

УДК 621.81:621.78

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Н. К. Криони<sup>1</sup>, А. А. Мингажева<sup>2</sup>, Н. А. Соколова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>www.tm.ugatu.su

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступило в редакцию 22.07.2013

**Аннотация.** Предложен метод оценки параметров качества поверхностного слоя деталей ГТД после механической обработки. Приводятся данные экспериментов по определению параметров упрочнения поверхностного слоя образцов из углеродистой стали.

**Ключевые слова:** пластическая деформация, упрочнение, поверхностный слой, наклеп, индентор, микротвердость.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что пластическая деформация материала поверхностного слоя детали после различных видов размерной или упрочняющей обработки характеризуется изменением степени пластической деформации по глубине поверхностного слоя [1]. Упрочнение поверхностного слоя оценивают, определяя глубину и степень наклепа, а интенсивность наклепа — по глубине поверхностного слоя — градиентом наклепа. При этом основным способом определения механических характеристик поверхностного слоя является измерение микротвердости (например, с использованием индентора в виде алмазной пирамидки). Исследование степени упрочнения по глубине поверхностного слоя оценивается на практике измерением микротвердости на микрошлифе, который выполнен в виде косо́го среза под углом  $0^{\circ}30' - 2^{\circ}$  [1].

Оценку физико-механических свойств поверхности деталей производят также путем: либо внедрения сферического индентора, замера диаметра и глубины остаточного отпечатка на поверхности испытуемого материала [2], либо внедрения индентора в исследуемый материал при регистрации кинематических характеристик ударного вдавливания с учетом ориентации материала относительно индентора и энергии пластического деформирования [3].

Однако указанные методы характеризуются значительной трудоемкостью оценки характеристик упрочненного поверхностного слоя, поскольку это связано с приготовлением наклонного шлифа и пошаговым измерением микро-

твердости по глубине поверхностного слоя на поверхности шлифа. Кроме того, оценка параметров поверхностного слоя, как правило, дает их усредненные значения по глубине, поскольку индентор, внедряясь в материал, охватывает сразу несколько уровней поверхностного слоя. Кроме того, точечный характер внедрения индентора (в качестве которого используется алмазная пирамидка) имеет случайный характер, связанный с неоднородностью твердости испытуемого материала, что также вносит погрешность в результаты оценки свойств материала поверхностного слоя.

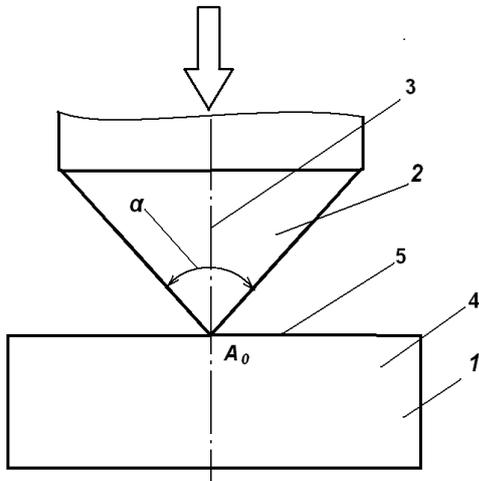
### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой связи в настоящей работе предлагается новая методика, обеспечивающая возможность оперативной и достоверной оценки параметров упрочнения поверхностного слоя материала исследуемых деталей [4].

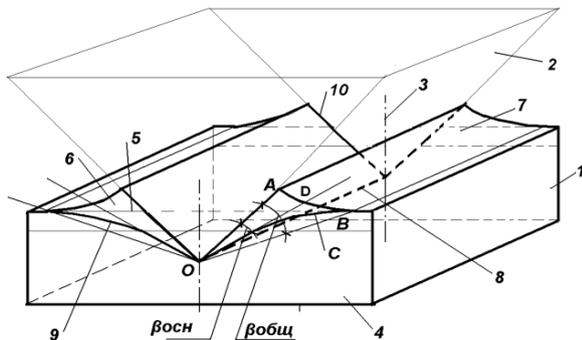
Сущность предлагаемой методики заключается в следующем: приготовление шлифа в зоне внедрения индентора, внедрение индентора в испытуемый образец и определение глубины отпечатка (рис. 1).

Шлиф подготавливают на торце испытуемого образца, поверхность шлифа выполняют перпендикулярной к испытуемой поверхности образца (рис. 2). Индентор изготовлен в форме ножа, имеющего лезвие с сечением в виде равнобедренного треугольника с углом острия либо  $45^{\circ}$ , либо  $60^{\circ}$ , либо  $90^{\circ}$ . Индентор вводят в испытуемый образец по нормали к его испытуемой поверхности на глубину  $h_0$ , превышающую

глубину упрочненного слоя  $h_{уп}$ , создавая, при внедрении индентора по обе стороны от его отпечатка, зоны пластической деформации.



**Рис. 1.** Схема внедрения индентора в испытуемый образец: 1 – испытуемый образец; 2 – индентор (призматический нож); 3 – нормаль к поверхности испытуемого образца (ось индентора; направление внедрения индентора); 4 – поверхность шлифа (торцевая поверхность образца); 5 – исходная поверхность образца; α – угол острия индентора; незакрашенной стрелкой обозначена сила, действующая на индентор

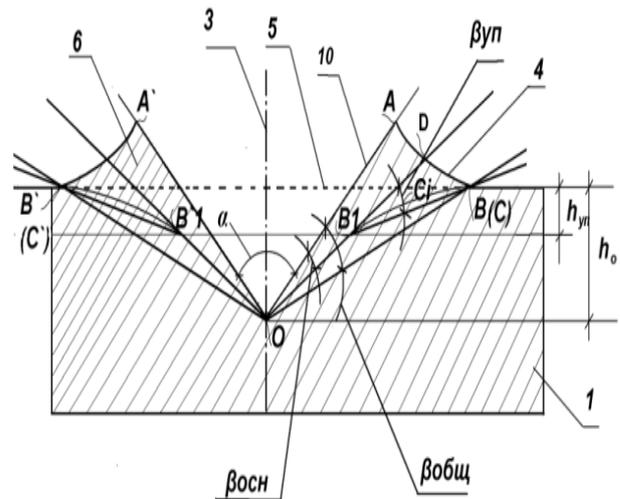


**Рис. 2.** Отпечаток от индентора на образце: 1 – испытуемый образец; 2 – индентор; 3 – нормаль к поверхности испытуемого образца; 4 – поверхность шлифа; 5 – исходная поверхность образца; 6 – зона пластической деформации; 7 – бугор (наплыв) зоны деформации испытуемого образца; 8 – линия, образованная лезвием индентора; 9 – граница зоны деформации; 10 – отпечаток на образце

При введении индентора линию, образованную его лезвием, ориентируют перпендикулярно поверхности шлифа, а на шлифе определяют: точку  $O$  максимальной глубины  $h_0$  отпечатка индентора, оставленную лезвием индентора,

точку  $B$  границы зон деформированного и недеформированного материала на поверхности испытуемого образца и точку  $A$  края отпечатка индентора на поверхности испытуемого образца (рис. 2, 3), определяют границу зон деформированного и недеформированного материала, а затем определяют угол общей зоны деформации  $\beta_{общ} = \angle AOB$  и на шлифе по месту преломления границы зон деформированного и недеформированного материала определяют точку  $B_1$  перехода от деформированной зоны основного материала к деформированной зоне упрочненного поверхностного слоя, соединяют точку  $O$  и  $B_1$  прямой и определяют угол деформации основного материала  $\beta_{осн} = \angle AOB_1$  и по соотношению углов  $\beta_{общ}$  и  $\beta_{осн}$  судят о степени упрочнения поверхностного слоя  $\epsilon_\beta$ , применяя формулу

$$\epsilon_\beta = \frac{\beta_{общ}}{\beta_{осн}}. \quad (1)$$



**Рис. 3.** Схема деформации в зоне отпечатка индентора

Индентор вводят на глубину  $h_0$  в два раза превышающую глубину упрочненного слоя  $h_{уп}$ , дополнительно определяют угол градиента упрочнения  $\beta_{уп} = \angle DB_1B$ , по величине которого судят об интенсивности изменения зоны упрочнения, где точка  $D$  лежит на пересечении прямой  $OB_1$  с испытуемой поверхностью образца.

О величине упрочнения  $i$ -го слоя, расположенного на глубине  $h_i$  от испытуемой поверхности образца судят по отношению значений  $B_1C_i / A_1C_i$  или по отношению значений  $B_1C_i / A_1B_1$  (где  $B_1C_i$  – расстояние между границей зон де-

формированного и недеформированного материала и линией  $OB_1$ , измеренное на поверхности шлифа в направлении, параллельном исходной испытываемой поверхности образца на глубине  $h_i$ ;  $A_iC_i$  – расстояние между границей зон деформированного и недеформированного материала и линией  $OA$ , измеренное на поверхности шлифа в направлении, параллельном исходной испытываемой поверхности образца на глубине  $h_i$ ;  $A_iB_{1i}$  – расстояние между линией  $OA$  и линией  $OB_1$ , измеренное на поверхности торца-шлифа в направлении, параллельном исходной испытываемой поверхности образца на глубине  $h_i$ ;  $h_i$  – глубина  $i$ -го слоя;  $OC$  – граница зон деформированного и недеформированного материала). Для повышения достоверности оценки проводят аналогичные измерения и расчеты на поверхности торца-шлифа на симметрично расположенной относительно отпечатка зоне деформации.

Согласно описанной методике оценивались параметры качества поверхностного слоя образцов из углеродистой стали. На цилиндрических и плоских образцах, упрочненных по различным вариантам (табл. 1), подготавливались шлифы в зоне внедрения индентора, затем производили внедрение индентора в испытуемый образец и производили измерения параметров отпечатка и зоны деформации на поверхности шлифов. Для облегчения оценки параметров отпечатка и деформированной зоны образца в результате внедрения индентора, шлиф в зоне отпечатка фотографировали, и на фотографиях шлифов производили необходимые замеры. Шлиф подготавливали на торце испытуемого образца, поверхность шлифа выполняли перпендикулярной к испытываемой поверхности образца. Индентор в поверхностный слой образца вводили на различную глубину и предварительно оценивали глубину зоны упрочнения. Для большей четкости картины деформации

в зоне отпечатка индентор вводили на глубину  $h_0$ , в два раза превышающую глубину упрочненного слоя  $h_{уп}$ .

Дополнительно определяли угол градиента упрочнения  $\beta_{уп} = \angle DB_1B$ , по величине которого судили об интенсивности изменения зоны упрочнения (табл. 1).

О величине упрочнения  $i$ -го слоя, расположенного на глубине  $h_i$  от испытываемой поверхности образца, судили по отношению значений  $B_{1i}C_i / A_iC_i$ .

Проводили аналогичные измерения и расчеты на поверхности шлифа на симметрично расположенной относительно отпечатка зоне деформации.

Упрочнение поверхностного слоя образцов проводили методами поверхностного пластического деформирования.

В качестве цилиндрических образцов использовались образцы длиной 50 мм и диаметром 20 мм. Плоские образцы имели прямоугольное сечение шириной 4 мм, высотой 10 мм, и длину 50 мм.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 приведены значения результатов измерений отпечатка и параметров зоны деформации при угле острия лезвия индентора  $\alpha = 90^\circ$ , а также результаты оценки параметров упрочнения поверхностного слоя образцов из углеродистой стали.

Таким образом, предлагаемая методика может быть использована для экспресс-определения физико-механических свойств твердых материалов, в частности, для оценки степени упрочнения поверхностного слоя деталей после защитно-упрочняющей обработки при обеспечении высокой достоверности результатов.

Таблица 1

№ п/п	Материал образца и вид обработки	$h_{уп}$ , мм	$\beta_{общ}$ , °	$\beta_{осн}$ , °	$\epsilon\beta$ , %	$\beta_{уп}$ , °
1	Сталь 3 (ППД–обработка роликами – режим 1)	0,35	26	18	144	24
2	Сталь 3 (ППД–обработка роликами – режим 2)	0,45	29	17	171	27
3	Сталь 3 (ППД дробеструйная)	0,40	31	19	163	29
4	Сталь 45 (ППД–обработка роликами –режим 1)	0,40	33	21	157	26
5	Сталь 45 (ППД–обработка роликами – режим 2)	0,50	34	22	155	27
6	Сталь 45 (ППД дробеструйная)	0,45	32	20	160	30

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Косилова А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 656 с.

2. **Матлин М. М.** Способ определения твердости: пат. РФ № 2141638. МПК G01N 3/48, 1999.

3. **Способ** определения механических характеристик материалов и устройство для его осуществления: пат. РФ № 2145071. МПК G01N 3/42, 2000.

4. **Криони Н. К. и др.** Способ оценки степени упрочнения поверхностного слоя твердых материалов: заявка РФ № 2011128559. МПК G01N 3/42 (положит. реш. от 13.07.2012).

## ОБ АВТОРАХ

**КРИОНИ Николай Константинович**, проф., проректор. Дипл. инж.-мех. по технологии машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по трению и износу в машинах (РГУНИГ им. акад. И. М. Губкина, 2005). Иссл. в обл. трибологии, контактного взаимодействия твердых тел.

**МИНГАЖЕВА Алиса Аскарровна**, асп. каф. технологии машиностроения. Дипл. инж. по машинам и технологиям высокоэффективных процессов обработки (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. армированных теплозащитных покрытий для лопаток ГТД.

**СОКОЛОВА Наталья Александровна**, ст. преп. каф. технологии машиностроения. Дипл. инж. по технол. машиностроения (УГАТУ, 2006). Иссл. в обл. защитно-упроч. обработки деталей.

## METADATA

**Title:** Estimation of quality parameters machine's surfaces.

**Authors:** N. K. Krioni, A. A. Mingajeva, and N. A. Sokolova.

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** kmitlp@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 8 (61), pp. 20-23, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** A method for estimating the parameters of surface layer GTE parts after machining. We present experimental data on the characterization of hardening of the surface layer of carbon steel samples.

**Key words:** plastic deformation; hardening; surface layer; hardening; indenter; microhardness.

## References (English transliteration):

1. A. G. Kosilova, *Directory for technologist machine builder*, vol. 1. Moscow: Mashinostroenie, 1986.
2. M. M. Matlin, *A method for determining the hardness*: Russian patent number 2,141,638. IPC G01N 3/48, 1999.
3. *A method for determining the mechanical properties of materials and device for its implementation*: Russian patent number 2,145,071. IPC G01N 3/42, 2000.
4. N. K. Krioni, *Way to assess the degree of hardening of the surface layer of solid materials*: Application of the Russian Federation no. 2011128559 IPC G01N 3/42 (positive decision from 13.07.2012).

## About authors:

**KRIONI, Nikolay Konstantinovich**, Prof., Vice Rector. Dipl. Mechanical engineer (UAI, 1971). Dr. Tech. Sciences (RGUNIG Gubkin, 2005).

**MINGAZHEVA, Alice Askarovna**, PhD Student. Dipl. Engineer (USATU, 2010).

**SOKOLOVA, Natalia Aleksandrovna**, Senior Lecturer. Dipl. Engineer in mechanical engineering (USATU, 2006).