

10. Sagaradze V.S. *Povyshenie nadezhnosti tsementuemykh detalei* [Improving the reliability of cemented parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 216 p. (Rus.)
11. Kal'ner V.D. *Kontrol' kachestva termicheskoi obrabotki stal'nykh polufabrikatov i detalei: spravochnik* [Quality control of heat treatment of steel semi-finished products and parts: reference book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 384 p. (Rus.)
12. Goldstein J.I., Moren A.E. Diffusion Modeling of the Carburization Process. *Metallurgical Transactions A*, 1978, vol. 9A, no. 11, pp. 1515-1525.

Рецензент: Л.С. Малінов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 29.10.2021

УДК 669.187.56

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.5

© Білоник І.М.¹, Капустян О.Є.², Береговенко М.М.³, Білоник Д.І.⁴,
Шумикін С.О.⁵, Губарь Є.Я.⁶

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОТКІВ МЕХАНІЗМУ СТРУШУВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ УДАРНОЇ ЧАСТИНИ

Отримано дослідну партію молотків з ударною частиною, наплавленою матеріалом, близьким до складу металу електродів ОЗН-300М (310-320 НВ), %: 0,10 С; 3,00 Мп; 1,30 Si; 0,02 S; 0,03 P. Хвостовик – Сталь 20, твердість 160 НВ. Досліджено механічні властивості, а також опірність пластичній деформації в умовах, близьких до реальних умов експлуатації. Встановлено наступні характеристики наплавленого металу: міцність ($\sigma_v = 660$ МПа, $\sigma_m = 480$ МПа), пластичність ($\delta = 19\%$, $KCU = 85$ Дж/см²), твердість 310-320 НВ. Ударні випробування молотків, отриманих з використанням електрошлакового наплавлення, проводили на спеціально розробленому ударному стенді, який забезпечує енергокінематичні параметри удару молотка по балці струшування, аналогічні промислового електрофільтру. В якості контртіла застосовували ковадла зі сталі 40Х, загартовані на твердість 40-42 HRC. У випробуваннях, в яких максимальна кількість ударних навантажень складала 400×10^3 циклів, що відповідало нормативній тривалості експлуатації електрофільтру, довели, що властивості обраного матеріалу забезпечили мінімальну і незмінну площу ударного контакту молотка з ковадлом балки струшування протягом усього циклу експлуатації. Руїнування зміцнених молотків в процесі ударних випробувань не було і, тим самим, показана висока надійність і підтверджена можливість їх промислового застосування. Приведені рекомендації для промислового впровадження молотків із зміцненою ударною частиною. Отримані результати можуть бути використані на виробництві, при проектуванні технологічних процесів

¹ канд. техн. наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0000-0002-3873-5307, bilonikelena@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0000-0002-8979-8076, aek@zntu.edu.ua

³ директор ТОВ КаЗБеГ, м. Кривий Ріг, aek@zntu.edu.ua

⁴ аспірант, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0000-0003-3274-0604, bilonikelena@gmail.com

⁵ канд. техн. наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0000-0003-3407-2507, Shusa1958@ukr.net

⁶ канд. техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, ORCID: 0000-0001-9266-1137, aek@zntu.edu.ua

виготовлення деталей, які працюють у складних умовах експлуатації. На підставі отриманих результатів з метою зниження вторинного уносу, енерговитрат в ударних механізмах струшування електрофільтрів та собівартості доцільно рекомендувати виготовляти молотки біметалічними.

