

2005. – Т. 99, № 4. – С. 24–28. 6. Marcos J., Planes A., Manosa L. Martensitic transition and magnetoresistance in a Cu–Al–Mn shape – memory alloy: Influence of ageing // *Physical Review*. – 2002. – В 66, 054428. 7. Кондир А.І., Борисюк А.К., Паздрій І.П., Швачко С.Г. Застосування вібраційного магнітометра для фазового аналізу спеціальних сталей та сплавів // *Вибрації в техніці та технологіях*. – 2004. – № 2, (34). – С. 41–43. 8. Апаев Б.А. Фазовый магнитный анализ. – М.: *Металлургия*, 1976. – 280 с. 9. Надутов В.М., Свистунов Е.А., Косинцев С.Г. и др. Сверхтонкая структура и свойства инварных сплавов Fe–Ni–C // *Изв. РАН. Сер. физическая*. – 2005. – Т. 69, № 10. – С. 1475–1481. 10. Хандрос Л.Г., Арбузова И.А. Мартенситное превращение, эффект памяти формы и сверхупругость. – В кн.: *Металлы, электроны, решетка*. – К.: *Наук. думка*, 1975. – С. 109–142. 11. Кузьмин С.Л., Лихачев В.А., Рыбин В.В. Мартенситная память в кобальте // *Изв. для вузов. Физика*. – 1976. – № 3. – С. 18–23.

УДК 621.791.92

**В.Л. Пакош**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра зварювального виробництва,  
діагностики та відновлення металоконструкцій

## **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ З ХРОМИСТОГО ЧАВУНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ**

© Пакош В.Л., 2007

Деталі машин, які працюють в умовах абразивного зношування, відновлюють наплавленням матеріалами з хромистого чавуну, що містить 3–5,5 % С та 15–35 % Cr, інколи з домішками ніобію та бору. Важливою проблемою при цьому залишається оптимізація складу наплавленого металу системи Fe-C-Cr-Nb-B, а також розроблення порошкових дротів для його одержання.

Components of machines subjected to abrasive wear are reconditioned by chromic iron fusing that contains 3–5,5 % C and 15–35 % Cr. In order to increase wear resistance of the layers additional alloying with niobium and boron is done. It is still important to optimize the composition of the fused metal of Fe-C-Cr-Nb-B system and develop tube wire to get the above metal.

**Постановка проблеми.** Аналіз причини зношення елементів машин та механізмів показує, що приблизно 50 % з них підлягає абразивному зношуванню, 15 % адгезійному, 15 % втомному, 5 % внаслідок корозії, а решта 15 % – це наслідок сумарного впливу вищенаведених процесів зношування [1]. Згідно з іншими даними [2] зношування деталей, внаслідок дії абразиву, може сягати навіть 80 %. Особливо це питання актуальне для України в теперішній час, оскільки через складний економічний стан більшість підприємств не в стані придбати нову техніку в необхідних кількостях, а змушені ремонтувати та використовувати стару. Абразивному зношуванню підлягає велика кількість гірничих, транспортних, дорожньо-будівельних, сільськогосподарських машин та транспортуючих пристроїв, вузлів металургійного обладнання, робочих коліс та напрямляючих апаратів гідравлічних турбін, лопаток газових турбін, бурильного обладнання нафтової та газової промисловості тощо.

З погляду зношування та міцності матеріалу, основним елементом, що вирішує тривалість роботи окремих елементів машин, є поверхневий шар. Наплавлення, як один із способів формування поверхневого шару і його експлуатаційних властивостей, дозволяє одержати шари з хімічним складом з необхідною міцністю та стійкістю до зношування. Підбором властивостей поверхневого шару можна досягнути збільшення ефективного часу експлуатації окремих механізмів та машини, загалом, а також цілісності усєї системи як технічного об'єкта, що призводить до значної економії матеріалів та коштів.

Визнаним способом відновлення та забезпечення попереднього зміцнення великої кількості деталей машин, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, є наплавлення поверхневого шару зносостійкими матеріалами зі сплаву хромистого чавуну – 3–5,5 % С та 15–35 % Cr [3–5]. Доведено, що навіть невелика кількість легувальних елементів може спричинити істотне підвищення зносостійкості.

У зв'язку з цим, актуальним є дослідження впливу окремих легувальних елементів на стійкість наплавлених шарів до абразивного зношування.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій, викладення основного матеріалу дослідження.**

Здатність металу чинити опір руйнуванню у разі дії абразивів є функцією багатьох параметрів: хімічного складу, структурного стану сплаву, чутливості до структурних змін в поверхневому шарі під час взаємодії з абразивними частинками, умов зношування, включаючи температуру, величину енергії удару частинок, швидкість удару, складу і властивостей абразиву.

Вплив легувальних елементів на зносостійкість проявляється, переважно, двома шляхами: утворенням в сплаві зміцнювальної фази – карбідів чи інтерметалідів та зміною властивостей основи.

Аналізуючи вплив вуглецевої фази на зношення тертям автори багатьох робіт визнають, що найефективнішою вуглецевою фазою, що гарантує найнижче абразивне зношення в хромистих чавунах системи Fe-C-Cr, є карбіди типу  $Me_7C_3$  з мікротвердістю 8–14 ГПа [6]. Деякі автори [7–9] вважають, що найсприятливішими є карбіди типу  $Me_{23}C_6$  з мікротвердістю 13,7–24,4 ГПа [7], пояснюючи це їх дрібнодисперсністю, більшою стабільністю та твердістю. Однак, тип карбіду має менше значення ніж кількість карбідів, оскільки твердість карбідів здебільшого переважає твердість абразивних частинок. Рекомендований вміст карбідів в структурі, що становить найбільшу стійкість проти зношення, повинен становити від 30 до 60 % у випадку чистоабразивного зношування та 20–30 % за наявності ударних навантажень [4, 5, 10].

При абразивному зношуванні не менш важливе значення має металічна основа, яка сама по собі є елементом, від якого залежить зносостійкість сплаву та інші властивості, і є складовою, яка визначає міцність утримання найтвердіших і найзносостійкіших елементів сплаву – карбідів, боридів тощо. Не існує єдиної думки щодо вибору найкращої структури металічної основи. Більшість науковців дотримуються думки, що найвдалішим відношенням високої зносостійкості, здатності втримувати тверді фази та ударостійкістю володіє аустенітно-мартенситна матриця, яка має достатньо в'язку основу, щоб при динамічних впливах перешкоджати викрихчуванню карбідів [5, 10, 11].

Інтенсивні деформації можуть спричинити те, що метастабільний в кімнатній температурі аустеніт перетвориться в твердий мартенсит [2, 3]. Утворений так тонкий поверхневий шар з мартенситною структурою вилучається внаслідок різних мікромеханізмів тертя і відкриває поверхневий шар з аустенітною структурою, і цей процес повторюється. Оптимальний вміст метастабільного аустеніту може коливатися від 15 % при чистоабразивному зношуванні до 40 % за наявності ударних навантажень.

Основним елементом, який впливає на зносостійкість хромистих чавунів, є вуглець. У разі наплавлення шарів, що гарантують високу стійкість до абразивного зношування, застосовують заевтектичні хромисті чавуни, що містять від 3 % С до 6 % С при вмісті хрому від 15 % до 35 % [3–5]. Проведені дослідження [5] показують, що зносостійкість наплавлених шарів з хромистого чавуну у разі зміни вмісту вуглецю від 2,4 % до 4,3 % підвищується, що пояснюється передусім збільшенням кількості вуглецевої фази та появі первинних карбідів типу  $Me_7C_3$ . Зменшення зносостійкості

хромистих чавунів при вмісті вуглецю понад 4,27 % пояснюється збільшенням крихкості твердої фази та її нерегулярним розміщенням. Інша думка подана в дослідженнях наплавлених шарів з доевтектичною або евтектичною структурою чавуну [7]. Висока стійкість проти абразивного спрацьовування тут пояснюється існуванням в цій зоні карбідів  $(CrFe)_7C_3$ , що мають приблизно в 1,4–3,0 разів вищу твердість, ніж карбіди  $(CrFe)_3C$ , та частково карбідами  $(CrFe)_{23}C_6$ . При вмісті вуглецю та хрому відповідно 2–2,4 % C, 14–16 % Cr.

Для обґрунтування вмісту вуглецевої фази, що істотно впливає на зносостійкість, використовують залежність відношення вуглецю до хрому [4, 8, 9]. Для сплавів системи Fe-C-Cr, призначених для наплавлення зносостійких шарів, для інтенсивного абразивного зношування при невеликих ударних навантаженнях рекомендоване відношення Cr/C = (6–9), а у разі значних ударних навантажень – Cr/C = (9–13) або Cr/C = (4–6) [12]. Зростання відношення Cr/C при однаковому вмісті вуглецю призводить до зміни будови карбідної фази за схемою  $(CrFe)_3C \rightarrow (CrFe)_7C_3 \rightarrow (CrFe)_{23}C_6$  [4]. Найсприятливіші карбіди  $Cr_7C_3$  починають утворюватись при Cr/C = (3,3–5) (вміст хрому приблизно 10–12 %). При подальшому збільшенні цього відношення у структурі металу разом з карбідами  $Cr_7C_3$  з'являються карбіди  $Cr_{23}C_6$  [7,9].

Аналіз даних показує, що немає єдиної думки стосовно вмісту хрому в наплавлених шарах, які працюють в умовах абразивного зношування. Автори більшості публікацій [10, 13] використовують вміст хрому, не менший, ніж 16 %. Оскільки при вмісті хрому менше 15 %, первинні карбіди  $Me_7C_3$  не утворюються навіть за наявності 4 % C. При вмісті хрому більше 16 % стійкість до зношення тертям знаходиться майже на тому рівні, що і при 32 % Cr, а у деяких випадках може навіть дещо зменшуватись. З вищенаведеного зрозуміло, що з метою одержання наплавлених шарів з найбільшою стійкістю до зношення тертям, вміст вуглецю повинен становити не менше 4 %, а хрому не менше 16 %. Згідно з іншими даними [4], при зміні в заевтектичних сплавах вмісту хрому від 18 до 29 %, при незмінній кількості вуглецю, зносостійкість продовжує зростати, що можна пояснити як збільшенням хрому в карбіді, так і легуванням хромом твердого розчину. Зниження величини максимальної зносостійкості в високохромистих чавунах (29–31 % Cr) можна пояснити зменшенням граничної концентрації вуглецю в аустеніті і, як наслідок, меншою твердістю мартенситу.

Проведений нами аналіз складу існуючих порошкових дротів для наплавлення поверхонь стійких до абразивного зношування показав, що крім хрому, вони містять також від 3 до 13 % ніобію та від 0,5 до 2 % бору.

Збільшення стійкості поверхневих шарів зі складом хромистого чавуну з додатком ніобію пояснюється утворенням твердих карбідів NbC (мікротвердість 20–23,5 ГПа [14]), які додатково зміцнюють матрицю та карбіди типу  $Me_7C_3$ . У більшості порошкових дротів з додатком ніобію, у разі наплавлення шарів з хромистого чавуну (3,5–6 % C, 15–35 % Cr), вміст хрому коливається на рівні від 19 до 23 % [4, 5]. Дослідження зносостійкості хромистого чавуну з вмістом вуглецю 19–23 % та хрому від 18 до 22 %, показують, що вміст ніобію в межах 5–7 % підвищує стійкість до абразивного зношування [5].

Механізм впливу бору на структуру та властивості наплавленого металу достатньо складний. У роботах різних авторів трапляються суперечливі дані про значення бору та про його кількість у наплавленому металі.

Легування бором карбідів та утворення в структурі твердих та крихких боридів підвищує зносостійкість і твердість наплавленого металу, одночасно різко знижуючи його ударостійкість [9]. Тверді та крихкі з'єднання бору, що знаходяться по границях первинного зерна аустеніту, позбавляють основу можливості зв'язувати великі первинні карбіди, і тому при ударах окрихчуються. Зносостійкість наплавок підвищується завдяки появі твердих карбідів (карбоборидів, боридів тощо) та збільшенню твердості хромистих карбідів. Такі сплави кристалізуються з утворенням переважно боридної зміцнювальної фази типу  $Me_2B$ ,  $MeB$ ,  $MeB_2$  з мікротвердістю 20–22 ГПа, яка

має значно більшу стійкість до абразивного зношування, ніж карбідна типу  $Me_7C_3$  та  $Me_{23}C_6$  з мікротвердістю в середньому 12–14 ГПа [15]. Твердість карбиду бору (BC) може становити навіть 36 ГПа [14]. Враховуючи вплив бору на підвищення крихкості, пропонується оптимальний вміст бору 1–1,5 % при 40–50 % твердої фази [4]. Автор публікації [9] рекомендує дещо менші показники вмісту бору при значному абразивному зношуванні та незначних ударних навантаженнях – 0,6–0,7 % В, а при чистоабразивному зношуванні – 0,8–1,2 % В, при 2–3 % С та кількістю твердої фази 30–40 %.

**Висновки.** Аналіз існуючих даних, а також проведені нами попередні дослідження показують доцільність застосування Nb та В при наплавленні зносостійких шарів з хромистого чавуну. Однак немає однозначного визначення оптимального вмісту ніобію в наплавленому металі самозахисних порошкових дротів та найоптимальнішого відношення між вмістом в наплавленому металі вуглецю, хрому та ніобію, а також досліджень впливу бору на властивості наплавлених шарів даного складу. У зв'язку з цим плануються детальніші експериментальні дослідження впливу домішок ніобію та бору на стійкість хромистого чавуну до абразивного зношування, оптимізація складу наплавленого металу та розроблення порошкових дротів для його одержання.

1. Womersley D. *Hardfacing: not merely a reclamation process* // *Surface Engineering*. – 1995. – Vol. 11, nr. 1. – 43 p. 2. Дворук В.І., Кіндрачук М.В. Розвиток та застосування кінетичної концепції абразивного зношування вузлів тертя машин // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. – 2005. – № 3. – С. 92–99. 3. Цытин И.И. *Белые износостойкие чугуны*. – М.: *Металлургия*, 1983. – 176 с. 4. Данильченко Б.В. Выбор износостойкого наплавленного металла для работы в условиях абразивного изнашивания // *Сварочное производство*. – 1992. – № 5. – С. 31–33. 5. Gallo C., Hubert M. *Resistance a l'usure par abrasion rechargements en fontes au chrome. Presentation de cas concrets* // *Soudage et techniques connexes*. – 1980. – Nr 11/12. – S. 371–386. 6. Попов С.Н., *Износостойкость наплавленного металла рабочих органов строительно-дорожных машин* // *Автомат. сварка*. – 2000. – № 8. – С. 15–19. 7. Иванов Д., Митяев О. *Абразивна стійкість проти спрацювання високохромистого чавуну* // *Машинознавство*. – 2000. – № 10(40). – С. 22–25. 8. Башмакова Т.Н. *Влияние легирования на образование карбидной фазы, структуру и свойства наплавленного металла системы Fe-C-Cr* // *Автомат. сварка*. – 1998. – № 12. – С. 39–42. 9. Ливишц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Е.Г. *Основы легирования наплавленного метала*. – М.: *Машиностроение*, 1969. – 188 с. 10. Kotecki D.J., Ogborn J.S. *Сопротивление наплавочных сплавов на основе железа абразивному изнашиванию* // *Сварщик*. – 2005. – № 5(45). – С. 29–33. 11. Брыков Н.Н., Брыков М.Н. *Проблема сопротивляемости сталей и сплавов абразивному изнашиванию* // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. – 2006. – № 1. – С. 93–107. 12. Drzeniek H., Lugsscheider E. *Eigenschaften verschleißfester Auftragschweißungen mit Fülldrahtelektroden aus FeCrC-Legierungen* // *Sonderdruck aus DVS-Berichte. Band 81, Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH. – Düsseldorf, 1993*. 13. Radzikowska J., Warmuzek M. *Mechanizm procesu zużycia ściernego wybranych stopów Fe-Cr-C-Mn w stanie lanym i po obróbce cieplnej* // *Prace Instytutu Odlewnictwa*. – 1995. – Nr 3. – S. 195. 14. *Лаборатория металлографии / Под ред. Б.Г. Ливишца*. – М.: *Металлургия*, 1965. – 440 с. 15. Митяев А.А. *Хромборкремнистые сплавы для работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания* // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. – 1997. – № 1. – С. 20–24.