

УДК 621.791

Гринь О. Г., Трембач Б. О., Трембач І. О.

СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НАПЛАВЛЕННЯМ ПРИ ГІДРОАБРАЗИВНОМУ ЗНОСІ

Конкурентоспроможність млинів, грязьових насосів, транспортуючих установок, промивних і інших машин крім ціни та енергоспоживання, визначається також такими показниками, як продуктивність та надійність, що багато в чому залежить від технологічних перерв або аварійних зупинок на плановий та аварійний ремонт. Останнє залежить від ресурсу деталей, що мають в першу чергу короткий період експлуатації через абразивно-ерозійний, гідроабразивний та абразивно-корозійний знос (деталі драг, землечерпалок, земснарядів, змішувачів, коритних мийок, кульових млинів). Тому технології зміцнення та підвищення терміну експлуатації швидко зношуваних деталей мають велике значення.

Знос робочих поверхонь машин може бути знижений за рахунок використання зміцнюючого та відновлюючого наплавлення. Важкі умови експлуатації, коли матеріал піддається комплексному впливу: механічного з боку твердих абразивних частинок і хімічного (корозійного) з боку несучого середовища сприяють прискореному зносу [1]. Дані умови вимагають від матеріалів, що використовуються поєднання високих механічних властивостей та корозійної стійкості.

Метою статті є визначення вимог до властивостей матеріалів, що використовують при виробництві та відновлюючому наплавленні поверхонь деталей, що зазнають дії гідроабразивного зносу, і аналіз існуючих матеріалів для наплавлення.

За даними [2] ці фактори умовно можна розділити на 3 групи:

- умови удару – кут атаки, швидкість зіткнення частинок;
- характеристики несучого середовища і властивостей абразивних частинок – розмір, форми, твердість, міцність частинок (породи) на стискання, виду несучого середовища;
- характеристики матеріалу, що піддається зносу – фізико-механічних характеристик і мікроструктури.

При виборі наплавочного матеріалу, що працює в умовах гідроабразивного зносу, необхідно враховувати комплекс факторів.

Основою структури зносостійких сплавів є матриця, в якій знаходяться зміцнюючі фази. Властивості матриці визначаються ступенем її насичення вуглецем і легуючими елементами та її структурним станом, а також дисперсністю та кількістю зміцнюючої фази. Матриця сплаву виконує дві функції: по-перше, сама є структурним елементом, від якого залежить зносостійкість, та по-друге, утримує зміцнюючу фазу, з метою запобігання її викришування під дією деформації, механічної втоми або ударів абразиву.

Сплави на основі заліза для зносостійкого наплавлення можна класифікувати на основі мікроструктури наступним чином:

1. Аустенітні сталі.
2. Мартенситно-напіваустенітні сталі.
3. Мартенситні сталі.
4. Високолеговані чавуни.

Більшість матеріалів, що переробляється на гірничо-збагачувальних комбінатах та добувних компаніях мають досить високу твердість. Відомо [3], що достатню стійкість в умовах гідроабразивного зносу мають сталі з зміцнюючою фазою, у котрих співвідношення між твердістю абразиву (H_a) та твердості металу (H_m) становить більше ніж 0,6 (0,4). Вибір металевої матриці повинен полягати в одержанні основи, що поєднує високу мікротвердість зі здатністю

міцно утримувати зміцнюючі фази [4]. Тому, щоб відповідати зазначеному співвідношенню твердості матриці матеріалу повинна відповідати мартенситу або мартенситу деформації, що утворюється при наклепі матеріалів, що складається з нестабільного аустеніту.

Мартенситна сталь має більш високу міцність, ніж білий чавун та кращу зносостійкість, ніж перлітні сталі і сталі аустенітного класу [3]. Що підтверджується даними робіт [5, 6] у яких досліджували гідроабразивний, абразивно-ерозійний знос. При цьому найбільшу зносостійкість мають зразки, що містять зміцнюючу фазу у вигляді твердих частинок (карбіди, бориди та інші). За умови однакової кількості зміцнюючої фази, відносна зносостійкість визначається прямо пропорційною залежністю від мікротвердості основи [4]. Тому саме мартенситна сталь розповсюджено використовується в якості матеріалу стійкого до абразивно-ерозійного та гідроабразивного зносу.

Крім структури матриці на стійкість проти гідроабразивного зносу має вплив тип, кількість, форма та розмір частинок зміцнюючої фази [7, 8, 9]. Міцні структурні складові перешкоджають проникненню абразивних частинок у поверхню металу [5] та призводять до повної або часткової втрати ріжучих властивостей абразиву [10]. Крім цього, навколо карбідів виникає локальне поле напружень, яке гальмує переміщення дислокацій при деформації, тим самим збільшує опір пластичній деформації і руйнуванню мікрооб'ємів металу [11] при зношуванні. Однак збільшення кількості зміцнюючих часток з точки зору зносостійкості матеріалу доцільно лише в певних межах. Надмірна їх кількість змінює механізм зношування матеріалу, і він починає викришуватися, а не стиратися [4, 9].

Крім того, за даними [12] важливо не стільки загальна кількість зміцнюючих часток у сплаві, а скільки сумарна площа, яку вони займають на робочій поверхні деталі. Так [13] повідомляють, що абразивні частинки при атаці поверхні з відносно м'якої матрицею, частково зношують її, тим самим оголюючи частинки зміцнюючої фази (карбіди), якщо відстань між ними невелика. При цьому показником слугує середня відстань між карбідами.

Вплив розміру та форми твердих частинок зміцнюючої фази розглянуто у роботі [14]. Великі карбіди, що лежать на шляху руху абразиву, якщо не відриваються від матриці при зіткненні з ним, то одночасно з руйнуванням абразиву самі частково руйнуються, в них з'являється велика кількість тріщин і відколів, що знижує здатність карбідів протистояти зношенню при подальших робочих циклах. Якщо розмір часток зміцнюючої фази менше ріжучих граней абразивного тіла їх зіткнення не може призводити до повного руйнування абразиву. Функції бар'єрів на шляху абразивних тіл краще виконують карбіди компактною круглою або прямокутною форми. Тонкі і довгі пластини при зіткненні з абразивними частинками розтріскуються і зникають разом зі зрізаною матрицею, тоді як з карбідами компактного перерізу призводять до руйнування абразиву і припинення зношування [14].

Властивості зміцнюючої фази визначаються легуючими елементами. Легування може призводити до утворення карбідів та інших частинок, які набагато твердіше, ніж карбіди цементиту, тим самим сприяє підвищенню зносостійкості сплавів [6, 9]. Мікротвердість окремих частинок, їх частка в структурі, власна структура, розмір та їх розподіл має більш значну роль, ніж твердість матриці сталі [5]. Проте витрачання великої кількості легуючих елементів на утворення карбідів збіднює основу, що супроводжується зниженням опірності металу руйнуванню абразивними тілами [4], що можна пояснити зменшенням ступеню легування матриці (основи) та відповідним зниженням її міцності.

Важливим критерієм є також і корозійна стійкість. Вона залежить від властивостей шарів продуктів корозії що утворюються на поверхні зносу [15], та співіснування карбідів і матриці в матеріалі, що призводить до гальванічної корозії між двома фазами [16]. При цьому карбіди у сталі виконують роль катоду т.ч. є інертними, в той час як матриця діє як анод і кородує у водних електролітах. В окислювальних умовах карбіди більш схильні до корозії в мартенситній матриці у порівнянні з аустенітною матрицею [17]. Переважна корозія карбідів є небажаним, так як карбіди забезпечують зносостійкість для сплавів.

Для наплавлення зносостійких сплавів використовуються матеріали різних систем легування: Fe-C-Cr, Fe-C-Cr-Si [18, 19], Fe-C-Cr-Mn-Si, Fe-C-Cr-Mn-Si-Mo [19], Fe-C-Cr-Ti [18, 19], Fe-C-Cr-Ti-B [18], Fe-C-Cr-Mn-Mo-Cu-V-Ti [20] та інші [18].

Однією з найпростіших систем легування є система Fe-Cr-C, що включає в себе лише відносно недорогі та недефіцитні елементи.

Вуглець, утворюючи карбіди, визначає не тільки кількість і розташування карбідів, але і будову матриці сплавів [21]. Зазвичай мартенситні зносостійкі сталі мають високий вміст вуглецю, що пов'язано з його впливом на об'ємну твердість та мікроструктуру [22]. Добре відомо, що міцність мартенситної сталі та її твердість пропорційна квадратному кореню вмісту вуглецю [23].

Хром є сильним карбідоутворюючим елементом і може давати кілька типів складних карбідів ((Fe, Cr)₃C, (Fe, Cr)₇C₃, (Fe, Cr)₇C₃), які міцніше цементиту [24]. Відомо [25], гідроабразивна зносостійкість високохромистих сталей різко зростає по мірі збільшення вмісту карбідів хрому типу Cr₇C₃. Підвищення вмісту хрому поліпшує стійкість до корозії матриці [26]. Так, вже при вмісті 5 % хрому сталі володіють підвищеною корозійностійкістю в деяких хімічно активних середовищах [27], через утворення на його поверхні тонкої, прозорої, та дуже щільної окисної плівки Cr₂O₃, яка ізолює метал від корозійного середовища [27]. Підвищення вмісту вуглецю в хромистій сталі знижує її хімічну стійкість, через зв'язування хрому в карбіди [22]. Для збереження необхідної стійкості проти корозії сталей з підвищенням вмісту вуглецю у сталь необхідно додавати більше хрому, що веде до здороження наплавочних матеріалів.

Підвищенню зносостійкості при гідроабразивному та абразивно-корозійному зносі сприяє застосування комплексно легованих сталей з додаванням більш твердих частинок, а також введенням елементів підвищуючих корозійну стійкість.

Ніобій і титан є сильні карбідоутворюючі елементи, що зв'язують вуглець у міцні і дуже тверді карбіди, найчастіше застосовують для підвищення зносостійкості сталі [28].

Так, підвищення зносостійкості при додаванні титану [6] пов'язують з утворенням складного молекулярного твердого розчину карбіду титану, рівномірно розподіленого у об'ємі металу, в якому розчиняється хром (Ti, Cr)C (мікротвердість 12,11–12,22 кН/мм²). Титан також сприяє підвищенню корозійної стійкості, що пов'язано з звільненням деякої кількості хрому від карбідоутворення та з утворенням невеликої кількості власних оксидів, які входять до складу шпінелей і запобігають корозії поверхні.

Ніобій може утворювати карбіди типу MeC (NbC) твердістю від 1900 до 2400 HV, що з'являються тільки в чистому вигляді [2]. При концентрації ніобію нижче ~0,6 %, карбід NbC має вигляд тонких пелюсток. При концентраціях вище 1 % первинні карбіди NbC формуються у вигляді компактних блочних карбідів. Невелике додавання Nb (0,1–0,2 %) сприяє отриманню дрібнозернистої сталі [30].

Разом з тим дослідження [6] засвідчили, що додавання бору у вуглецеві сталі, які містять хром, є менш ефективним, ніж додавання титану, що [20] обумовлено зниженням його пластичних властивостей.

Серед способів відновлення і зміцнення деталей гірничо-збагачувальної промисловості доцільно виділити механізоване дугове наплавлення самозахисними порошковими дротами (СПД). За допомогою якого можна отримати робочий шар із заданим рівнем легування і механічними властивостями. На сьогодні використовують широку номенклатуру наплавочних матеріалів, що підвищують зносостійкість деталей, працюючих в умовах гідроабразивного зношення, для яких згідно з міжнародним стандартом ДСТУ EN 14700 рекомендуються наступні сплави: Fe6, Fe7, Fe8 [31].

У табл. 1 наведені сучасні матеріали для наплавлення сплавів, рекомендованих для зміцнення та відновлення.

Таблиця 1

Наплавочні матеріали для деталей, що зазнають гідроабразивного зносу

Виробник	Найменування продукту	EN 14700	Хімічний склад	Твердість наплавленого металу (3-й шар)	Умови експлуатації	Застосування
ESAB	OK Tubrodur 58 O/G M [32]	T Fe 6	0,4%С, 1,2%Mn, 0,3%Si, 5%Cr, 1,2%Mo, 0,60%Al	52-58 HRC	В умовах інтенсивного абразивного зносу та помірних ударних навантажень	Наплавлення лопаток і корпусів міксерів, зубів ковшів, лез бульдозерних скребоків
ООО ТМ Белтек	СПП ВЕЛТЕК-Н600 [33]	T Fe 8	0,9%С; 5,5%Cr; 0,8%Si; 0,8%Mn; 4%Mo 0,8%V; 0,5%Ti; 0,6%B	58-62 HRC	В умовах інтенсивного абразивного і ударно-абразивного зношування	Наплавлення деталей землесосів, пульпо-насосів і вуглесосів, ковшів землечерпалок і драг, деталей земснарядів, млинів для розмелювання твердих матеріалів.
	СПП Велтек-Н650-О [34]	T Fe 8	1,5%С; 10%Cr; 0,6%Si; 0,9%Mn; 0,6%V; 0,6%Ti; 1,6%B	62-66 HRC	В умовах абразивного, газо- і гідроабразивного зношування зі зниженою ударним навантаженням.	Наплавлення корпусів і робочих коліс землесосів, робочих органів машин для переробки ґрунту, деталей сільгосптехніки та ін.
Bohler	UTP DUR 650 Kb [35]	E Fe 8	0,5%С; 0,8%Si; 1,3%Mn; 7%Cr; 1,3%Mo; 0,5%Nb	58 - 60 HRC	В умовах одночасної дії сильного абразивного зносу і високим ударним навантаженням	Деталі землерийних машин і дробильних установок і подрібнювачів
Lincore ELECTRIC	Wearshield MI		0,43%С; 0,28%Mn; 0,33%Si; 12,8%Cr; 0,44%Mo; 1,18%V	52 – 53 HRC	В умовах помірного абразивного зносу, ускладненого корозією і ударами	Деталі землечерпального обладнання
Welding-AlloysGroup	ROBODUR K 650 [36]	T Fe8	0.50%С 1.30%Mn 1.30%Si 5.60%Cr 1,30%Mo	650HB	При абразивному зношенні мінералами, при ерозії, а також за умов удару.	
	13KH/ЛИВТ (ЭН-80Х4СГ-55)		0,8%С; 0,95%Si; 0,8%Mn; 4,2%Cr	52-62HRC	Абразивний знос в умовах значних ударів і високих питомих тисках	Зуб'я ковшів екскаваторів, козирків черпаків, деталей земснарядів, ножів дорожніх машин і ін.
	SK 260 NbC-O [37]		1.2%С 0.6%Mn 1.4%Si 5.3%Cr 8.3%Nb 1.2%W 2%B	60 HRC	протистояти інтенсивного абразивного зносу	

Згідно з таблицею виділено наступні сталі:

~ 0,4...0,5 % C; 5–7 % Cr з приблизним вмістом 1,2...1,3 % Mn, 0,3–1,3 % Si та додатково легованих 1,30 % Mo (ROBODURK 650 [36]), 1,2 % Mo, 0,60 % Al (OK Tubrodur 58 O/GM [32]), чи 1,3 % Mo; 0,5 % Nb (Э УТР DUR 650 Kb [35]);

~ 0,4...0,5 % C; 12,8 % Cr з приблизним вмістом 0,28 % Mn; 0,33 % Si та додатково легованих 0,44 % Mo; 1,18 % V (Wearshield MI);

0,8...0,9 % C; 4,2...5,5 % Cr з приблизним вмістом 0,8...0,95 % Si, 0,8 % Mn з додаванням Mo, V, Ti та B (СПП ВЕЛТЕК-Н600 [330]);

~ 1,2...1,5 % C; ~ 5 % Cr з приблизним вмістом 0,6 % Mn з додаванням 8,3 % Nb, 1,2 % W та 2 % B (SK 260 NbC-O [37]);

~ 1,2...1,5 % C; ~ 10 % Cr з приблизним вмістом 0,6 % Si, 0,9 % Mn з додаванням 0,6 % V, 0,6 % Ti та 1,6 % B (Велтек-Н650-О [34]).

Таким чином, з наведених матеріалів можна виділити групи сталей з приблизним вмістом вуглецю 0,4–0,5 % C; 0,8...0,9 % C; 1,2...1,5 % C. У кожних з яких можна виділити підгрупи, з різним вмістом хрому 5–7 % Cr та 10–12 % Cr. Можна зазначити, що наплавочні матеріали з високим вмістом вуглецю характеризуються більшим вмістом карбідо- або карбоборидоутворюючих елементів. При розробці нових наплавочних матеріалів необхідно проводити дослідження сплавів з низьким вмістом коштовних елементів, тобто економно легованих матеріалів. При цьому низьким вмістом коштовних легуючих елементів характеризуються матеріали з вмістом вуглецю 0,4 % або 0,8 %, що пов'язують зі збагачення розчину хромом, та поліпшенням електрохімічного потенціалу сталі.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасних наплавочних матеріалів, що використовуються при зміцненні або відновленні деталей, схильних до гідроабразивного та абразивно-корозійного зносу, показав перспективність використання порошкового дроту. При цьому спостерігається тенденція до зниження або обмеження використання дефіцитних та коштовних елементів.

Необхідною умовою підвищення стійкості матриці наплавленого шару до корозії, високу твердість зміцнюючої фази, та її надійного утримання в матриці є використання в якості легуючих елементів, разом з елементами, які підвищують абразивну зносостійкість, Cr, Nb, B, Ti, Mo, таких елементів, як Al, Cu, що підвищують корозійну складову зносу.

Комплексне введення легуючих елементів, що впливають на окремі властивості металу, є більш ефективним, в порівнянні з їх окремим додаванням. Тому значний інтерес має спільний вплив Cr, Ti, Nb, B з Cu або Al на корозійну складову в умовах гідроабразивного зносу, визначення їх співвідношення, а також механічних властивостей та характеристик оксидної плівки, що утворюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гринь А. Г. Выбор направления оптимизации состава наплавочного материала деталей, подверженных гидроабразивному износу [Электронный ресурс] / А. Г. Гринь, Б. А. Трембач, И. А. Трембач // Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 2 (20Е). – С. 55–61. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962\(20%D0%95\)_2016/article/11.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(20%D0%95)_2016/article/11.pdf).
2. Suchanek J. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials / J. Suchanek, J. Smrkovsky, P. Bias // Wear. – 1999. – Apr. – Vol. 233–235. – P. 229–236.
3. Avery H. S. Work hardening in relation to abrasion resistance / H.S. Avery // Proceedings of the Symposium on Materials for the Mining Industry. – ClimaxMolybdenum, Vail, CO. – 1974. – Pp. 43–47.
4. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навч. посіб. – Запоріжжя : ВАТ «Мотор Січ», 2006. – 420 с.
5. Abrasive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials / J. Suchanek, J. Smrkovsky, P. Blaskovic, N. A. Grinberg // Wear Volumes 233-235. – December, 1999. – Pp. 229–236.
6. Heat and Thermochemical Treatment of Structural and Tool Steels/ Aneta BARTKOWSKA, Mikołaj POPLAWSKI, Damian PRZESTACKI // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. – 2015. – Vol. 60(2).
7. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов : справ. пособ. / А. Г. Добровольский, П. И. Кошеленко. – К. : Техника, 1989. – 128 с.

8. Yüksel N. Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys / N. Yüksel, S. Sahin // *Materials and Design*. – 2014. – № 58. – P. 491–498.
9. Лившиц Л. С. Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели. – М. : Машиностроение, 1969. – 188 с.
10. Марукович Е. И. Износостойкие сплавы / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко. – М. : Машиностроение, 2005. – 428 с.
11. Попов С. М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні / С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Непребко. – Запоріжжя : ЗНТУ, ВАТ "Мотор Січ", 2010. – 368 с.
12. Coronado J. J. The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits / J. J. Coronado, H. F. Caicedo, A. L. Gómez // *TribolInt*. – 2009 ; 42 : 745–9.
13. Microstructure of high (45 wt.%) chromium cast irons and their resistances to wear and corrosion / Tang X. H., Chung R., Pang C. J., Li D. Y., Hinckley B., Dolman K. // *Wear*. – 2011 ; 271 : 1426–31.
14. Развитие теоретических основ создания электродных материалов, обеспечивающих деформационное мартенситное превращение в наплавленном металле : дис. на соиск. науч. ст. д-ра техн. наук [Электронный ресурс] / В. Л. Малинов. – Мариуполь, 2015. – Режим доступа: http://old.pstu.edu/fileadmin/pictures/nauka/sovet_12_052_01/Malinov/Dis.pdf. – (дата обращения: 08.04.2018).
15. Wulpi, Donald J. Understanding How Components Fail. 2nd ed. Materials Park : ASM International, 2000. – P. 163–226.
16. Characterization and corrosion behavior of high-chromium white cast irons / A. Neville, F. Reza, S. Chiorelli, T. Revega // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2006. – Vol. 37. – Pp. 2339–2347.
17. Vargas M. Studies on the corrosion behavior of wear resistant hardfacing alloys / M. Vargas, K. Kanpoorpati, V. Murthy. – 2014.
18. Войнов Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия / Б. А. Войнов. – М. : Машиностроение, 1980. – 120 с., ил.
19. Износостойкость и структура твердых наплавов / Хруцов М. М. и др. – М. : Машиностроение, 1971.
20. Effect of V-Ti on the microstructure and abrasive wear behavior of 6%Cr cast steel mill balls / Maldonado-Ruiz S. I., Orozco-González P., Baltazar-Hernández V. H., Bedolla-Jacuinde A. M., Hernández-Rodríguez A. L. // *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. – 2014. – № 2. – P. 383–391.
21. Barker K. S. Synergistic abrasive – corrosive wear of chromium containing steel / K. S. Barker, A. Ball // *Brit. Cor.* – 1989. – 24. №3. – P. 222–228.
22. Вязников Н. Ф. Легированная сталь / Н. Ф. Вязников. – М. : Металлургиздат, 1963. – 271 с.
23. Tan Yuxi The effect of martensitic morphology on the mechanical properties of steel in industry / J. Xi'an Jiaotong University. – 1989. – № 23(2). – P. 142–151.
24. Klueh R. L. High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications / R. L. Klueh, D. R. Harries. – ASTM Monograph 3. – 2001.
25. Гомольская З. М. Износостойкость сталей в условиях гидроабразивного износа / З. М. Гомольская, В. М. Гутерман // *Труды института ВНИИПТУ Углемаш. Вып. II / Износостойкие материалы для деталей горных машин и технологические методы повышения срока их службы*. – М., Недра, 1966. – С. 3–33.
26. Pintaude G., Albertin E., Sinatora A. A review on abrasive wear mechanisms of metallic materials // *Abrasion 2005: Proceedings of International Conference-Abrasion*. 2005. P. 167–177.
27. Бородулин Г. М. Нержавеющая сталь / Г. М. Бородулин, Е. И. Мошквич. – М. : Металлургия. 1973.
28. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки ; под ред. В. Г. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
29. Berns H. Microstructure of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys with Additions of Nb, Ti and, B / H. Berns, A. Fischer // *Materials Characterization*. – 1997. – Vol. 39. – Pp. 499–527.
30. Специальные стали : учебник для вузов. / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. — М. : Металлургия, 1985. — 408 с.
31. ДСТУ EN 14700. Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 18 с.
32. Каталог сварочных материалов ESAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esab.ru/ru/ru/weldingmats/index.html#189/z>.
33. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://weldtech-group.com/rus/WELTEC_H600.
34. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://weldtech-group.com/rus/WELTEC_H650_O.
35. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bohlerwelding.ru/files/UTP/UTP%20DUR%20650%20KB.pdf>.
36. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_HardfacingConsumables-Lincore-Lincore50/LINCORE50-eng.pdf.
37. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alruqee.com/Userfiles/Product/TablePdf/09072016000000SK%20260%20NbC-O.pdf>.