Ключові слова: молоток, удар, зміцнення, електрошлакове наплавлення, випробування, твердість, надійність

I.M. Bilonik, O.Ye. Kapustian, M.M. Berehovenko, D.I. Bilonik, S.O. Shumikin, Ye.Ya. Hubar. Research in the properties of hammers of the shaking mechanism of electrostatic precipitators manufactured by electroslag surfacing of the shock part. An experimental batch of hammers with the percussion part welded with a material close to the composition of the metal of the electrodes OZN -300M (310-320 HB), %: 0.10 C; 3.00 Mn; 1.30 Si; 0.02 S; 0.03 P has been got; the shank is made of Steel 20 with hardness equal to 160 HB. The mechanical properties, as well as resistance to plastic deformation in conditions close to real operating conditions have been studied. The following characteristics of the deposited metal have been established: strength ($\sigma_s = 660$ MPa, $\sigma_m = 480$ MPa), ductility ($\delta = 19\%$, $KCU = 85$ J/cm²), hardness 310-320 HB. Impact tests of the hammers obtained using electroslag surfacing have been performed on a specially designed impact bench, which provides energy-kinematic parameters of the hammer impact on the shake beam similar to an industrial electrostatic precipitator. Anvils made of 40X steel, hardened to the hardness of 40-42 HRC, were used as a counterbody. In the tests in which the maximum number of shock loads was 400×10^3 cycles, which corresponded to the standard operating life of the electrostatic precipitator, it was proved that the properties of the selected material provided a minimum and constant area of hammer impact contact with the shake anvil during the entire operating cycle. There was no destruction of the hardened hammers in the process of impact tests and, thus, high reliability has been shown and the possibility of their industrial application has been confirmed. The hammers with the strengthened percussion part have been recommended to be used in industry. The obtained results can be used in production, in designing technological processes for the manufacture of the parts operating in difficult operating conditions. Based on the results obtained in order to reduce secondary entrainment, energy costs in the impact mechanisms of shaking electrostatic precipitators and the cost, it is advisable to recommend to produce bimetallic hammers.

Key words: hammer, impact, hardening, electroslag surfacing, testing, hardness, reliability.

Постановка проблеми. Електричні осаджувальні фільтри застосовують на багатьох підприємствах України, Євразії та США. При експлуатації деталі ударного механізму електричних осаджувальних фільтрів схильні до зносу. В результаті, зношування змінюються форма і розміри ударної поверхні молотків та ковадл. Це призводить до виходу з ладу або ж поломки, зниження ефективності очищення електродів і розвивається, так званий, вторинний унос пилу. Також зростають витрати електроенергії та знижуються техніко-економічні показники роботи. Тому, розробка технологічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність роботи електрофільтру, є важливим і актуальним завданням. Проблеми ефективності роботи електричних осаджувальних фільтрів присвячені численні наукові дослідження, технічні розробки, а також рекомендації та пропозиції [1-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд і аналіз публікацій у сфері газоочиснення дозволив виявити сформовані тенденції до забезпечення точкового контакту молоток-ковадло в ударних механізмах електрофільтру. У попередньому доробку авторів [7, 8] показана доцільність та актуальність розробки технологічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність роботи електричних осаджувальних фільтрів, які являються основним газоочисним устаткуванням на теплових електростанціях, підприємствах металургійної та цементної промисловості.

В роботі [7] визначено, що основний вид зношування – ударний, а початковий точковий контакт молотка з ковадлом зазнає значну пластичну деформацію і переходить в лінійний, а

потім в площинний та об'ємний. Це призводить до погіршення енергетичних параметрів ударного імпульсу і, відповідно, до зниження ступеня очищення електродів електрофільтру. З огляду на вищесказане, буде доцільно виготовляти ударну частину молотка із зносостійкого матеріалу, що має підвищений опір до пластичної деформації в умовах дії ударних навантажень. Проведено аналіз сучасних матеріалів, які доцільно рекомендувати для виготовлення ударної частини молотка. Представлений аналіз показників твердості та хімічного складу зносостійких матеріалів, які працюють в умовах ударного впливу і володіють задовільною зварюваністю з низьковуглецевими сталями. Рекомендовано: ударну частину молотка виготовляти з матеріалу, який близький до складу металу, наплавленого електродами ОЗН-300М. Представлені дані про доцільність зміцнення молотків ударного механізму струшування осаджувальних і коронуючих електродів електрофільтрів електрошлаковим наплавленням (ЕШН) порошковим електродом.

