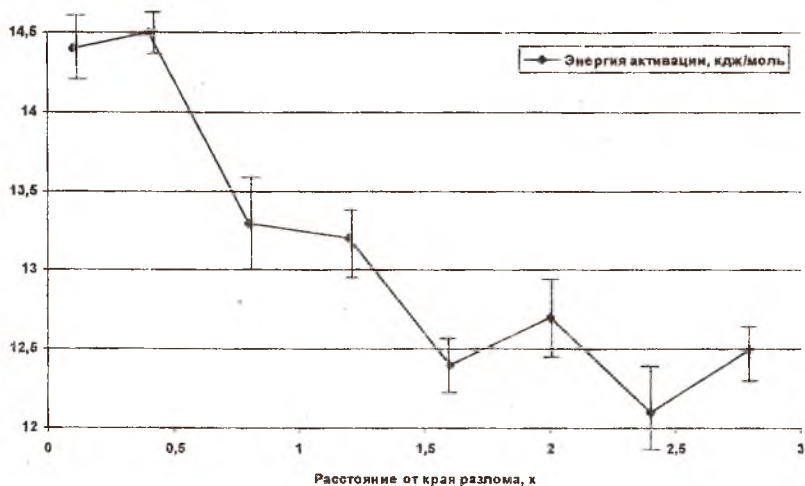


Рис.2

В качестве примера реализации новой методики приведем данные, полученные при оценке пластичности алюминиевых образцов, подвергнутых испытаниям на усталостную прочность при наложенной вибрации (совместно с МГТУ им. Баумана).

Оценку пластичности проводили при следующих режимах: комнатная температура; масса навески,  $m=0,02$  кг; число проходов индентора,  $P=5$ ; глубина царапин,  $h=1\div3$  мкм; шаг измерений - 0,4 мм.

Испытания разрушенных образцов и образцов с трещинами показали, что материал, прилегающий к краям разло-

ма (трещины) претерпевает изменения, что характеризуется повышенными значениями энергии активации  $U_0$  (до 25%) и микротвердости  $H_{\mu}$  (до 15%). Длина модифицированных участков составляет 1,5÷2,5мм (рис.2). Структурно-чувствительный коэффициент существенно значения не изменяет.

Модифицированные участки с шириной 1-2 мм, расположенные перпендикулярно продольной оси, наблюдались также на образцах, подвергнутых усталостным испытаниям, но не доведенных до появления внешних признаков разрушения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Патент РФ "Способ оценки энергии активации термомеханической деструкции смазочных материалов" №97101152/20 (001157).

## **РАЗРАБОТКА МАЛООТХОДНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ КАБЕЛЬНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ**

**Галимов Э.Р., Дукин В.П.**

*Казанский государственный технический университет  
420111 Казань, ул.К.Маркса, 10  
E-mail: root @ kaiaadm.kazan.su*

**АННОТАЦИЯ.** Описан опыт разработки и серийного внедрения в производство нового ресурсосберегающего технологического процесса изготовления литых алюминиевых кабельных наконечников. Разработаны оптимальный состав шихты и технология фасонного литья в кокиль с использованием переплава отходов алюминиевых проводов.