

УДК 621.791

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.97.0.30

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ФАЗОВОГО СКЛАДУ ЗНОСОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ, ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ

Багров В. А., Глушкова Д. Б.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Метою роботи є підвищення якості та зносостійкості наплавленого металу шляхом удосконалення складу легуючих порошків за рахунок оптимізації вмісту титану й вуглецю.

Експеримент проводили автоматичним наплавленням із застосуванням дослідних легуючих порошків під флюсом АН-22 дротом Св-08А. Як основні легуючі домішки використовували титан, хром, марганець. Установлено, що наявність титану в кількості 1,6–2,0 % за умови вмісту вуглецю 0,4–0,5 % дозволяє отримати безвуглецеву матрицю з карбідною зміцнювальною фазою. Твердість наплавленого металу порівняно з мартенситно-трооститною структурою знижується незначно – на 4...6 HRCe.

Розроблено склад наплавлених сталей для роботи в умовах ударно-абразивного зношування для електродугового наплавлення інструменту, що містить систему легування Cr-Mn-Ti на основі заліза (за умови незначного вмісту Mo і V) і забезпечує високу якість металу шва.

Ключові слова: сталь, наплавлення, карбіди, легований порошок, структура.

Вступ

Службові характеристики наплавленого металу, призначеного для роботи в різних умовах тертя, визначаються насамперед системою легування, різним фазовим складом та структурою. У випадку, коли ударні навантаження визначають працездатність виробу більше, ніж зношування, вирішальне значення набуває кількість аустеніту і його природа. Наплавлений метал у цьому випадку має гетерогенну структуру, що складається із грузлої матриці й твердих кристалів зміцнювальної фази – Mo₂C, (MoFe)₆C, TiC, (FeMo)₃C, (FeCr)₂₃C₆ тощо. Основним карбідоутворювальним елементом у сталях, що працюють в умовах абразивного зношування, склад яких варіюється в межах: 0,8...2,5 % вуглецю, 4...10 % марганцю, 2...5 % хрому, 1,5...3,0 % титану, є титан. Карбіди титану мають більш високу твердість, вищу, ніж карбіди Cr₇C₃, VC, Mo₂C, (FeCr)₂₃C₆, що позначається на зносостійкості.

Аналіз публікацій

У сферах, пов'язаних зі зносостійким наплавленням, проведені численні дослідження, розроблені високоефективні способи ручного й механізованого наплавлення, наплавлені матеріали з поліпшеними показниками [1; 2].

Службові характеристики наплавленого металу, призначеного для роботи в різних умовах зношування, визначаються насамперед системою легування і, як наслідок цього, різним фазовим складом та структурою.

У цьому разі найменш сприятливою фазою є ферит, оскільки має невисокий рівень твердості, зносостійкості, в'язкості й опірності руйнуванню.

Для підвищення зносостійкості широке застосування мають сталі не тільки з мартенситною, але й аустенітно-мартенситною, аустенітно-карбідною та мартенситностаріючою структурою. Для роботи деталей в умовах молекулярно-механічного, ударно-абразивного й абразивного зношування значне поширення набули сталі, що мають карбіди й боріди, ледебурит й залишковий аустеніт або карбідно-боридну зміцнювальну фазу в аустенітно-мартенситній матриці. Сталі з подібною структурою мають високу твердість й задовільну зносостійкість, однак застосування їх не завжди забезпечує необхідну зносостійкість наплавленого шару. Крім цього, для їхнього виготовлення застосовуються у значній кількості дорогі й дефіцитні матеріали. Одним із раціональних способів підвищення стійкості наплавленого металу зношуванню є багатокомпонентне ошадливе легування, за допомогою якого вдається отримати сталі зі зміцнювальною карбідною фазою та високими фізико-механічними характеристиками. Для цього в процесі розроблення наплавлених матеріалів використовують різні карбідоутворювальні елементи – Cr, W, V, Nb тощо. Найбільш широко застосовувані зносостійкі матеріали залежно від виду зношування можна характеризувати за такими критеріями: молекулярно-механічне зношування – показник

