

УДК 621.81:621.791

**Голуб Д. М., Кущій Г. М., Гайворонський О. О.**

## **ВПЛИВ ТЕРМООБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ В ШТАМПОВИХ СТАЛЯХ**

Однією з важливих галузей сучасної промисловості є зварювання та наплавлення. Наплавлення являє собою процес нанесення на поверхню виробу, нагріту до оплавлення або до температури надійного змочування, розплавленого наплавочного металу. Товщина шару наплавлення сягає від 0,5 до 10 мм і більше. Це один з найпоширеніших способів підвищення зносостійкості та відновлення деталей і конструкцій.

Останнім часом спостерігається розширення впровадження наплавочних робіт та значний процес в області їх розвитку. Це пов'язано з тим, що рівень технічних можливостей наплавлення може забезпечити достатньо високу якість наплавленого металу, тому воно широко застосовується для виготовлення нових і відновлення зношених інструментів і деталей машин.

Технічно перспективним і економічно обґрунтованим шляхом підвищення терміну експлуатації та зниження вартості штампового інструменту є виготовлення його біметалічним, зокрема наплавленим. У цьому випадку найбільш доступно регулювання властивостей наплавленого шару шляхом зміни складу наплавленого металу і режимів його термічної обробки. Повторне відновлення зношених поверхонь деталей суттєво зменшує витрати металу для виготовлення запасних частин та нового інструмента.

Розробка нової штампової сталі, організація її виробництва, розробка технологічного процесу кування і термічної обробки вимагає значно більших витрат, ніж розробка наплавочного матеріалу, що забезпечує наплавлення нової штампової сталі. Крім того, наплавлений шар може наноситися на основу з конструкційної сталі, чим досягається економія дефіцитних легованих сталей.

Суцільнометалеві штампи, виготовлені з високовуглецевих сталей, мають, як правило, низьку стійкість при експлуатації.

Метою цієї роботи є аналіз існуючих та вибір оптимальних наплавочних матеріалів для виготовлення штампового інструменту, що сприяють підвищенню його стійкості в умовах холодного штампування.

Основним видом зносу штампового інструменту є втрата розмірів контактуючих ділянок внаслідок стирання.

Істотне підвищення стійкості штампового інструменту забезпечується вибором складу штампової сталі, оптимізацією режимів термічної обробки і поліпшенням умов експлуатації штампів.

Сталі для штампів, які виконують роздільні операції можна поділити на наступні групи: високовуглецеві; високохромисті; низьколеговані; комплексно леговані.

Високовуглецеві сталі знайшли найбільше застосування в промисловості у зв'язку з їх низькою вартістю, проте штампи з таких сталей проявляють низьку стійкість.

Високохромисті сталі типу X12 мають високу твердість в загартованому стані, гарну прогартовуваність, низьке викривлення і відсутність тріщин при загартуванні, високу зносостійкість.

Високохромисті сталі мають ряд суттєвих недоліків, що знижують їх ефективне застосування. До цих недоліків відносяться висока карбідна неоднорідність і обумовлена нею низька ударна в'язкість, високі температури нагрівання під загартування, чутливість до коливань температур гарту [1–10].

За даними [1, 9–19] стійкість штампів із сталей типу X12 тільки в 1,1...1,5 рази перевищує стійкість штампів, виготовлених з вуглецевих сталей (У8, У10).

Низька стійкість високохромистих, вуглецевих і низьколегованих сталей стала причиною того, що в світі був розроблений ряд комплексно легованих сталей для інструменту холодного штампування. Вміст вуглецю в них знаходиться в межах 0,5...0,9 %, а хрому – 2...4 %. Сталі додатково леговані ванадієм, вольфрамом або молібденом, титаном і іншими елементами. Ці сталі після гарту в маслі набувають високої твердості при низькій карбідній неоднорідності.

Найбільш широкого поширення набуло наплавлення штампового інструменту покритими електродами марками ЭН-60М [2–4, 20]. Ці електроди дозволяють наплавляти вуглецеву хромомолібденову сталь, що забезпечує підвищення стійкості наплавленого штампового інструменту в 2...3 рази, в порівнянні з високою стійкістю однотипних штампів, виготовлених повністю з інструментальних вуглецевих сталей типу У8.

