

Режими індукційного наплавлення деталей із урахуванням використання екранування теплових і електромагнітних полів / О.Шаблій, Ч.Пулька, В.Гаврилюк, В.Сенчишин // Вісник ТНТУ. — 2014. — Том 73. — № 1. — С.109-118. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 621.793.927.7

**О. Шаблій, докт. фіз.-мат. наук; Ч. Пулька докт. техн. наук;
В. Гаврилюк; В. Сенчишин**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РЕЖИМИ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ УРАХУВАННЯМ ВИКОРИСТАННЯ ЕКРАНУВАННЯ ТЕПЛОВИХ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Резюме. Проведено дослідження режимів індукційного наплавлення тонких дисків на структуру, зносостійкість та стабільність товщини шару наплавленого металу. Показано, що при напавленні порошкоподібним твердим сплавом ПГ-С1 нагрівальною системою ІТЕЕ (індуктор, тепловий і електромагнітний екрани) з прикладанням горизонтальної вібрації та енергоощадного режиму наплавлення, зносостійкість підвищується в 1,5 рази, рівномірність товщини шару наплавленого металу – на 8% та покращується якість наплавленого металу (з крупнозернистої структури в дрібнозернисту) в порівнянні з технологією без горизонтальної вібрації. Це досягається за рахунок сприятливішого розподілу легуючих елементів у наплавленому шарі металу. Дослідження проводили на тонких дисках, виготовлених зі сталі Ст3, діаметром 210 мм, товщиною основного металу 3 мм і наплавленого відповідно 0,8...1,5 мм та шириною зони наплавлення 15 мм.

Ключові слова: індукційне наплавлення, тонкі сталеві диски, горизонтальна вібрація, мікроструктура, зносостійкість, тепловий та електромагнітний екрани, енергоощадний режим.

O. Shabliy, Ch. Pulka, V. Gavryliuk, V. Senchyshyn

INDUCTION FUSION REGIMES OF PARTS USING SCREENING OF THE HEAT AND ELECTROMAGNETIC FIELDS

Summary. Induction fusion is the process which is applied to recuperate worn parts or to strengthen the working surface while manufacturing new parts. This process is widely used in agricultural mechanical engineering. The important condition for providing required process of induction fusion is the proper chosen parameters of the fusion regime, which results in the quality of the fused layer of the metal and durability of the fused part operation. To improve the properties of the fused metal the authors have developed new technology of the induction fusion taking advantage of the heating system IHES (inductor, heat and electro-magnetic screens) with the changeable specific power in time while fusion (energy-saving heating regime).

While carrying investigations 210 diameter disks of 3 mm thickness were used. Powder-like hard alloy ПГ-С1 covered the surface in 3 mm to obtain 0,8...1,5 mm layer of the fused metal, fusion area being 15 mm. Then the disk surface was heated according to energy-saving regime during 22 sec. At the moment of starting the fusion of charge, taking advantage of the special equipment horizontal vibration, was introduced (fluctuation amplitude 0,2 mm) and then switched off after complete melting of the powder-like hard alloy. Then the disk was taken away from the equipment and cooled together with the hard alloy in the air.

The effect of the thin disks induction fusion regimes on the structure, wear resistance and stability of the fused metal layer thickness has been investigated. It is shown that under fusion by the powder-like hard alloy ПГ-С1, taking advantage of the system IHES (inductor, heat and electro-magnetic screens), using horizontal vibration and energy-saving fusion regime, the wear-resistance increases in 1,5 times, uniformity of the fused metal layer thickness by 8% and the quality of the fused metal improves (coarse grained structure into fine grained structure) as compared with the technology of horizontal fusion without horizontal vibration.

Key words: induction fusion, thin steel disks, horizontal vibration, microstructure, wear-resistance, heat and electro-magnetic screens, energy-saving regime.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Індукційне наплавлення – це процес, який використовується для відновлення спрацьованих, або для зміцнення робочої поверхні при виготовленні нових деталей [1, 2]. Даний процес

наплавлення набув широкого застосування у сільськогосподарському машинобудуванні [3]. Важливою умовою для забезпечення якісного процесу наплавлення є правильно підібрані параметри режиму наплавлення, що в подальшому впливає на якість наплавленого шару металу, а, отже, й на довговічність експлуатації наплавлюваної деталі.

