

Гринь О. Г.  
Жаріков С. В.

## АНАЛІЗ ПРИЧИН ЗНОСУ РОБОЧИХ ВТУЛОК ПРИ ПРЕСУВАННІ ТРУБ З МІДНИХ СПЛАВІВ

Аналіз літературних даних показав, що пресовий інструмент, у тому числі робочі втулки контейнерів, зазнають інтенсивного зношування. Втулка працює при високих тисках, циклічних знакозмінних навантаженнях, інтенсивному терті, високих температурах і різких температурних змінах, що зумовлюють значну нерівномірність температурних полів. У циклі пресування окремі ділянки інструменту нагріваються до температур, близьких до температури злитка ( $970 \pm 20$  °С), а потім охолоджуються. Основними причинами виходу їх з ладу є: зношування стиранням, утворення сітки розгарних тріщин і деформування робочої поверхні втулки, налипання металу, що деформується. Встановлено, що величина зносу зростає в міру роботи інструменту і характеризується трьома періодами: швидкий - на початку експлуатації (до 10...15 % стійкості), повільний - на середній стадії (65...70 % стійкості) та прискорений - на заключній стадії експлуатації до виходу інструменту з ладу. Наведені результати металографічних досліджень пошарового наплавлення: верхній шар якого складається з мартенситу, троститу і карбідів, що відповідає високому питомому навантаженню, проявляє фізико-хімічну пасивність по відношенню до металу який оброблюється, проміжний шар – тростит в зоні термічного впливу, забезпечує адгезійний зв'язок між верхнім і нижнім шарами наплавленого металу, нижній шар складається з сорбіту та забезпечує сумісність з металом основи втулки. Забезпечуючи необхідні властивості та товщину шару в залежності від його функціонального призначення можна ефективніше варіювати властивостями наплавлення в цілому. Зазначено, що при конструюванні багатшарового покриття необхідно враховувати особливості процесу пресування, що визначає характер зносу інструменту та руйнування покриття на його контактних ділянках. Сформульовані основні вимоги до наплавленого металу для пресового інструменту гарячої деформації.

**Ключові слова:** пресовий інструмент, наплавлення, знакозмінні навантаження, знос інструменту.

Процес пресування є основною заготівельною операцією під час виробництва труб із кольорових матеріалів та сплавів. Пресовий інструмент, у тому числі робочі втулки контейнерів, зазнають інтенсивного зношування. За умовами експлуатації інструменту втулки контейнерів відносяться до важко навантаженого інструменту, тому що мають безпосередній контакт з металом, що пресується. Втулка працює при високих тисках (до 1000 МПа), циклічних знакозмінних навантаженнях, інтенсивному терті, високих температурах (постійна температура втулки 300–350 °С, короткочасна температура 600–700 °С) і різких температурних змінах, що зумовлюють значну нерівномірність температурних полів. У циклі пресування окремі ділянки інструменту нагріваються до температур, близьких до температури злитка ( $970 \pm 20$  °С), а потім охолоджуються [1–6].

Недоліком технологічного процесу пресування є низька стійкість робочих втулок при пресуванні трубних заготовок на горизонтальному гідравлічному пресі, що призводить до підвищених витрат металу, що йде на виготовлення втулок і, як наслідок, до підвищення собівартості продукції (рис. 1). Таким чином, збільшення стійкості робочих втулок у процесі пресування труб є актуальним завданням.



а



б

Рис. 1. Етап завантаження заготовки до пресу (а), заготовки труб (б)

Метою даної роботи є виявлення причин виходу з ладу робочих втулок при пресуванні трубних заготовок на гідравлічних пресах.

Аналіз експлуатації робочих втулок контейнерів горизонтальних гідравлічних пресів показав, що основними причинами виходу їх з ладу є: зношування стиранням, утворення сітки розгарних тріщин і деформування робочої поверхні втулки, налипання металу, що деформується (рис. 2).

