

УДК 621.74

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-23

¹Чернета О.Г., к.т.н., доц., ¹Сасов О.О., к.т.н., доц., ¹Шматко Д.З., к.т.н., доц., ¹Аверянов В.С., к.т.н., доц.¹Дніпровський державний технічний університет

ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР ДЕТАЛІ ІЗ СТАЛІ 45 ПІСЛЯ ЗМІЦНЕННЯ БОРУВАННЯМ І ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

В роботі досліджені технології обробки і зміцнення поверхневого шару деталей із сталі 45, що на першому етапі передбачають відновлення геометрії поверхні, борування і лазерну обробку борованого шару. Проведений аналіз структуроутворення пошарових зон в залежності від технологічних методів обробки, розроблена методика визначення параметрів мікротвердості, пружності, коефіцієнту пластичності відповідних локальних зон за допомогою приладу "Micron-gamma". Проведені дослідження фізико-механічних властивостей робочих шарів і мікротвердості. За результати проведених досліджень на відповідних зразках деталей із сталі 45 отримані зображення мікроструктур робочих поверхонь, приведені таблиці і графіки розподілу мікротвердості поверхневого шару деталі. Представлені результати доводять про доцільність використання розроблених технологій відновлення і зміцнення широкого спектру деталей із сталі 45 у машинобудуванні.

Ключеві слова: зносостійкість, відновлення деталей, технологічні способи обробки, металографічні дослідження, робочі поверхні, деталі, мікроструктура.

Постановка проблеми.

Розвиток виробництва в умовах ринкової економіки не можливий без вирішення проблем підвищення якості і конкурентоспроможності виготовляємих машин. Показник якості машини – це кількісна характеристика одного або декілька її властивостей, що розглядається безпосередньо до визначених умов виготовлення і експлуатації даної машини. Для оцінки якості машин застосовують одиничні і комплексні показники. Суттєвий вплив на якість виробів оказують властивості матеріалів, що застосовують при виготовленні деталей. Властивості матеріалів поділяють на механічні, технологічні, хімічні, структурні і експлуатаційні. При масовому виробництві сучасних автомобілів, спостерігається суттєве збільшення потужності, швидкісних режимів експлуатації і як наслідок підвищення вимог до деталей, що працюють в тяжких умовах експлуатації. Використання дефіцитних компонентів для виготовлення легованих і високолегованих сталей значно підвищує собівартість матеріалу. В той же час при виготовленні деталей перспективним напрямом є подальше використання деталей із сталі 45 [1-3]. При відповідних способах обробки поверхневого шару можливо підвищити в 3-4 рази зносостійкість і корозійну стійкість деталей за рахунок модифікації їх поверхневого шару і трансформації мікроструктури, суттєво підвищити ресурс деталей, знизити собівартість виготовлення деталей, витрати коштовних матеріалів при збереженні якісних і фізико-механічних характеристик, показників надійності, довговічності і зносостійкості.

Комплексне вирішення проблем формування поверхневого шару деталей автомобілів недостатньо досліджене і потребує суттєвого доопрацювання.

Метою роботи є дослідження процесів зносу і розробка технологічних способів відновлення і зміцнення робочих поверхневих шарів деталей автомобілів, виготовлених із сталі 45.

Сучасні технології обробки деталей дозволяють керувати фізико - механічними властивостями і структуро утворенням в матеріалах машинобудівного призначення. Зміцнення поверхневого шару сталей здійснюється шляхом різних варіантів обробок і їх комбінацій, що передбачають утворення в поверхневому шарі міцних і надміцних структур. Використовуючи новітні технології зміцнення сталей є можливість збільшити в рази мікротвердість робочих поверхонь деталей за рахунок керування фізико – механічними властивостями і утворення відповідних надміцних мікроструктур.

В табл.1 наведений хімічний склад, основні характеристики і фізико механічні властивості сталі 45 при звичайних, традиційних методах термічної, хіміко – термічної, термо - механічної обробки.

Таблиця 1

Хімічний склад, основні характеристики і фізико механічні властивості середньо вуглецеві сталі – Ст45

Хімічний склад Ст45								Види обробок				
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Показники фізико механічні властивості середньо-вуглецевих сталі Ст45				
0,42	0,17	0,5	0,035	0,04	0,25	0,3	0,3	δ, %	Ψ, %	ТО, ХТО, ТМО (830 ⁰ С)	НВ	Мікроструктура
0,5	0,37	0,8										
E, МПа		σ _в , МПа		σ _т , МПа		КСУ, дж/см ²						
223		600 900-1100		350 700-850		49 250		15 21	40 50	Гарт у маслі	311-321 351	Тр+Ф Троосто-мартенси Тр + Ф Сорб
										Гарт у воді Центр	277-293	
										ТВЧ ЛО	524 - 580	Гарденіт (безстр. М)

За даними [1], [2] (таблиця 1) наданий хімічний склад середньо – вуглецевої сталі 45. Мікроструктура сорбіту характерна для Ст 45 після нормалізації. При гарті з високим відпуском для середньо вуглецевої сталі Ст 45 характерна структура сорбіту з окремими колоніями фериту з твердістю НВ 250 -310.

При гарті в маслі і гарті з середнім відпуском мікроструктури Ст 45 – сприяє утворенню трооститу з феритом.

Гарт у воді і гарт з низьким відпуском сприяє утворенню мікроструктури мартенситу безструктурного мартенситу (гарденіту [3]) (Ст45 НВ 524-580 - гарт ТВЧ, ЛО).

Подальше збільшення мікротвердості поверхневого шару середньо вуглецевих сталей можливо тільки за рахунок використання спеціальних обробок з скупченням у поверхневих шарах надтвердих утворень (карбідів, карбонітридів, нітридів, боридів металів Fe_2B , FeB , Mn_7C_3 , Cr_7C_3 , $(Fe, Cr)_7C_3$, $Me_7(CN)_3$, Fe_3N).

Це можливо за рахунок використання комбінованих і спеціальних способів обробки (цементация, азотування, борування, лазерна обробка, ШПА, ТВЧ та т.п.). Мікротвердість поверхневих шарів (150 - 200 мкм) середньо вуглецевих сталей при застосуванні перелічених способів обробки збільшується до $H_d=13000 - 17000$ МПа при боруванні і ЛО [4], [5]. Разом з підвищенням показників мікротвердості, зносостійкості значно погіршуються показники фізико механічних властивостей – пластичності, коефіцієнти збільшення $\delta(\%)$, стиснення $\psi(\%)$, тріщина утворення КСУ дж/см².

Боридний шар має характерну текстуру (рис.1) – голчастий шар з мікротвердістю до 18000 МПа на сталі 45. Текстура, що утворюється в результаті сумісної дифузії бору і вуглецю – карбіди, бориди, карбобориди, перешкоджають дифузійним процесам. На рис. 1. під зоною борованого шару з голчастою структурою надана деталізоване зображення борованого перліту з напівзруйнованими цементит ними пластинами. Перліт, що початково існує в сталі до дифузійного насичення увесь піддався фрагментації, а новоутворені пластини перліту вистроєні вздовж лінії градієнту концентрації і в значній мірі фрагментації не підверглися. [2]. На рисунку 1 надана мікроструктура поверхні деталі із сталі 45 після борування [3-5].

Поверхневий шар після борування і лазерної обробки після вимірювання мікротвердості показав значення в межах $H_d=15000-16000$, МПа. Лазерна обробка сприяла подрібленню зубчастої структури поверхні, що позитивно впливає на усунення негативного моменту тріщина утворення у надтвердих структурах борованого шару.

На рис. 2. наведена мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після борування і лазерної обробки. Поверхня сталі 45 визначається щільним шаром надтвердих утворень ($h=20 - 40$ мкм). Під цим шаром спостерігається скупчення ($h=40-120$ мкм боридів і окремих карбідів).

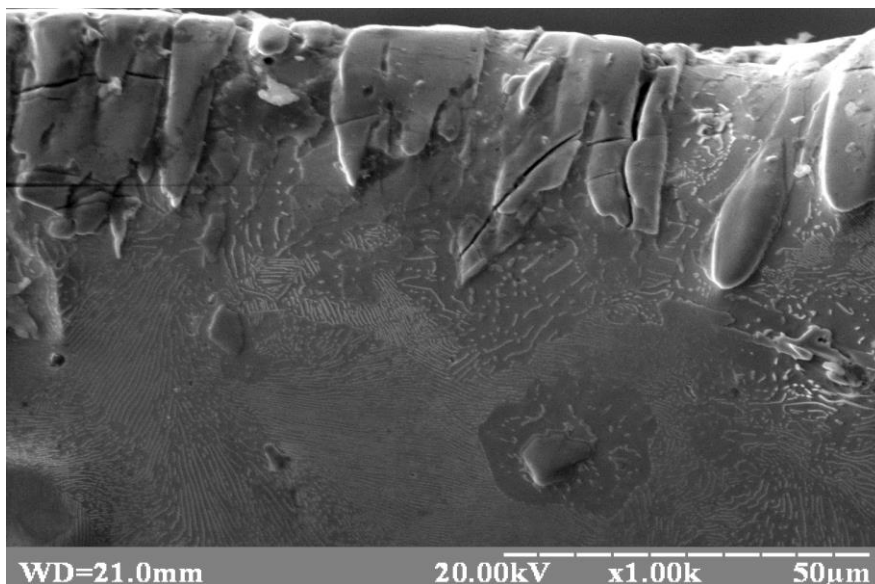


Рис.1. Мікроструктура поверхні деталі із сталі 45 після буровання

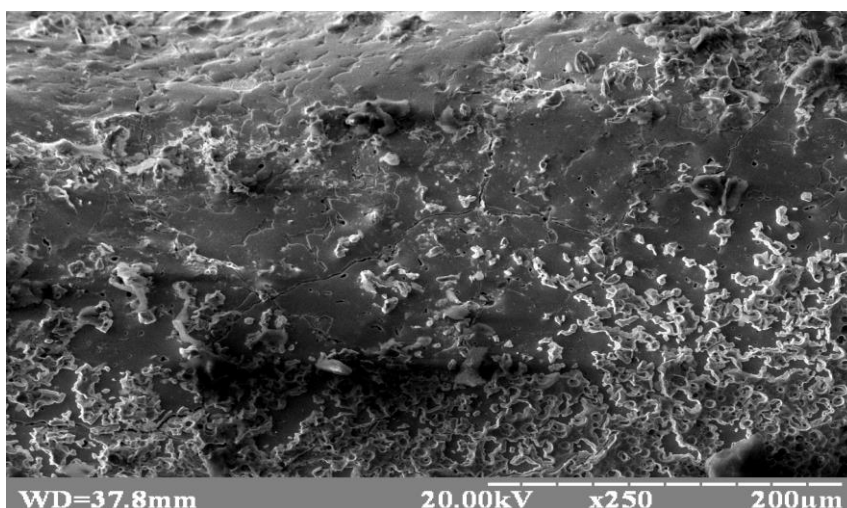


Рис. 2. Мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після буровання і лазерної

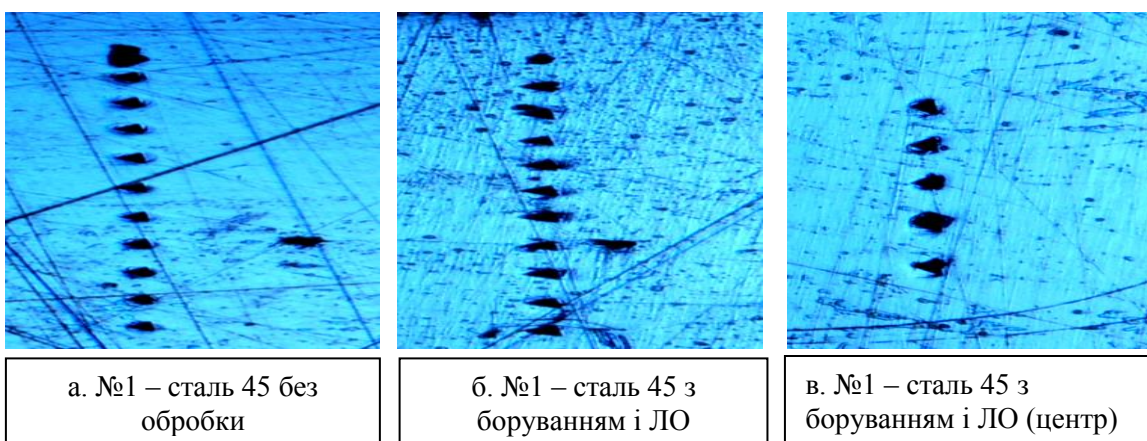


Рис. 3. Фотографії печатків з трасою сканування

Для дослідження були вибрані фрагменти матеріалів із сталі 45 без обробки, з обробкою шляхом буровання і ЛО (поверхневий шар і центр зразка). Уколи (10 точок проникнення індентору) дослідних зон проводили з кроком 50 мкм за допомогою приладу "Micron-gamma", що дозволило за вище наданою методикою визначити параметри мікротвердості, пружності, коефіцієнту пластичності відповідних локальних зон (рис. 3) [6-8].

На рис.4 наведені результати вимірювань (а. №1 – сталь 45 без обробки, б. №2 – сталь 45 з боруванням і ЛО (поверхня), в. №3 – сталь 45 з боруванням і ЛО (центр)) на приладі "Місрон-гамма".

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
а. №1 – сталь 45 без обробки															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1, мкм	hc, мкм	h2, мкм	H(Мартел)	H(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	K пласт	Напр. GF
1	49,2	5,0	0	1,990	1,662	1,185	5,480	5,071	7,273	116,2	35,29	11,56	0,672	0,771	1,342
2	49,5	5,0	0	2,082	1,824	1,502	5,150	4,657	6,067	135,5	37,96	9,73	0,744	0,832	1,232
3	49,4	5,0	0	2,038	1,809	1,516	5,631	4,852	6,157	153,7	38,92	8,66	0,778	0,855	1,284
4	49,4	5,0	0	2,236	2,012	1,595	4,415	4,029	4,976	141,2	40,31	8,50	0,789	0,863	1,066
5	49,3	5,0	0	2,050	1,820	1,562	5,517	4,788	6,075	151,8	38,84	7,97	0,795	0,854	1,267
6	49,1	5,0	0	2,085	1,893	1,624	5,360	4,612	5,591	174,8	39,67	7,55	0,810	0,882	1,220
7	48,9	5,0	0	2,090	1,879	0,000	5,221	4,568	5,651	159,0	38,96	7,91	0,797	0,868	1,209
8	49,2	5,0	0	2,035	1,837	1,444	5,526	4,843	5,943	174,2	38,07	7,29	0,809	0,872	1,281
9	50,0	5,0	0	2,128	1,948	1,702	5,043	4,509	5,376	184,6	39,68	7,22	0,818	0,887	1,193
10	49,3	5,0	0	2,166	1,977	1,290	4,820	4,290	5,150	170,2	40,00	7,03	0,824	0,884	1,135

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
б. №2 – сталь 45 з боруванням і ЛО (поверхня)															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1, мкм	hc, мкм	h2, мкм	H(Мартел)	H(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	K пласт	Напр. GF
1	50,0	5,0	0	2,407	2,200	1,942	3,965	3,523	4,218	141,5	45,17	9,07	0,799	0,885	0,932
2	50,0	5,0	0	2,584	2,410	2,182	3,547	3,057	3,513	154,3	49,98	8,03	0,839	0,913	0,809
3	50,0	5,0	0	2,379	2,183	1,942	4,242	3,605	4,284	150,2	46,68	8,37	0,821	0,895	0,954
4	50,0	5,0	0	2,691	2,525	2,347	3,083	2,819	3,201	154,0	49,07	7,11	0,855	0,916	0,746
5	50,0	5,0	0	2,668	2,491	2,279	3,390	2,867	3,288	146,2	52,62	7,42	0,859	0,916	0,758
6	50,0	5,0	0	2,702	2,531	2,338	3,172	2,796	3,186	149,1	51,11	7,23	0,858	0,916	0,740
7	50,0	5,0	0	2,430	2,249	1,996	4,131	3,457	4,033	159,0	48,40	7,54	0,844	0,907	0,915
8	50,0	5,0	0	2,656	2,492	2,287	3,375	2,894	3,287	158,0	51,64	7,15	0,861	0,921	0,766
9	50,0	5,0	0	2,523	2,348	2,153	3,694	3,205	3,701	156,6	48,49	7,52	0,845	0,910	0,848
10	50,0	5,0	0	2,600	2,434	2,194	3,665	3,019	3,446	159,3	52,62	7,07	0,866	0,921	0,799

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
в. №3 – сталь 45 з боруванням і ЛО (центр)															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1, мкм	hc, мкм	h2, мкм	H(Мартел)	H(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	K пласт	Напр. GF
1	48,9	5,0	0	2,208	2,012	0,476	4,862	4,095	4,929	160,3	42,75	7,74	0,819	0,888	1,084
2	50,0	5,0	0	2,378	2,190	1,927	4,081	3,610	4,254	157,1	44,82	7,91	0,824	0,896	0,955
3	50,0	5,0	0	2,349	2,172	1,961	4,144	3,700	4,328	167,7	43,86	7,64	0,826	0,899	0,979
4	50,0	5,0	0	2,759	2,594	2,377	2,989	2,681	3,032	150,9	51,29	6,57	0,872	0,920	0,709
5	50,0	5,0	0	2,531	2,362	2,196	3,683	3,186	3,659	161,3	48,78	6,77	0,861	0,913	0,843

Рис.4. Результати вимірювань на приладі "Місрон-гамма"

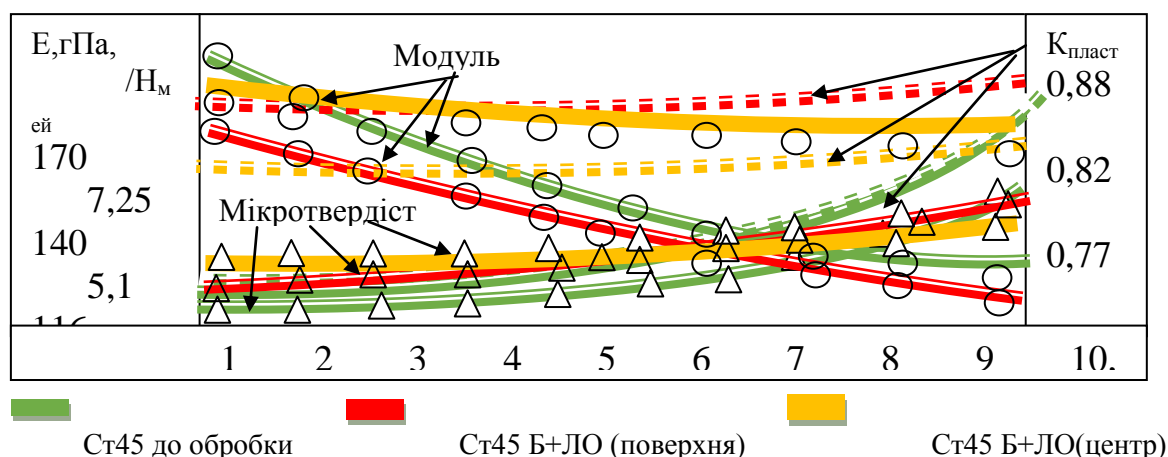


Рис.5. Графічні залежності вимірів мікротвердості, модуля пружності і коефіцієнта пластичності на різних ділянках дослідних сталей

При скануванні поверхні на сталі 45 без обробки модуль пружності коливається від 116 до 170 гПа, а при боруванні поверхні з наступною лазерною обробкою від 141 до 159 гПа, а в центрі 160-161 гПа. Розкид показників мікротвердості коливається від $H_{\text{мей}} = 5,15-7,23$ і для оброблених поверхней $H_{\text{мей}} = 3,4-4,6$. Коефіцієнт пластичності для необробленої поверхні

складає 0,7-0,8, для борованих поверхней з лазерною обробкою 0,8-0,9 [9-11].

Висновки. На підставі аналізу ряду застосованих існуючих технологічних способів зміцнення поверхневого шару і при суттєвому збільшенні мікротвердості поверхневих шарів виникає небезпечність внутрішнього руйнування матеріалу (при збільшенні межі витривалості і текучості, знижується пластичні показники і знижується опір крихкому руйнуванню). Детально досліджена структура борованого шару і фазовий склад на сталі 45 після дифузійного насичення бором і лазерної обробки. Умовно виділено наступні зони: - поверхневий шар повністю складається з боридів заліза Fe_2B і FeB ; - другий шар містить залишки боридів заліза Fe_2B і FeB , α - фазу і карбобориди $Fe_3(C, B)$ і $Fe_{23}(C, B)_6$; - третій шар містить залишки боридів заліза Fe_2B і FeB . Бор в цьому шарі міститься в карбоборидах; - четвертий шар зберігає вихідну ферітно-перлітну структуру сталі 45.

Список літератури

1. Суслов А.Г., Браун Э.Д., Виткевич Н.А. Качество деталей машин. Справочник. Т.1. М: Машиностроение, 1995. - 143с.
2. Франценюк И.В., Франценюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. -М.:ИКЦ «Академкнига», 2004. -136с.
3. Завьялов А.С., Теплухин Г.Н., Габеев К.В. Умови і механізм утворення безструктурного мартенситу (гарденита). Металознавство і термічна обробка металів.- №10.-1979.С.11-12.
4. Боровинская И.П. Образование тугоплавких соединений при горении гетерогенных, конденсированных систем. В кн.: Горение и взрыв. Матер. IV Всес. симпоз. по горению и взрыву. М.: Наука, 1977, с. 138- 148.
5. Иванов С.Г., Дон Яджи, Гурьев А.М. Микроструктура диффузионной зоны стали 3 после совместного диффузионного насыщения бором и хромом. //Ползуновский альманах №4.- 2016. -С. 5-7
6. Ігнатович С.Р., Закиев И.М. Универсальный микро нано - индентометр «Micron-Gamma». Заводская лаборатория. – 2011. – Т. 77, № 1. – С. 61-67.
7. ISO/FDIS 14577-1: 2002; Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method – Geneva: ISO Central Secretariat, 2002.
8. Чернета О.Г., Сухомлин В.І., Коробочка О.М. Дослідження мікроструктури зношених деталей автомобілів із сталі 45 при відновленні і багатократній термічній обробці. Перспективні технології та прилади. м. Луцьк червень 2017 р. –ЛНТУ, – Вип.10(1) – 2017. С.212-217.
9. Чернета О.Г., Волощук Р.Г., Коробочка О.М. Дослідження технологічних способів формування зносостійких покриттів на основі лазерної обробки. / / Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк листопад 2014 р. – Луцьк: ЛНТУ, – Вип.5(2) – 2014. С.176.
10. Чернета О.Г., Кубіч В.І., Коржавін Ю.А. Дослідження механічних характеристик деталей із сталі 45 методом інструментального ідентифікування. INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND EDUCATION. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, March 29-31, GREECE, Athens, 2020. –P.219-225.
11. Чернета О.Г., Кубіч В.І., Коржавін Ю.А. Дослідження фізико-механічних характеристик деталей із сталі 45 методами динамічного втиснення індентору , склерометрії і мікротрибології . MODERN SCIENCE: PROBLEM AND INNOVATIONS. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, April 5-7, SWEDEN, Stockholm, 2020. –P.290-296.

¹Cherneta O.G., ¹Sasov O.O., ¹Shmatko D.Z., ¹Averyanov V.S.

¹Dniprovsk State Technical University

SURFACE LAYER STEEL DETAILS 45 AFTER STRENGTHENING BY BORING AND LASER TREATMENT

The technologies of processing and strengthening of the surface layer of details from steel 45 are investigated in the work, which at the first stage provide restoration of surface geometry, drilling and laser processing of the drilled layer. The analysis of structure formation of layered zones depending on technological methods of processing is carried out, the technique of definition of parameters of microhardness, elasticity, coefficient of plasticity of the corresponding local zones by

means of the device "Micron-gamma" is developed. Researches of physical and mechanical properties of working layers and microhardness are carried out. According to the results of the research on the corresponding samples of parts made of steel 45, images of the microstructures of the working surfaces are obtained, tables and graphs of the distribution of the microhardness of the surface layer of the part are given. The presented results prove the expediency of using the developed technologies of restoration and strengthening of a wide range of steel parts 45 in mechanical engineering.

Key words: *wear resistance, restoration of details, technological methods of processing, metallographic researches, working surfaces, details, microstructure.*

¹Чернета О.Г., ¹Сасов О.О., ¹Шматко Д.З., ¹Аверьянов В.С.

¹Днепропетровский государственный технический университет

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ДЕТАЛИ ИЗ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ БОРИРОВАНИЕМ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

В работе исследованы технологии обработки и упрочнения поверхностного слоя деталей из стали 45, что на первом этапе предусматривает восстановление геометрии поверхности, борирования и лазерную обработку борированного слоя. Проведенный анализ структурообразования послойных зон в зависимости от технологических методов обработки, разработана методика определения параметров микротвердости, упругости, коэффициента пластичности соответствующих локальных зон с помощью прибора "Micron-gamma". Проведены исследования физико-механических свойств рабочих слоев и микротвердости. По результатам проведенных исследований на соответствующих образцах деталей из стали 45 получены изображения микроструктур рабочих поверхностей, приведены таблицы и графики распределения микротвердости поверхностного слоя детали. Представлены результаты доказывают о целесообразности использования разработанных технологий восстановления и укрепления широкого спектра деталей из стали 45 в машиностроении.

Ключевые слова: *износостойкость, восстановление деталей, технологические способы обработки, металлографические исследования, рабочие поверхности, детали, микроструктура.*