При індукційному нагріванні використовуються теплові та електромагнітні екрани, для ізоляції тих поверхонь деталей, які підлягають небажаному нагріванню. Застосуванням теплових і електромагнітних екранів при індукційному нагріванні присвячено ряд робіт [4, 5, 6], які використовуються в різних технологічних процесах для загартування деталей, наплавлення і т.д. Вони використовуються окремо (тобто тільки електромагнітний або тепловий екран), що дуже складно регулювати температуру в зоні наплавлення для отримання якісного шару наплавленого металу на поверхні деталі.

Для покращення властивостей наплавленого металу автори розробили нову технологію наплавлення із застосуванням нагрівальної системи ІТЕЕ (індуктор, тепловий та електромагнітний екрани) [7]. Тобто комбіноване одночасне екранування теплових і електромагнітних полів, що дозволяє досягати більш рівномірної температури в зоні наплавлення, оскільки порошкоподібний твердий сплав розплавляється від поверхні основного металу, зі змінною питомою потужністю в часі при напавленні (енергоощадний режим нагрівання) [8].

Являє собою інтерес дослідження властивостей наплавленого шару металу у випадку, коли в систему ІТЕЕ і при використанні енергоощадного режиму ввести додаткову технологічну операцію – горизонтальну вібрацію деталі, яка підлягає напавленню, в момент початку плавлення порошкоподібного твердого сплаву до повного його розплавлення й охолодження [9, 10]. Це дозволить значно покращити експлуатаційні характеристики наплавленого шару металу. Як показав аналіз існуючих способів, дослідження для вищеназваного технологічного процесу не проводилися. Цій проблемі й присвячена дана стаття.

Метою роботи є дослідження впливу режимів наплавлення на мікроструктуру, зносостійкість, рівномірність товщини шару наплавленого металу, отриманого за допомогою нагрівальної системи ІТЕЕ (індуктор, тепловий та електромагнітний екрани) та горизонтальної вібрації та порівняти їх з результатами без використання горизонтальної вібрації.

Методика досліджень. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі М-400 фірми «Леко». Мікроструктуру досліджуваних зразків вивчали на мікроскопі НЕОФОТ-32 (Німеччина). Травлення зразків, наплавлених зносостійким сплавом ПГ-С1, проводили електролітичним способом в 20% водному розчині хромового ангідриду напругою $U = 20 \text{ V}$, час витримки $\tau = 5 \text{ s}$.

Аналіз елементного складу наплавлених зразків проводили на мікроаналізаторі SX-50 (Камебакс) фірми «Камека». Випробування зносостійкості наплавленого металу проводили на машині НК-М [11].

Результати досліджень виражали у вигляді відносної зносостійкості, яка дорівнює відношенню втрати маси еталона до втрати маси досліджуваних зразків. Наплавлення здійснювалось одночасно по всій робочій поверхні за допомогою генератора типу ВЧИ-63/0,44 із застосуванням вібрації за енергоощадним режимом нагрівання, регулювання яким здійснювалось за допомогою пристрою [12].

Матеріали при дослідженні. Дослідження процесу індукційного наплавлення тонких дисків проводили за допомогою нагрівальної системи (ІТЕЕ) (рис.1) [13], яка складається з верхньої 8 і нижньої 6 притискних плит, а також привода 9 для

піднімання верхньої плити 8. Деталь 3 з попередньо насипаною на неї шихтою 10 твердого сплаву ПГ-С1 встановлювалась у двовитковий кільцевий індуктор, 1 – верхній, 2 – нижній виток. На торці диска і нижній його поверхні, протилежній наплавленню, по периметру розташовано тепловий екран 4, а також на торці диска встановлено електромагнітний екран 5, які між собою з'єднані жорстко і закріплені до нижньої плити. Електромагнітний і тепловий екрани виконані з можливістю вертикального переміщення відносно торця диска 3 і витків індуктора 1 і 2 за допомогою привода 7, закріпленого на нижній плиті 6, що дає можливість регулювати температурне поле в зоні наплавлення, оскільки при індукційному наплавленні порошкоподібний твердий сплав розплавляється від поверхні основного металу.

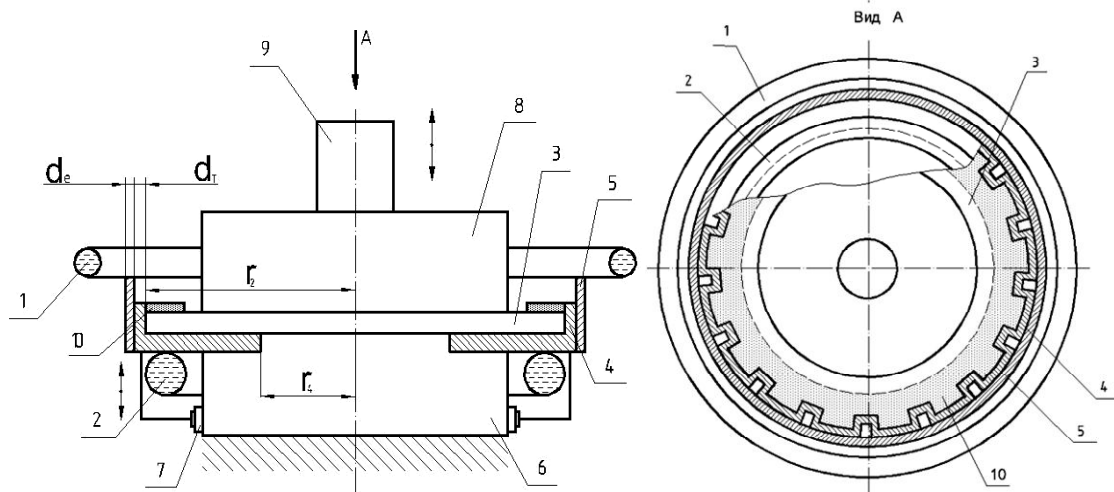


Рисунок 1. Пристрій для регулювання потужності в зоні наплавлення з жорстко з'єднаними між собою тепловим і електромагнітним екранами

Figure 1. Device for regulation of power in zone of fusion for fixedly connected heat and electro-magnetic screens

Дослідження наплавленого металу, отриманого за допомогою нагрівальної системи ІТЕЕ із використанням горизонтальної вібрації, проводили на мікроструктуру, товщину шару наплавленого металу і зносостійкість з метою забезпечення наплавленого валика шириною 10...50 мм і товщиною відповідно 0,8...1,5 мм. Отримані результати порівнювали з результатами, отриманими нагрівальною системою без використання горизонтальної вібрації. При цьому використовували диски, які виготовлені зі сталі Ст3 товщиною 3 мм і порошкоподібний твердий сплав ПГ-С1, хімічний склад якого наведено в таблиці 1.

В таблиці 2 представлені нагрівальні системи і параметри нагрівання при енергоощадному режимі наплавлення [8].

Таблиця 1

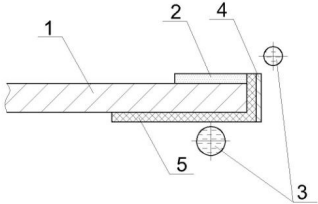
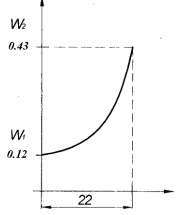
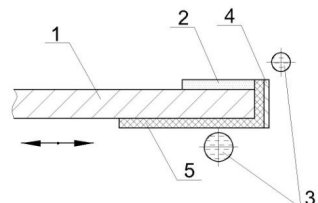
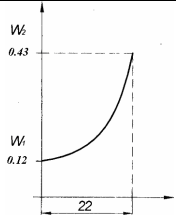
Хімічний склад порошкоподібного твердого сплаву ПГ-С1

| Наплавлений матеріал | | Хімічний склад, % | | | | | | | | | Твердість наплавленого металу (HRC) |
|----------------------|-------|-------------------|----|----|----|----|---|----|---|----|-------------------------------------|
| тип | Марка | C | Cr | Si | Ni | Mn | B | Cu | W | Fe | |
| | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|---|---|--------|----|
| порошок | ПГ-СІ сормайт № 1 (У30Х28Н4С4) | 2,5- 3,3 | 27-31 | 2,8- 4,2 | 3,0- 5,0 | 0,4- 1,5 | - | - | - | основа | 51 |
|---------|--------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|---|---|--------|----|