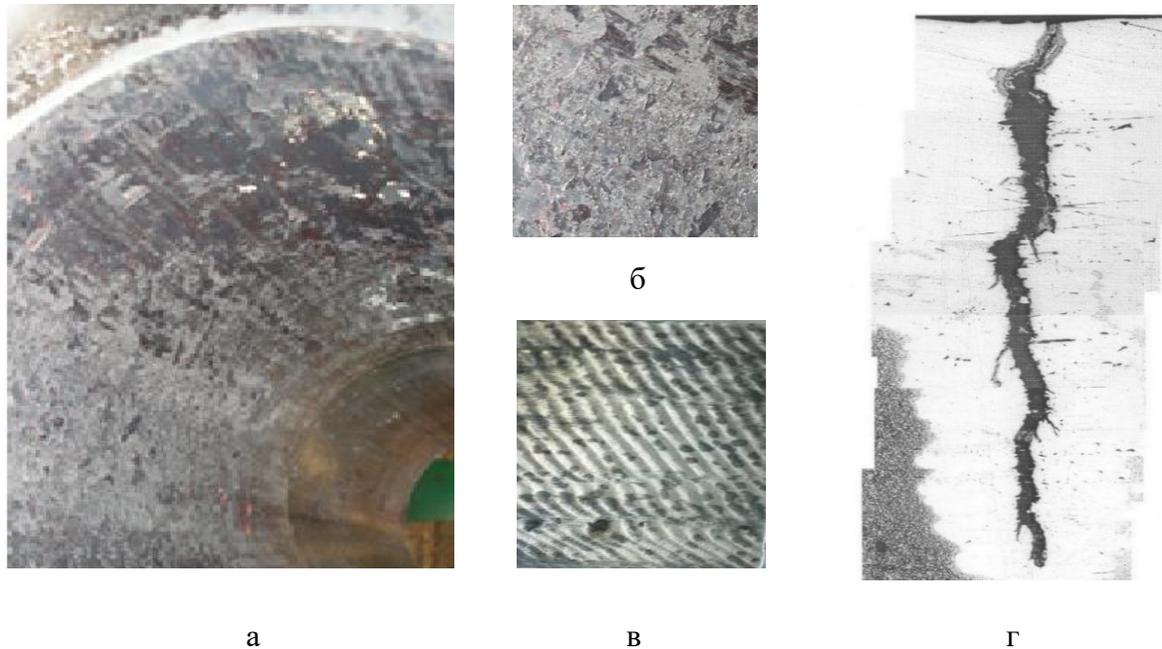


Рис. 2. Зовнішній вигляд поверхні зношеної прес-втулки (а), окалина на поверхні (б) та після її видалення (в), розгарна тріщина (г)

Знос втулок, викликаний тертям, найбільшою мірою проявляється при пресуванні у горизонтальних пресах. Втулка інтенсивно зношується на конус ухилом до вихідного кінця, де діють найбільші тиски та сили тертя. Вимірювання вироблення втулки на горизонтальному пресі зусиллям 31 МН при пресуванні мідних сплавів показали, що максимальне зношування по діаметру у цьому випадку становить до 3,0 мм. Уже на початку експлуатації внутрішня поверхня втулки стає хвилястою (рис. 2, в). Зі збільшенням числа пресувань величина гребенів та западин збільшується, гребені поступово зсуваються до вихідного кінця прес-втулки. Потім, коли зміцнений метал з вихідного кінця втулки затікає в область сполучення між втулкою і матрицеутримувачем, починається інтенсивний процес плинності металу втулки. Цим пояснюється суттєве збільшення діаметра вихідного кінця втулки. На відстані 40–50 мм від вихідного торця втулки має місце вироблення по колу робочої поверхні (поглиблення) шириною до 20 мм. Час взаємодії розігрітого мідно-нікелевого сплаву з робочою поверхнею інструменту триває до 1 хв. з наступним охолодженням водою протягом 40–45 сек. У процесі експлуатації робочі поверхні інструменту піддаються багаторазовому нагріванню та охолодженню, зношування їх в цьому випадку відбувається швидше. Стійкість втулки на цих пресах становить 500–550 пресувань для мідних сплавів. В результаті значних температурно-силових впливів у поверхневих шарах інструмента відбуваються структурні зміни, що призводять до нерівномірного розподілу твердості в його перерізі і до зменшення опору крихкому руйнуванню металу.

Наслідком таких умов є утворення розгарних тріщин, що розташовуються, як правило, перпендикулярно дії максимальних напруг. Зі зростанням температури та числа циклів роботи розміри тріщин збільшуються, при цьому загальна довжина їх також зростає. Проникнення тріщин у глибину зупиняється за певної кількості циклів, характерного кожному конкретному матеріалу. Це пояснюється різними технологічними і механічними властивостями сталей, що визначаються головним чином, їх складом [7–10].

На кількох зразках було виявлено тріщини. Один з таких зразків, виготовлений із сталі 38ХНЗМФА, наплавлений сталлю 20Х4В10Н4Ф, був підданий металографічним дослідженням у зоні наплавленого металу, зони термічного впливу та основного металу.

Зовнішнім оглядом, після травлення, в макроструктурі металу торцевої поверхні зразка виявлено порушення суцільності металу довжиною 3,1 мм, що поширюється з поверхні зразка та вражає всю товщину наплавленого шару і практично всю зону термічного впливу в основному металі. Ширина зони термічного впливу, що відрізняється світлішою травимістю від основного металу, становить 4 мм (рис. 3).

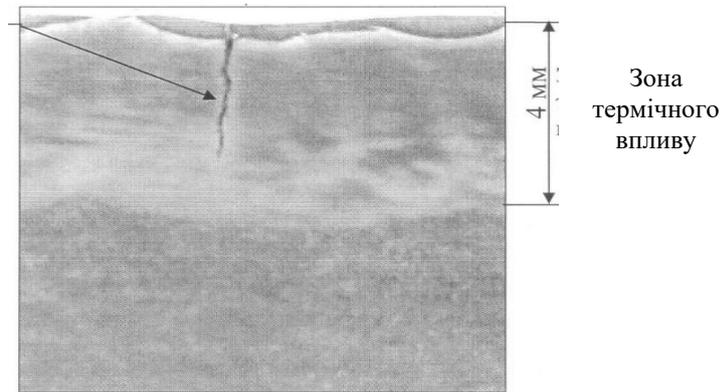


Рис. 3. Макроструктура зразка поперечного перерізу робочої втулки

Візуальним оглядом протилежної торцевої поверхні зразка виявлено порушення суцільності металу аналогічної довжини та характеру розташування. Порушень суцільності, раковин, шлакових включень по межі наплавленого та основного металу не виявлено.

Мікроструктуру металу зразка у перерізі «наплавлений – основний» метал досліджено за допомогою металографічного мікроскопа «Неофот-30» зі збільшеннях  $\times 50$ ,  $\times 100$ ,  $\times 500$ .

Мікродослідженням нетравленого мікрошліфа виявлено порушення суцільності металу, рівень забрудненості металу неметалевими включеннями, як області дефекту, і поза його розташування, відповідає 2-3 балу згідно з ДСТУ ISO 4967:2017. Метал забруднений неметалевими включеннями переважно силікатного та сульфідного типу (рис. 4).

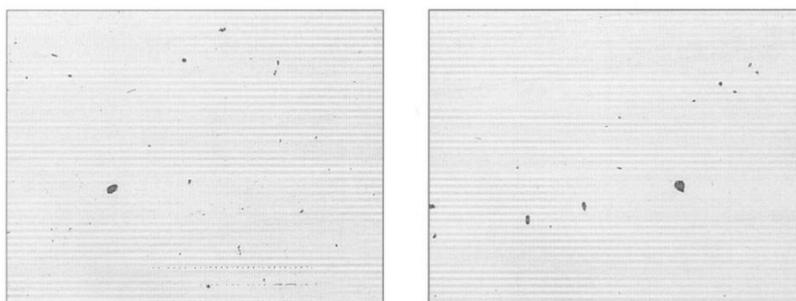


Рис. 4. Неметалічні включення у досліджуваному зразку,  $\times 100$

Мікроструктура металу після травлення являє собою:

- 1) троостомартенсит та карбіди - у металі наплавленого шару;
- 2) троостит - в зоні термічного впливу;
- 3) сорбіт, що характеризується 7 номером, згідно з шкалою №1 ДСТУ 8972:2019 – в основному металі (рис. 6).

