

УДК 621.791

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.116

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПЛАВЛЕННЯ ШТАМПІВ ЗІ ЗНЕСТРУМЛЕНОЮ ПРИСАДКОЮ НА ПОКАЗНИКИ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

Багров В.А.<sup>1</sup>, Сиренко Т.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Харківський машинобудівний коледж

**Анотація.** Розроблена технологія наплавлення, яка дозволяє знизити концентрації дорогих легувальних елементів, зменшити обсяг механічної та термічної обробки відновленого інструменту, знизити витрати відносної маси флюсу і питомі витрати електроенергії. На основі проведених досліджень розроблена технологія наплавлення штампів порошковими дротами з використанням знеструмленої присадки.

**Ключові слова:** наплавлення, порошковий дріт, флюс, легування, карбіди, питомі витрати електроенергії.

### Вступ

Дослідження, спрямовані на зниження енерго- і ресурсовитрат за умови відновлювального наплавлення обробного інструменту й одночасного підвищення його надійності та довговічності, останнім часом стали особливо актуальними. Практичне розв'язання задачі здійснюється шляхом розробки нових і вдосконалення наявних наплавлювальних матеріалів з економнолегованими покриттями і шихтою, застосуванням оптимального способу їхнього наплавлення з урахуванням особливостей поведінки матеріалів у реальних умовах. Особлива увага у вдосконаленні наплавлювальних матеріалів приділяється матеріалознавчим розробкам зносостійких економнолегованих сплавів.

### Аналіз публікацій

Інструмент вирубних штампів у процесі гарячої обробки призначений для виконання основної операції – пластичної деформації металу за високих температур. Для високопродуктивної роботи штампувального інструменту внаслідок високих обтискань гравюри матриць повинні мати достатню твердість, опір стисканню, вигину і протистояти динамічним навантаженням, високий опір стиранню, теплостійкість, гарну оброблюваність поверхні робочих частин. Стійкість штампового інструменту визначається технологічними умовами експлуатації та напружено-температурними чинниками, пов'язаними з його геометрією і властивостями оброблюваного металу.

Штамповий інструмент для гарячого штампування виготовляється з інструментальних сталей – 50ХНМ, 40Х5МФС,

35ХЗВ9МФС та ін., які класифікуються за хімічним складом, структурою та властивостями. Хімічний склад і призначення сталей для гарячого і холодного деформування регламентуються ГОСТ 5950 «Сталь інструментальна легированная» і технічними умовами [1].

Інструмент штампувального обладнання працює в умовах циклічних ударних навантажень і високих температур, у процесі роботи поверхня стирається і розтріскується.

Одним з основних чинників, що впливає на довговічність штампового інструменту, є температура. Вплив температури на стійкість штампів пов'язана з явищами, що відбуваються в його робочому шарі:

– зміна показників механічних властивостей за умови зростання температури;

– відпуском і структурними перетвореннями поблизу поверхні гравюри;

– появою деформацій і напружень, викликаних нерівномірністю розподілу температур. Максимальна температура нагріву поверхні гравюри в місцях зіткнення із заготовками становить від 500 до 850 К, а товщина шару металу, де змінюється нагрів і охолодження, становить від 3 до 7 мм [2].

Крім того, у разі ударного контакту в процесі штампування поверхня гравюри зазнає значних нормальних і тангенціальних навантажень, що деформують поверхневий шар штампового інструменту.

У місці контакту металу та інструменту високі температури сприяють розвитку деформацій, пов'язаних як з нерівномірністю нагріву поверхневих і глибинних шарів, так і з наявністю дефектів кристалічної решітки, які є свого роду концентраторами напружень

на мікрорівні. За умови впливу навантажень на штамповий інструмент на його краях різко зростають напруження до величин, що досягають теоретичної міцності металу. За такого напруженого стану руйнування може початися, навіть якщо середнє його значення менше за величину теоретичної міцності.

Іншим чинником, який впливає на величину зносу, є окиснення металу, що викликає зростання коефіцієнта тертя, а отже, сприяє інтенсивності зношування. Інтенсивне окиснення металу вздовж сформованих тріщин призводить до їхнього подальшого розвитку. Також можуть мати місце й процеси розвитку тріщин, які вийшли на поверхню металу, що адсорбував з навколишнього середовища поверхнево-активні речовини. Велике значення має правильне охолодження робочого інструмента під час штампування [2].

В окремих місцях гравюр в процесі роботи може відбуватися схоплювання 1 і 2 роду.

У роботі штампувального інструменту, як і в загальному випадку роботи деталей машин, можна виділити три основні періоди зношення.

У перший період роботи гравюри інструменту штампів починають припрацювання, мікронерівності на поверхні згладжуються в процесі пластичної деформації.

У другий період роботи утворюються нові нерівності, які також згладжуються, поступово встановлюється рельєф поверхні, пов'язаний як з умовами роботи інструменту (тиск, швидкість, температура та ін.), так і мікроструктурними перетвореннями металу штампового інструменту.

Третій період – період посиленого зношення – настає внаслідок змін умов роботи поверхонь тертя.

Для збільшення терміну служби штампового інструменту необхідно за можливістю скоротити період припрацювання, максимально збільшити період усталеного зношення і попередити наступ посиленого.

У відновленні зношених деталей наплавлені шари за складом і своїми властивостями здебільшого відрізняються від матеріалу основи. Легувати наплавлений метал можна різними способами – шляхом обмінних реакцій між металом і оксидами, що містяться в складі флюсу, через газову фазу, введенням легувальних елементів через електродний або присадний матеріали [3, 4].

У процесі наплавлення електродами легування проводиться через стрижень або покриття електрода або від спільного впливу.

Однак під час легування через покриття коефіцієнт переходу елементів із високою спорідненістю до кисню (Ti, C, Mn, Si тощо) незначний. Легування через стрижень дозволяє отримати високі коефіцієнти переходу легувальних елементів. Але підвищена вартість легуваних стрижнів обмежує широке застосування цього способу наплавлення.

У разі автоматичного електродугового наплавлення легування металу проводиться шляхом використання одного з чотирьох поєднань присадки та флюсу:

1 - леговані суцільний електродний дріт або стрічка і плавлений флюс;

2 - електродний порошковий дріт або стрічка з легувальними елементами в шихті та плавлений флюс;

3 - суцільний нелегований електродний дріт або стрічка і легувальний флюс;

4 - суцільні нелегований дріт або стрічка і леговані присадки у вигляді прутка, дроту, стрічки, порошку, пасти, нанесені на поверхню, що наплавляється.

Під час легування за 1 і 2-м способами відбуваються окислювально-відновні процеси у високотемпературній області. У випадку наплавлення під легувальним флюсом або по шару легувальної присадки збільшується коефіцієнт переходу легувальних елементів, проте їхнє широке застосування пов'язано з обмеженістю допустимих режимів наплавлення.

Електрошлакове наплавлення дозволяє отримати практично будь-який хімічний склад наплавленого металу. Але широке застосування цього способу обмежене геометрією виробів і розмірами відновлюваних робочих поверхонь.

У процесі відновленого наплавлення зношених поверхонь прагнуть за умови мінімальної глибини проплавлення основного металу отримати необхідний хімічний склад з меншою кількістю нанесених шарів. Високу продуктивність і невелику глибину проплавлення забезпечують багатородна наплавка і наплавка електродною стрічкою [5, 6].

Для розширення можливостей металургійної та теплової обробки наплавленого металу, діапазону складу за умови використання як серійно виготовлених для цих цілей матеріалів, так і нових, для підвищення продуктивності робіт і зниження частки участі основного металу в наплавленому, проведено аналіз найбільш широко застосовуваних методів відновлювання. Унаслідок проведеного аналізу встановлено, що застосування авто-

матичної наплавки із застосуванням знеструмленої присадки (електрод і знеструмлена присадка – порошкові дроти з легованою шихтою) знижує частку участі основного металу в наплавленому та підвищує продуктивність процесу.

### Мета і постановка завдання

Метою цієї роботи є розробка технології наплавлення, яка дозволяє знизити концентрацію дорогих легувальних елементів, зменшити обсяг механічної та термічної обробки відновленого інструменту, знизити витрати відносної маси флюсу й питомі витрати електроенергії.

### Вплив способу наплавлення на показники наплавленого металу

В результаті літературного огляду прийнято наплавлення під флюсом порошковими легованими дротами з подачею знеструмленої присадки у зварювальну ванну.

Наплавлення виконували трактором ТС-17М і автоматичною головкою А-1416 на пластини розміром 200x150x25 мм зі сталі 20, 500x300x40 мм зі сталі 45 і 400x50x40 зі сталі 5ХНМ. Захисним флюсом для наплавлення порошковими дротами із системами легування Cr-Mn-Ti та Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза був прийнятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 –  $B = 1,4668$ , хімічна активність –  $A_{\phi} = 0,1819$ .

Крім наплавлення порошковими дротами, здійснювали також наплавлення під керамічним флюсом на основі  $CaF_2$  з ідентичною системою легування дротом Св-08А діаметром 2 мм і погонною енергією  $q_{п} \approx 15...20$  кДж/см.

Оцінювали вплив коефіцієнта введення знеструмленої присадки  $\beta = m_{np} / m_{ел}$  (де  $m_{np}$ ,  $m_{ел}$  – маса розплавлених присадкового і електродного дротів відповідно) на техніко-економічні показники плавлення – коефіцієнти наплавлення  $\alpha_n$ ,  $\alpha_p$ , коефіцієнти засвоєння легувальних елементів  $K_{yб}$ , коефіцієнти відносної маси шлаку  $K_{шл}$ , енергетичні характеристики – питомі витрати енергії та теплового ККД процесу. Хімічний склад знеструмленого порошкового дроту був ідентичний хімічному складу електродного порошкового дроту. Питому енергію, витрачену на утворення шва нижче й вище за умовну границю сплавлення, оцінювали за формулою

$$A_i = \eta_c \cdot I \cdot U_d \cdot (V_n \cdot F_i)^{-1}, \quad (1)$$

де  $I \cdot U_d$  – повна теплова потужність дуги, Вт;  $V_n$  – швидкість наплавлення, мм / с;  $F_i$  – відповідно,  $F_o$  і  $F_n$ , тобто площа проплавлення основного металу і площа наплавленого металу, мм<sup>2</sup>.

Тепловий ККД процесу проплавлення і наплавлення визначали за формулою

$$\eta_{mi} = S_{nl} \cdot A_i^{-1}, \quad (2)$$

де  $A_i$  – відповідно,  $A_n$  і  $A_n$  – питомі витрати енергії на утворення шва нижче і вище за умовну границю сплавлення, Дж·мм<sup>-3</sup>;  $S_{nl}$  – теплоємність металу шва, Дж·мм<sup>3</sup>.

Наплавлення зі знеструмленою присадкою у вигляді порошкового дроту (електрод – порошковий дріт такого самого складу або іншого) під флюсом передбачає подачу присадки в головну частину зварювальної ванни. У цьому випадку скорочується етап, у якому відбуваються масообмін: крапля – шлак, крапля – дуговий проміжок, крапля – шлакова ванна. На цих стадіях масообміну відбуваються найбільш активні процеси окиснення легувальних елементів.

Дослідження впливу кількості введення знеструмленої присадки на термічні цикли в процесі наплавлення порівняно з наплавленням одним електродом показали, що залежно від кількості введення знеструмленої присадки змінюється характер нагріву й охолодження точок, розташованих нижче за границю сплавлення, що пояснюється зміною теплового балансу. У результаті збільшується час перебування в інтервалі температур 700–1000 К. Таку зміну характеру термічних циклів під час наплавлення зі знеструмленою присадкою можна пояснити концентрацією тепла в зоні наплавленого металу та зменшенням площі тепловідведення в основний метал зі збільшенням уведення знеструмленої присадки. Зменшення швидкості охолодження призводить до зменшення гартівних явищ, що підвищує опірність холодним тріщинам.

Визначення впливу частки участі знеструмленої присадки  $\beta$  у наплавленому металі на коефіцієнти відносної маси шлаку виконано за такими формулами:

$$K_{ш1} = M_{ш} \cdot M_{p.m}^{-1}, \quad (3)$$

$$K_{ш2} = M_{ш} \cdot M_{э.н}^{-1}, \quad (4)$$

$$K_{ш3} = M_{ш} \cdot M_n^{-1}, \quad (5)$$

де  $K_{u1}$ ,  $K_{u2}$ ,  $K_{u3}$  – відповідно відношення маси шлаку ( $M_{ш}$ ) до маси розплавленого металу ( $M_{р.м}$ ), до маси розплавлених електродного та присадного дротів ( $M_{е.п}$ ), до маси розплавленого присадного дроту ( $M_{п}$ ).

Маса розплавленого металу (основного, електродного і присадного дротів) визначена за формулою

$$M_{р.м} = (F_o + F_H) \cdot L \cdot \gamma \quad (6)$$

Дослідження впливу коефіцієнта введення знеструмленої присадки на показники плавлення електродного і присадного металу (коефіцієнти розплавлення, коефіцієнти наплавлення електродного дроту і знеструмленої присадки, частку основного металу в металі шва, відносну масу шлаку) показали такі результати.