Таблиця 2

Нагрівальні системи і режими наплавлення

| Нагрівальні системи | Режими наплавлення | | | | | Тип генератора | Характер зміни питомої потужності на індукторі $W \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^3$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | Напруга на контурі, кV | Анодна напруга, кV | Струм сітки лампи, А | Струм анода лампи, А | Час наплавлення, s | | |
| Без використання горизонтальної вібрації  | Змінні | | | | | ВЧИ –63/0,44 |  |
| | Вхідні чисельник (t=0 s) | | Вихідні знаменник (t= 22s) | | | | |
| | $\frac{2.2}{7.0}$ | $\frac{8.3}{10.0}$ | $\frac{3.6}{0.95}$ | $\frac{1.1}{3.1}$ | 22 | | |
| Із використанням горизонтальної вібрації  | Змінні | | | | | ВЧИ –63/0,44 |  |
| | Вхідні чисельник (t=0 s) | | Вихідні знаменник (t=22 s) | | | | |
| | $\frac{2.2}{7.0}$ | $\frac{8.3}{10.0}$ | $\frac{3.6}{0.95}$ | $\frac{1.1}{3.1}$ | 22 | | |
| 1 – деталь; 2 – твердий сплав; 3 – індуктор; 4, 5 – відповідно електромагнітний і тепловий екрани | | | | | | | |

Процес індукційного наплавлення здійснювався одночасно по всій робочій поверхні від генератора типу ВЧИ-63/0,44 без обертання деталі. Технічні характеристики генератора з застосуванням горизонтальної вібрації такі ж самі, як і без вібрації, у початковий момент часу складали: напруга на контурі – 2,2кV; напруга на аноді лампи – 8,3кV; струм сітки лампи – 3,6А; струм анода лампи – 1,1А; час наплавлення всієї робочої поверхні диска складав 22s. Процес здійснювали без перемикання генератора, тобто питома потужність на індукторі змінювалася за енергоощадним режимом, який має вигляд [8]

$$W_{30} = \frac{\lambda_g m^2}{sh(am^2\tau)} T_{30} e^{am^2t},$$

де T_{30} – температура, при якій здійснюється якісне наплавлення, яка досягається за час τ ; $\lambda_g = ca\gamma$, $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$; c – питома теплоємність, $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$; a –

температуропровідність, $\frac{m^2}{s}$; γ – густина, $\frac{kg}{m^3}$; $m^2 = \frac{Bi}{2h^2}$; $Bi = \frac{2 \cdot h \cdot \alpha}{\lambda}$ – критерій Біо;
 λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу диска, $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$; α – коефіцієнт тепловіддачі,
 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$; t – біжучий час; τ – час наплавлення.

Кінцеві параметри режиму наплавлення склали відповідно 7,0, 10,0, 0,95, 3,1.

Питома потужність без вібрації і з вібрацією відповідно в початковий момент складала $W_1=0,12 \cdot 10^9$ W/m³ і в кінці наплавлення $W_2=0,43 \cdot 10^9$ W/m³ (див. табл.2).

Розглянемо металографічні дослідження шару наплавленого металу, отриманого за допомогою нагрівальної системи (ІТЕЕ) із використанням горизонтальної вібрації.

1. Металографічні дослідження наплавленого металу

Дослідження проводились для двох випадків індукційного наплавлення із застосуванням та без застосування вібрації.

Для дослідження структури і зносостійкості наплавленого металу із наплавлених заготовок вирізували зразки. Травлення зразків для проведення металографічних досліджень проводили поетапно, електrolітичним способом у 20%-му розчині хромової кислоти (напруга 20V і час витримки 10s), визначали структуру наплавленого металу – хімічним травленням в 4%-му розчині азотної кислоти.