зносостійкості: відносна зносостійкість $\varepsilon \sim K_u \cdot K_e^{-1}$, $K = HV^\alpha \cdot E^{-1} \cdot C^\beta \cdot \sigma^{0.5}$, $\varepsilon \sim K_{ic}^2 \cdot K_{ic}^2$; система легування: W-V-Cr, Mo-W-V-Cr, Cr-Mo-V, Cr-Mn-Si на основі заліза; матриця: М, М+Б, М+Ам, Мс; ударно-абразивне зношування – показник зносостійкості: $\varepsilon \sim \sigma_{au} \cdot \delta_u \cdot \sigma_{ee}^{-1} \cdot \delta_e^{-1}$, система легування: Ni-Co-Mo-Ti, C-Cr-Mn, Cr-Si-Mn на основі заліза; матриця: Мс, Ам+М, Ам+Л; абразивне зношування – показник зносостійкості: $\varepsilon \sim K_u \cdot HV_u \cdot K_e^{-1} \cdot HV_e^{-1}$, система легування: Cr-Si-Mn, Cr-Si-B-Mn на основі заліза; матриця – Ам+Л, де: М – мартенсит, Б – бейніт, Л – ледебурит, Мс – мартенсит старіючий, Ам – аустеніт метастабільний.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є підвищення якості та зносостійкості наплавленого металу шляхом удосконалення складу легуючих порошків за рахунок оптимізації вмісту титану й вуглецю.

Матеріали та методика дослідження

Унаслідок патентно-інформаційного пошуку й літературного огляду прийняте автоматичне наплавлення під флюсом.

Наплавлення робили трактором ТС-17М і автоматичною головкою А-1416 на пластини розміром 200 x 150 x 25 мм зі сталі 20, 500 x 300 x 40 мм зі сталі 45 і 400 x 50 x 40 зі сталі 5ХНМ. Як захисний флюс для наплавлення по шару легуваного порошку на основі CaF₂ із системами легування Cr-Mn-Ti і Cr-Mn-Mo-Ti був прийнятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 – В=1,4668, хімічна активність – А_ф=0,1819 [3] дротом Св-08А діаметром 2 мм і погонною енергією $q_n \approx 15 \dots 20$ кдж/см.

Хімічний склад наплавленого металу визначали такими методами: вуглець – газообмінним (держстандарт 2604.1), кремній – вагарняним (держстандарт 2604.3), марганець – об'ємним персульфатосрібним (держстандарт 2604.5), титан – фотометричним (держстандарт 2604.10). Пошаровий вміст легуючих елементів і фазовий склад визначали на установці ДРОН-3 у випромінюванні К α -Со (монохроматизованому). Зйомку робили за схемою Брега-Брентано. Результати РФА наведені на дифрактограмах, де кожному піку відповідає своя фаза.

Для проведення структурного аналізу зразки з наплавленого металу труїли в реактиві Вілелла: 10 моль азотної кислоти, 20 моль соляної кислоти, 20 моль гліцерину й 10 моль

перекису водню. Розподіл зміцнювальної фази в наплавленому металі оцінювали точковим методом Глаголева [4] на мікротвердомірі ПМТ-3.

Результати досліджень

Відомо, що регулювання структури й фазового складу як у доевтектоїдних, так і в заевтектоїдних сталях можна домогтися зміною вмісту марганцю, як аустенізатора й титану, як активного карбідоутворювального елемента. За умови високого вмісту вуглецю до 2,5 % й карбідоутворювальних елементів можлива поява евтектики типу γ +К або α +К.

Хімічний склад сплавів у процесі наплавлення варіювався часткою участі знеструмленої присадки (порошку) у металі шва. На основі проведення рентгенофазового аналізу встановлено.

Наплавлений метал типу 150Х5Г9С2 з концентрацією титану порядку 5 % має складну структуру. Структура крайки наплавлених валиків за схемою «гірка» є ледебуритом, що складається з високолегованого аустеніту (А ~ 80 %), карбідів і одиничних ділянок мартенситу (рис. 1). Ближче до зони сплавки структура складається з аустеніту й мартенситу крупногочастого (А ~ 50–55 %). Величина зерна відповідає приблизно 5–6 балам стандартної шкали.



Рис. 1. Структура сплаву 150Х5Г9Т5С2, $\times 350$

Збільшення вмісту титану в наплавленому металі до 6–6,5 % розширює в крайці зону аустеніту. Структура крайки складається з карбідів і легуваного аустеніту. За мірою наближення до зони сплавки з'являються одиничні ділянки аустенітно-мартенситної структури із вмістом аустеніту ~ 60–70 %.

Величина зерна в наплавленому металі відповідає приблизно 5–6 балам. Розподіл зміцнювальної фази в наплавленому металі відносно рівномірний.

Збільшення вмісту вуглецю до 2,2–2,5 % у наплавленому металі за умови ідентичного вмісту інших легуючих елементів привело до появи в крайці крупногочастої структури, що складається з аустеніту (~ 80 %), мартенситу й карбідів. Ближче до зони сплавки (по умовній границі) – крупногочаста аустенітно-мартенситна структура (А від 50 до 70 %). Зона сплавки складається з аустеніту, мартенситу й тонкої розірваної сітки карбідів (1...2 %).