На підвищення стійкості штампового інструменту для холодного штампування істотно впливає легування сталей активними карбідоутворюючими елементами вольфрамом і ванадієм, що утворюють тверді карбіди [5, 6, 16, 21]. Через дефіцитність вольфраму штампіві сталі з таким його вмістом широкого поширення не отримали. Однак для виконання наплавочних завдань, при яких витрата вольфраму не значна, а підвищення працездатності інструменту істотне, легування сталей вольфрамом є перспективним.

Ванадій, особливо при великому вмісті, збільшує розчинність азоту в наплавленому металі, в зв'язку з чим знижує його пластичність [6, 11, 18, 22]. Це є основною причиною, яка стримує застосування ванадію при наплавленні штампового інструменту. Слід зазначити що ще не всі можливості комплексного легування використані. І це стало передумовою до подальших досліджень.

Аналіз характеру зносу вирубних штампів показав, що характер зносу і стійкість інструменту для косинок і ножів гільйотинних ножиць визначається, перш за все, видом операції холодного штампування, матеріалом робочих органів штампів і штампованих деталей, товщиною матеріалу штампованої деталі, режимом роботи штампів, конструктивними особливостями інструменту.

Вирубні штампи зношуються внаслідок: стирання робочих поверхонь; зминання різальних крайок, крихкого руйнування робочих поверхонь.

Крім того, зазначений інструмент виходить з ладу внаслідок осьового вигину і налипання металу штампованої деталі. Окремим видом зносу є стирання ріжучих крайок, що являє собою процес видалення частинок металу при зачепленні шорстких поверхонь, що труться. Внаслідок стирання ріжучі кромки притупляються, що викликає необхідність збільшення зусилля при виконанні роздільних операцій.

Спостереження за роботою інструменту на різних стадіях зносу показали, що в багатьох випадках інструмент виходить з ладу внаслідок стирання металу ріжучої кромки на ділянках, що контактують зі штампованим металом.

Зминання ріжучої кромки спостерігається внаслідок зниження її робочої твердості, яке відбувається в процесі роботи при високій швидкості штампування, коли інструмент нагрівається вище температури відпуску.

Крихке руйнування ріжучої кромки відбувається через високий питомий тиск при ударних навантаженнях. Величина цієї деформації залежить від пластичності загартованого металу різальної крайки. Підвищення в'язкості твердого металу крайки сприятливо позначається на її опорі крихкому руйнуванню, проте може викликати найбільше спотворення форми ріжучої крайки і зниження стійкості інструменту.

З аналізу виду зносу штампового інструменту впливає, що метал робочих поверхонь штампів, які виконують роздільні операції, повинен мати високу зносостійкість при досить високій міцності і пластичності.

Однак за даними [13, 23] при роботі навіть з невеликими ударними навантаженнями підвищена зносостійкість сталей з 12 % хрому при терті може не реалізуватися через велику карбідну неоднорідність і викришування робочої кромки інструменту ще до настання нормального зносу.

Твердість сталі при відпуску обернено пропорційна вмісту в ній карбідів, таким чином, за вмістом карбідів кращими є сталі X2B2ФМ і 8X4ГCB4Ф. Сталі типу X12 при високому вмісті фази карбиду мають значну карбідну неоднорідність (рис. 1) [14].

