

## НАПЛАВЛЕННЯ ШТАМПІВ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНИМИ ВТОРИННОТВЕРДЮЧИМИ СТАЛЯМИ

Багров В. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Метою є підвищення зносостійкості та термостійкості вторинно термообробленої сталі для наплавлення способом оптимізації складу легованого порошкового дроту із вмістом титану, молібдену та хрому. Було виявлено, що завдяки підвищенню термостійкості сплави на основі заліза Cr-Mn-Ti дають змогу збільшити вміст карбідної фази TiC. Крім того, додавання Mo допомагає стабілізувати твердість і термостійкість за більш високих температур унаслідок дисперсійного твердіння. Сталь 18X4Г10М5Т3С має високі показники жаро- і зносостійкості та підвищену контактну міцність завдяки рівномірному розподілу карбідів та інтерметалідних сполук і підвищеній дифузії карбідних фаз у процесі старіння.

**Ключові слова:** сталь, наплавлення, карбіди, легований порошок, зносостійкість.

### Вступ

Експлуатаційні характеристики наплавленого металу за різних умов тертя залежать здебільшого від системи легування сплаву, різного фазового складу та структури. Там, де ударне навантаження визначає експлуатаційні характеристики виробу, вміст аустеніту та його властивості стають найбільш важливими. Водночас метал, який наплавляється, має гетерогенну структуру, що містить щільну матрицю й тверді кристали, такі як зміцнювальні фази  $Mo_2C$ ,  $(MoFe)_6C$ , TiC,  $(FeMo)_3C$  і  $(FeCr)_{23}C_6$ . Склад основних карбидоутворювальних елементів у сталях, що використовуються за високих контактних навантажень, варіюється: 0,8–2,5 % вуглецю, 4–10 % марганцю, 2–5 % хрому і 1,5–3,0 % титану. Твердість карбиду титану вища, ніж у карбідів хрому, ванадію молібдену та інших, що і впливає на зносостійкість.

### Аналіз публікацій

Аналіз патентно-наукової інформації та виробничі дослідження свідчать, що штампи виготовляються з інструментальних сталей, регламентованих ДСТУ 3593. Однак умови роботи штампа достатньо важкі, а вартість їх виготовлення висока. Коли потрібно відремонтувати поверхню зношених деталей різними методами, як правило, застосовують наплавлення.

Для ремонту використовують сплави з мартенситною, мартенситно-бейнітною, метастабільною аустенітною матрицями. Основними легуючими елементами цих сплавів є вольфрам, ванадій, молібден, хром тощо. Ці елементи є дефіцитними й дорогими.

У цьому разі оброблення поверхні виконується з використанням наплавлення під шаром флюсу, стрічковими та покритими електродами.

Аналіз методів нанесення наплавленого металу, їх хімічний склад показав, що всі вони мають як переваги, так і недоліки.

Основним видом зношування малотоннажних форм є стирання.

Крім того, деякі з канавок також піддаються першому та другому типам схоплення, ударному зношуванню, стиранню, механічній корозії, втомному зношуванню та задиранню [1, 2]. З огляду на умови роботи інструменту для гарячого оброблення металу тиском та властивостей сплаву, що використовується для ремонту, сформульовано основні вимоги до гравюр штампів (рис. 1).

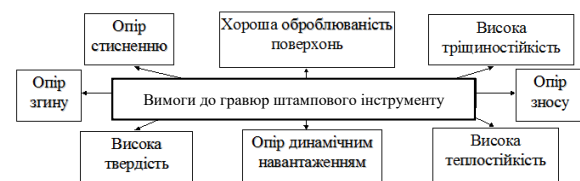


Рис. 1. Основні вимоги до гравюр штампів інструменту [1]

Експлуатаційні характеристики наплавлених металів, призначених для роботи в різних умовах тертя, насамперед визначаються системою сплаву, складом і структурою різних фаз. У разі, коли ударні навантаження визначають працездатність виробу, вирішальне значення набуває кількість аустеніту та його природа. Наплавлений метал у цьому разі має гетерогенну структуру, що склада-

ється з в'язкою матриці та твердих кристалів зміцнювальної фази.

Аналіз параметрів, що впливають на розчинення легуючих елементів у залізовуглецевих розплавах, показує, що швидкість розчинення зменшується в ряду *Ti-Cr-Mo*. Зниження вмісту вуглецю в розплаві приводить до підвищення швидкості розчинення хрому, оскільки зумовлює підвищення градієнта концентрації вуглецю та підвищення змочуваності карбідів. Однак для карбиду титану швидкість розчинення постійна й не залежить від концентрації вуглецю в рідкому металі, що пояснюється правилом «15 %».

Структуроутворення в процесі кристалізації сплавів на основі заліза з концентрацією вуглецю 0,5...2,0 % і титану 0,5...2,0 % показує, що спочатку зароджується карбід титану, рідина навколо нього збіднюється вуглецем і титаном.

Зі сказаного вище можна зробити висновок, що зі збільшенням вмісту титану в розплаві як карбідоутворювача зростатимуть коефіцієнти переходу марганцю, хрому й молібдену в наплавлений метал. Введення титану крізь феросплав знизить окислення легуючих елементів завдяки присутності алюмінію в феротитані.

Титан підвищує опір початковій стадії розвитку пластичної деформації верхнього контактного шару. Ефективність карбідів титану для підвищення стійкості до зношування як за обчислювальними, так і за експериментальними показниками не поступається результатами застосування зміцнювальної фази, карбідів *VC* і *NbC*, що дає змогу економити ванадій та ніобій. Фрикційна теплостійкість економнолегованих наплавлених сталей системи *Cr-Mn-Ti* на основі заліза (за умови незначного вмісту таких легуючих елементів, як молібден і ванадій) вища за аналогічну характеристику відомої сталі 35В9Х3ГСФ.

У доевтектоїдних сталях у процесі збільшення кількості аустеніту зносостійкість зменшується, а опір ударним навантаженням зростає в разі легування нікелем. У заевтектоїдних сталях зі значною часткою карбідів зносостійкість зі збільшенням кількості аустеніту зменшується, опір ударним навантаженням хромонікелевих сплавів зростає, а хромомарганцевих падає.

У досліджуваних сталях нікель замінений на марганець.

Аналіз рівнянь нікелевого та хромового еквівалентів для нерівноважних структур високолегованих зносостійких сплавів і діаг-

рам впливу легуючих елементів на структуру й зносостійкість наплавленого металу показує, що необхідну структуру можна отримати, якщо у зносостійких сталях варіювати вміст вуглецю, хрому, марганцю, титану.

Підвищення технологічної міцності забезпечує створення в наплавленому металі матриці з дисперсійно-твердіючої або аустенітно-мартенситної сталі.

На основі викладеного вище можна сформулювати такі положення:

- для конкретного виду зношування дуже важливим є вибір структури наплавленого металу, а отже, і складу фаз. Регулювання структури й фазового складу як в доевтектоїдних, так і в заевтектоїдних сталях можна досягти зміною вмісту марганцю як аустенізатора й титану як активного карбідоутворювального елемента;

- за умови високого вмісту вуглецю до 2,5 % і карбідоутворювальних елементів можлива поява евтектики типу  $\gamma+K$  або  $\alpha+K$ ;

- для відновлення інструменту гарячого деформування металу наплавленням бажано застосувати економнолеговані дисперсійно-твердіючі сталі, додатково леговані молібденом (2–5 %).

#### Мета та постановка завдання

Мета роботи – підвищення зносостійкості й теплостійкості вториннотвердіючих наплавлених сплавів на основі заліза способом поліпшення складу легованого порошкового дроту завдяки оптимізації вмісту титану, молібдену та хрому.

#### Дослідження властивостей покриттів і впливу технології їх нанесення на стійкість проти зношування

Для автоматичного наплавлення під флюсом були спроектовані та виготовлені пристрої для подачі у зварювальну ванну порошкового дроту. Їх використання на зварювальних апаратах А-1401 і ТС-17М дало змогу дослідити вплив безструмових присадок на властивості наплавлених шарів і продуктивність наплавлення. Наплавлення проводилося на зразках зі сталі 20 і 50ХНМ. Режим наплавлення  $I_d \approx 300...320$  А;  $U_d \approx 34...36$  В;  $U_n \approx 23,7$  м/г;  $U_{p.e} \approx 93,75$  м/г. Домішки в основну частину зварювальної ванни знеструмленого дроту становили 0–75 % від загальної кількості. Порошкові дроти були виготовлені на лабораторній базі кафедри зварювання УІПА.

Зважаючи на вимоги до матеріалу штампів, які працюють за підвищених темпе-

ратур, визначено методи дослідження фізико-механічних властивостей розробленого сплаву.

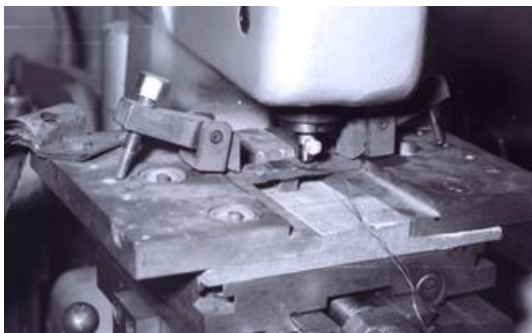
Твердість та інші механічні властивості досліджуваних сплавів вимірювали за нормальних і підвищених температур (470–1070 К) як на серійному, так і на спеціальному обладнанні, виготовленому в ЦВН.

Зносостійкість розробленого сплаву досліджували за вимогами ДСТУ 30480 на фрикційному пристрої 2070 СМТ-1 за схемою «диск – накладка» на зразках розміром 15×9×9 мм (довжина дистанції тертя 500 м, матеріал контртіла – сталь 45, HRCe48... 49, навантаження –  $N=50$  Н, умови дослідження зносостійкості були наближені до умов роботи штампів гарячого оброблення сталей, швидкість обертання диска становила 0,5 м/с).

Твердість в умовах підвищених температур вимірювали способом нагрівання прямокутних зразків змінним струмом у пристрої (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Пристрій для вимірювання твердості за високих температур: а – загальний вигляд; б – нагрівальний блок

Описаний пристрій містить такі складники:

- твердомір ТК-2;
- двовісний пристрій для фіксування зразків;
- нагрівач (контактний стиковий зварювальний апарат);
- струмопровідна шина.

Нагрівання виконували від 100 °С до 1100 °С, а охолодження здійснювали на повітрі або способом циклічного нагрівання електричним струмом.

Теплостійкість зразків нанесеного металу визначали з допомогою нагрівання зразків до 900, 925, 950, 970 і 1000 °С, витримки протягом 4 год і подальшого охолодження для визначення твердості.

Результати лабораторних досліджень порівнювались із висновками експериментів інших авторів.

Досліджувався вплив легуючих елементів сплавів систем *Cr-Mn-Ti* (1,50...2,00 % *C*, 4...5 % *Cr*, 9,00...11,00 % *Mn*, 4,00...6,50 % *Ti*, 1,60...2,20 % *Si*, 0,37...0,48 % *C*, 3,6...4,1 % *Cr*, 7,1...8,2 % *Mn*, 1,8...2,6 % *Ti*, 0,8...1,1 % *Si*) і *Cr-Mn-Mo-Ti* (0,15...0,25 % *C*, 3,0...5,0 % *Cr*, 8,0...10,0 % *Mn*, 3,0...6,0 % *Mo*, 1,5...3,5 % *Ti*, до 1,5 % *Si*) на основі заліза на формування фізико-механічних властивостей досліджуваних сплавів.

У зв'язку з необхідністю регулювання складу, структури та властивостей зносостійких шарів, застосовували наплавлення з легуваного шару порошку під керамічним флюсом і порошковими дротами з подачею знеструмленої присадки у зварювальну ванну. Досліджували сталі з мартенситною та мартенситно-аустенітною основою [3, 4].

Значне підвищення технологічної міцності та зниження енергоспоживання у виготовленні зносостійких деталей досягається з допомогою використання сплавів вторинного зміцнення. У розробленому сплаві 18Х4Г10М5Т3С дефіцит *Ni* до 9...12 % компенсовано введенням *Mn* до 9...12 % та *Al* з феротитану. Твердість сплаву 18Х4Г10М5Т3С після поверхневого оброблення становила 37...40 HRCe, а після оброблення старінням ( $T = 820$  К,  $t = 2$  год, охолодження на повітрі) – 49...54 HRCe.

Проаналізовано пластичність сплавів 40Х4Г8Т2С та 18Х4Г10М5Т3С і встановлено, що за температур 293...870 К вона вища, ніж у сталей 50ХНМ та 35Х4В3МФ, і не поступається нікелевим мартенситностаріючим сплавам (10Х6Н8М7С).

Збільшення карбідної фази сприяє підвищенню теплостійкості сплавів *Fe-C-Cr-Mn-Ti-Si* та *Fe-C-Cr-Mn-Mo-Ti-Si*; додаткове введення *Mo* (3–5 %) стабілізує значення твердості (HRCe 48...54, якщо  $T = 370...770$  К), підвищує теплостійкість і твердість завдяки дисперсійному зміцненню (рис. 3).