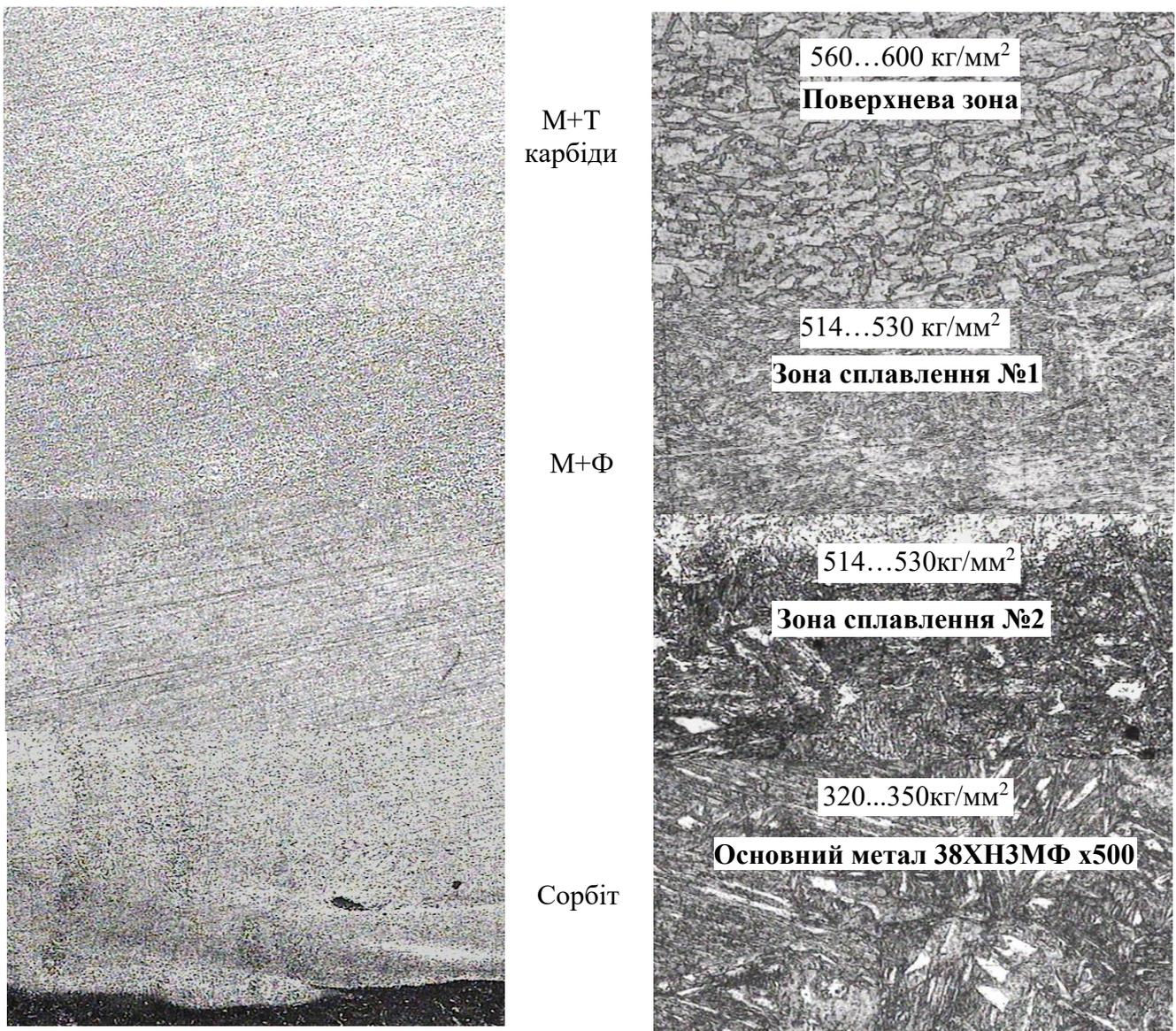


Рис. 6. Дослідження мікроструктури і мікротвердості по висоті наплавленого шару

На підставі вивчення кінетики зношування робочих втулок контейнерів горизонтальних пресів при гарячому пресуванні металів встановлено, що величина зносу від стирання зростає в міру роботи інструменту і характеризується трьома періодами [11, 12]: швидко на початку експлуатації (до 10...15 % стійкості), повільно на середній стадії (65...70 % стійкості) та швидко на завершуючій стадії експлуатації до виходу інструменту з ладу (рис. 7).

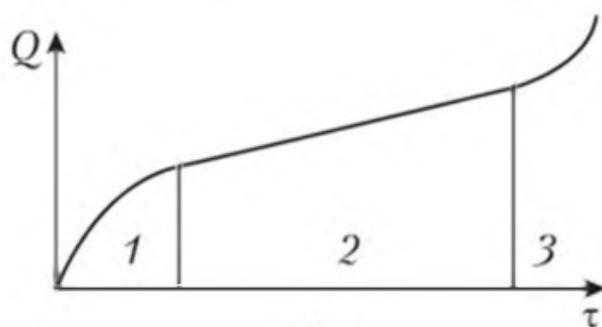


Рис. 7. Залежність зносу поверхні від терміну роботи інструменту пресування

Перший період зазвичай зв'язується з підвищеними питомими навантаженнями, що є наслідком інтенсивної теплопередачі від металу, що деформується, в холодний інструмент, що знижує пластичність металу і вимагає для оформлення пресованої деталі великих витрат енергії формозміни. Виключити та скоротити цей період можна шляхом нагрівання інструменту перед початком пресування.

Другий період зносу характеризується тепловим і силовим режимом взаємодії деформованого металу і робочого інструменту при відносно рівномірному розподілі зносу по навантажених поверхнях.

Локалізація зносу у якому-небудь місці, джерелом якої може бути розгарна тріщина, призводить до швидкого виходу робочого інструменту з ладу на третій стадії. Іноді третій період зношування обумовлюється структурними перетвореннями та зниженням механічної міцності приконттактного шару металу інструменту у зв'язку з перевищенням допустимого значення температури.

Найбільш сприятливим для забезпечення важких умов роботи є комплексне легування матеріалу вольфрамом, молібденом, хромом, ванадієм, титаном, ніобієм, що дозволяє підвищити стійкість проти відпуску, зносу стиранням, окисного та інших видів зносу. Однак, оптимальний вміст легуючих елементів і величина, одержувана за рахунок їх твердості робочої поверхні інструменту для гарячого деформування металів, підлягають всебічному вивченню, оскільки стосовно наплавленого металу вони досліджені недостатньо.

Багатошарові покриття характеризуються плавним переходом фізико-механічних та теплофізичних властивостей покриттів від інструментальної основи до верхнього граничного шару покриття. Підбираючи властивості та товщину вихідного шару в залежності від його функціонального призначення можна ефективніше варіювати властивостями покриття в цілому.

Покриття повинні складатися з наступних шарів, які виконують строго регламентовані функції:

- верхнього – твердого, зносостійкого шару, що має фізико – хімічну пасивність по відношенню до оброблюваного матеріалу та високу термодинамічну стійкість;
- нижнього – що володіє максимальною хімічною сумісністю з матеріалом основи та забезпечує максимальну адгезію з поверхнею інструменту;
- проміжних шарів - що мають змінні властивості та забезпечують адгезійний зв'язок між верхнім та нижнім шарами.

Накопичений досвід і ряд досліджень показують, що ефективність тих самих складів наплавленого металу, на різних операціях пресування не однакова. Отже, при конструюванні багатошарового покриття необхідно враховувати особливості процесу пресування, що визначає характер зносу інструменту та руйнування покриття на його контактних ділянках.

На підставі вищевикладеного можна сформулювати основні вимоги до наплавленого металу для пресового інструменту гарячої деформації. Цьому металу має бути притаманні:

- необхідна твердість при робочих температурах;
- висока міцність при достатньому рівні пластичності;
- достатній опір утворенню тріщин при високих термічних напругах;
- задовільна зварюваність;
- чинити опір зносу при підвищених температурах.

## ВИСНОВКИ

Інструмент для гарячого деформування металів працює в умовах значних теплових та силових навантажень і піддається різним видам зношування, при цьому внаслідок застосування нових конструкційних матеріалів виникає необхідність розширення робочого діапазону температури експлуатації штампових сталей до 700–800 °С, що неможливе без комплексного підходу до виявлення причин виходу з ладу робочих втулок при пресуванні трубних заготовок на гідравлічних пресах.

Багатошарове зміцнююче наплавлення характеризується плавним переходом фізико-

механічних властивостей наплавленого металу від верхнього шару з мікротвердістю 560...600 кг/мм<sup>2</sup> до перехідної зони сплавлення (до 530 кг/мм<sup>2</sup>) та вихідного матеріалу інструментальної основи (до 350 кг/мм<sup>2</sup>). Підбираючи властивості та товщину шару в залежності від його функціонального призначення можна ефективніше варіювати властивостями наплавлення в цілому.

Найбільш перспективним для підвищення терміну експлуатації пресового інструменту є комплексне легування наплавленого шару вольфрамом, молібденом, хромом, ванадієм, кобальтом, що дозволяє підвищити стійкість проти відпуску, стирання, окисного та інших видів зносу. Однак, оптимальний вміст легуючих елементів і величина зносу робочої поверхні інструменту, для гарячого деформування металів, підлягають всебічному вивченню, оскільки стосовно наплавленого металу вказані фактори досліджені недостатньо.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування. *Металознавство та обробка металів*. 2016. 3. С. 18–21.
2. Сидорчук О. М. Властивості штампової сталі 4X4H5M4Ф2 для гарячого деформування кольорових металів та сплавів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. 1. С. 108–111.
3. Алієв І. С., Алієва Л. І., Лобанов А. І., Савчинський І. Р. Забезпечення стійкості штампової оснастки. *Металообробка*. 2007. 5. С. 22–28.
4. Карпенко В. М., Кошовий А. Д., Катренко В. Т. та ін. Оптимізація складу наплавленого металу пресового інструменту. *Теоретичні та технологічні основи наплавлення. Наплавлення деталей та обладнання металургії та енергетики*. Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона. 1980. С. 42–48.
5. Бармін Л. Н., Корольов Н. В., Пряхін А. В. Властивості мартенситно-старіючих сплавів для наплавлення інструменту гарячого та холодного деформування металу. *Теоретичні та технологічні основи наплавлення*. Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона. 1979. С. 57 - 61.
6. Бойко І.О., Пашинський В.В., Пашинська О.В., Паровішник М.М. Наплавлення пресового інструменту для обробки кольорових металів самозахисним порошковим дротом ПП- 50Х6В2ГСМФА. *Автоматичне зварювання*. 2022. 7. С. 37–41.
7. Гринь А. Г., Жаріков С. В., Дудінський А. Д. Спосіб підвищення довговічності прошивних штампів. *Зварювання та споріднені технології, перспективи розвитку*. Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ: ДДМА. 2016. 140 с.
8. Тишаєв С. І., Конрад Ю. Р., Позняк Л. А. Нова сталь 5Х2ВМНФ (ДН-32) для штампового інструменту гарячого деформування. *Ковальсько-штампувальне виробництво*. 1973. 6. С. 14–18.
9. Кондратьєв І. А., Рябцев І. А., Черняк Я. П. Порошковий дріт для наплавлення шару мартенситностаріючої сталі. *Автоматичне зварювання*. 2006. 4 (636). С. 50–53.
10. Лейначук Є. І., Підгаєцький В. В., Парфессо Г. І. Вплив хрому на стійкість металу шва проти утворення тріщин кристалізаційних. *Автоматичне зварювання*. 1978. 1. С. 20–23.
11. Стецьків О. П. До питання про сумісність та довговічність пар тертя при нормальних видах зношування. *Поліграфія та видавнича справа*. 1994. 29. С. 13–18.
12. Журавель Д.П., Гвоздовський О.М. Обґрунтування видів зношування енергетичних засобів та методів їх оцінки. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали II Міжнародної конференції. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. С. 514–520.

### REFERENCES

1. Gogaev K. O., Sydorчук O. M., Radchenko O. K. Tooling die steels for hot deformation. *Metallurgy and metal processing*. 2016. 3. P. 18–21. (in Ukrainian).
2. Sydorчук O. M. Properties of die steel 4X4H5M4Ф2 for hot deformation of non-ferrous metals and alloys. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*. 2021. 1. P. 108–111. (in Ukrainian).
3. Aliyev I. S., Alieva L. I., Lobanov A. I., Savchinsky I. R. Ensuring the stability of die equipment. *Metalworking*. 2007. 5. P. 22–28. (in Russian).
4. Karpenko V. M., Koshevyu A. D., Katrenko V. T. et al. Optimization of the composition of the deposited metal of a press tool. *Theoretical and technological foundations of surfacing. Surfacing of parts and equipment of metallurgy and power engineering*. Kyiv, IEZ named after E.O. Paton. 1980. P. 42–48. (in Russian).
5. Barmin L. N., Korolev N. V., Pryakhin A. V. Properties of martensitic-aging alloys for surfacing of tools for hot and cold metal deformation. *Theoretical and technological foundations of surfacing*. Kyiv: IEZ named after E.O. Paton. 1979. P. 57–61. (in Russian).
6. Boyko I. O., Pashinsky V. V., Pashynska O. V., Parovishnyk M. M. Surfacing of a press tool for processing non-ferrous metals with self-shielding flux-cored wire ПП- 50Х6В2ГСМФА. *Automatic welding*. 2022. 7. P. 37–41. (in Ukrainian).

7. Grin A. G., Zharikov S. V., Dudinsky A. D. A method for increasing the durability of piercing dies. *Welding and related technologies, development prospects*. Materials of the IV International Scientific and Technical Conference. Kramatorsk: DDMA. 2016. 140 p. (in Russian).
8. Tyshaeв S. I., Konrad Yu. R., Poznyak L. A. New steel 5X2BMHФ (ДН-32) for hot deformation die tools. *Forging and stamping production*. 1973. 6. P. 14–18. (in Russian).
9. Kondratyev I. A., Ryabtsev I. A., Chernyak Ya. P. Flux-cored wire for surfacing a layer of martensitic aging steel. *Automatic welding*. 2006. 4 (636). P. 50–53. (in Russian).
10. Leynachuk E. I., Pidgaetsky V. V., Parfesso G. I. The influence of chromium on the resistance of the weld metal to the formation of crystallization cracks. *Automatic welding*. 1978. 1. P. 20–23. (in Russian).
11. Stetskiv O. P. On the issue of compatibility and durability of friction pairs during normal types of wear. *Printing and publishing*. 1994. 29. P. 13–18. (in Ukrainian)
12. Zhuravel D. P., Gvozдовsky O. M. Justification of types of wear of energy resources and methods for their assessment. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the II International Conference*. Melitopol: TDATU. 2020. P. 514–520. (in Ukrainian)

**Grin O., Zharikov S. Analysis of the causes of wear of working bushings when pressing copper alloy pipes.**

*Analysis of literature data showed that the press tool, including the working bushings of containers, are subject to intensive wear. The bushing operates at high pressures, cyclic alternating loads, intense friction, high temperatures and sharp temperature changes, which cause significant unevenness of temperature fields. In the pressing cycle, individual sections of the tool are heated to temperatures close to the ingot temperature ( $970 \pm 20$  °C), and then cooled. The main reasons for their failure are: abrasion wear, the formation of a network of spreading cracks and deformation of the working surface of the bushing, adhesion of the deformable metal. It was established that the amount of wear increases as the tool works and is characterized by three periods: fast - at the beginning of operation (up to 10...15 % of resistance), slow - at the middle stage (65...70 % of resistance) and accelerated - at the final stage of operation until the tool fails. The results of metallographic studies of layer-by-layer surfacing are presented: the upper layer of which consists of martensite, trostite and carbides, which corresponds to a high specific load, exhibits physicochemical passivity in relation to the metal being processed, the intermediate layer - trostite in the heat-affected zone, provides an adhesive bond between the upper and lower layers of the surfacing metal, the lower layer consists of sorbite and ensures compatibility with the base metal of the sleeve. Providing the necessary properties and layer thickness depending on its functional purpose, it is possible to more effectively vary the properties of surfacing as a whole. It is noted that when designing a multilayer coating, it is necessary to take into account the peculiarities of the pressing process, which determines the nature of tool wear and destruction of the coating in its contact areas. The main requirements for the surfacing metal for a hot deformation press tool are formulated.*

**Key words:** press tool, surfacing, alternating loads, tool wear

**Гринь Олександр Григорович** – канд. техн. наук, доц., декан ДДМА

**Grin Oleksandr** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean DSEA

E-mail: [mf@dgma.donetsk.ua](mailto:mf@dgma.donetsk.ua)

ORCID: <https://orcid.org/%200000-0002-3432-8149>

**Жаріков Сергій Володимирович** – канд. техн. наук, доц.

**Zharikov Serhii** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: [mf@dgma.donetsk.ua](mailto:mf@dgma.donetsk.ua)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8754-9447>

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль.

DSEA – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil.

Стаття надійшла до редакції 12.07.25 р.