

УДК 669.136.9

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ**

Чернета Олег Георгійович

к.т.н., доцент

Коробочка Олександр Миколайович

д.т.н., професор

Кубіч Вадим Іванович

к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет

м. Кам'янське, Україна

Національний університет

«Запорізька політехніка»

м. Запоріжжя, Україна

Анотація: В роботі проведені дослідження методів вибору оптимальних технологічних процесів зміцнення поверхневого шару деталей. Зроблений аналіз фізико-механічних характеристик покриттів після відповідних зміцнюючих обробок з урахуванням структурних перетворень в поверхневих шарах. Визначені критеріальні оцінки технологічних способів зміцнення - азотування, борування, бороцементації, лазерної обробки, іонно – плазмового азотування, термічної обробки, а також критеріальні оцінки продуктивності технологічного обладнання і економічних показників.

Ключеві слова: критеріальні оцінки, аналіз, технологічні способи зміцнення, механічні властивості, мікроструктура.

Вступ. Вибір показників ефективності функціонування технологічних систем є вирішальним і основним фактором системного аналізу комплексів для зміцнення поверхневого шару і нанесення зносостійких покриттів деталей машинобудівного виробництва. З відповідністю ієрархічної структури системи по зміцненню поверхневого шару кожна ступень характеризується відповідним показником ефективності [1, с.78-80].

Якість матеріалу в значній мірі визначається його внутрішньою будовою – мікроструктурою, на яку впливають як хімічний склад, так і різні варіанти впливу на матеріал. Тому один і той же матеріал, але оброблений різними способами, має різні властивості.

Метою роботи є розробка методів вибору оптимальних технологічних процесів зміцнення поверхневого шару деталей машинобудівного комплексу.

Основними технологічними критеріями технологічних процесів по зміцненню поверхневого шару є фізико-механічні характеристики покриттів (модуль пружності - E (МПа), мікротвердість H_u , коефіцієнт пластичності - K_d , межа витривалості - σ_b (МПа), межа текучості - σ_T (МПа), коефіцієнт тріщиноутворення K_{SU} (дж/см²), коефіцієнт збільшення довжини δ (%), коефіцієнт стиснення Ψ (%)).

Матеріали і методи. Міцність сталей забезпечується за рахунок ряду механізмів зміцнення: твердорозчинного, дислокаційного, дисперсного, зерногранитного, субструктурного і перлітного [2, с.136]. В сталях з гарту на мартенсит визначну роль відіграють величини дислокаційного і субструктурного механізмів зміцнення, що залежать від вмісту розчиненого вуглецю. Підвищення міцності суттєво знижує пластичність, в'язкість і підвищує межу хладоломкості. Для середньо вуглецевих ферито-перлітних сталей вміст вуглецю або кількість перліту в структурі є основним чинником при зміні міцності і пластичності. При збільшенні вмісту вуглецю знижується значення ударної в'язкості і підвищується температура в'язко-крихкого стану. Найбільш привабливим по складу властивостей є середньо-вуглецеві і середньо-леговані сталі (0,3-0,5%С; $\sigma_{0,2}$ =700..850 МПа, σ_b =900-1100 МПа). Особливість цих сталей: підвищені міцніські властивості, мала чутливість до концентраторів напружень, висока межа витривалості і достатній запас в'язкості. Високоміцні середньолеговані сталі з вмістом 0,4%С забезпечують σ_b =2100 МПа.

Узагальнення розмінностей у відсотковий вимір дозволяє збудувати математичну модель, що відтворює склад фізико-механічних властивостей для

кожного способу зміцнення деталей і запрограмувати найоптимальний баланс складових характеристик. У світовій практиці зміцнення поверхневого шару поверхонь деталей і практичних досліджень відомо, що при суттєвому підвищенню мікротвердості пропорційно зменшується пластичність, межа текучості, збільшується імовірність тріщиноутворення і т.інш. Узагальнений критерій ефективності кожного окремого способу зміцнення визначається із співвідношення :

$$D_{0A} = \lambda_1 C_1^*(W_A) + \lambda'_A C_{\text{ПР}}^*(A) + \lambda''_A F_{\text{ПР}}^*(A) + \lambda_A^{**} \Pi_A$$

$$D_{0B} = \lambda_2 \times C_2^*(W_B) + \lambda'_B C_{\text{ПР}}^*(B) + \lambda''_B F_{\text{ПР}}^*(B) + \lambda_B^{**} \Pi_B$$

$$D_{0\text{БЦ}} = \lambda_3 \times C_3^*(W_{\text{БЦ}}) + \lambda'_{\text{БЦ}} C_{\text{ПР}}^*(\text{БЦ}) + \lambda''_{\text{БЦ}} F_{\text{ПР}}^*(\text{БЦ}) + \lambda_{\text{БЦ}}^{**} \Pi_{\text{БЦ}}$$

$$D_{0\text{ЛО}} = \lambda_4 \times C_4^*(W_{\text{ЛО}}) + \lambda'_{\text{ЛО}} C_{\text{ПР}}^*(\text{ЛО}) + \lambda''_{\text{ЛО}} F_{\text{ПР}}^*(\text{ЛО}) + \lambda_{\text{ЛО}}^{**} \Pi_{\text{ЛО}}$$

$$D_{0\text{ИПА}} = \lambda_5 \times C_5^*(W_{\text{ИПА}}) + \lambda'_{\text{ИПА}} C_{\text{ПР}}^*(\text{ИПА}) + \lambda''_{\text{ИПА}} F_{\text{ПР}}^*(\text{ИПА}) + \lambda_{\text{ИПА}}^{**} \Pi_{\text{ИПА}}$$

$$D_{0\text{ТО}} = \lambda_6 \times C_6^*(W_{\text{ТО}}) + \lambda'_{\text{ТО}} C_{\text{ПР}}^*(\text{ТО}) + \lambda''_{\text{ТО}} F_{\text{ПР}}^*(\text{ТО}) + \lambda_{\text{ТО}}^{**} \Pi_{\text{ТО}} ,$$

де C_i^* - критеріальні оцінки фізико-механічних характеристик покриттів після відповідних зміцнюючих обробок з урахуванням структурних перетворень в поверхневих шарах

$$C_1^*(E_1; H_{\mu 1}; K_{n1}; \sigma_{\text{в}1}; \sigma_{\text{т}1}; KCU_1; \delta_1; \psi_1) = C_1^*(W_A);$$

$C_{\text{ПР}}^*$ (А - азотування, Б - борування, БЦ - бороцементация, ЛО – лазерна обробка, ИПА – іонно - плазмова азотування, ТО – термічна обробка) – відповідно критеріальні оцінки продуктивності технологічного обладнання залежно від способів зміцнення;

$F_{\text{ПР}}^*$ - критеріальні оцінки продуктивності використаної площі;

$C_{\text{ек}}^*$ - критеріальні оцінки економічної ефективності;

$\lambda_{i(1...)} -$ вага критеріїв ефективності визначається за формулою:

$$\lambda_i = \frac{n_0 - n_n}{n_0},$$

де n_0 – кількість аналізованого обладнання;

n_n - кількість обладнання, що відповідає нормативним вимогам.

Результати і обговорення. В таблиці 1 наданий відсотковий розподіл матеріальних і енерговитрат різних технологічних способів обробки і

зміцнення, що були вибрані із аналізу окремих технологічних процесів і матеріалів попередніх досліджень [3, с.178-180]. [4, с.180].

Таблиця 1

**Відсотковий розподіл матеріальних і енерговитрат
різних способів обробки**

№/№	Об'єм виробництва		Час техпроцесу		Енергоспоживання		Вартість обладнання	
	Q, м ²	%	t, год	%	Е,кВт	%	С, грн	%
Азотування	6	60	96	90	625	40	12500 0	10
Борування	0.3	8	8	2	121	10	62500	5
Бороцементация	0.3	8	8	2	121	10	62500	5
Лазерна обробка	0.1	2	1	2	244	20	12500 00	55
ПА	0.3	7	3	2	121	10	13750 0	15
Термообробка	1.5	15	8	2	121	10	12500 0	10

Для того, щоб об'єктивно оцінити сутність, вплив і відповідність кожного з показників фізико-механічних властивостей (кожна з них має свою розмірність), що характеризується відповідними фізичними процесами, то є необхідність привести показники до єдиної бази вимірювання і оцінювання. універсальним показником для оцінювання різно розмірних показників є відсоткове співвідношення. Так виміри, для прикладу боровані покриття, мікротвердості на поверхні зміцненої деталі до серцевини, будуть коливатися в межах від максимального до номінального значення, що можна припустити відповідно - H_{max} -100%, $H_{сер}$ - 80%, $H_{мін}$ - 60%, при дійсному стані вимірювання - $H_{rmax}=16000$ МПа; $H_{rсер}=12000$ МПа; $H_{rмін}=8000$ МПа. Також подібні припущення використаємо і для інших показників (E (МПа), K_d , σ_b (МПа), σ_T (МПа), KCU (дж/см²), δ (%), Ψ (%)).

На рис.1 надана графічна схема коливань фізико-механічних властивостей сталі 45 після різних способів зміцнення (борування, азотування,

термообробка, лазерна обробка, бороцементация, іонно-плазмове азотування) [5, с.170].

Як видно з графіку (рис.1) при максимально можливих значеннях мікротвердості різко знижується пластичність, коефіцієнти K_n , межа текучості - σ_T (МПа), коефіцієнт тріщиноутворення K_{CU} (дж/см²), коефіцієнт збільшення довжини δ (%), коефіцієнт стиснення Ψ (%).

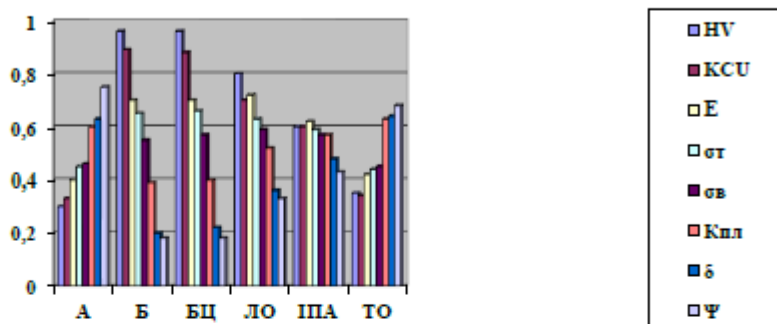


Рис. 1 Розподіл фізико-механічних властивостей при окремих способах зміцнення робочих поверхонь деталі

За сукупністю узагальнених критеріїв ефективності кожного із наведених способів зміцнення побудовано загальний графік критеріїв ефективності відповідних способів зміцнення.

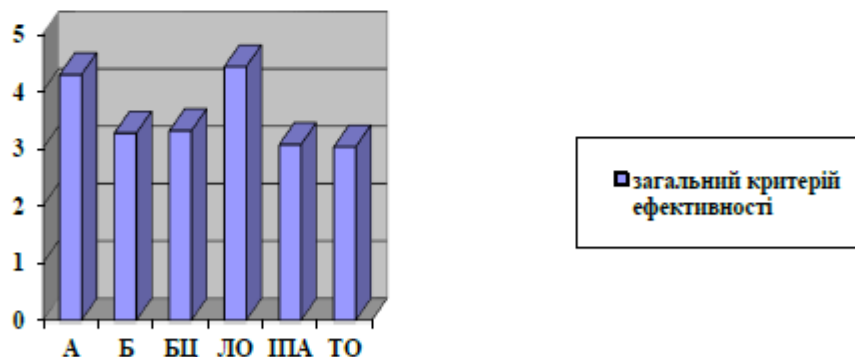


Рис.2 Графік критеріїв ефективності відповідних способів зміцнення.

На графіку спостерігається динаміка змінення загального ефекту від критеріальних оцінок окремої групи технологічних способів зміцнення з урахуванням міцних характеристик покриттів, загальних витрат на

технологічний процес, обладнання і економічні показники, що враховують кінцевий результат - зносостійкість покриттів і сумарні витрати на їх отримання.

Висновки. Розроблена методика визначення за критеріальними показниками ефективності технологічних способів одержання міцних характеристик покриттів в залежності від економічних витрат .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский и др. Качество машин / //Справочник. Т2 М. Машиностроение 1995 – С.430.
2. Франценюк И.В., Франценюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. –М.:ИКЦ «Академкнига», 2004. –С.136.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С. 286 -293.
4. О.Г. Девойно / Технология формирования износостойких поверхностей лазерным легированием / - Минск: УП «Технология», 2001. –С.180.
5. Чернета О.Г., Сухомлін В.І., Волощук Р.Г., Губарев С.В. Особливості структури відновленого поверхневого шару сталі 45 після зміцнення лазерним боруванням. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м.Луцьк, грудень 2018 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – Випуск 13. – С. 170-175.