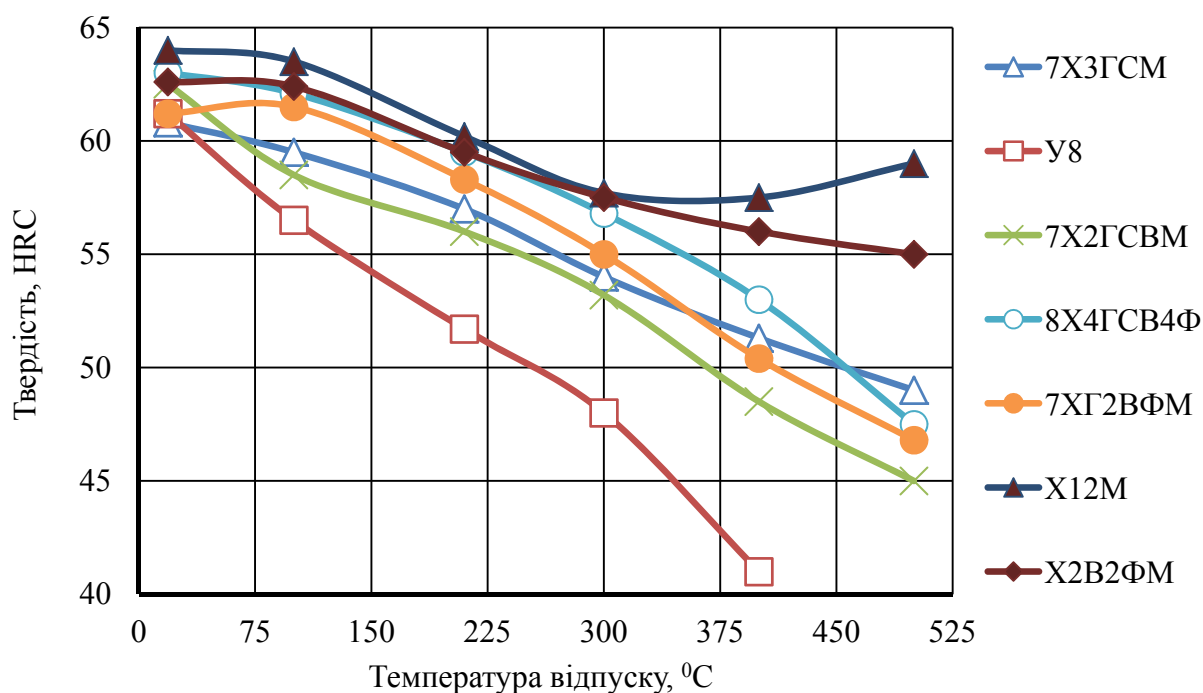


Рис. 1. Твердість сталей після відпуску

Залишковий аустеніт в сталях компенсує, в певних межах, збільшення об'єму, що створюється утворенням мартенситу і в цьому проявляється його позитивний вплив. Однак залишковий аустеніт внаслідок перетворень знижує міцність сталей при ударних навантаженнях в залежності від температури відпуску при загартуванні з оптимальних температур. Для сталей 8X4ГCB4Ф і 7X3ГCM це визначено дослідним шляхом, а для інших сталей – з літературних джерел [13, 15]. Дані для сталі У8 взяті після гарту з температури 810 °C у воді.

Залежність вмісту залишкового аустеніту в сталях від температури відпуску приведена на рис. 2.

Найменшу кількість залишкового аустеніту виявлено в сталі 8X4ГCB4Ф, загартовану при найнижчій температурі.

При температурах відпуску, які забезпечують отримання робочої твердості, в сталі 8X4ГCB4Ф міститься 2...7 % залишкового аустеніту. Це сприяє стабілізації міцнісних властивостей сталі при ударних навантаженнях і поліпшенню її шліфованості.

Під загартованістю сталей розуміють їх здатність набувати в результаті гарту високу твердість і мартенситну структуру. Досліджені сталі містять більше 0,65 % вуглецю і тому після гарту складаються переважно з мартенситу або ледебуритної евтектики (X12М). Оцінка загартованості сталей може бути проведена за їх твердістю від температури загартування.

За умовами роботи наплавлений метал, призначений для штампів, які виконують роздільні операції в робочому стані, повинен володіти підвищеною твердістю (понад 54 HRC) і, отже, гарною загартованістю.

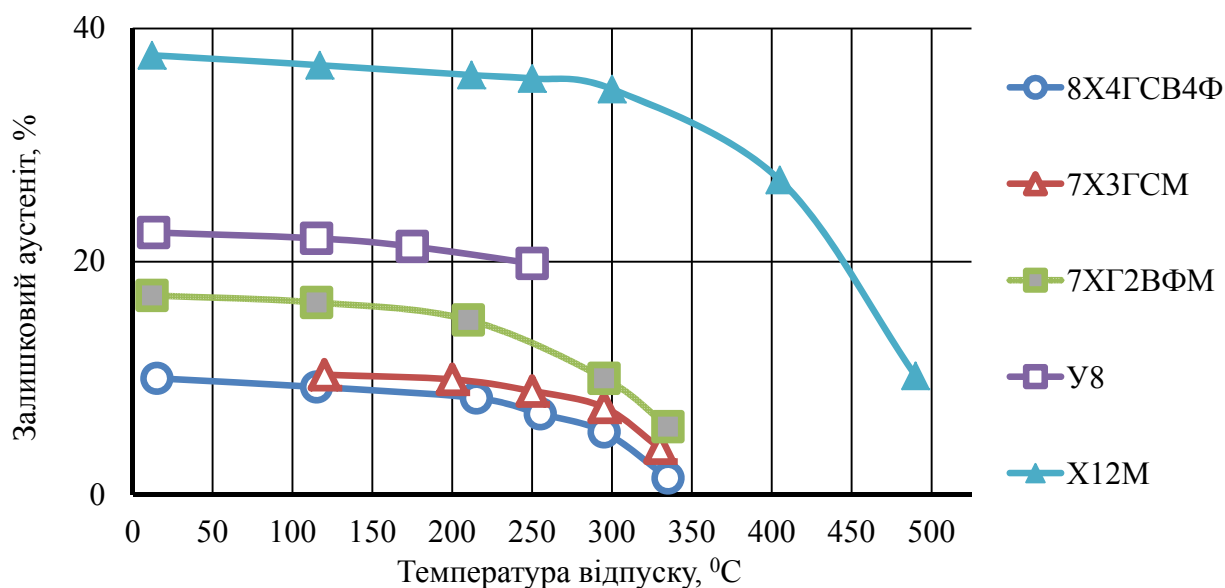


Рис. 2. Вміст залишкового аустеніту в сталях в залежності від температури відпуску

Для проведення порівняльної оцінки загартованості значення твердості сталей У8, Х12М і 7ХГ2ВФМ прийняті за літературними даними [13, 15], а для сталей 8Х4ГСВ4Ф, 7Х3ГСМ і 1Х2В2ФМ визначені дослідним шляхом після гарту в маслі за різних температур нагрівання. Для вимірів твердості застосовувалися зразки з багатошарових наплавлень.

Дані вимірів твердості (дослідні та літературні) зведені в табл. 1.

Відповідно до даних рис. 3 найвищою загартованістю володіє сталь У8, яка отримує високу твердість (більше 65 HRC) при загартуванні з температури 750 °С. Комплексно леговані сталі Х2В2ФМ, 8Х4ГСВ4Ф, 7Х3ГСМ та 7ХГ2ВФМ отримують максимальну твердість при загартуванні з температури 900 °С. При цьому твердість, що перевищує 60 HRC, сталь Х2В2ФМ отримує при загартуванні з температури  $\geq 790$  °С, сталь 8Х4ГСВ4Ф  $\geq 810$  °С, 7Х12ВФМ  $\geq 830$  °С і сталь 7Х3ГСМ  $\geq 850$  °С. Високохромиста сталь Х12М набуває таку твердість тільки в результаті загартування з температури нагріву, що перевищує 880 °С. Кращими за загартованістю є сталі У8, Х2В2ФМ і 8Х4ГСВ4Ф.

Таблиця 1

Твердість зразків після термообробки\*

Марка сталі	Температура загартування, °С													
	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	950	1000	1025	1100
8Х4ГСВ4Ф	-	21	-	22	50	-	62	63,5	-	64	63,5	-	-	-
7Х3ГСМ	-	23	-	24	40	54	-	60,5	62	61	60,5	-	-	-
7ХГ2ВФМ	-	20	20	30	44	57,5	-	62	62	62,5	62	-	-	-
Х2В2ФМ	-	27	28	-	-	62,5	-	-	-	65	65	-	-	-
Х12М	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	58	63	64	63
У8	11	-	11	65	-	66	-	-	-	63,5	62,5	-	-	-

Для більш повної оцінки складу наплавленого металу були проведені виробничі випробування штампів, наплавлених сталями, що підлягають порівнянню. Визначення стійкості виконувалося на одностипному штампі, призначеному для холодного обрізання косинки.

Штампований метал – сталь Ст3 товщиною 10 мм. Стійкість штампа визначалася за кількістю обрізаних деталей до повного зносу різальних крайок інструменту в результаті стирання ріжучих крайок або викришування ріжучого контуру. При цьому збільшувався зазор між пуансоном і матрицею внаслідок чого змінювався розмір деталі, яку потрібно обрізати,

погіршувалася якість зрізу. Допустима величина зміни розміру деталі визначалася за шаблоном. Наплавлення пуансона і матриці виконувалася на заготовки зі Сталі 45. Твердість металу наплавлення в робочому стан 54...55 HRC.

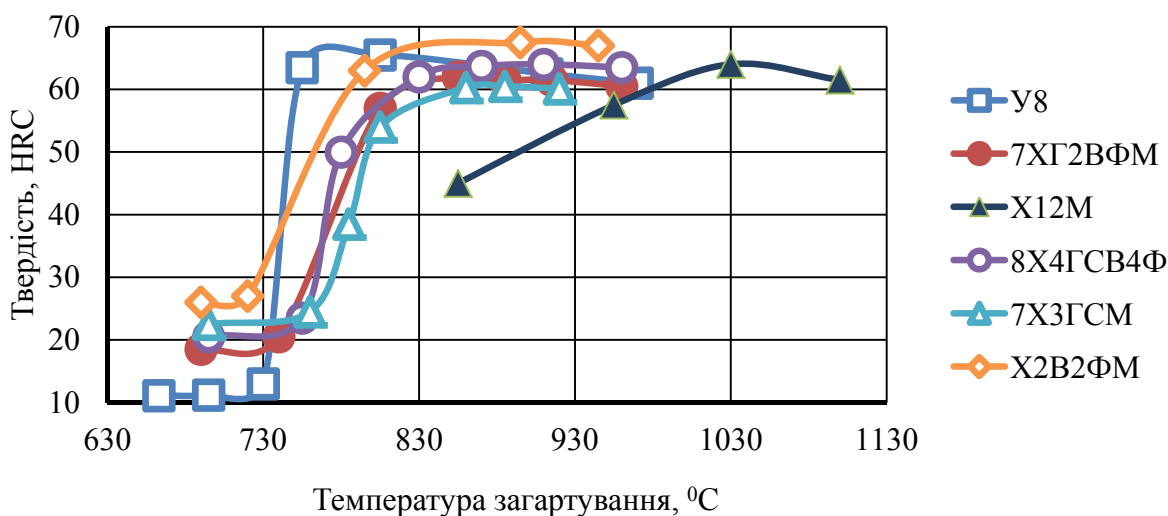


Рис. 3. Твердість сталей в залежності від температури закалювання

Для зіставлення даних, отриманих при випробуванні обрізних штампів приймалася відносна стійкість (по відношенню до сталі У8).

Дані щодо стійкості інструмента зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльні дані щодо зносостійкості інструменту

Сталь ріжучої крайки	Кількість обрізаних штампованих деталей, тис. шт.	Середня відносна стійкість
У8	5...8	1
8Х4ГСВ4Ф	27...29	4,1
7Х3ГСМ	20...23	3,2
7ХГ2ВФМ	15...19	2,4
7Х2ГСВМ	22	3,1
Х2В2ФМ	23...25	3,15
Х12М	7...9	1,2

У таблиці наведено максимальні і мінімальні значення кількості штампоударів, отримані при випробуванні 3...5 комплектів інструменту. Як видно з табл. 2, найбільш висока стійкість встановлена при випробуванні інструменту, наплавленого металом типу 8Х4ГСВ4Ф. Високу стійкість проявляє також інструмент, наплавлений сталями Х2В2ФМ і 7Х3ГСМ.

Для виготовлення заготовок застосовуються поковки із сталей: 45, 50, 70, Ст5, Ст6. Найбільше застосування для заготовок штампового інструменту отримала сталь 45. Поковки для штампового інструменту застосовуються з припуском 10 мм за всіма габаритними розмірами.

### ВИСНОВКИ

Порівняльний аналіз штампових сталей показав, що в найбільш повній мірі задовольняють поставленим вимогам комплексно леговані сталі.

На підставі проведених досліджень щодо впливу співвідношення газошлакоутворюючих компонентів покриття на захист зони зварювання від азоту, основність зварювального шлаку, меншу токсичність газової атмосфери в процесі наплавлення була обрана шлакова система на основі перовскітового концентрату.

Застосування сталі 8Х4ГСВ4Ф для наплавлення штампового інструменту, що виконує роздільні операції, дозволить значно збільшити термін служби штампів при їх багаторазовому використанні під наплавлення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. И. Романовский. – 6-е изд., Ленинград, Машиностроение, 1979 г. – 520 с.
2. Околович Г. А. *Штамповые стали для холодного деформирования металлов : монография* / Г. А. Околович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Барнаул : АлтГТУ, 2010. – 202 с.
3. Бенуа Ф. Ф. *Электроды марки 12АН(ЛИИВТ) и 13КН(ЛИИВТ) для износостойких наплавов на детали механизмов, подверженных сильному износу* / Ф. Ф. Бенуа // Информационно-технический листок. – 1954. – № 7 (580). – ЛДНТП.
4. Артингер И. *Инструментальные стали и их термическая обработка. Справочник* / И. Артингер. – М. : Металлургия, 1982. – 311 с.
5. Masumoto Isao *Neuere fortschritt in Japan beim schweissen mit rohrchendraht ohne schutzgas* / Schureibteehnik, 1971, 25, № 36 57-61.
6. *Проволока ЭП-439 для полуавтоматической сварки без защитной среды* / Слуцкая Т. М. [и др.] // Автоматическая сварка. – 1962. – № 6.
7. Miller I. W. *Nitrogen in metallic arc weld metal* / *Welding journal*. – 1936 (15). – № 15.
8. Spragen W., Clansgen I. *The effect of nitogen on the welding of steel*.
9. Богуцкий А. А. *Механизированная наплавка металлорежущего инструмента быстрорежущей сталью* / А. А. Богуцкий, А. М. Куций // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали V Міжнародної наук. техн. конф., 4–7 червня 2007 року / Під заг. ред. Ковальова В. Д.* – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 9.
10. *Разработка материалов и технологии наплавки биметаллического режущего и штампового инструмента* / А. Ф. Власов, А. А. Богуцкий, В. К. Лысак, А. М. Куций // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3 (28). – С. 80–85.
11. Юзвенко Ю. А. *Защита металла при наплавке порошковой проволокой открытой дугой* / Ю. А. Юзвенко, Г. А. Кирилюк // *Автоматическая сварка.* – 1974. – № 1.
12. Ильин М. М. *Наплавка штампов специальными электродами* / М. М. Ильин. – Машигиз, 1954.
13. Виноградов В. Н. *Износостойкость сталей и сплавов* / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин. – М. : Нефть и газ, 1994. – 417 с.
14. Позняк Л. А. *Штамповые стали* / Л. А. Позняк, Ю. М. Скрынченко, С. И. Тишаев. – М. : Металлургия, 1980. – 244 с.
15. *Инструментальные стали. Свойства и термическая обработка. Справочник.* – М., 1961.
16. Карпенко В. М. *Влияние субмикроскопических включений в наплавленном металле на стойкость штампов* / В. М. Карпенко, В. Т. Катренко, Д. С. Кассов // *Сварочное производство.* – 1972. – № 12.
17. Окерблан К. О. *Расчет деформаций металлоконструкций при сварке* / К. О. Окерблан. – Машигиз, 1955.
18. Толстых Л. Г. *Наплавочные материалы и технология наплавки : учебное пособие* / Л. Г. Толстых, Е. Л. Фурман. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 102 с.
19. Пат. 2259266 Российская Федерация, МПК В 23 К 35/368, В 22 F 5/12. *Порошковая проволока для износостойкой наплавки* / Рыбин В.В., Баранов А.В., Андронов Е.В. и др. – № 20031256633/02 ; заявл. 20.08.2003 ; опубл. 27.08.2005, Бюл № 24.
20. Малинов Л. С. *Повышение износостойкости сплавов за счет получения в их структуре метастабильного аустенита* / Л. С. Малинов, И. Е. Малышева // *Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра : матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. 23 квітня 2013 р. / НТУУ«КПІ».* – К., 2013. – С. 336–347.
21. Богуцкий А. А. *Повышение стойкости наплавленного слоя при наплавке самозащитной порошковой проволокой биметаллического инструмента* / А. А. Богуцкий // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3 (28). – С. 47–50.
22. Кальянов В. Н. *Мартенситно-старяющие стали для наплавки штампов* / В. Н. Кальянов, В. А. Багров // *Сварочное производство.* – 2003. – № 2. – С. 35–37.
23. *Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой (Обзор)* / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. Ю. Максимов, И. А. Рябцев // *Автоматическая сварка.* – 2010. – № 12. – С. 34–42.