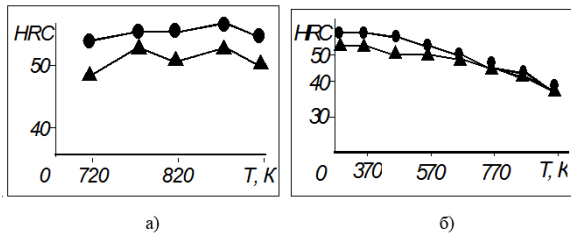


Рис. 3. Вплив температури на твердість сплавів: • – 40X4Г8Т2С; ▲ – 20X3Г9М5Т2С; а – температура відпуску; б – температура дослідження твердості після відпуску

Одним із показників теплостійкості є твердість металу після трикратного відпуску (температура 850 К, час відпуску 2 г, повітряне охолодження). Дослідження сплавів 40X4Г8Т2С і 18X4Г10М5Т3С показало, що стабільність показників твердості, яка пов'язана з перетворенням залишкового аустеніту в мартенсит і подальшим утворенням дифузних карбідів, також впливає на стійкість до стирання. Отже, підвищення теплостійкості та зносостійкості досліджуваних сплавів 40X4Г8Т2С та 18X4Г10М5Т3С досягається завдяки значному, відносно рівномірному розподілу карбідної фази та введенню їх у зварювальну ванну гетерогенним способом в процесі наплавлення. Водночас у процесі випробування на зносостійкість змінюється адгезійний складник сили тертя, що можна спостерігати відповідно до зміни моменту тертя досліджуваних сплавів (рис. 4).

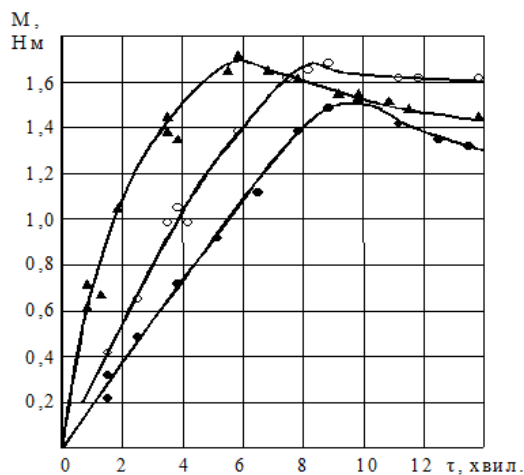


Рис. 4. Зміна моменту тертя досліджуваних сплавів: ▲ – 08X6Н8М7С; ○ – 40X4Г8Т2С; ● – 18X4Г10М5Т3С

Найбільшу зносостійкість із досліджуваних сплавів (18X4Г10М5Т3С, 40X4Г8Т2С, 08X6Н8М7С) має наплавна сталь 18X4Г10М5Т3С (рис. 5).

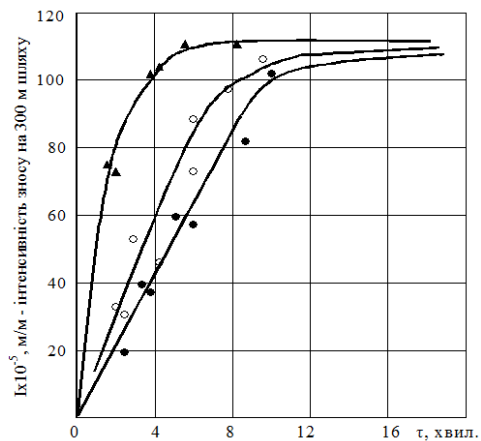


Рис. 5. Інтенсивність зносу досліджуваних сталей: ▲ – 08X6Н8М7С; ○ – 40X4Г8Т2С; ● – 18X4Г10М5Т3С

Ці фактори сприяли й підвищенню контактної міцності та мікропластичності поверхневих шарів розробленого сплаву 18X4Г10М5Т3С.

### Висновки

На основі описаних досліджень розроблено економнолеговані наплавні сплави на основі заліза та технології їх нанесення з метою відновлення зношених поверхонь прес-форм для гарячого оброблення металів. Використання цих сплавів і технологій їх нанесення дає змогу значно знизити енерго-ї ресурсоспоживання та підвищити довговічність прес-форм.

### Література

1. Теорія та практика обробки металів тиском: монографія / під ред. В.О. Богуслаєва та ін. Запоріжжя: Мотор Січ, 2016. 522 с.
2. Середа Б.П. Обробка металів тиском: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Запоріжжя: Запорізька держ. інж. акад., 2009. 342 с.
3. Багров В.А., Глушкова Д.Б. Формування структури та фазового складу зносостійких сталей, легованих титаном. *Вісник ХНАДУ*. 2022. Вип. 97. С. 30–33.
4. Багров В.А., Глушкова Д.Б. Властивості зносостійких безнікелевих вториннотвердіючих сталей для наплавлення штампів гарячого оброблення металів. *Вісник ХНАДУ*. 2022. Вип. 97. С. 34–37.

### References

1. Teoriia ta praktyka obrobky metaliv tyskom. Monohrafiia (2016). / Pid red. V.O. Bohuslaieva, M.I. Bobyria, V.A. Titova, O.Ia. Kachana. Zaporizhzhia, 522 s.
2. Wednesday, B.P. (2009). Processing of metals by pressure: Teaching. manual for students

University. Zaporizhzhia: Zaporizhzhia state. Eng. Acad., 342 p.

3. Bahrov, V.A., Hlushkova, D.B. (2022). Formuvannya struktury ta fazovoho skladu znosostiikykh stalei, lehovanykh tytanom. *Visnyk KhNADU*, вип. 97, s. 30–33.
4. Bahrov, V.A., Hlushkova, D.B. (2022). Vlastyvosti znosostiikykh beznikelevykh vtorynnotverdiuchykh stalei dlia naplavlennia shtampiv hariachoho obroblennia metaliv. *Visnyk KhNADU*, вип. 97, s. 34–37.

**Багров Валерій Анатолійович**, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. 057-707-37-29, e-mail: havetabanca@ukr.net. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

#### **Fusion of dies with economy-layed secondary-hard-ducted steel**

**Abstract. Problem.** The purpose of the work is to increase the wear resistance and heat resistance of secondary hardening surfacing steels by improving the composition of alloying powder wires due to the optimization of the content of titanium, molybdenum and chromium. It was found that increasing the heat resistance of iron-based Cr-Mn-Ti alloys contributes to an increase in the content of the carbide phase [TiC]; the introduction of [Mo] stabilizes the value of hardness at elevated temperatures, increases heat resistance and hardness during dispersion hardening. High indicators of heat resistance and wear resistance of steel 18X4G10M5T3S are achieved due to additional diffusion formation of the carbide phase during aging, increased contact strength, a significant amount and uniform distribution in the volume of the deposited metal of the carbide phase. **Goal.** Increasing the wear resistance and heat resistance of secondary hardening surfacing steels by improving the composition of alloying powder wires due to the optimization of the content of titanium, molybdenum and chromium. **Methodology.** For automatic arc surfacing under the flux, attachment devices were designed and manufactured for feeding the de-energized flux-cored wire into the welding bath. The use of these devices on the A-1401 and TS-17M weld-

ing machines made it possible to study the influence of the de-sintering additive on the deposition parameters, chemical and phase composition of the deposited metal. The surfacing was carried out on samples made of steel 20 and 50 KhNM according to the "slide" scheme. The powder wire was produced at the laboratory facility of the Department of Welding Production of UIPA. The crack resistance of the alloys was studied at the LTP 1–6 installation. **Results.** On the basis of experimental studies, it was established that automatic surfacing with a de-energized additive increases the technical and economic indicators of melting – the surfacing coefficient is up to 30 g/Ag, the share of the base metal in the surfacing decreases to 11...14%, reduces the specific fuel costs and energy costs – increases the specific energy for the formation of a seam above the conventional limit of fusion and thermal efficiency. by 60...70 % and 40...50 %, reduces the coefficients of the relative mass of slag by 24...28%, increases the absorption coefficients of alloying elements by 70...80 % in contrast to single-electrode melting. **Originality.** It was found that increasing the heat resistance of iron-based Cr-Mn-Ti alloys contributes to an increase in the content of the carbide phase [TiC]; the introduction of [Mo] stabilizes the value of hardness at elevated temperatures, increases heat resistance and hardness during dispersion hardening. **Practical value.** On the basis of the conducted research, economically alloyed wear-resistant alloys and the technology of their application were developed to restore the grooves of the matrices of hot metal stamping dies. The use of these alloys and the technology of their application ensures a reduction in energy and resource costs and an increase in the durability of the stamping tool.

**Key words:** steel, surfacing, carbides, alloyed powder, structure.

**Bagrov Valeriy**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29, E-mail: havetabanca@ukr.net. Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine.