

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 4

«Принципи вибору електродних матеріалів для відновлення
ручним дуговим наплавленням зношених поверхонь виробів» з
дисципліни «Ремонт машин» для студентів освітньої програми
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
всіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 4
«Принципи вибору електродних матеріалів для відновлення ручним
дуговим наплавленням зношених поверхонь виробів» з дисципліни
«Ремонт машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та
підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання
/ Укл.: Ю.М. Савонов, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 10 с.

Укладачі: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;
Рецензент: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 11 від 04.06.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 10 від 19.06.2018

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити принципи вибору електродних матеріалів для відновлення ручним дуговим наплавленням (РДН) покритими електродами і твердими сплавами.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Покриті електроди

Металеві електроди для наплавочних робіт дають можливість у широких межах змінювати хімічний склад і властивості наплавленого металу. Робиться це шляхом легування через електродне покриття, в якому знаходиться необхідна кількість легуючих елементів. Стержні електродів, у цьому випадку, виготовляють з вуглецевого дроту.

Рідше легування наплавленого металу здійснюється за допомогою електродних стержнів. Такі електроди виготовляються зі спеціального легованого дроту і мають звичайне захисно-стабілізуюче покриття. В окремих випадках проводиться комбіноване легування наплавленого металу за рахунок стержня і його покриття.

Промислове виготовлення металевих електродів з різноманітними покриттями в цей час добре освоєне. Крім того, простота використання цих електродів дає можливість широко застосовувати їх для різноманітних наплавочних робіт і деталей, що працюють у різних умовах. Вибір типу і марки електродів залежить від хімічного складу основного металу, подальшої термічної обробки, умов роботи деталі, що відновлюється, величини зносу, виду подальшої механічної обробки, і ряду інших обставин.

Наплавлення зношених деталей машин, що виготовлені з вуглецевих і легованих сталей і що не зазнають після наплавлення термічної обробки, здійснюється електродами будь-якої марки, що забезпечують необхідну твердість і зносостійкість наплавленого металу. Якщо ж відновлені деталі після наплавлення зазнають термічної обробки, то наплавлення їх здійснюється такими електродами, наплавлений метал яких допускає цю обробку без зниження твердості і погіршення інших механічних властивостей. У наплавленому металі деталей, що зазнають загартування повинне бути не менше ніж 0,35% – 0,40% вуглецю або, при зниженому вмісті вуглецю, відповідна кількість легуючих елементів, щоб наплавлений

метал міг підлягати загартуванню.

В умовах ремонту деталей машин і механізмів не завжди можливе застосування загартування після наплавлення і механічної обробки. У цьому випадку наплавлений метал з високою зносостійкістю можна отримати без подальшого загартування деталі із застосуванням відповідних наплавочних електродів.

Відновлювати деталі наплавленням необхідно такими електродами і з використанням такої технології, щоб деталі в експлуатації працювали довго і надійно. Тільки в цьому випадку буде досягнута мета відновлення деталей наплавленням.

2.2 Типи і марки електродів

Електроди для наплавочних робіт, у залежності від хімічного складу і твердості наплавленого металу у робочому стані, діляться на типи, а у залежності від хімічного складу покриття – на марки. Усі електроди, що застосовуються для наплавочних робіт, доцільно розглядати у вигляді окремих груп. Обґрунтування складу групи може бути різноманітним (за умовами роботи деталей, по структурі наплавочного матеріалу і інші). Розглянемо групи електродів, що вибираються в залежності від умов зношування.

Перша група електродів

Для наплавлення деталей, що зношуються при звичайних температурах, включаючи наступні, найпоширеніші електроди: ОЗН-250 (Е-110Г2), ОЗН-300М (Е-110Г3), ОЗН-400М (Е-15Г5), Т-590 (Е-320Х25С2ГР), Т-620 (Е-320Х23С2ГРТ), 13КН/ЛІВТ (Е-80Х4С) і ін.

Метал, що наплавлено цими електродами, являє собою сплав на основі заліза з невеликою кількістю таких легуючих елементів, як *Mn*, *Si*, *C*, *Cr*, *W*, *Ti* і інші. Наплавлений метал легується через електродне покриття і може мати середню або високу твердість і, у залежності від хімічного складу, зазнавати або не зазнавати термічної обробки.

Електроди марки ОЗН-300, ОЗН-400 мають покриття основного типу і призначені для наплавлення деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей, які схильні до порівняно швидкого зношування у присутності ударних навантажень. Твердість наплавленого металу по ГОСТ 9466-75 у початковому стані HB 250–350.