В роботі [8] ударну частину молотка виготовили шляхом ЕШН у спеціальному роз'ємному мідному водоохолоджуваному кристалізаторі порошковим електродом із запропонованого матеріалу наступного хімічного складу, %: 0,10 С; 3,00 Mn; 1,30 Si; 0,015 S; 0,02 P. Досліджено хімічний склад, структуру, вміст неметалевих включень та їх характерний розмір металу зміцненої частини молотка. Встановлено, що хімічний склад металу наплавленої ударної частини молотка близький до складу металу наплавленого електродами ОЗН-300М та відрізняється зниженим вмістом сірки і фосфору. Це обумовлено ефектом рафінування при електрошлаковому переплаві. Крім того процес забезпечив формування щільної монолітної, однорідної дисперсної й бездефектної структури, характерної для литого електрошлакового металу. У литому металі виявлено наявність неметалевих включень переважно глобулярної форми та характерним середнім розміром 2,5-4,5 мкм у вигляді оксидів і сульфідів з об'ємним відсотком $(0,60-0,70) \times 10^{-2}$ і $(0,51-0,60) \times 10^{-2}$, відповідно. Але відсутні дані про механічні властивості наплавленого металу, його здатність опору до пластичного деформування та надійності молотка в цілому.

Тому, наступними завданнями роботи є:

- 1) дослідження механічних властивостей металу наплавленої зміцненої частини молотка;
- 2) проведення ударних випробувань молотків із зміцненою ударною частиною для оцінки опірності пластичній деформації і зносостійкості та надійності;
- 3) надання рекомендацій для промислового застосування молотків із зміцненою ударною частиною.

Мета дослідження – отримати дослідну партію молотків з ударною частиною з матеріалу, близького до складу металу, наплавленого електродами ОЗН-300М. Дослідити механічні властивості, а також опірність пластичній деформації в умовах, близьких до реальних умов експлуатації ударного механізму електрофільтру.

Виклад основного матеріалу. ЕШН дослідної партії молотків виконували на установці А-550 порошковим електродом за схемою, представленою в [7, рис. 3]. Для отримання необхідної форми ударної частини використовували спеціальний роз'ємний мідний водоохолоджуваний кристалізатор. Параметри наплавлення: струм 1300-1400 А; напруга – 39 В, флюс АНФ-6 [9, 10]. Наплавлені молотки не вимагали фінішної механічної обробки.

Металева оболонка коробчастого порошкового електроду виготовлена зі сталі 08кп товщиною 2 мм. Шихта представляла собою суміш FeMn ДСТУ 3547-97 і FeSi ДСТУ 4127:2002, а кількість феросплавів розрахована з урахуванням частки металевої складової.

З наплавлених деталей виготовили зразки для дослідження механічних властивостей на сервогідроліній системі для вимірювання параметрів статичних і динамічних випробувань INSTRON-8801 на плоских зразках згідно ІСО 6892-84. З огляду на підвищену твердість наплавленого металу, зразки для механічних випробувань вирізали ерозійним способом, а потім шліфували. Встановлено: $\sigma_b = 660$ МПа, $\sigma_t = 480$ МПа, $\delta = 19\%$, $KCU = 85$ Дж/см², твердість 310-320 НВ.

Щоб визначити опір пластичній деформації і зносостійкість наплавлених молотків, в умовах близьких до реальних, були проведені випробування на спеціальному ударному стенді (рис. 1), який забезпечує енергокінематичні параметри удару молотка по балці струшування, аналогічні для фільтра ПГДС-3-70. В якості контртіла застосовували ковадла зі сталі 40Х, загартовані на твердість 40-42 НRC. Первісну контактну площу молотків з ковадлами розраховували по кресленню, наведеному у роботі [7].

Для отримання об'єктивних результатів, випробування проводили шляхом порівняння. Три молотка за стандартною технологією виготовлення і три зі зміцненою ударною частиною. Після кожних 50×10^3 ударних циклів вимірювали площу контакту на ударній частині молотків. Встановлено наступне. Для стандартних молотків (Сталь 20, 168 HB) первісна площа контакту молотка і ковадла, які співударяються, становила порядку 50 мм^2 [7]. Як видно з рисунку 2, площа контакту зростає пропорційно кількості ударних циклів. Після напрацювання 250×10^3 циклів збільшення площі контакту дещо знижується. Це можна пояснити наклепом Сталі 20 [11]. Максимальна площа контакту (порядку 540 мм^2) була зафіксована при 400×10^3 ударних циклів, що відповідає повному циклу експлуатації молотків.

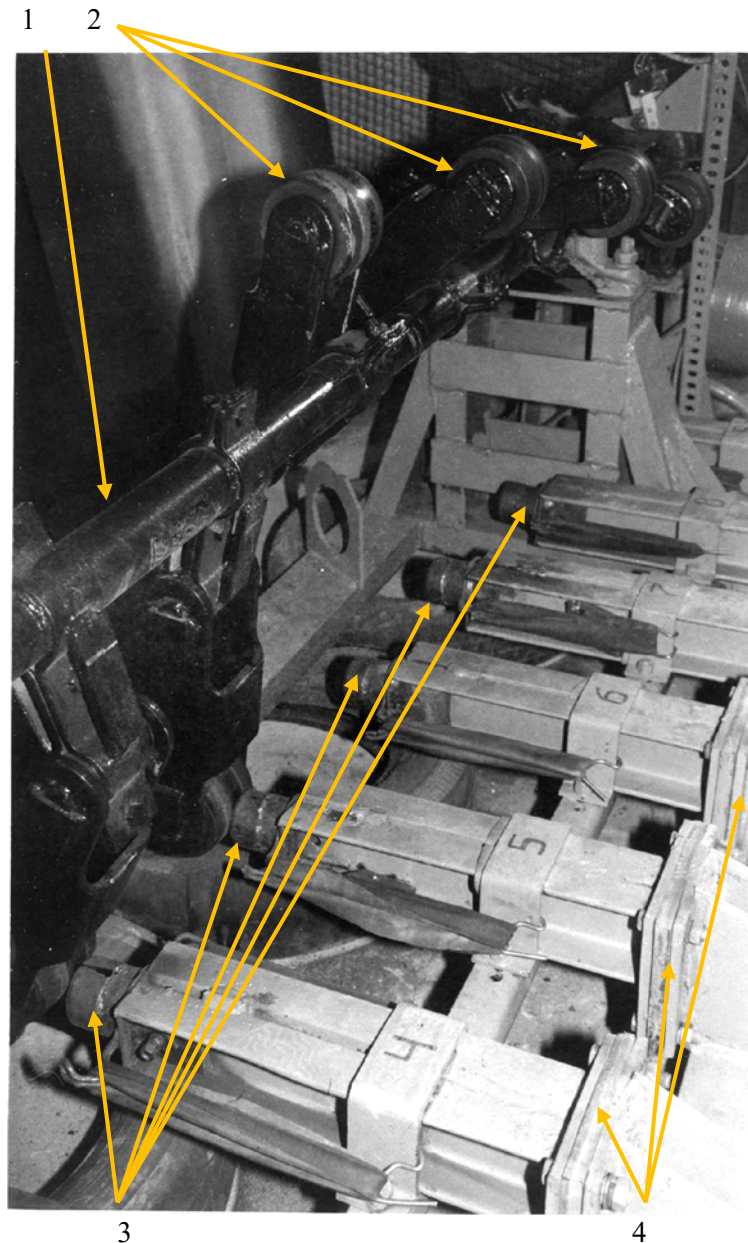


Рис. 1 – Загальний вид ударного стенду: 1 – молотковий вал; 2 – молотки; 3 – ковадла; 4 – демпфери

Для зміцнених молотків (310 HB) первісна площа контакту також становила порядку 50 мм^2 . При напрацюванні до 150×10^3 ударних циклів відбувається незначне збільшення первісної площі контакту від 50 мм^2 до 80 мм^2 , що можна пояснити припрацюванням деталей [12].

Потім площа контакту практично не змінюється. Максимальна площа контакту (100 мм^2) зафіксована при 400×10^3 ударних циклів (рис. 2).

Таким чином, застосування ЕШН і зміцнення ударної частини молотків (310 НВ) забезпечує площу контакту (не більше $80\text{-}100 \text{ мм}^2$) за весь цикл експлуатації ударного механізму електрофільтру. Це дозволить знизити енергетичні втрати ударного механізму струшування при очищенні осаджувальних і коронуючих електродів.

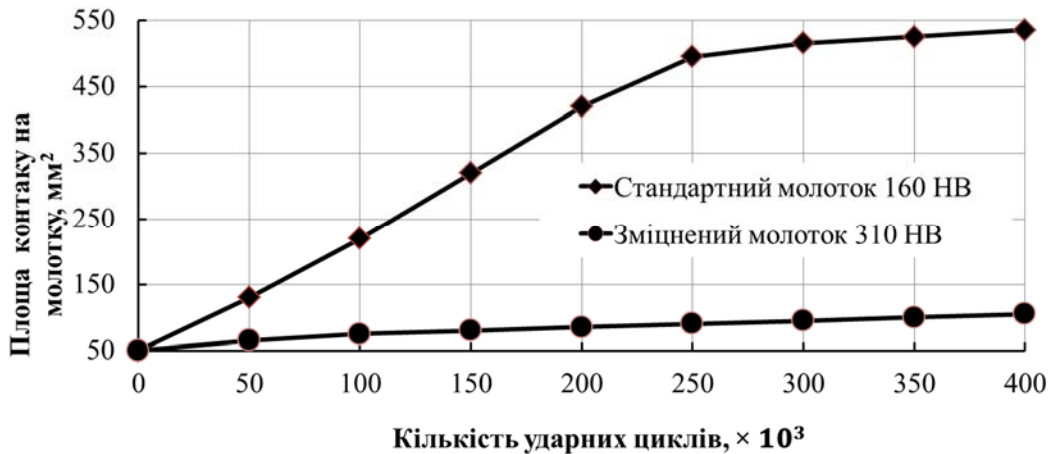


Рис. 2 – Вплив кількості ударних циклів на площу контакту ударної частини молотка

На підставі отриманих результатів з метою зниження вторинного уносу, енерговитрат в ударних механізмах струшування електрофільтрів та собівартості доцільно рекомендувати виготовляти молотки біметалічними. Ударна частина – матеріал із хімічним складом, %: 0,09-0,11 С; 2,80-3,20 Мн; 1,25-1,35 Si; 0,012-0,018 S; 0,015-0,025 Р. Твердість 310-320 НВ. Хвостовик – Сталь 20, твердість 160 НВ.

Висновки

1. Порівняльні випробування стандартних і зміцнених молотків на спеціальному ударному стенді показали, що при твердості наплавленого металу 310-320 НВ забезпечується мінімальна площа контакту (не більше $90\text{-}110 \text{ мм}^2$) протягом 400×10^3 циклів. Для стандартних молотків (160 НВ) характерна пластична деформація і збільшення контактної площі від 50 мм^2 – початок випробувань, до 560 мм^2 по закінченню випробувань.

2. При проведенні випробувань встановлено, що зміцнена ударна контактна частина молотка не зазнає пластичної деформації, а площа її контакту з поверхнею ковадла є майже незмінною, що повинно забезпечити високу ефективність передачі енергії ударних імпульсів, які очищують осаджувальні і коронуючі електроди електрофільтру.

3. Доведена доцільність зміцнення (310-320 НВ) ударної частини молотків, що виключає її зношування впродовж усього періоду експлуатації електрофільтру.

4. Застосування ЕШН ударної частини молотка при одночасному підвищенні її твердості без застосування термічної обробки значно зменшує трудомісткість виготовлення. Очікуваний економічний ефект на один молоток – 450-600 грн.

Перелік використаних джерел:

1. Чекалов Л.В. Практическая экотехника: электрическая и механическая очистка газов / Л.В. Чекалов. – Семибратово: «Кондор-Эко», 2008. – 156 с.
2. Белоусов В.А. Принцип работы и современное состояние вопроса по очистке отработавших газов электрофильтрами / В.А. Белоусов, А.А. Сысоев // Научные труды Брянского технического университета. – 2015. – № 1 (14). – С. 23-31.
3. Санаев Ю.И. Обеспыливание газов электрофильтрами / Ю.И. Санаев. – Семибратово: «Кондор-Эко», 2009. – 157 с.

4. Соколов Э.М. Обеспыливание промышленных газов: монография / Э.М. Соколов, Н.И. Володин, О.М. Пискушов. – Тула: Тульский государственный университет, 2001. – 376 с.
5. Буренин В.В. Новые фильтры-пылегазоуловители для очистки газоздушных выбросов строительных предприятий / В.В. Буренин // Механизация строительства. – 2011. – № 10. – С. 6-9.
6. Васьков С.А. Современное газоочистное оборудование. Высокоэффективное оборудование для пылеочистки / С.А. Васьков // Пылегазоочистка – 2009: материалы II междунар. конф. (29-30 сентября 2009 г.; Москва). – Москва: ООО «Интехэко», 2009. – С. 47-51.
7. Вибір матеріалу і способу зміцнення ударної частини молотків механізму струшування електрофільтрів / І.М. Білоник, М.М. Береговенко, Д.І. Білоник, О.Є. Капустян, А.Е. Смакограй, С.О. Шумикін // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2021. – Вип. 41. – С. 52-59. – (Серія: Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.41.2020.226182>.
8. Виготовлення електрошлаковим наплавленням ударної частини молотків механізму струшування електрофільтрів / І.М. Білоник, О.Є. Капустян, Д.І. Білоник, С.О. Шумикін, О. А. Шумилов, Є. Я. Губарь // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2021. – Вип. 41. – С. 14-21 – (Серія: Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.42.2021.240566>.
9. Электрошлаковая наплавка / под ред. А. Ф. Пименова. – М. : Наука и техника, 2001. – 180 с.
10. Электрошлаковая технология в машиностроении / Б.И. Медовар, В.Я. Саенко, И.Д. Нагаевский, А.Д. Чепурной. – К. : Техніка, 1984. – 215 с.
11. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин. – М. : Metallurgy, 1981. – 647 с.
12. Баженов Ю.В. Основы теории надежности деталей машин / Ю.В. Баженов. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 158 с.

References:

1. Chekalov L.V. *Prakticheskaiia ekotekhnika: elektricheskaiia i mekhanicheskaiia ochistka gazov* [Practical eco-technology: electrical and mechanical gas cleaning]. Semibratovo, Kondor-Eko Publ., 2008. 156 p. (Rus.)
2. Belousov V.A., Sysoev A.A. Printcip raboty i sovremennoe sostoianie voprosa po ochistke otrabotavshikh gazov elektrofilytrami [The operation principle and current state of cleaning used gases by electrostatic precipitators issue]. *Nauchnye trudy Bryanskogo tekhnicheskogo universiteta – Scientific works of the Bryansk Technical University*, 2015, no. 1(14), pp. 23-31. (Rus.)
3. Sanaev Yu.Y. *Obespylivanie gazov elektrofilytrami* [Dedusting gases by electrostatic precipitators]. Semibratovo, Kondor-Eko Publ., 2009. 157 p. (Rus.)
4. Sokolov E.M., Volodya N.Y., Pyskushov O.M. *Obespylivanie promyshlennykh gazov* [Dedusting of industrial gases]. Tula, Tulskaia gosudarstvennyi universitet Publ., 2001. 376 p. (Rus.)
5. Burenyn V.V. Novye filtry-pylegazouloviteli dlia ochistki gazovozdushnykh vybrosov stroitelnykh predpriatii [New filters dust and gas traps for cleaning gas-air emissions from construction enterprises]. *Mekhanizatsiia stroitelstva – Mechanization of construction*, 2011, no. 10, pp. 6-9. (Rus.)
6. Vaskov S.A. Sovremennoe gazoochistnoe oborudovanie. Vysokoeffektivnoe oborudovanie dlia pyleochistki. *Materialy II mezhdunar. konf. «Pylegazoochistka – 2009»* [Modern gas cleaning equipment. Highly efficient dust cleaning equipment. Materials of 2th Int. Conf. «Dust and gas cleaning – 2009»]. Moscow, 2009, pp. 47-51 (Rus.)
7. Bilonyk I.M., Berehovenko M.M., Bilonyk D.I., Kapustian O.Ye., Smakohrai A.E., Shumykin S.O. Vybir materialu i sposobu zmitsnennia udarnoi chastyny molotkiv mekhanizmu strushuvannia elektrofilytriv [Selection of material and hardening method of the impact part of the hammers of the shaking mechanism of electrostatic precipitators]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2021, no. 41, pp. 52-59. doi:10.31498/2225-6733.41.2020.226182. (Ukr.)
8. Bilonyk I.M., Kapustian O.Ye., Bilonyk D.I., Shumykin S.O., Shumylov O.A., Hubar Ye.Ya. Vyhotovlennia elektroshlakovym naplavlenniam udarnoi chastyny molotkiv mekhanizmu

- strushuvannya elektrofiltriv [Electroslag surfacing production of the impact part of the hammers of the shaking mechanism of electrostatic precipitators]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Seriia: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2021, no. 42, pp. 14-21. doi:10.31498/2225-6733.42.2021.240566. (Ukr.)
9. Pimenov A.F. *Elektroshlakovaia naplavka* [Electroslag surfacing]. Moscow, Nauka i tekhnika Publ., 2001. 180 p. (Rus.)
 10. Medovar B.Y., Saenko V.Ya., Nahaevskiy Y.D., Chepurnoi A.D. *Elektroshlakovaia tekhnologiya v mashinostroenii* [Electroslag technology in mechanical engineering]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1984. 215 p. (Rus.)
 11. Tylkyn M.A. *Spravochnik termista remontnoi sluzhby* [Repair service handbook of thermist's]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1981. 647 p. (Rus.)
 12. Bazhenov Yu.V. *Osnovy teorii nadezhnosti detalei mashin* [Fundamentals theory of machine parts reliability]. Vladimir, Vladimirskii gosudarstvennyi universitet Publ., 2006. 158 p. (Rus.)

Рецензент: О.А. Мітяєв
д-р техн. наук, проф., НУ «Запорізька політехніка»

Стаття надійшла 04.10.2021

УДК 621.791.927.55

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.6

© Самогугіна Ю.С.¹, Безумова О.А.²

МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯМ ПРИ ПЛАЗМОВОМУ МОДИФІКУВАННІ ВУГЛЕЦЕВИХ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Для процесу плазмового поверхневого модифікування (наноструктурування) вуглецевих та інструментальних сталей і сплавів, згідно структурної теорії міцності, основний механізм зміцнення пов'язаний з утворенням перешкод або бар'єрів на шляху рухомих дислокацій. Цими бар'єрами можуть бути домішкові атоми, межі зерен, надлишкові дисперсні фази та інші. При цьому одночасно реалізується декілька механізмів. Розроблено методологію управління структуроутворенням в металах при плазмовому поверхневому модифікуванні і науково-методологічний комплекс для практичної реалізації.

Ключові слова: теорія міцності, механізми зміцнення, вуглецеві та інструментальні сталі, тверді сплави, плазмове модифікування (наноструктурування)

***Yu.S. Samotugina, O.A. Bezumova. Methodology of structure formation management in plasma modification of carbon and instrument steel and alloys.** One of the main tasks of modern mechanical engineering is the development of highly efficient resource-saving technologies for surface hardening (modification) of equipment and tool parts. Among the methods of surface modification of materials, plasma treatment has certain advantages. For a wide range of carbon and tool steels, cast irons and hard alloys on the basis of metallographic and X-ray structural studies, strengthening mechanisms are established, which to the greatest extent influence to the achieved level of hardness at various technological variants of plasma modification. It is established that the main mechanism of*

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, samotugina_u_s@pstu.edu

² канд. техн. наук, науковий співробітник, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь