

АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЙ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ІЗ СТАЛІ 45 В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ

В роботі приведений аналіз трансформації мікроструктури поверхневого шару деталей, виготовлених із сталі 45 в залежності від технологічних методів обробки, представлені результати дослідження фізико-механічних властивостей робочих шарів. Наведені ряд найбільш традиційних і сучасних новітніх технологій по обробці поверхневого шару деталей – обробка СВЧ, гарт, азотування, борування, лазерна обробка, азотування з наступною лазерною обробкою. За результати проведених досліджень отримані зображення мікроструктур робочих поверхонь, приведені мікротвердості поверхневого шару деталі.

Ключеві слова: технологічні способи обробки, металографічні дослідження, робочі поверхні, деталі автомобілів, мікроструктура.

Постановка проблеми. При сучасному масовому виробництві автомобілів, з урахуванням собівартості виготовлення їх деталей, вартості матеріалів при збереженні якісних і фізико-механічних характеристик, показників надійності, довговічності і зносостійкості, перспективним є подальше використання сталі 45. В той же час в конструкціях сучасних автомобілів спостерігається суттєве збільшення потужності, швидкісних режимів експлуатації і як наслідок підвищення вимог до деталей, що працюють в тяжких умовах експлуатації.

Використання легованих і високолегованих сталей значно підвищує собівартість матеріалу, його обробку, ускладнює технологічні процеси виготовлення деталей.

В той же час ресурс використання сталі 45 до кінця не вичерпано, а дослідження багатьох вчених доводить, що 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.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Аналіз основних досліджень і публікацій [1-3] показує, що комплексне вирішення проблем формування поверхневого шару деталей автомобілів недостатньо досліджене і потребує суттєвого відпрацювання.

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

Матеріали дослідження. Для оцінки поверхневого шару деталей із сталі 45 необхідно урахувати наступні фактори: геометричні параметри розмірів, шорсткість поверхні деталі, мікроструктуру і твердість зношених поверхневих шарів. Сталь 45 відноситься до середньо вуглецевих якісних конструкційних сталей підвищеної міцності (C- 0,42-0,5; Mn- 0,5-0,8; Si- 0,17-0,37; P – 0,035; S -0,04; Cr -0,25; Ni -0,3; Cu –0,3. Межа міцності і текучості відповідно після покращення складає $\sigma_s = 600 - 700 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 400 - 600 \text{ МПа}$; при зниженій пластичності $\delta = 23 - 14\%$; $\psi = 50 - 40\%$. Ударна в'язкість $KCU_{+20} = 40-50 \text{ Дж/см}^2$).

Спостереження змінення фізико-механічних характеристик і дослідження мікроструктур відповідних зон проводили за допомогою електронного растрового мікроскопу РЕМ-106ІІ.

За даними вчених [1], які досліджували мікроструктуру литої нормалізованої сталі 45 рис.1 а., спостерігається пластинчастий перліт і сітка фериту з ділянками ліквації сірки з тріщинами (НВ=179) рис.1б [1] і після кування – пластичний перліт з сіткою фериту, відманштет 1,5 бали (НВ-179-190).

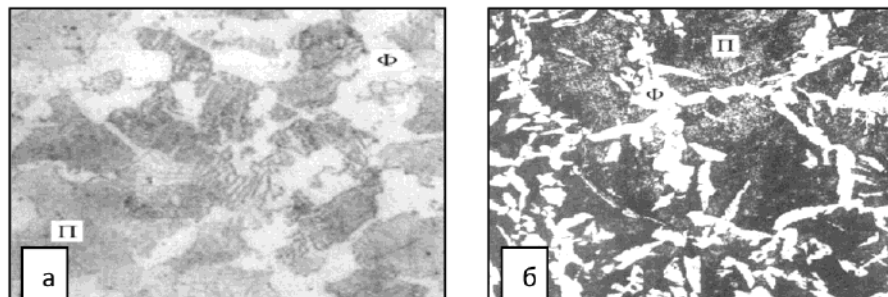


Рис. 1 а Мікроструктура литої нормалізованої сталі 45 і б - після кування [1]x100.

Гарячекатаний метал сталі 45 має деякі відмінності від литого і обробленого куванням. Так на рис.2 а [1] спостерігається пластинчастий перліт і сітка фериту при твердості 217 НВ, а на

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

зразку рис.2 б після сорбітизації (гарт з високим відпуском) спостерігається сорбіт (285 НВ). На рис. 2 в показано, що після гарту з охолодженням у воді мікроструктура сталі 45 трансформується у середньо голчастий мартенсит з мікротвердістю 600-630 НВ [1], а у гарячекатаному металі товщиною 15 мм рис.2г після гарту у мастилі формується мікроструктуру тростито-мартенситу (495НВ). Якщо до останнього зразку з циклом попередньої обробки додати відпуск, то трансформація мікроструктури приведе до утворення сорбіту (269НВ) рис. 2 д [1].

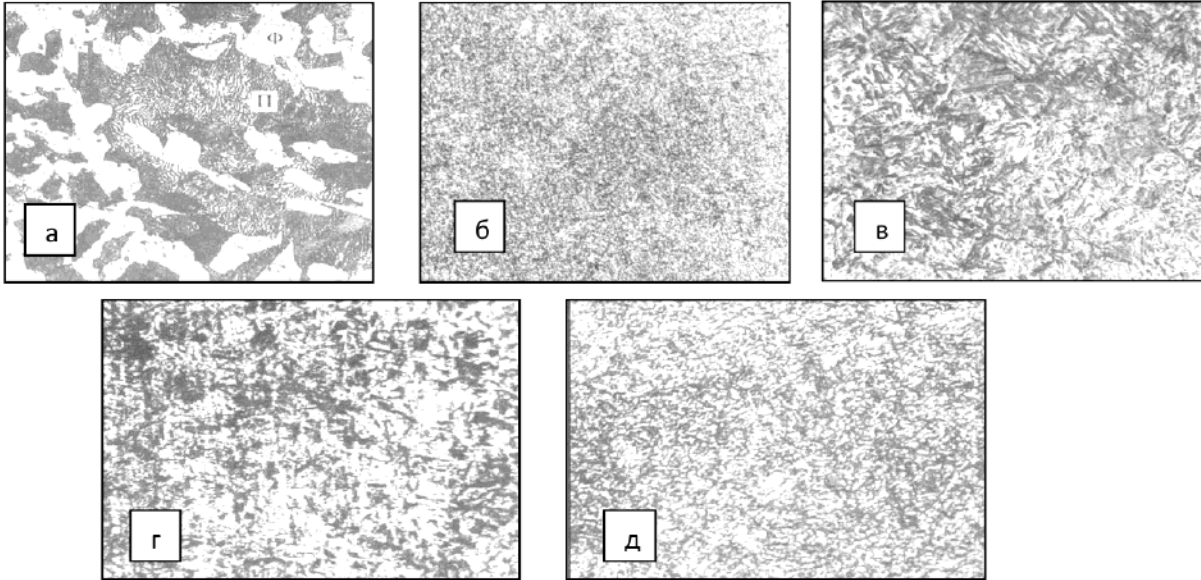


Рис. 2 а Мікроструктура гарячекатаної сталі 45; б – після сорбітизації; в – гарт у воді; г - гарт у мастилі; д - гарт у мастилі з високим відпуском. [1]x500.

От же зміна режиму термічної обробки, дозволяє керувати процесами утворення відповідних мікроструктур, мікротвердості поверхневого шару і фізико-механічних властивостей матеріалу деталі.

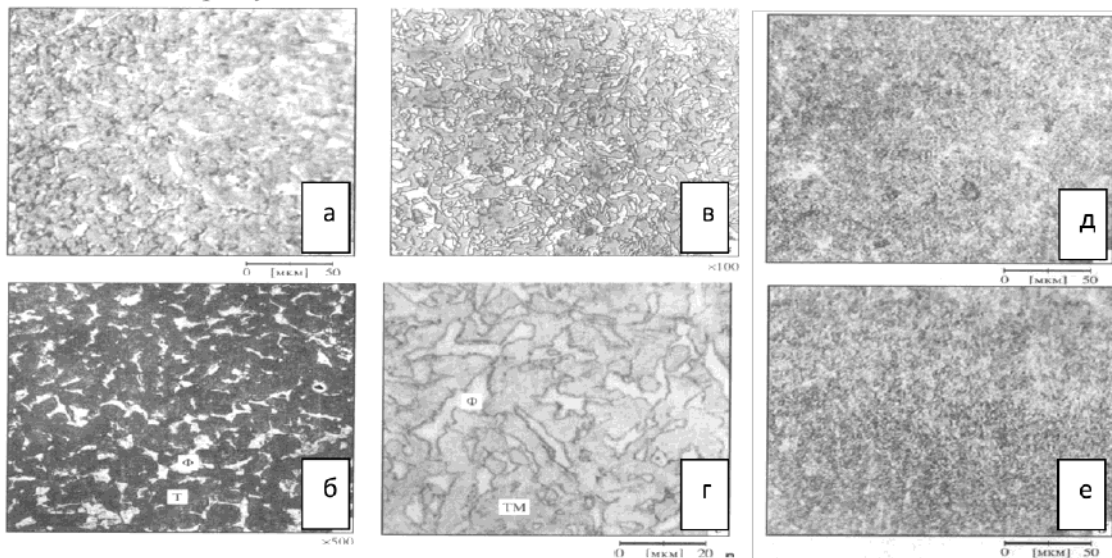


Рис.3 Мікроструктури сталі 45; а,б - після гарту у мастилі, в, г - після гарту у воді, д, е – після покращення (гарту з високим відпуском і гарту струмами високої частоти (СВЧ)).

Так після неповного гарту гарячекатаної сталі 45 після гарту з наступним у мастилі утворюється рис.3 а,б [1] тростит і ферит (311-321НВ), а при гарті з охолодженням у воді утворюється рис.3 в, г [1] тростито-мартенсит і ферит з твердістю 352НВ.

При обробці поверхні високо енергетичними джерелами (СВЧ) на поверхні деталі рис.3 д утворюється білий шар безструктурного мартенситу з твердістю 524 НВ. В середині перетину деталі, в глибині від поверхні спостерігається сорбіт з твердістю 277-293НВ рис.3 е [1].

В результаті використання різних типів і способів обробки можливо отримати різні варіанти і варіації мікроструктур з відповідними фізико-механічними властивостями. Але

подальше використання типових технологій для зміцнення поверхневого шару обмежено певними особливостями будови кристалічної решітки матеріалу. Тому в останні часи набули поширення використання диференційовані або комбіновані обробки поверхневого шару деталей, що сприяють виникненню градієнтів структурно - фазового стану, а відповідно і нерівномірної структури матеріалу. При необхідності суттєвого зміцнення поверхневого шару і твердості матеріалу необхідно попередньо проводити обробку для отримання відповідних структур (мартенситу, карбідів, нітридів, боридів та т.ін.), що забезпечує задані властивості. Задачею локальної обробки є отримання м'яких, пластичних структур (незміцненого фериту, аустеніту, сорбіту відпуску низько вуглецевого мартенситу) [2] або навпаки - підвищення твердості поверхневого шару в окремих об'ємах. Так з досліджень сталі 45 [2] в результаті загальної обробки отримали пластичну структуру сорбіту відпуску, а після локального гарту при диференційованій обробки - структуру мартенситу ($\sigma_s = 1200 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 1050 \text{ МПа}$; при зниженій пластичності $\delta = 10\%$).

Для суттєвого підвищення твердості і зносостійкості окремих локальних зон поверхні деталей доцільно легувати метал джерелами концентрованої енергії, що в разі підвищує твердість мартенситу та відтворює зміцнюючі фази (карбіди, нітриди, бориди та інш.).

Так в сталі 40Х після попередньої цементації ($H_{0,980} = 5000 - 55000 \text{ МПа}$) і електронно-променевої обробки (при 930°C терміном 4 год.) з розплавленням відповідних ділянок та загального відпуску отримана мікротвердість $H_{0,980} = 8000 - 12000 \text{ МПа}$ [2].

Комбінована обробка - азотування з наступною лазерною обробкою (імпульсний лазер ГООС-1001) забезпечує формування в поверхневому шарі двох високоазотистих фаз: Fe_3N і Fe_4N , які у вигляді щільних ділянок і масивних прожилок обумовлюють високу твердість поверхневого шару азотованого зразка (6870 МПа для поверхні і $4100 \dots 4200 \text{ МПа}$ на відстані 0.4 мм від неї).

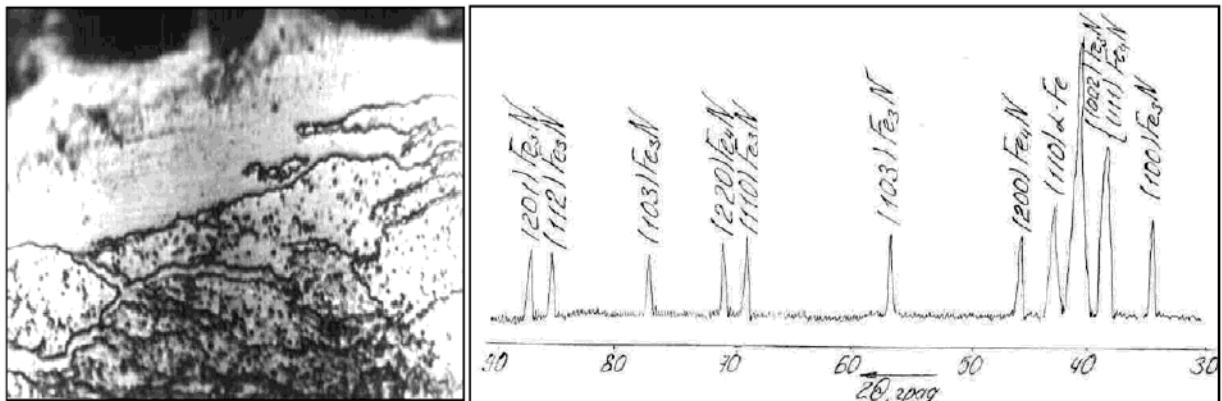


Рис.4 Мікроструктура і дифрактограма поверхневого шару азотованого зразка № 11, x 1000

Рентгенодифрактометричний аналіз азотованої поверхні свідчить про те, що інтенсивність лінії (110) α -Fe (ферита), самої інтенсивної в дифракційному спектрі чистого заліза, в азотованому зразку виявлена слабо [3].

Найбільшу інтенсивність мають дифракційні лінії високо азотистої фази Fe_3N . Інтенсивність ліній, що відповідають фазі Fe_4N , свідчать про її меншу об'ємній долі в поверхневому шарі [3].

Після лазерної обробки в результаті надвисокої швидкості охолодження закристалізованих об'ємів в наслідок інтенсивного відводу тепла крізь основний об'єм зразків на поверхні утворюється світла зона, яка не підлягає травленню і індифікується «безструктурний мартенсит» - гарденіт, що є різновидом класичного мартенситу [4]. Таким чином, при лазерній обробці азотованих зразків на поверхневому шарі в зоні лазерного впливу утворюються структури з високою мікротвердістю $H_{\mu 50} = 9277 \text{ МПа}$. Висока мікротвердість структури гарденіту характерна і для пористого включення з темними плямами в зоні кратеру.

Із аналізу фазового складу азотованої поверхні після лазерної обробки поверхні витікають наступні складові: α -Fe, карбонітриди типу $\text{Me}_7(\text{CN})_3$, де $\text{Me}(\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Mn})$, і нітрид Fe_3N . Відзначимо, що α -Fe - це гарденіт білих плям і ферит темних ділянок поверхні. Фаза $\text{Me}_7(\text{CN})_3$ є карбонітрид зі складною орторомбічною решіткою (просторова група $D_{2h}^{16} = P_{nma}$), у який частина позицій атомів вуглецю займають атоми азоту.

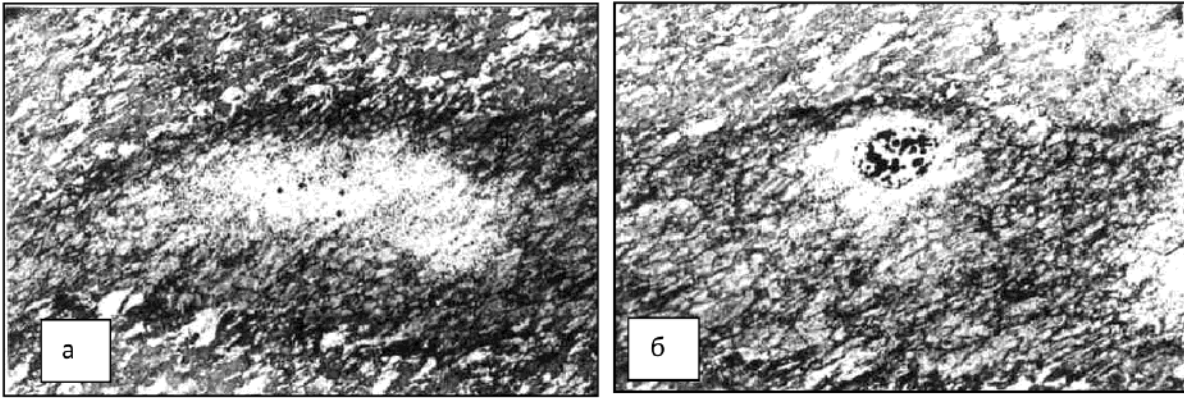


Рис.5. Мікроструктура зішліфованих ділянок робочої поверхні після лазерної обробки;
а - х 50, б – х 100.

При дослідженні на дифрактограмі поверхні виявлено 13 ліній, що властиві ізоморфним фазам типу Mn_7C_3 , Cr_7C_3 , $(Fe, Cr)_7C_3$, Me_7C_3 [3].

Дослідження мікроструктур загартованих зон СВЧ сталі 45 проводили за допомогою електронного растрового мікроскопу РЕМ-106И.

Вихідний матеріал (рис.6 а,б,) має мікротвердість ($H_{\mu 50}=6000-6500$ МПа) ферито-перлітну структуру в основі і структур гартування СВЧ з включеннями мартенситу відпуску.

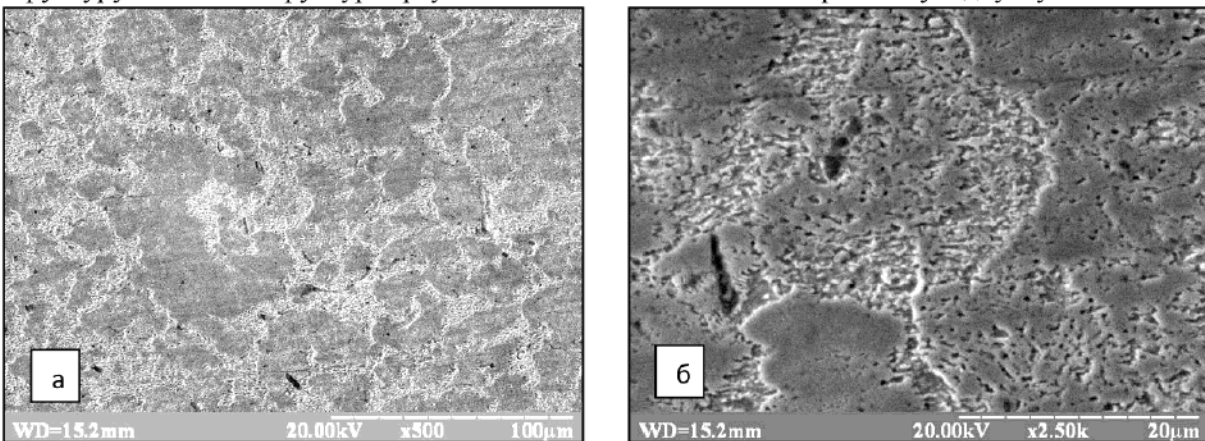


Рис.6 Мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після термообробки і гартм СВЧ.

Обробка наплавленого шару боруванням [5] за рахунок вторинного нагріву і охолодження, сприяють зміщенню точок фазових і структурних перетворень і появи боридів. Під впливом температурних градієнтів охолодження спостерігається анізотропія кристалів, витягнутість і спрямованість вглиб металу структурних складових (рис.7 а, б)

Форма структурних елементів металу відповідає виду структурних елементів анізотропії кристалів. Поверхня має витягнуту структуру (рис.7 а, б) з білими вкрапленнями боридів, розмір яких коливається в межах від 100-150 мкм.

Так в структурі трансформованої поверхні спостерігається перлітна структура з вкрапленнями карбідів (рис.7 а, б.). Сам шар має збіднену вуглецеву структуру з частками карбідів розмір яких коливається в межах 0,5 мкм.(рис.7 а,б).

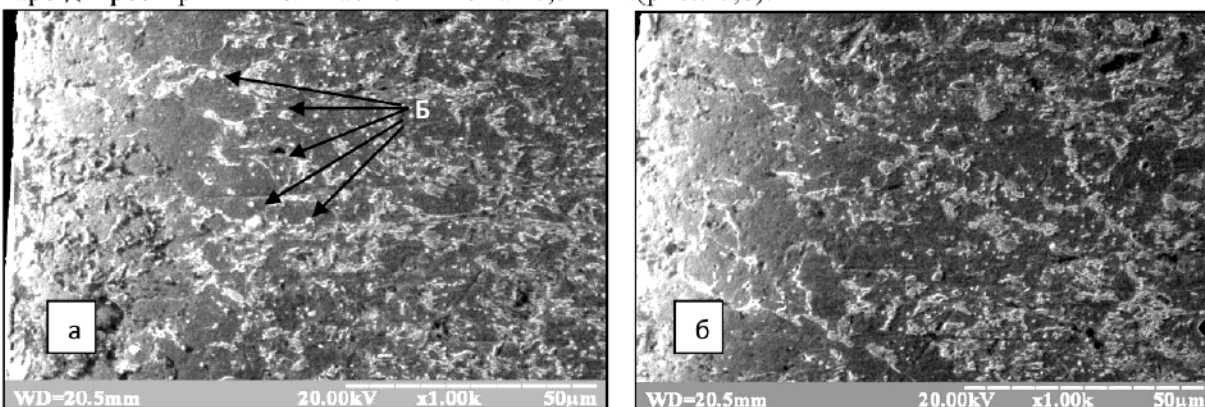


Рис.7 Мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після термообробки і гартм СВЧ.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На рис.8 представлена графічна модель залежності твердості поверхневого шару сталі 45 від технологічних зміцнюючих способів обробки на якій наочно можливо спостерігати динаміку і трансформацію мікроструктури від якої залежать фізико – механічні властивості робочої поверхні деталі із сталі 45.

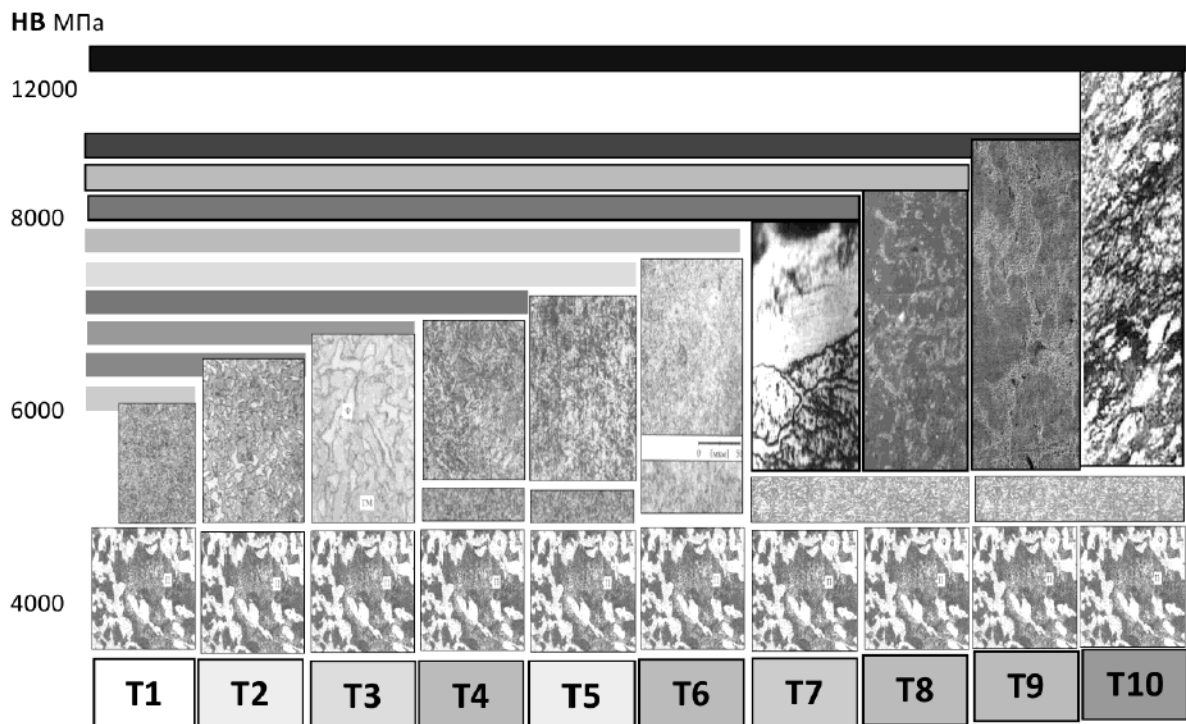


Рис.8 Графічна модель залежності твердості поверхневого шару сталі 45 від технологічних зміцнюючих способів обробки (T1- сорбітизація; T2- гарт з охолодженням у мастилі – тростит і ферит; T-3 – гарт з охолодженням у воді – тростомартенсит і ферит; T4 – гарт з охолодженням в мастилі - тростомартенсит; T5 – гарт з охолодженням в воді – голчастий мартенсит; T6 - СВЧ – безструктурний мартенсит; T7 – після азотування - високо азотисті фази – нітриди - Fe_3N , Fe_4N ; T8 – борування з утворенням боридів; T9 – гарт СВЧ – мартенсит; T10 – азотування з наступною лазерною обробкою – гарденіт з зонами карбонітридів типу $Me_7(CN)_3$ і нітридів типу Fe_3N).

Висновки. Зроблений аналіз існуючих технологічних способів зміцнення поверхневого шару. Досліджено динаміку трансформації мікроструктур при застосуванні ряду технологічних способів зміцнення. Розроблена графічна модель залежності твердості поверхневого шару сталі 45 від зміцнюючих технологій поверхневої обробки, що дозволяє підібрати оптимальну технологію зміцнення з відповідними фізико-механічними характеристиками і властивостями поверхневого шару деталей із сталі 45.

Інформаційні джерела

1. Франценюк И.В., Франценюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. –М.:ИКЦ «Академкнига», 2004. –136с.
2. Дифференцированные обработки сплавов для повышения их свойств – перспективное направление в материаловедении. Л.С. Малинов. /Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении.// Научный журнал 2012 Запорижжя, ЗНТУ -51-56с.
3. Зав'ялов А.С., Теплухін Г.Н., Габеев К.В. Условия и механизм образования безструктурного мартенсита (гарденита). Металловедение и термическая обработка металлов. №10-1979. –С11-12.
4. 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. С171-176.
5. 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.

О.Г.Чернета, к.т.н., Сухомлін,В.І., к.т.н., Коробочка О.М., д.т.н.

Дніпровський державний технічний університет.

АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 45 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОКИ

В данной работе приведен анализ трансформации микроструктуры поверхностного слоя из стали 45 в зависимости от технологических методов обработки, приведен анализ и исследования физико-механических свойств рабочих поверхностей. Приведены ряд наиболее традиционных и современных новейших технологий по обработке поверхностного слоя деталей – обработка ТВЧ, закалка, азотирование, борирование, лазерная обработка, азотирование с ЛО. По результатам проведенных исследований получены фотографии с микроструктурами рабочих поверхностей и построены графические зависимости микротвердости поверхностного слоя детали.

Ключевые слова: технологические способы обработки, металлографические исследования, рабочие поверхности, детали автомобилей, микроструктура.

O. Cherneta, V. Syhomlin, O. Korobochka

Dneprovsky State Technical University

THE ANALYSIS OF TRANSFORMATION MICROSTRUCTURES WEAR LAYERS ON STEELS 45 BY DEPENDING OF TECHNOLOGICAL METHODS OF TREATMENT

The analysis of microstructures of transformation wear layers from the steel 45, depending on technological methods and physical-mechanical properties of work surfaces are given in the article. The most using modern of technology treatment of surface layers are given in this research. It may be – treatment of current high energy, high warm treatment, boron, nitric, laser treatment and any kinds of combination – boron, nitric with late laser treatment. Due to the results of the research the pictures of the microstructures of work surfaces are received. The graphic dependency of microhardness of the work surfaces is expressed.

Key words: technological methods of treatment, metallic graphic research, work surface, tools of automobile, microstructures.