Багаторічний досвід застосування електродів ОЗН показує, що

вони дають високоякісний, щільний наплавлений метал з вельми малою, у порівнянні з іншими наплавочними електродами, схильністю до утворення тріщин. Це пояснюється не тільки підвищеною пластичністю наплавленого металу, але і меншою забруненістю і меншою концентрацією у ньому сірки, фосфору і газів.

Наплавлення здійснюється короткою дугою на постійному струмі зворотної полярності. Наплавлення довгою дугою сприяє утворенню пор і вигоранню легуючих елементів.

Електроди ЦС-1, ЦС-2 виготовляють з сормайти №1 (290X28H4C4Г) і №2 (200X15H2ГC2) відповідно. Електроди ЦС-1 застосовують для наплавлення деталей з маловуглецевих і низьколегованих сталей з цементованою робочою поверхнею і деталей з вуглецевих і легованих сталей із загартованою поверхнею. Вони також застосовуються для деталей, що не зазнають термообробки. Цими електродами наплавляють, наприклад, ножі ножиць, штампи і пуансони. Твердість наплавленого металу (термічно не обробленого) складає HRC 48–54. Струм постійний або змінний для електродів діаметром 5 мм становить 180 А – 225 А.

Електроди ЦС-2 застосовують для наплавлення деталей, що зазнають і що не зазнають термообробки після наплавлення. Наплавлений метал без термообробки має твердість HRC 39–45, після відпалу HRC 30–35, після загартування і відпалу HRC 56–62.

Електроди Т-590 (Е-320Х25С2ГР) застосовують для наплавлення лопаток димососів, щок каменедробарок, передніх і задніх граней зубів врубкових машин, що працюють на вугіллі м'якої і середньої твердості.

Наплавлений метал являє собою евтектичний залізо-вуглецевий сплав карбідного класу. Його твердість складає HRC 58–62.

Наплавлений метал електродів Т-620 (Е-320Х23С2ГРТ) представляє собою доевтектичний Fe-C сплав, карбідного класу, в якому міститься: 3% – 3,5% C, 1,2% – 2,0% Mn, 20% – 22% Cr, 1,4% – 1,6% Ti, до 1,5% B. Його твердість HRC 55–60, наплавлення здійснюється у нижньому положенні і на тих же режимах, що й електродами Т-590 (постійний струм зворотної полярності або змінний 200 А – 220 А для електродів діаметром 4 мм і 250 А – 270 А для діаметру 5 мм).

Електроди 13КН-ЛІВТ (Е-80Х4С) призначені для наплавлення шнеків, ножів дорожніх машин, коліс землесосів, ланцюгів крокуючих

екскаваторів, зубів черпаків і інших деталей машин і механізмів, що працюють в аналогічних режимах. Наплавлений метал-високовуглецева сталь мартенситного класу, що містить 0,7% – 0,8% C; 0,6% – 0,8% Mn; 4% – 4,2% Cr, твердість HRC 47–51.

Друга група електродів

Призначена для наплавлення деталей, що працюють в умовах зношування при підвищених температурах. До неї відносяться наступні, найбільш поширені марки електродів: Т-540, ЕН-60М, ОЗІ-1, ОЗШ-1 і інші.

Електроди Т-540 застосовують для наплавлення деталей машин і ковальсько-пресового обладнання, що швидко зношуються і вимагають подальшої механічної обробки ріжучим інструментом. У наплавленому металі знаходиться 1,5% – 1,9% C; 8% – 10% Cr; 1% – 1,3% Ti. Твердість металу безпосередньо після наплавлення складає HRC 35–45, після відпалу при температурі 900° С – 950° С HRC 24–28 і після загартування з температури 850° С – 950° С в маслі і відпалу при 200° С – 250 твердість HRC 57–60. Після відпалу наплавлений метал може оброблятися ріжучим інструментом.

Електроди ЕН-60М (Е-70ХЗСМТ) і ОЗШ-1 (16Г2ХМ) призначені для наплавлення ковальсько-пресового інструмента, що вимагає подальшої хімічної обробки ріжучим інструментом: ЕН-60М для штамів холодного і гарячого штампування, висаджувочних і молотових штамів, що вимагають підвищеної в'язкості наплавленого металу; ОЗШ-1 для гарячепрошивних і калібруючих пуансонів з нагрівом робочих кромок до 600° С.

Третя група електродів

Призначена для наплавлення ріжучого інструмента. Ці електроди дають наплавлений метал типу швидкоріжучої сталі і її замінників з твердістю без термообробки не менше ніж HRC 57; після відпалу не більше ніж HRC 35 і після спеціальної термообробки не менше ніж HRC 62. Наплавлення частіше за все здійснюється на деталях зі сталі марок Ст. 3, Ст. 4, Ст. 5. До цієї групи електродів відносяться електроди марок Т-216, Т-268, Т-293, ЦН-1М (Е-80В14Х4Ф), ЦН-2Л (Е-190К62Х29В5С2) і інші.

Четверта група електродів

Призначена для наплавлення ерозійностійких поверхонь деталей, що працюють при високих температурах у агресивних середовищах. До них відносяться електроди марок ЦН-2; ЦН-3; ЦН-6

(E-08X17H8C6Г); ЦН-8 і інші.

П'ята група електродів

Призначена для зварювальних робіт. Це електроди з вуглецевого зварювального дроту з іонізуючим або захисним покриттям. Вони забезпечують наплавлений метал твердістю HB 120-140 і, отже, не можуть істотно підвищити зносостійкість деталі, що відновлюється наплавленням. Такі електроди дають можливість тільки відновити розміри і форму зношеної деталі.

2.3 Матеріали і електроди для наплавлення твердими сплавами

Для наплавлення зношених поверхонь деталей машин і механізмів застосовуються зернообразні тверді сплави:

- сталініт, Вокар, ВИСХОМ-9, боридна суміш;
- тверді сплави, що ллються – стеліти В2К, В3К, В3К-Ц7;
- стелітоподібні сплави – сормайт№1 і сормайт№2;
- порошкові електроди.

Шихта поліпшеного сталініту складається з *FeCr* 38%, *FeMn* 11%, чавунного порошку 47% і нафтового коксу 4% по вазі. У наплавленому металі міститься близько 20% хрому, 17% марганцю, до 3% кремнію і 8% – 10% вуглецю. При дуговому наплавленні сталінітом немає газового і шлакового захисту і тому неминуче вигорання легуючих елементів. Одношарове наплавлення має твердість HRC 49–51, двошарове – HRC 56–57. Зносостійкість металу, яий наплавлений сталінітом значно нижче ніж зносостійкість металу, що наплавлено електродом Т-590. Однак, у свій час, перший матеріал був дуже дешевий і тому знайшов широке застосування.

Під час наплавлення сталінітом відбувається утворення суцільних карбідів марганцю, хрому і твердого розчину *Fe-Cr-Mn-C*. Температура плавлення шихти сталініту 1300° С – 1350° С. Частка основного металу у наплавленому незначна.

ВОКАР являє собою механічну суміш подрібненого вольфраму з вуглецем. Останній звичайно вводиться у вигляді цукру. У наплавленому металі знаходяться складні карбіди вольфраму, що включені у твердий розчин. Наплавлений метал містить 9% – 10% вуглецю, до 3% кремнію, 85% – 87% вольфраму і до 2% заліза. Метал, що наплавлено ВОКАРом, має більш високу твердість, зносостійкість і крихкість у порівнянні з металом, що наплавлений сталінітом.

Перший шар наплавлення має твердість HRC 56–58, другий – HRC 61–63.

BICXOM-9. Шихта складається з подрібненої стружки сірого чавуна 74%, *FeMn* 15%, *FeCr* 5%, сріблястого графіту 6%, пов'язаних між собою розчином рідкого скла з водою. Метал, що наплавлено такою шихтою, має твердість HRC 55–56. Його зносостійкість у 1,6 рази нижче, ніж металу, що наплавлений електродами Т-590. Сплав має рідкотекучість, що дає можливість здійснювати наплавлення тонким і рівномірним шаром.

Боридна суміш являє собою механічну суміш, яка вміщує 50% бориду хрому, і 50% залізного порошку. Борид хрому містить 0,8% *C*; 8% *Cr*; 18,2% *B*. Наплавлений метал насичений кристалами бориду хрому, які пов'язані евтектикою і містить близько 0,12% *C*, 35% *Cr*, 7,63% *B* і 57,25% заліза; його твердість HRA 82–84, а зносостійкість у 2–3 рази вище, ніж при наплавленні сталінітом.

Наплавочна суміш KBX – механічна суміш, що складається з 60% *FeC*, 30% залізного порошку, 5% бориду хрому і 5% карбідів хрому (твердість HRA 78). Зносостійкість займає проміжне положення між сумішшю BX і сталінітом і перевершує останній у 1,5 рази.

Стелити і стелитоподібні сплави

Ці сплави відносяться до твердих сплавів, що ллються, і являть собою твердий розчин карбідів хрому в кобальті, нікелі, залізі. Основою твердого розчину стелитів є кобальт, а стелитоподібних сплавів – нікель або залізо. Сплави на основі *Fe* через наявність карбідів *Fe* мають більш високу крихкість у порівнянні зі сплавами на нікелевій або кобальтовій основах, але зате вони значно дешевше останніх.

Стелити і стелитоподібні сплави випускаються у вигляді прутків діаметром від 4 мм до 7 мм, довжиною 250 мм – 300 мм. Звичайно стелити мають більш високу в'язкість, корозійну стійкість і кращі наплавочні властивості, у порівнянні зі стелитоподібними сплавами.

Тверді сплави, що ллються, мають температуру плавлення 1260° С – 1300° С. Застосовуються вони як присадочний метал або електродні стержні при наплавленні деталей машин, що працюють в умовах сухого, полусухого і рідинного тертя у холодному і гарячому станах.

Метал, що наплавлено твердими сплавами, що ллються, в усіх випадках і на всіх дільницях має більш рівномірну твердість, ніж

метал, що наплавлено зернообразними твердими сплавами.

Стелит В2К 200Х30К50В15Н2ГС (HRC 46–48)

Сормайт№1 290Х28Н4С4Г (HRC 49–54)

Сормайт№2 200Х15Н2ГС2 (HRC 40–45)

Порошкові електроди

Вони знаходять широке застосування при ручному наплавленні штампів, щік каменедробарок, ножів бульдозерів і скреперів, зубів ковшів і опорних катків екскаваторів. Виготовляються з відповідного порошкового дроту для автоматичного наплавлення, під флюсом. На стержні з такого дроту наноситься покриття. Вага покриття становить 30% – 35% від ваги стержня електроду. Електроди прокалюють протягом двох годин при температурі 300° С – 350° С.

Найбільш дешевими і доступними наповнювачами порошкових електродів є домений феромарганець і сталініт. Порошкові електроди з наповнювачами зі сталініту забезпечують наплавлений метал наступного хімічного складу: 2,4% – 2,5% С; 5% – 6% Мn; 5% – 6% Cr. Швидкість наплавлення цими електродами в два рази вище, ніж при наплавленні порошкоподібним сталінітом, коефіцієнт наплавлення становить 11,6 г / А·год. Наповнювач порошкового електроду плавиться швидше, ніж трубка електроду. Це поліпшує захист розплавленого металу від шкідливого впливу повітря і вигорання легуючих елементів. Тому близько 90% вуглецю і 80% – 85% Мn переходять з електрода у наплавлений метал.

Порошкові електроди і наповнювачі з доменного феромарганцю забезпечують наплавлений метал, що містить 2,0% – 2,5% С, до 20% – 26% Мn. За один прохід цими електродами можна наплавити шар металу товщиною до 6 мм. Коефіцієнт наплавлення в середньому становить 12 г / А·год – 14 г / А·год. Метал, що наплавлено цими електродами при питомому навантаженні понад 50 кг / мм² зазнає під час експлуатації відновленої деталі наклеп, внаслідок чого різко підвищується твердість і зносостійкість.

Змінюючи хімічний склад наповнювача електродів можна одержувати наплавлений метал, що має відповідну ударну в'язкість і зносостійкість (наприклад, введенням до складу шихти нікелю можна збільшити у 2,0–2,5 рази ударну в'язкість).

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Основні принципи вибору хімічного складу наплавленого металу для різних умов зношування.
2. Дати характеристику основних груп електродів для зносостійкого наплавлення.
3. Матеріали для наплавлення твердими сплавами.
4. Способи нанесення покриттів з твердих сплавів.
5. Принципи вибору режимів ручного дугового наплавлення.
6. Переваги і недоліки використання твердих сплавів для нанесення зносостійких покриттів.
7. Вплив основних легуючих елементів на можливість зварювання сталей.
8. Вплив основних легуючих елементів на зносостійкість наплавленого металу.

4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Зробити вибір електродних матеріалів (з числа стандартних, що промислово випускаються) для відновлення РДН деталей, які виготовлені з різних матеріалів і працюють у різних умовах зношування.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета і задачі роботи.
2. Опис деталей, матеріалів з яких вони виготовлені, умови зношування та вибраних електродних матеріалів.
3. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Грохольский Н.Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. Л.: Машиностроение, 1966. С.38-87.