Мікроструктура основного металу являє собою ферит і перліт, а мікроструктура наплавленого металу досліджуваних зразків складається з первинних карбідів (комплексні карбіди типу (Fe, Cr)₇C₃ і (Fe, Cr)₃C) у вигляді великих пластин віялоподібної форми, які мають гексагональну ґратку із чіткою межею з'єднання з матрицею карбідної евтектики та матричної аустенітної структури.

Надлишкові карбіди, як правило, розташовуються у вигляді окремих пластинчастих виділень у центральній частині по ширині й товщині наплавленого валика. Прямокутні й шестигранні виділення – це карбіди різної дисперсності, частина з них – надлишкові пластинчасті карбіди, які достатньо рівномірно розподілені в матриці. Мікротвердість карбідів змінювалася в межах HV_{0,5}=11710...12830MPa.

Спільним для двох варіантів наплавленого металу є:

1. Наявність у наплавленому шарі доевтектичної зони, яка прилягає до лінії з'єднання і характеризується формуванням дендритів твердого розчину (легованого аустеніту) з осями першого і другого порядку, а також карбідної евтектики, що кристалізується в міждендритному просторі. Мікротвердість аустеніту для зразка без застосування горизонтальної вібрації становила HV_{0,5}=4120...4410MPa та HV_{0,5}=4800...5090MPa для зразка із горизонтальною вібрацією. Крім того, виявлена структурна неоднорідність уздовж лінії з'єднання з боку сормайтуту ПГ-С1, яка полягає в тому, що доевтектична дендритна зона розподілена нерівномірно.

2. Утворення граничної білої смужки твердого розчину (легованого аустеніту) між наплавленим і основним металом змінної ширини 10...20 мкм для зразка без вібрації з мікротвердістю HV_{0,5}=3030...3410MPa, а для зразка із застосуванням вібрації HV_{0,5}=3860MPa.

3. Збоку основного металу біля лінії сплавлення виникає дифузійна зона, що являє собою тонкопластинчастий перліт і ферит по межах зерен, іноді з відманштетовою орієнтацією з мікротвердістю HV_{0,5}=2440 MPa, що виникла внаслідок дифузії вуглецю з сормайтом в основний метал.

Мікроструктура наплавленого металу представлена на рис.2.

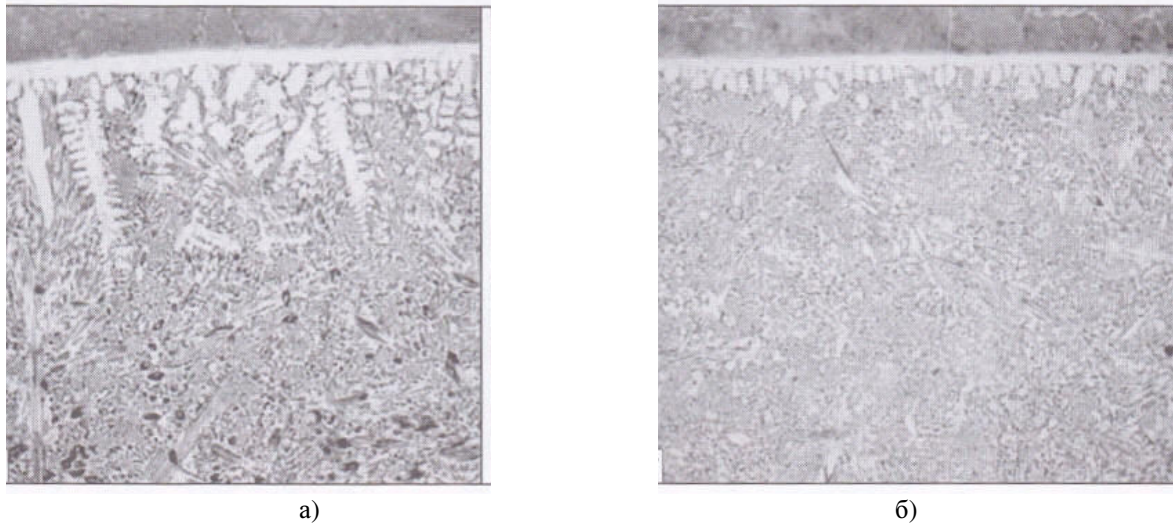


Рисунок 2. Мікроструктура (x200) наплавленого металу зразків:
а) без вібрації; б) із застосуванням горизонтальної вібрації

Figure 2. Microstructure (x200) of the fused metal:
a) without vibration; b) with application of horizontal vibration

Характеристики мікротвердості структурних складових наведені в табл.3.

Таблиця 3

Характеристики мікротвердості структурних складових

| Технологічна операція | Мікротвердість структурних складових, N/mm ² | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|
| | Карбіди хрому | Матриця | Біла смужка (перехідна зона) |
| Без вібрації | 11710...12830 | 4120...4410 | 3030...3410 |
| З вібрацією | 14300...15440 | 4800...5090 | 3860 |

Необхідно відзначити відмінності у структурі двох варіантів наплавленого металу. Горизонтальна вібрація призводить до помітного подрібнення карбідної складової (рис.2,б). Карбіди, що мають вигляд шестигранників з середньою довжиною сторони 10 ... 12 мкм, без вібрації (див. рис.2,а) подрібнюються до 3,5 ... 7 мкм при застосуванні горизонтальної вібрації (рис.2,б).

Максимальна глибина евтектичної зони в зразку без застосування горизонтальної вібрації (див. рис.2,а), а мінімальна – у зразку із горизонтальною вібрацією (рис.2,б) і вона займає найменший відсоток аустенітних дендритів по довжині наплавлення в порівнянні з першим випадком. При горизонтальній вібрації лінія з'єднання з боку сормаїту в основному являє собою білу смужку з утворенням майже рівноосних зерен аустеніту (див. рис.2,б).

2. Мікрорентгеноспектральний аналіз перехідної зони сплавлення основного металу і порошкоподібного твердого сплаву

З метою визначення складу структурних складових (хрому, вуглецю) і встановлення впливу їх на властивості наплавленого металу, був проведений мікрорентгеноспектральний аналіз наплавленого металу (рис.3). В усіх випадках аналіз проводили приблизно в центрі наплавленого шару металу перпендикулярно лінії сплавлення на глибині до 350 мкм від межі сплавлення. Встановлено, що в металі

досліджуваних зразків вуглець зв'язаний в карбіди типу $(Fe, Cr)_7C_3$ і $(Fe, Cr)_3C$, помітного дифузійного перерозподілу вуглецю біля лінії сплавлення не спостерігалося.

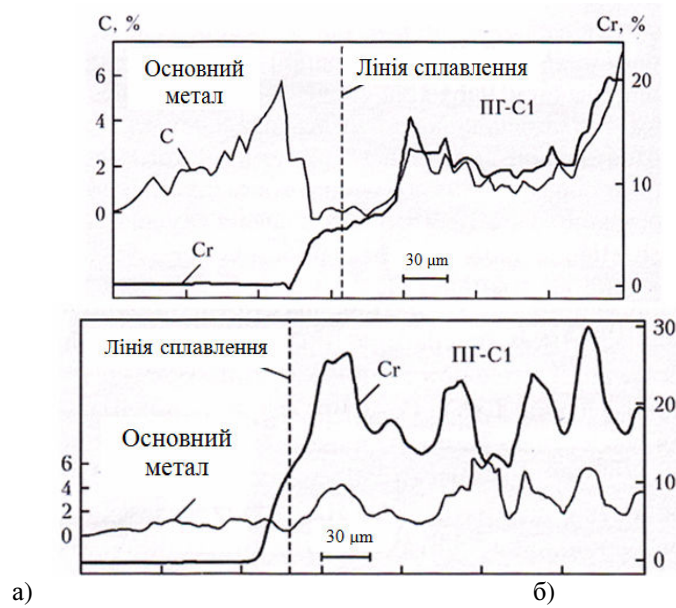


Рисунок 3. Розподіл вуглецю і хрому по товщині наплавленого металу:
а) без вібрації; б) із застосуванням вібрації

Figure 3. Allocation of the carbon and chrome by the thickness of the fused metal:
a) without vibration; b) with application of horizontal vibration

3. Дослідження зносостійкості і товщини шару наплавленого металу при використанні горизонтальної вібрації

На рис.4 представлені діаграми відносної зносостійкості і твердості наплавлених зразків (середні за трьома випробуваннями).

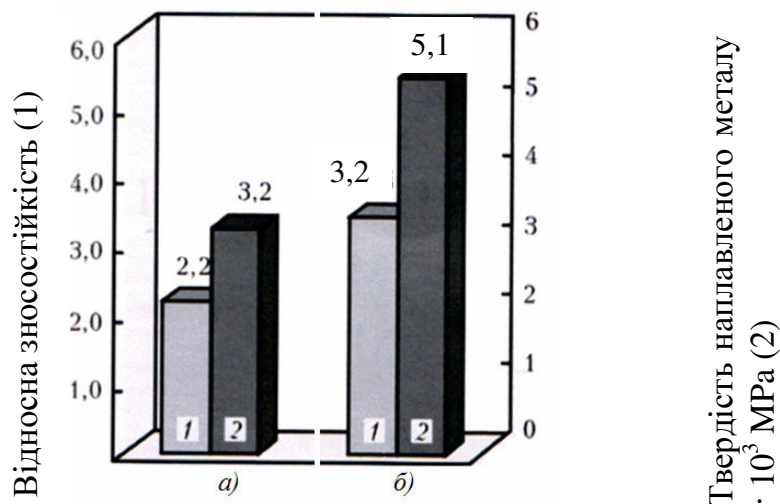


Рисунок 4. Відносна зносостійкість (1) і твердість (2) наплавленого металу:
а) без вібрації; б) із застосуванням вібрації

Figure 4. Relative wear-resistance (1) and hardness (2) of the fused metal:
a) without vibration; b) with application of horizontal vibration

Як бачимо із рис.4, для випадку, коли виконується наплавлення без вібрації, зносостійкість становить 2,2 і твердість 3200 МПа, а у випадку застосування горизонтальної вібрації зносостійкість 3,2 і твердість 5100 МПа відповідно. Це досягається за рахунок сприятливішого розподілу легуючих елементів у наплавленому шарі металу.

На рис.5 показані криві нормального розподілу товщини шару наплавленого металу. Рівномірність товщини шару наплавленого металу в порівнянні з наплавленням без використання горизонтальної вібрації підвищується на 8% (різниця полів допуску 88–80) (див. рис.5,а,б), що забезпечує рівномірний розподіл рідкого металу в зоні наплавлення.

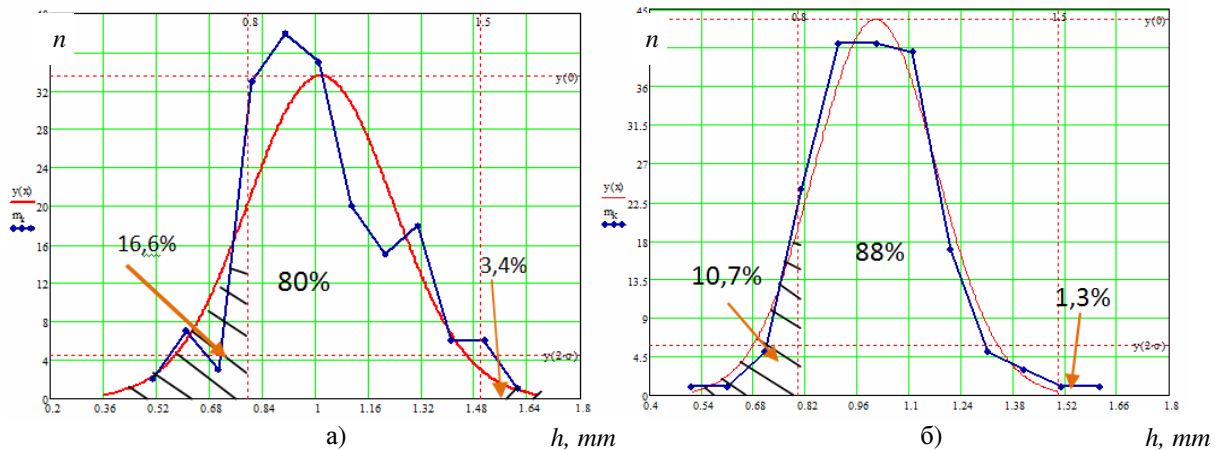


Рисунок 5. Криві нормального розподілу товщини шару наплавленого металу (h , мм) при одночасному наплавленні з використанням енергоощадного режиму (n – кількість точок у заданому інтервалі при вимірюванні товщини):
а) без вібрації; б) із застосуванням горизонтальної вібрації