Зі збільшенням коефіцієнта введення знеструмленої присадки підвищуються (рис. 1, 2) коефіцієнти наплавлення, знижується частка участі основного металу в металі шва, знижується відносна маса флюсу.

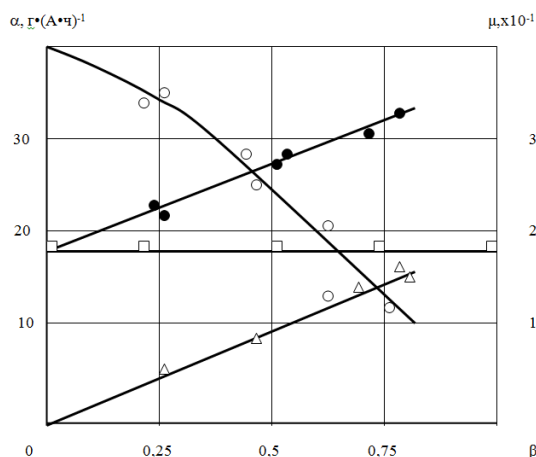


Рис. 1. Вплив введення знеструмленої присадки  $\beta = m_n \cdot m_e^{-1}$  на показники плавлення і частку участі основного металу в наплавленому, де  $m_n$ ,  $m_e$  – маси розплавлених знеструмленого і електродного дротів,  $\gamma$ ;  $\Delta$  – коефіцієнт розплавлення знеструмленого дроту,  $\alpha$ ,  $\gamma(A \cdot \gamma)^{-1}$ ;  $\square$  – коефіцієнт розплавлення електродного дроту,  $\alpha$ ,  $\gamma(A \cdot \gamma)^{-1}$ ;  $\bullet$  – коефіцієнт наплавлення електродного і присадного дротів,  $\alpha$ ,  $\gamma(A \cdot \gamma)^{-1}$ ;  $\circ$  – частка участі основного металу в металі шва,  $\mu$

Обробка експериментально-розрахункових даних показала, що зі збільшенням коефіцієнта введення знеструмленої присадки питома енергія, витрачена на утворення шва

нижче за умовну границю сплавлення, і тепловий ККД процесу наплавлення збільшується. Вплив введення знеструмленої присадки на питому енергію та тепловий ККД процесу наплавлення показано на рис. 3.

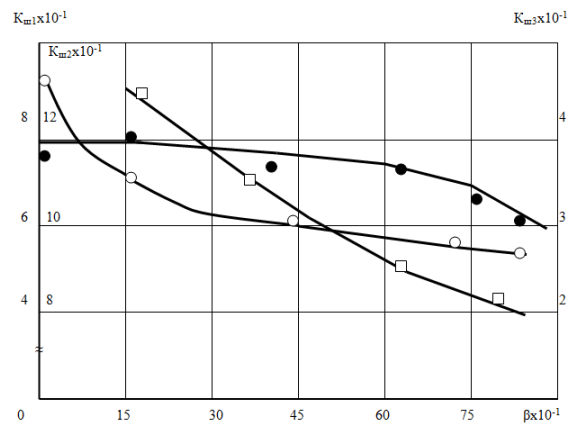


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів відносної маси шлаку  $K_{ui}$  від коефіцієнта введення знеструмленої присадки  $\beta$ ;  $\bullet$  – відношення маси шлаку до маси розплавлених електродного, присадкового й основного матеріалів,  $K_{u1}$ ;  $\circ$  – відношення маси шлаку до маси розплавлених електродного і присадкового матеріалів,  $K_{u2}$ ;  $\square$  – відношення маси шлаку до маси розплавленого присадного матеріалу,  $K_{u3}$

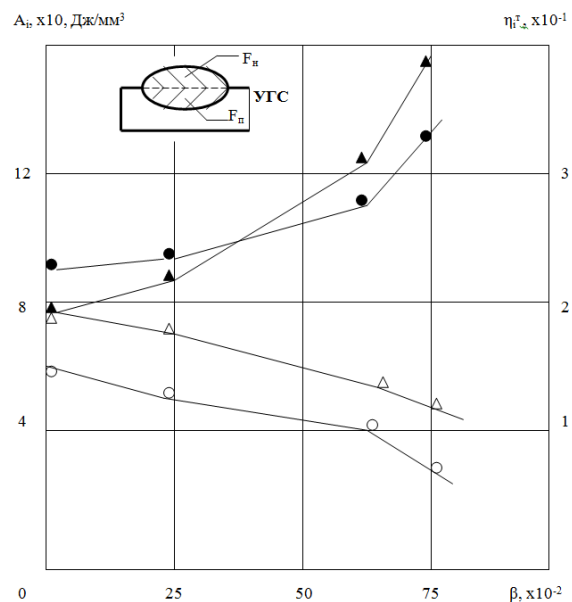


Рис. 3. Вплив введення знеструмленої присадки на енергетичні характеристики плавлення:  $\bullet$ ,  $\circ$  – питома енергія, витрачена відповідно на утворення шва нижче і вище за умовну границю сплавлення,  $A_i$ , Дж/мм<sup>3</sup>;  $\Delta$ ,  $\blacktriangle$  – відповідно тепловий ККД процесу проплавлення і наплавлення,  $\eta_i^T$

Розрахунково-експериментальна оцінка впливу введення знеструмленої присадки на коефіцієнти засвоєння легувальних елементів проводилася за виразом

$$K_y = [L \cdot \gamma (F_o + F_n) \cdot [\mathcal{E}_i]_n] \cdot [M_p^{\text{э+n}} \cdot [\mathcal{E}_i]_{\text{ш}}]^{-1} \quad (7)$$

де  $L$  – довжина наплавленого валика;  $\gamma$  – густина наплавленого металу;  $F_o, F_n$  – площа перерізу наплавленого металу нижче й вище за умовну границю сплавлення;  $M_p^{\text{э+n}}$  – маса розплавлених присадного і електродного дротів;  $[\mathcal{E}_i]_n, [\mathcal{E}_i]_{\text{ш}}$  – концентрація легувальних елементів у металі й шихті порошкового дроту.

Розрахунковий хімічний склад наплавленого металу порівнювали з експериментальними даними. Відносну похибку складу металу оцінювали за виразом

$$\Delta M_i = (M_i^{\text{ш}} - M_i^{\text{р}}) \cdot (M_i^{\text{ш}})^{-1}, \quad (8)$$

де  $M_i^{\text{ш}}$  – кількість  $i$ -го елемента в металі шва за експериментальними даними;  $M_i^{\text{р}}$  – розрахунковий вміст  $i$ -го хімічного елемента в металі шва.

Вплив введення знеструмленої присадки на коефіцієнти засвоєння легувальних елементів показаний на рис. 4.

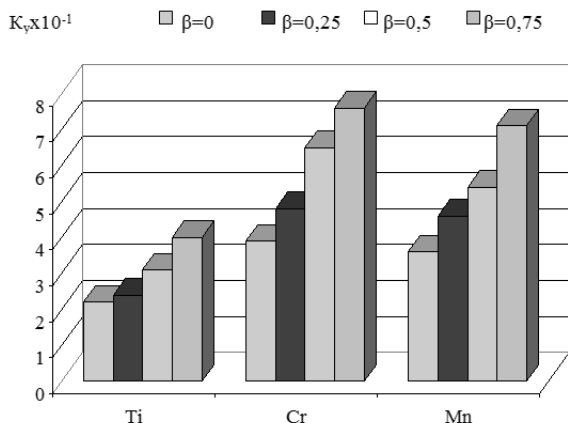


Рис. 4. Вплив введення знеструмленої присадки  $\beta$  на коефіцієнти засвоєння легувальних елементів

Запропонована технологія та розроблені сталі для відновлення штампів пройшли виробничі випробування на АТ «Харківський машинобудівний завод «Світло Шахтаря» (м. Харків) та ПАТ «Артемівський машинобудівний завод "Победа труда"».

## Висновки

Запропонована технологія дозволила підвищити коефіцієнт наплавлення до 30 г/А-г, збільшити питому енергію на формування шва і теплової ККД відповідно на 60...70 % і 40...50 %, підвищити коефіцієнти засвоєння легувальних елементів на 70...80 %, знизити долю участі основного металу в наплавленому до 11...14 % порівняно з одноелектродним наплавленням.

## Література

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – Москва: Metallurgiya, 1983. – 526 с.
2. Бельский Е.И. Стойкость кузнечных штампов. – Минск: Наука и техника, 1975. – 240 с.
3. Лашенко Г.И. Современные технологии сварочного производства. – Киев: Екотехнологія, 2012. – 720 с.
4. Рябцев И.А., Сенченков И.К. Теория и практика наплавочных работ. – Киев: Екотехнологія, 2013. – 400 с.
5. <http://tekhnosfera.com/razrabotka-naplavochnogo-splava-i-tehnologii-uprochneniya-i-remonta-shtampov-goryachego-deformirovaniya>
6. <https://weldtech-group.com/rus/as201406>

## References

1. Geller Yu.A. Instrumental'ny'e stali. 5-e izd., pererab. i dop. Moskva: Metallurgiya, 1983. 526 s.
2. Bel'skij E.I. Stojkost' kuznechny'kh shtampov. Minsk: Nauka i tekhnika, 1975. 240 s.
3. Lashenko G.I. Sovremennyye tekhnologii svarochnogo proizvodstva. Kiev: Eko-tehnologija, 2012. 720 s.
4. Ryabczev I.A., Senchenkov I.K. Teoriya i praktika naplavochny'kh rabot. Kiev: Ekote-khnologija, 2013. 400 s.
5. <http://tekhnosfera.com/razrabotka-naplavochnogo-splava-i-tehnologii-uprochneniya-i-remonta-shtampov-goryachego-deformirovaniya>
6. <https://weldtech-group.com/rus/as201406>

**Багров Валерій Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (+38) 063-950-74-99, e-mail: havetabanca@ukr.net, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

**Сиренко Тетяна Олександрівна**, к.т.н., викладач, e-mail: SYRENKO2011@gmail.com, Харківський машинобудівний коледж, вул. Плеханівська, 79, м. Харків, Україна.

**Research of the influence of soldering stamps with a deep-additional additive on the indicators of surface metal**

**Abstract. Problem.** Investigations aimed at reducing energy and resource costs during the restoration of stamps by surfacing and at the same time increasing its reliability and durability have recently become especially relevant. A practical solution to the problem is carried out by developing new and improving existing surfacing materials with economically light-burned coatings and charge, using the optimal method of their application. **Goal** – The aim of this work is to develop a surfacing technology that allows one to reduce the concentration of expensive alloying elements, the mechanical and thermal treatment of the reconditioned tool, and the consumption of the relative mass of the flux and the specific consumption of electricity. **Results.** When surfacing worn parts, the deposited layers differ in composition and properties from the base materials in most cases. The deposited metal can be alloyed in different ways – due to exchange reactions between the metal and the oxides that are part of the flux, through the gas phase, by introducing alloying elements through electrode or filler materials. Analysis of existing alloys and technologies for their deposition showed that they all have both advantages and disadvantages. On the basis of this, a submerged arc surfacing with a de-energized additive was adopted, which is fed into the head of the weld pool. **Originality.** The proposed technology made it possible to increase the deposition rate up to 30 g/Ah, the specific energy for weld formation and thermal efficiency by 60...70 % and 40...50 %, respectively, and the assimilation coefficients of alloying elements by 70...80 %; to reduce the part of the base metal in the deposited up to 11...14 % in comparison with surfacing with one electrode. **Practical value** – The use of the developed surfacing technology made it possible to reduce the concentration of alloying elements and the relative mass of the flux and power consumption, and to increase the main technological parameters of surfacing.

**Key words:** surfacing, flux-cored wire, flux, alloying, carbides, power consumption.

**Bagrov Valery Anatolievich** PhD, the senior lecturer, chair of technology of metals and materials technology, tel. (+38) 063-950-74-99, e-mail: ha-vetabanca@ukr.net, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Sirenko Tatiana Alexandrovna**, PhD, teacher, e-mail: SYRENKO2011@gmail.com, Kharkiv Engineering College, Plekhanovskaya str., 79, Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Исследование влияния наплавки штампов с обесточенной присадкой на показатели наплавленного металла**

**Аннотация.** Разработана технология наплавки, которая позволяет снизить концентрацию дорогих легирующих элементов, уменьшить объём механической и термической обработки восстановленного инструмента, снизить расходы относительной массы флюса и удельные расходы электроэнергии. На основе проведенных исследований разработана технология наплавки штампов порошковыми проволоками с использованием обесточенной присадки.

**Ключевые слова:** наплавка, порошковая проволока, флюс, легирование, карбиды, расход электроэнергии.

**Багров Валерий Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедры технологии металлов и материаловедения, тел. (+38) 063-950-74-99, e-mail: havetabanca@ukr.net, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 25, ул. Ярослава Мудрого, г. Харьков, 61002, Украина.

**Сиренко Татьяна Александровна**, к.т.н., преподаватель, e-mail: SYRENKO2011@gmail.com, Харьковский машиностроительный колледж, ул. Плехановская, 79, г. Харьков, Украина.