

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.365: 620.178.16

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/01>**Дворук В.І.**

Національний авіаційний університет

Лабунець В.Ф.

Національний авіаційний університет

Борак К.В.

Житомирський агротехнічний коледж

Свирид М.М.

Національний авіаційний університет

Бучко І.О.

Житомирський агротехнічний коледж

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 65Г, ЗМІЦНЕНОЇ ГАРТУВАННЯМ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ

У роботі проведено аналіз досліджень впливу гартування при індукційному нагріванні на зносостійкість сталей. Встановлено, що результати попередніх досліджень неможливо застосувати для робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, оскільки всі попередні дослідження на зносостійкість проводились при зношуванні по жорстко закріпленому абразиву.

Для визначення можливості підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин гартування струмами високої частоти необхідно провести лабораторні дослідження на зношування в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок. Для проведення таких досліджень розроблена методика, яка дозволяє визначити зносостійкість сталі при зношуванні в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок.

У роботі встановлено вплив сили струму на зносостійкість сталі 65Г при зміцненні гартуванням струмами високої частоти. Даний спосіб, підвищення зносостійкості, дозволяє підвищити стійкість до абразивного зношування сталі 65Г приблизно на 10% порівняно зі стандартною термообробкою (нагрівання в муфельній печі до 810°C з відпуском 200°C). У процесі взаємодії сталі 65Г (зміцненої гартуванням при індукційному нагріванні) з вільним абразивом відбувається процес наклепування поверхні, в результаті чого поверхнева твердість підвищується на 6...25,6%, що позитивно впливає на її зносостійкість. У зразків сталі з найменшою зносостійкістю на поверхні тертя, окрім слідів мікрорізання, також спостерігались наявність каверн. Застосування гартуванням при індукційному нагріванні не дозволить кардинально вирішити питання підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, тому необхідно шукати нові більш прогресивні способи і методи зміцнення їх робочих поверхонь.

Ключові слова: зносостійкість, сталь 65Г, струм високої частоти, абразивне зношування, зміцнення.

Постановка проблеми. У розвинутих країнах світу витрати коштів, що зумовлені негативними наслідками абразивного зношування, становлять від 1 до 4% національного продукту [1].

Абразивне зношування є головною причиною передчасного виходу з ладу робочих органів

ґрунтообробних та посівних машин, які в процесі експлуатації безпосередньо взаємодіють зі специфічним абразивним середовищем – ґрунтом. Для підвищення їх зносостійкості широко застосовуються різноманітні конструкційні, технологічні та експлуатаційні засоби, серед яких до 80%

припадає на технологічні засоби. Найбільшого поширення набули такі технологічні засоби, як зміцнення створенням зносостійкої плівки на поверхні, а також зміна структури поверхневого шару і всього об'єму металу.

Одним із сучасних та високопродуктивних методів зміцнення, що широко застосовується в машинобудуванні, є гартування поверхні сталей струмами високої частоти (СВЧ). Однак на сьогоднішній день питання щодо доцільності використання вказаного методу для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин остаточно не з'ясовано і потребує подальшого вивчення, що зумовило постановку цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Використання термічної обробки деталей та заготовок СВЧ почали впроваджувати у виробництво у 30-х роках минулого століття [2]. Цей метод обробки володіє рядом позитивних характеристик, а саме:

- 1) висока швидкість нагріву й відсутність необхідності тривалого періоду розігріву обладнання;
- 2) відсутність окалини і угару металу;
- 3) рівномірний прогрів;
- 4) менша трудомісткість та більша економічність процесу обробки;
- 5) можливість автоматизації процесу.

У результаті СВЧ-обробки зносостійкість сталі 45 порівняно зі звичайною термічною обробкою (пічний нагрів) підвищується на 14...28%, що пояснюється наявністю більш дрібнозернистої структури, рівномірним розподілом дисперсних карбідів та розвинутою субструктурою через високу швидкість під час нагріву СВЧ [3]. Для сталі 15Х11МФ підвищення зносостійкості при використанні СВЧ порівняно з пічним нагрівом складає 12...23,5% [4, 5].

Автором [6] визначається, що гартування СВЧ дозволяє суттєво підвищити зносостійкість ножів кормозбирального комбайна, які виготовлені зі сталі ХВГ, 65Г та У10. Для малої партії ножів нагрівання під гартування за допомогою СВЧ сприяло збільшенню вартості обробки в декілька разів через коштовне обладнання. Тому цей спосіб нагрівання визнали недоцільним з економічного боку. Витрати на використання СВЧ починають дорівнювати витратам на нагрівання в соляних ваннах, якщо партія ножів перевищує 1000 одиниць. При більших партіях нагрівання СВЧ стає економічно вигідним [6].

Аналіз попередніх досліджень підтверджує можливість підвищення зносостійкості сталей за рахунок гартування СВЧ. Результати даних дослі-

джень неможливо застосувати для робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, оскільки всі попередні дослідження на зносостійкість проводились при зношуванні по жорстко закріпленому абразиву. Для визначення можливості підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин гартування СВЧ необхідно провести лабораторні дослідження на зношування зразків зміцнених обробкою СВЧ в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок.

Методика досліджень. Для дослідження були виготовлені зразки зі сталі 65Г у вигляді квадратів (30х30 мм) товщиною 8 мм (рис. 1). Зміцнення зразків проводили за такими режимами:

- зразок СТ – стандартна термообробка (нагрівання до 810°C з відпуском 200°C);
- зразок 1 – гартування СВЧ, сила струму 0,8 А з відпуском 200°C;
- зразок 2 – гартування СВЧ, сила струму 0,1 А з відпуском 200°C;
- зразок 3 – гартування СВЧ, сила струму 1,25 А з відпуском 200°C;
- зразок 4 – гартування СВЧ, сила струму 1,5 А з відпуском 200°C.



Рис. 1. Дослідні зразки із сталі 65Г

Термічну обробку струмом високої частоти проводили з використанням генератора ВЧГ1-60/0,066У4 (рис. 2).

Для визначення зносостійкості підготовлених зразків використовували стандартний метод випробування матеріалів при терті об нежорстко закріпленій абразив на базі машини тертя Бри-нелля – Хаворта (рис. 3).

Сутність методу полягає в тому, що зразок притискають до гумового ролика діаметру 50мм. Під час обертання ролика в зону контакту подається абразив 7 з бункеру 5. Зусилля притискування регулюється за допомогою важеля 9

і складає 25,6Н. Як абразив використовується кварцевий пісок (SiO_2) зернистістю 250 мкм, що перед випробуваннями сушили у спеціальній шафі. Перед випробуванням зразки шліфували до шорсткості $R_z = 0,63 \text{ мкм}$, яку визначали на профілометрі моделі 201. Зношеність вимірювали ваговим методом на аналітичних вагах АДВ – 200 з точністю до 0,0001 г. перед випробуванням зразки промивали у спирті, висушували і зважували.



Рис. 2. Генератор ВЧГ1-60/0,066У4

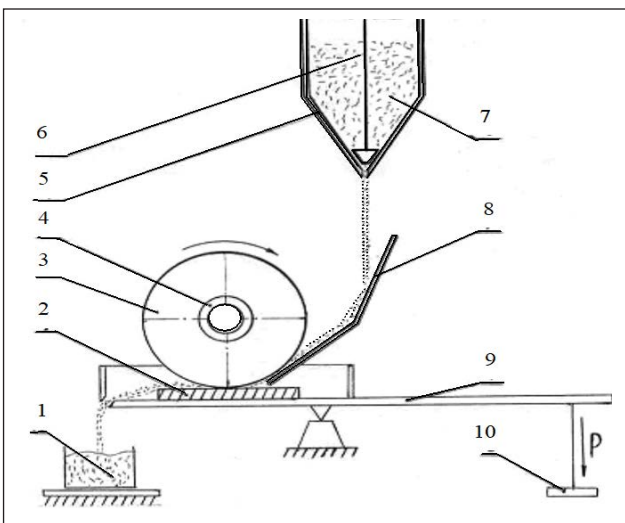


Рис. 3. Схема випробувальної установки:
1 – бункер для збирання відпрацьованого абразиву;
2 – зразок матеріалу, що досліджується;
3 – ролик, що обертається; 4 – втулка для ролика;
5 – бункер для вільного абразиву; 6 – важіль для регулювання швидкості подачі абразиву;
7 – вільний абразив; 8 – лоток для подачі абразиву; 9 – важіль для регулювання зусилля притискування циліндру до тертьової поверхні з абразивом; 10 – навантаження важеля силою P

Випробування на твердість проводили на твердомірі ТК – 2М, а мікротвердість – мікротвердомірі ПМТ-3. Електронно мікроскопічні дослідження

здійснювали на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА-102-02 і РЕМ-106-И.

Обробку результатів дослідження здійснювали регресійним аналізом.

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень були отримані дані, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив сили струму при гартуванні СВЧ на зносостійкість сталі 65Г

Сила струму	Зносостійкість $\text{с/г} \cdot 10^4$		
	I	II	III
0,8А	16,2	14,6	15,4
1А	11,1	11,2	10,7
1,25А	15,3	15,6	15,8
1,5А	14,6	14,3	14,6

Результати дослідів опрацювали регресійним аналізом, згідно якого критерій Фішера становить 61,86, що перевищує табличні дані $F_{0,95} = 4,76$ і $F_{0,99} = 9,78$. Тому різниця між всіма окремими варіантами дослідів достовірна на обох рівнях надійної ймовірності. Точність дослідів складає $T = 98,09\%$. Обробка експериментальних даних дозволила побудувати графік залежності зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ (рис. 4).

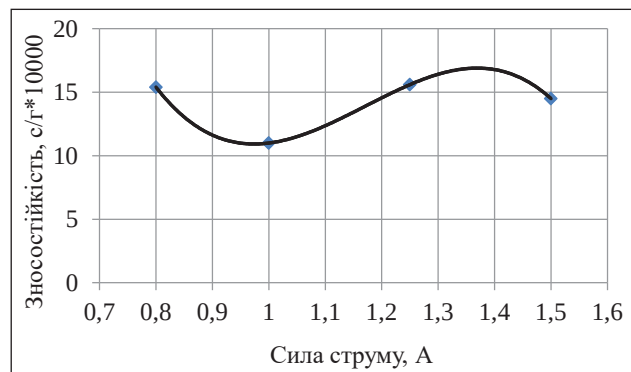


Рис. 4. Залежність зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ

Залежність зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ найкраще описує поліномальна функція (при всіх інших функціях коефіцієнт детермінації не перевищує 0,2):

$$y = -193,4x^3 + 679,64x^2 - 773,46x + 298,22 \quad (1)$$

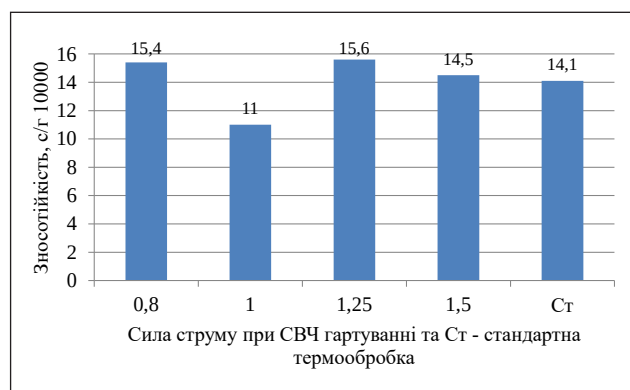


Рис. 5. Залежність зносостійкості сталі 65Г від способу гартування

При цьому коефіцієнт детермінації $R = 1$.

Слід зазначити, що при гартуванні СВЧ зносостійкість сталі 65Г порівняно зі стандартною термообробкою (нагрівання до 810°C з відпуском 200°C) підвищується не суттєво (рис. 5).

Як видно при гартуванні СВЧ максимальне підвищення зносостійкості сталі 65Г складає 10% (при силі струму 1,25 А).

Для аналізу механізму абразивного зношування сталі 65Г після гартування СВЧ й стандартної термообробки поверхні тертя фотографували після зношування рис. 6, а також досліджено зміну поверхневої твердості зразків табл. 2.

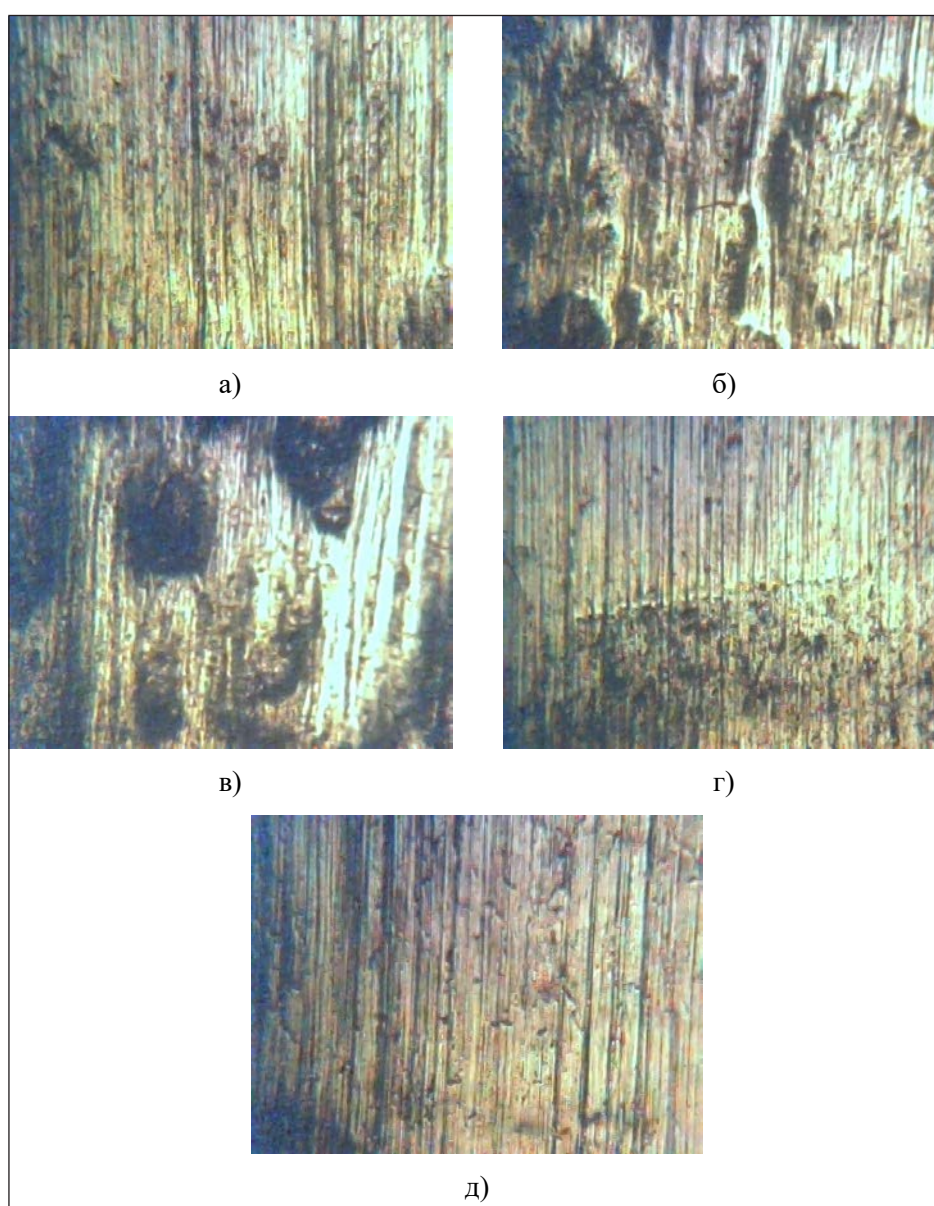


Рис. 6. Електронні фотографії поверхонь тертя при гартування та термообробці СВЧ при абразивному зношенні: а – стандартне гартування ; б – гартування СВЧ сила струму 0,8 А; в – гартування СВЧ сила струму 1 А; г – гартування СВЧ сила струму 1,25 А; д – гартування СВЧ струму

Таблиця 2

Поверхнева твердість дослідних зразків

Вид обробки, режим	№ зразка	Твердість поверхні до зношування, HRC	Твердість поверхні після зношування, HRC
Стандартне Гартування 810° від.200°	1	50	62,5
	2	53	64,4
	3	54	62,5
СВЧ 0,8 А від.200°	1	53	71,2
	2	54	70,3
	3	55	65,7
СВЧ 1 А від.200°	1	53	56,4
	2	54	59,6
	3	55	62,8
СВЧ 1,25 А від.200°	1	52	60,9
	2	55	58,7
	3	58	68,3
СВЧ 1,5 А від.200°	1	52	62,1
	2	55	67,5
	3	56	66,6

У зразків сталі з найменшою зносостійкістю на поверхні тертя (рис. 6,в), окрім слідів мікро-різання, також спостерігались каверни.

Дані табл. 2 дозволяють зробити висновок, що в процесі взаємодії сталі 65Г з вільним абразивом відбувається процес наклепування поверхні, в результаті чого поверхнева твердість підвищується на 6...25,6%, що позитивно впливає на її зносостійкість.

Висновки. СВЧ гартування дозволяє підвищити зносостійкість сталі 65Г при зношуванні тертям об незакріплений абразив приблизно на 10%. Застосування СВЧ гартування не дозволить кардинально вирішити питання підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, тому необхідно шукати нові більш прогресивні способи і методи зміцнення їх робочих поверхонь.

Список літератури:

1. Tylczak J.H. Abrasive wear. *ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International*. 1992. № 18. P. 184–190.
2. Гурченко П.С., Шипко А.А. История и направления развития индукционного нагрева СВЧ на минском автомобильном заводе. *Литье и металлургия*. 2013. № 2 (70). С. 91–105.
3. Вуец О.Є. Влияние термической обработки с различными скоростями нагрева на износостойкость стали 45. *Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве*. 2013. № 1. С. 78–79.
4. Погрібний М.А., Вуець О.Є. Дослідження впливу відпуску з різними швидкостями нагрівання на механічні властивості сталі. *Вісник ХНАДУ*. 2014. № 67. С. 58–62.
5. Погрібний М.А., Вуець О.Є. Влив термічної обробки на зносостійкість сталі 15Х11МФ. *Металознавство та обробка металів*. 2014. № 4. С. 31–35.
6. Сталь і термічна обробка ножів кормозбирального комбайна. О.Ю. Браташевський та інші. «Марал». *Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. 2010. № 95. С. 75–83.

Dvoryk V.I., Labunets V.F., Borak K.V., Svyryd M.M., Buchko I.O. WEAR RESISTANCE OF 65G STEEL, STRENGTHENED BY INDUCTION HEATING

The analysis of studies of the influence of quenching during induction heating on the durability of steels is carried out. It has been established that the results of previous studies cannot be applied to the working bodies of soil tillage and sowing machines, since all previous studies on wear resistance were carried out during wear on rigidly fixed abrasives. To determine the possibility of increasing the wear resistance of the working bodies of soil tillage and seeding machines high-frequency currents, it is necessary to carry out laboratory tests for wear in conditions of non-rigidly fixed abrasive particles. For carrying out such studies, a technique has been developed that allows to determine the wear resistance of steel during wear in conditions of non-rigidly fixed abrasive particles.

The influence of the current strength on the wear resistance of 65Г steel during hardening by high-frequency currents is established in the work. This method, increase wear resistance, allows to increase the resistance to abrasion wear of steel 65Г by about 10%, compared with standard heat treatment (heating in a muffle furnace to 810 °C with a release of 200°C).

In the process of interaction of 65Г steel (strengthened by quenching during induction heating) with free abrasive is the process of surface hardening, resulting in surface hardness increases by 6...25,6%, which has a positive effect on its wear resistance. The least wear-resistant specimens on the friction surface, except for traces of micro-cutting, also showed the presence of caverns. The application of quenching during induction heating will not allow to radically solve the question of increasing the wear resistance of the working bodies of the tillage and sowing machines, so it is necessary to look for new more progressive ways and methods of strengthening their working surfaces.

Key words: wear resistance, 65Г steel, high frequency current, abrasive wear, strengthening.