За мірою видалення від крайки до основного металу структура змінюється шарами: крупногочастий аустеніт і мартенсит (А ~ 70–75 %), дрібногочастий мартенсит-аустеніт (А ~ 20–25 %), крупногочастий аустеніт-мартенсит (А ~ 50–55 %) і основний метал.

Збільшення вмісту вуглецю привело до помітного підвищення твердості наплавленого металу на 8...10 HRCe.

У зв'язку з розробленням і широким впровадженням сталей зі структурою метастабільного аустеніту як зносостійких матеріалів досліджували вплив ступеня стабільності аустеніту на властивості сталей із вмістом вуглецю 0,4–0,6 %, хрому ~ 3 %, титану в межах 1,5–2,0 %. Вміст марганцю змінювався в межах 5–9 %.

Аналіз макроструктури показав таке. Висота наплавлених валиків коливається в середньому в межах 5–8 мм. Глибина проплавлення – 1,5–2 мм. Ширина зони термічного впливу – 1–2 мм. Метал по перетину наплавленого металу щільний, тріщини та несплавки відсутні.

Наплавлений метал типу 40X3Г5Т2С2 з концентрацією марганцю в межах 4–5 % має структуру мартенситу й трооститу. Мікроструктура верхньої частини валика складається із дрібно- й середньогочастого мартенситу й включень ниткоподібних карбідів, орієнтованих по сітці ланцюжками. Мікроструктура наплавленого металу у світлій зоні нижньої частини валика складається із трооститу, орієнтованого по середньо- й крупногочастому мартенситу. Мікроструктура іншої частини нижнього валика складається із дрібно- й середньогочастого мартенситу, ділянок трооститу й дрібних, тонких, ниткоподібних карбідів, орієнтованих по розірваній сітці.

Збільшення марганцю до 9–10 % за умови незмінного вмісту інших легуючих елементів приводить до появи мікроструктури тонкодисперсної будови, більш дрібної, ніж у сплаві

40X3Г8Т2С3, сорбітного типу. Структура однорідна по всій висоті шва. Дендритна стовпчаста орієнтація структури в лінії сплавки виражена значно менше, ніж у сплавів із вмістом марганцю 4–7 %.

Вплив вмісту марганцю на структуру наплавленого металу зображений на рис. 2.

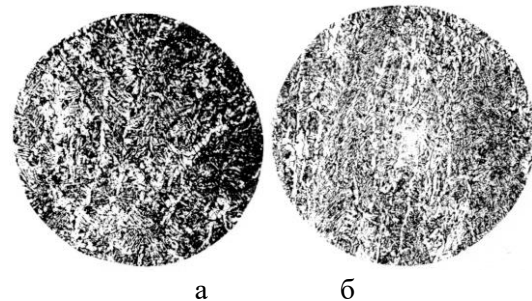


Рис. 2. Вплив марганцю на структуру наплавленого металу, $\times 100$: а – 4–5 % Mn; б – 9 % Mn

Отримання структури сорбіту можна пояснити як збільшенням у металі марганцю, елемента аустенізатора, так і впливом термічних циклів у процесі багат шарового наплавлення. У разі багат шарового наплавлення попередні валики нагріваються вище за точку A_{c1} . Під час охолодження ділянок, нагрітих вище ніж точка A_{c1} , витримка в інтервалі найменшої стійкості аустеніту залежить від погонної енергії наплавлення й температури попередніх шарів. Наступні тепловкладення будуть сприяти ізотермічному розпаду аустеніту [5; 6] і відпустці мартенситу, якщо він був у структурі металу. Утворенню сорбіту, з огляду на вищезазначене, сприяє: порівняно повільне охолодження, пов'язане зі зміною обсягу зварювальної ванни, локальне підвищення температури початку мартенситного перетворення (утворення карбідів і зниження вуглецю у твердому розчині), наявність хрому й значної кількості марганцю.

Висновки

1. Підвищення концентрації марганцю знижує ділянку мартенситу й приводить до появи сорбіту за умови близького вмісту в сплавах інших легуючих елементів (С, Cr, Ti, Si).

2. Наявність титану в кількості 1,6–2,0 % за умови вмісту вуглецю 0,4–0,5 % дозволяє отримати безвуглецеву матрицю з карбідною зміцнювальною фазою. Твердість наплавленого металу порівняно з мартенситно-трооститною структурою знижується незначно – на 4...6 HRCe.

Література

1. Кальянов В. Н. Структура и характеристика износостойкого экономнолегированного наплавленного металла // Сварочное производство. – 1997. – № 4. – С. 13–17.
2. Применение сталей ПНП в качестве наплавочных материалов для повышения усталостной прочности наплавленных деталей / Г. С. Микаелян, И. А. Рязцев, В. Г. Васильев и др. // Автомат. сварка. – 1993. – № 10. – С. 34–36.
3. Потапов Н. Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей. – Москва: Машиностроение, 1979. – 168 с.
4. Справочник по практическому металлостроению / В. Л. Пилюшенко, Б. Б. Винокур, С. Е. Кондратюк и др. – Київ: Техніка, 1984. – 135 с.
5. Лившиц Л. С., Хахимов А. Я. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. – Москва: Машиностроение, 1980. – 336 с.
6. Пикеринг Ф. Б. Физическое металлостроение и разработка сталей / под ред. Г. В. Щербинского. – Москва: Металлургия, 1982. – 184 с.

References

1. Kalianov V. N. Struktura y kharakterystyka yznosostoikoho ekonomnolehyrovannoho naplavlennoho metalla // Svarochnoe proyzvodstvo. 1997. № 4. S. 13–17.
2. Prymenenye stalei PNP v kachestve naplavochnykh materyalov dlia povysheniya ustalostnoi prochnosti naplavlennykh detalei / H. S. Mykaelian, Y. A. Riabtsev, V. H. Vasylev y dr. // Avtomat. svarka. 1993. № 10. S.34–36.
3. Potapov N. N. Osnovy vybora flusov pry svarke stalei. Moskva: Mashynostroenye, 1979. 168 s.
4. Spravochnyk po praktycheskomu metallovedenyiu / V. L. Pyliushenko, B. B. Vynokur, S.E. Kondratiuk y dr. Kyiv: Tekhnika, 1984. 135 s.
5. Lyvshyts L. S., Khakymov A. Ia. Metallovedenye svarky y termicheskaia obrabotka svarnykh soedynenyi. Moskva: Mashynostroenye, 1980. 336 s.
6. Pykerynh F. B. Fyzycheskoe metallovedenye y razrabotka stalei / pod red. H. V. Shcherbinskoho. Moskva: Metallurhiya, 1982. 184 s.

Багров Валерій Анатолійович, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. 057-707-37-29, e-mail: havetabanca@ukr.net.

Глушкова Діана Борисівна², д.т.н., проф., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. 057-707-37-29, e-mail: diana@khadi.kharkov.ua, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Formation of the structure and phase composition of wear-resistant steel alloyed with titanium

Abstract. Problem. In order to increase the durability of the elements of parts and machines operating in conditions of shock-abrasive and abrasive wear during surfacing, alloys doped with such elements as Cr, W, V, Nb and others have been widely used. Currently, these elements are scarce and expensive in Ukraine. The **purpose** of the work is to improve the quality and wear resistance of the deposited metal by improving the composition of alloying powders by optimizing the content of titanium and carbon. **Methodology.** Surfacing was done with a TS-17M tractor and an A-1416 automatic head on plates measuring 200x150x25 mm from 20 steel, 500x300x40 mm from 45 steel, and 400x50x40 from 5KHNM steel. AN-22 flux was adopted as a protective flux for layer-by-layer surfacing of alloyed powder based on CaF₂ with Cr-Mn-Ti and Cr-Mn-Mo-Ti alloying systems. **Results.** It was established that the presence of titanium in the amount of 1.6–2.0% with a carbon content of 0.4–0.5% allows obtaining a carbon-free matrix with a carbide strengthening phase. The hardness of the deposited metal in comparison with the martensitic-troostite structure is slightly reduced by 4...6 HRC. The presence of titanium in the amount of 1.6–2.0% with a carbon content of 0.4–0.5% allows obtaining a carbon-free matrix from the carbide strengthening phase. **Originality.** A rational method of increasing wear resistance of the deposited metal by multicomponent sparing alloying has been developed, with the help of which it is possible to obtain steels with a strengthening carbide phase and high physical and mechanical characteristics. **Practical value.** A composition of surfacing steels has been developed for work under conditions of shock-abrasive wear for electric arc surfacing, which contains a Cr-Mn-Ti alloy system based on iron (with a small content of Mo and V) and ensures high quality of the weld metal.

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,

Hlushkova Diana, Doctor of Engineering, head of the department of technology of metals and materials scienc, Phone: 097-481-15-93, e-mail: diana.borisovna@gmail.com. Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine.