

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

ISSN 0201-744X

ISSN 0372-6053

# ВІСНИК

## НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ

### „Київський політехнічний інститут“

#### МАШИНОБУДУВАННЯ



Заснован в 1964 р.

2009

56

### **Список літератури**

1. Mechanical Engineering Handbook. Frank Kreith Ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
2. Пасечник В. А., Петраков Ю. В., Кореньков В. Н. Ограничение подвижности деталей в сборочной единице – основа математической модели сборочного изделия // Technika i technologia montazu maszyn. – 2008. – z.72. – С. 29-36.
3. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // Computer Aided Design. – 1994. – Vol. 26, №9. – P. 505-520.
4. Lucas Engineering Systems Ltd., University Of Hull, Design For Assembly / Manufacture Analysis Practitioners Manual, Version 10.5, CSC Manufacturing, Solihull, UK, 1995.
5. Korenko W., Pasiecznik W., Łaszina J. Procedura ukierunkowanej analizy DFA dla jednostek montażowych // Technologia i automatyzacja montażu. Ogólnopolski Kwartalnik Naukowo-Techniczny Nr 4 (62) październik – grudzień 2008. P. 11–14.
6. Сімута Р. Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис. канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – 133 с.
7. Koller R. Konstruktions methode für den Maschinen – Geräte und apparaatebau – Berlin: Springer – Verlag, 1976. – 184 p.
8. Кореньков В.М., Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Аналіз з'єднань, що забезпечують нерозімність складальних одиниць та виробів, і деякі способи визначення таких з'єднань // Вісник технологічного університету Поділля. – 2002. – №4/ч.1. – С.48-52.
9. Пасічник В.А., Лашина Ю.В. Виявлення кінематичних з'єднань у складальній одиниці на основі інформації про бінарні відношення обмеження рухливості // Труды Одесского политехнического университета: Науч. и произв.-практ. сб. по техн. и ест. наукам. – Одесса, 2008. – С. 31-35.

**УДК 612.431.75**

**А.В.Титов<sup>1</sup>, м.н.с., Ю.А.Хохлова<sup>2</sup>, м.н.с., А.Д.Лавриненков<sup>1</sup>, студ.  
1-НТУ Украины «Киевский политехнический институт», 2- Институт  
Электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины г.Киев, Украина**

### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ**

---

*Проведено вигладжування високоміцного сплаву BT-22 з додатковим ультразвуковим впливом на інструмент. Досліджено вплив обробки титанових сплавів вигладжуванням на шорсткість поверхні та змінення поверхневого шару деталі.*

*Burnishing of high-strength titanium alloys with special device with additional ultrasonic load on the tool is carried out. The influence of burnishing of titanium alloys on roughness of surface and hardening of surface layer is researched.*

---

#### **Введение**

Повышение надежности и ресурса изделий является важнейшей задачей современного машиностроения. Эти эксплуатационные характеристики определяют в целом эффективность таких изделий машиностроения, как летательные аппараты, авиационные двигатели, автомобили и другие. Работоспособность и надежность машины в значительной степени зависят от качества поверхности деталей, поскольку, отказ изделий происходит, как правило, вследствие повреждений усталостного характера. Известно, что зарождение усталостной трещины начинается с поверхности

заготовки или в приповерхностном слое [1, 2], на финишных операциях изготовления ответственных деталей изделий производят отделочно-упрочняющую обработку методами поверхностного пластического деформирования (ППД). Эта обработка позволяет улучшить параметры качества поверхностного слоя деталей, уменьшить вероятность появления усталостной трещины при эксплуатации деталей, повысив тем самым надежность и ресурс изделий в целом. Одним из наиболее эффективных методов ППД является выглаживание.

Обеспечение эффективности эксплуатации конструкций также связано с применением материалов с низкой плотностью, высокой удельной прочностью и жесткостью. Такими материалами являются титановые сплавы – современная альтернатива традиционным конструкционным сталим. Однако при использовании выглаживания для обработки титановых сплавов возникает ряд трудностей, связанных с их малой теплопроводностью, низкими антифрикционными свойствами, склонности их к холодному свариванию с инструментом [3, 4]. Поэтому решение научно-прикладной задачи выглаживания титановых сплавов является актуальной для современного машиностроения.

Одним из возможных путей решения данной задачи было использование новых созданных технологических сред, позволяющих эффективно обрабатывать титановые сплавы [3]. Также, были проведены экспериментальные работы по выглаживанию сплава ВТ-23 с использованием твердой смазки и проанализировано влияние режимов обработки на величину зерна в приповерхностном слое после обработки [4]. Однако, это усложняет технологический процесс, поскольку требует нанесения и удаления слоя смазки после обработки.

Улучшить условия взаимодействия инструмента и детали можно дополнительным ультразвуковым воздействием на инструмент. Экспериментальные работы по влиянию выглаживания с дополнительным ультразвуковым нагружением инструмента (ультразвукового выглаживания) на шероховатость поверхности проведено на титановом сплаве ВТ-22 в работе [5].

Целью данной работы является исследование формирования структуры и механических свойств поверхностного слоя деталей из высокопрочных титановых сплавов ультразвуковым выглаживанием.

#### Методика выполнения экспериментальных работ

Экспериментальные работы проводились на образцах из высокопрочных титановых сплавов ВТ-22 и ВТ-23 цилиндрической формы с наружным диаметром 10 мм и 30 мм. Перед выглаживанием образцы обрабатывались чистовым точением.

Для реализации процесса ультразвукового выглаживания было спроектировано и изготовлено специальное устройство и разработана методика экспериментальных исследований. Первоначально отработка методики была проведена на алюминиевом сплаве Д-16 (рис. 1), после чего проводился эксперимент с титановыми сплавами. Обработка образцов выполнялась следующим образом. Заготовке 1, закрепленной в патроне 2 токарного станка 3, задавалось вращательное движение. Обработка производилась выглаживателем 4, закрепленным в специальной установке для

ультразвукового выглаживания 5. Усилие выглаживания устанавливалось с помощью тарировочного графика по индикатору 6.



Рис. 1. Специальная установка для ультразвукового выглаживания

Ультразвуковое выглаживание проводилось по режимам обычного выглаживания выглаживателями с кристаллом АКТМ и с использованием индустриального масла И-20 в качестве смазки.

Замер шероховатости после обработки образцов ультразвуковым выглаживанием проводился с использованием специальной установки, состоящей из профилометра цехового, аналогово-цифрового преобразователя для последующего ее анализа с использованием компьютера [5].

Для исследования распределения механических свойств материала образцов после обработки алмазным выглаживанием использовался прибор «Микрон-гамма» (рис. 2), предназначенный для определения микро-механических свойств материалов методами: непрерывного вдавливания индентора, сканирования, металлографии и топографии.

Компьютеризированная система прибора включает в себя: индентор Берковича (рис. 2б); шток с датчиком регистрации глубины внедрения индентора, механизм нагружения с широким диапазоном нагрузок; видеокамеру и микроскоп ( $\times 200$ - $\times 1000$ ); автоматизированную систему позиционирования образца с программой цифровой навигации по исследуемому объекту, позволяющей произвести прицельный укол индентором в выбранный микро-объект структуры. Для уменьшения вибрации прибор установлен на виброизолирующей подставке (рис. 2а). Перемещение индентора

замеряется с точностью 0,001 мкм и позволяет проводить испытания при нагрузках 0,01г - 500г и небольших глубинах отпечатка. Полученная диаграмма

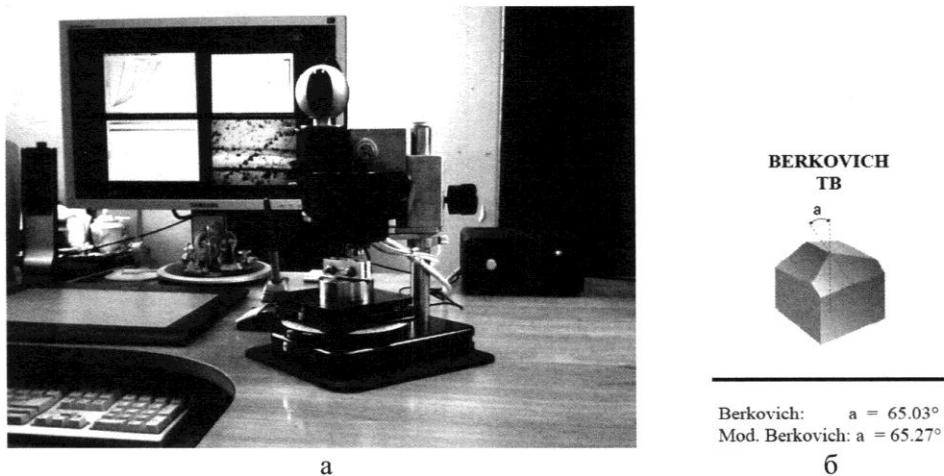


Рис. 2. Прибор «Микрон-гамма»:  
а – общий вид прибора, б – используемый в приборе индентор Берковича

„нагружение-разгрузка“ состоит из 2000 точек. Обработка результатов индентирования выполняется специализированной программой и позволяет автоматически определять значения твердости и модуля Юнга при регистрации перемещения вершины индентора.

Данный прибор позволяет непрерывно фиксировать в процессе нагружения силу Р и при этом определяет глубину не только восстановленного  $h_2$ , но и невосстановленного  $h_1$  отпечатков, а также работу пластической  $A_{ob}$  и упругой  $A_{up}$  деформации, модуль упругости Е, ГПа и другие характеристики материала (рис. 3) [6].

Процесс вдавливания индентора описывается в виде диаграмм (рис. 4).

Для определения упрочнения поверхностного слоя после обработки определяли значения микротвердости по следующим формулам [6]:

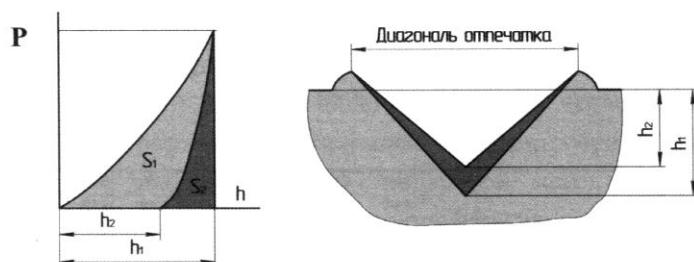


Рис. 3. Схема определения твердости по диаграмме вдавливания индентора (а) и по диагонали отпечатка (б):  
 $S_1$  и  $S_2$  – работа пластической и упругой деформации соответственно [6]

$$H \text{ (Мартел)} = (S_1 / 0,817) / h_1,$$

$$H_n \text{ (Мейер)} = ((0,1 / 0,245) \cdot P) h_1^2, \quad (1)$$

$$H \text{ (Мейер)} = ((0,1 / 0,245) P) / h_c^2.$$

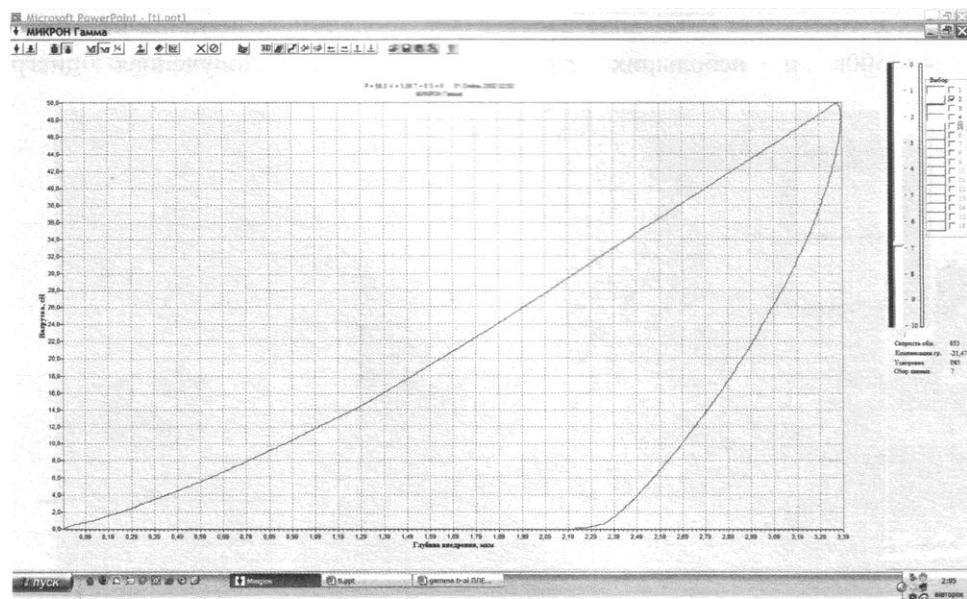


Рис. 4. Окно програмы с диаграммой описывающей вдавливание индентора  
Расчетные данные сводятся в таблицу в электронную таблицу (рис. 5)

↓ Таблица расчетов															
Nº	P, гр.	V, гр/с	T, с	h1, мкм	h2, мкм	H <sub>1</sub> [Маргел]	H <sub>2</sub> [Маргел]	H <sub>3</sub> [Маргел]	E, ГПа	A <sub>об</sub>	A <sub>уп</sub>	z [пласт]	K <sub>пласт</sub>	H <sub>спр.</sub> ГПа	
1	50.0	5.0	0	1,891	1,485	0,985	7,425	5,708	9,259	106.9	41,01	29,89	0,271	0,752	1,510
2	50.0	5.0	0	1,299	0,894	0,200	15,810	12,090	25,550	177.9	28,33	27,61	0,026	0,642	3,199
3	50.0	5.0	0	2,509	2,119	1,551	4,320	3,241	4,547	77.9	55,77	27,09	0,514	0,825	0,858
4	50.0	5.0	0	2,633	2,205	1,716	3,893	2,944	4,198	68.3	55,07	30,35	0,449	0,806	0,779
5	50.0	5.0	0	2,773	2,374	1,750	3,239	2,653	3,621	68.0	56,45	26,69	0,527	0,823	0,702
6	50.0	5.0	0	2,666	2,212	1,710	3,658	2,871	4,171	64.1	56,65	25,90	0,543	0,799	0,760
7	50.0	5.0	0	2,790	2,367	1,866	3,207	2,621	3,644	64.3	56,92	26,14	0,541	0,814	0,694
8	50.0	5.0	0	2,677	2,253	1,734	3,595	2,848	4,020	67.5	56,34	27,56	0,511	0,812	0,754
9	50.0	5.0	0	2,609	2,163	1,687	3,536	2,989	4,362	66.9	55,62	24,67	0,556	0,800	0,794
10	50.0	5.0	0	2,528	2,094	1,592	4,322	3,192	4,653	70.9	57,08	28,09	0,508	0,810	0,845
11	50.0	5.0	0	2,792	2,311	1,837	3,241	2,618	3,820	58.0	57,64	28,03	0,514	0,792	0,693
D				0,441	0,431	0,472	3,564	2,696	6,200	32,997	8,830	1,587	0,154	0,050	
M				2,470	2,043	1,512	5,122	3,980	6,531	80,973	52,444	27,456	0,451	0,789	
%				17,8	21,1	31,2	69,6	67,7	94,9	40,8	16,8	5,8	34,2	6,3	
Отступ %				10	dP %	10	Расчет		Zакрыть	Печать	Форма	Редактор			

Рис. 5. Результаты замеров сведенные в электронную таблицу

#### Результаты исследования и их обсуждение

Фактура поверхности после обработки ультразвуковым выглаживанием показана на рис. 6.

Исходная поверхность образца после чистового точения характеризуется направленным макрорельефом в виде канавок – следов режущего инструмента (рис. 6,а). После обработки ультразвуковым выглаживанием фактура поверхности имеет

сформированный однородный микрорельеф, как в продольном, так и в поперечном направлениях (см. рис. 6,б), а следы предыдущей обработки отсутствуют.

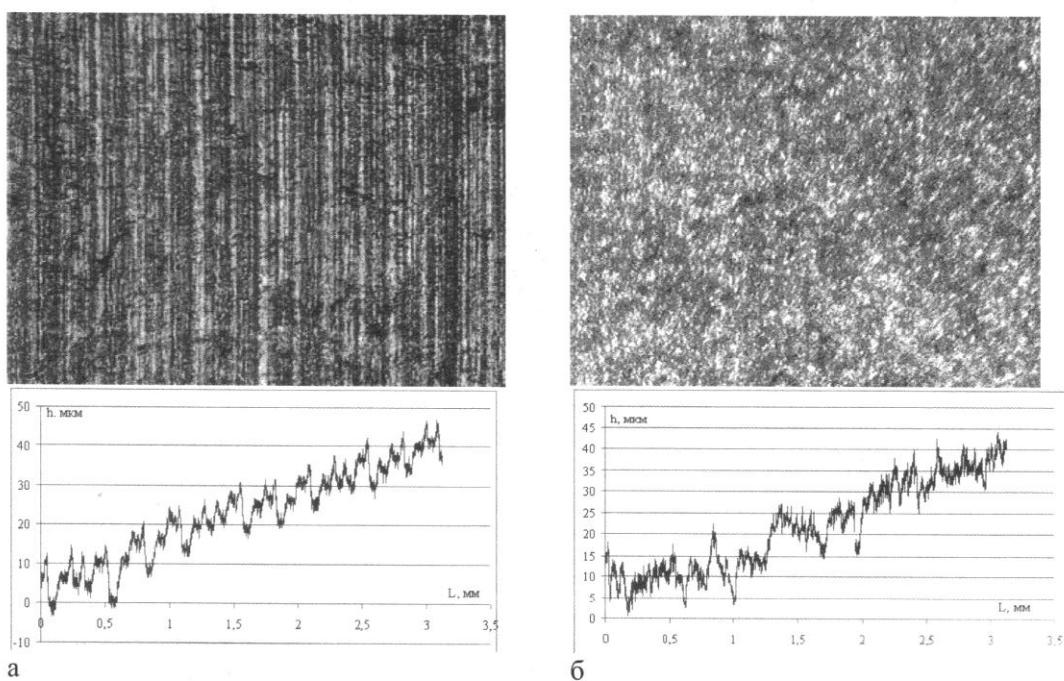


Рис. 6. Поверхность образца после различных режимов обработки (увеличение 10x):  
а – чистовое точение; б – ультразвуковое выглаживание

Сравнение результатов замеров шероховатости приведено на диаграмме (рис. 7).

Минимальная шероховатость поверхности образца соответствует ультразвуковому выглаживанию. Большая величина шероховатости после обычного выглаживания объясняется наличием надрывов на поверхности заготовки.

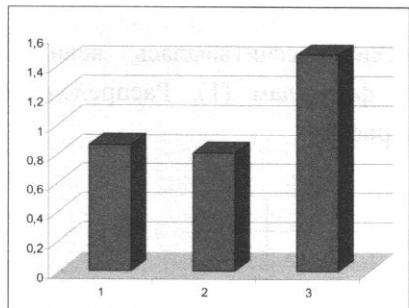


Рис.7. Значення шероховатості ( $R_a$ ) поверхні образців після різних видів обробки:

- 1 – чистове точення,
- 2 – ультразвукове виглажування,
- 3 – звичайне виглажування сплава

BT-22

Для металлографических исследований образцы разрезались электроэррозионным способом и по стандартной методике были подготовлены микрошлифы для последующих исследований на приборе «Микрон-гамма». Структура материала в приповерхностном слое после обработки и центральной недеформированной части (исходная структура) показаны на рис. 8).

Установлено, что вследствие деформирования в поверхностном слое происходит значительное измельчение зерен.

Определения упрочнения индентированием, также, проводили на трёх участках: у

Установлено, что обработка выглаживанием позволяет увеличить микротвердость в приповерхностном слое в 1,6-2,0 раза, максимальное значение соответствует поверхности образца.

#### Выводы

1. Показано, что выглаживание с дополнительным ультразвуковым нагружением позволяет получить качественную поверхность детали, кроме того, улучшить шероховатость поверхности.

2. Установлено, что при обработке ультразвуковым выглаживанием происходит упрочнение поверхностного слоя детали и происходит значительное уменьшение величины зерна, что может привести к увеличению усталостной прочности деталей.

3. Показано, что перспективным является определение оптимальных режимов обработки ультразвуковым выглаживанием, а также их влияние на усталостную прочность деталей.

#### Список литературы

1. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. – К.: Манускрипт, 1993. - 333 с.
2. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов – М.: Металлургия, 1975, 456 с.
3. Розенберг О.А., Пащенко Е.А., Шейкин С.Е., Ростоцкий И.Ю. К вопросу разработки технологических смазок для деформирующего протягивания деталей из сплава ВТ 1-0 // Технологические системы, 2007, № 2(38) – С. 27-32.
4. Титов А.В., Лабур Т.М., Пузырёв А.Л. Особенности алмазного выглаживания сплава ВТ-23 с использованием твердой смазки // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2008. – № 53. – С. 202-207.
5. Титов В.А., Никитенко В.А., Титов А.В., Плиvak А.А., Лавриненков А.Д. Особенности алмазного выглаживания сплава ВТ-22 с дополнительным ультразвуковым воздействием на инструмент // Обработка материалов давлением. – 2009. – № 2 (20).
6. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Борисов Д.И., Закиев В.И.. Оценка поврежденности поверхностного слоя при циклическом нагружении методами наноиндентирования и наносклерометрии // Проблемы прочности, 2006, № 4.