Figure 5. Curves of normal allocation of the layer thickness of the fused metal (h , mm) about simultaneous fusion by using energy-saving regime (n – quantity points in definite interval by measuring of the thickness):
a) without vibration; b) with application of horizontal vibration

Висновки. Дослідження режимів індукційного наплавлення деталей показали, що при застосуванні горизонтальної вібрації та енергоощадного режиму наплавлення зносостійкість підвищується в 1,5 раза, рівномірність товщини шару наплавленого металу відповідно на 8% та покращується якість наплавленого металу в порівнянні з технологією без горизонтальної вібрації.

Розроблена нова технологія дозволяє значно підвищити експлуатаційні властивості наплавлених тонких дисків, які працюють в абразивному середовищі для зрізування гички буряка, соняшника, різання шиферу із забезпеченням їх самозагострювання в процесі експлуатації, в порівнянні з існуючою технологією без одночасного використання енергоощадного режиму і горизонтальної вібрації, яка вводиться у технологічний процес у момент початку плавлення порошкоподібного твердого сплаву до його повного розплавлення.

Conclusions. Investigations of the parts induction fusion regimes testified, that under horizontal vibration and energy saving regime of fusion wear resistance increases in 1,5 times, uniformity of the fused metal layer thickness by 8% and the quality of the fused metal increases as compared with the technology without horizontal vibration.

The developed new technology makes possible to increase the operation properties of the thin fused disks, which operate in the abrasive environment for cutting sugar beet chops, sunflower, slate providing their self-sharpening while operating as compared with the

available technology without simultaneous application of the energy-saving regime and horizontal vibration, which is introduced into the technological process at the moment of starting the fusing of powder-like hard alloy until its complete fusion.

Список використаної літератури

1. Рябцев, И.А. Наплавка деталей машин и механизмов [Текст] / И.А. Рябцев. // Киев: Экотехнология, 2004. – 160 с.
2. Ткачев, В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / В.Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
3. Пулька, Ч.В. Технологічна та енергетична ефективність індукційного наплавлення тонких сталевих дисків: дис. ... доктора техн. наук: 05.03.06 [Текст] / Пулька Чеслав Вікторович. – К., 2006. – 368 с.
4. Лозинский, М.Г. Промышленное применение индукционного нагрева [Текст] / М.Г. Лозинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 472 с.
5. Бабат, Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение [Текст] / Г.И. Бабат. – М.: Энергия, 1965. – 552 с.
6. Слухоцкий, А.Е. Индукторы для индукционного нагрева [Текст] / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
7. Пулька, Ч.В. Совершенствование оборудования и технологии индукционной наплавки [Текст] / Ч.В. Пулька, В.Я. Гаврилюк, В.С. Сенчишин // Сварочное производство. – 2013. – №4. – С. 27–30.
8. Шаблій, О.Н. Пути экономии электроэнергии при индукционной наплавке тонкостенных дисков [Текст] / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.П. Будзан // Автомат. сварка. – 1988. – №12. – С. 56–58.
9. Патент на корисну модель 72129 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення сталевих дисків [Текст] / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.Я. Гаврилюк В.С. Сенчишин, В.Я. Гаврилюк, М.В. Шарик; заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – № 2012 00444; заявл.16.01.2012; опубл. 10.08.2012; Бюл. № 15.
10. Патент на корисну модель 73032 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких дисків [Текст] / Ч.В. Пулька, О. М. Шаблій, В.Я. Гаврилюк В. С. Сенчишин, М.В. Шарик; заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – № 2012 01880; заявл.20.02.2012; опубл. 10.09.2012; Бюл. № 17.
11. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла [Текст] / Ю.А. Юзвенко, В.А. Гавриш, В.А. Марьенко // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. – С. 23–27.
12. Пулька, Ч.В. Программирование режима нагрева при индукционной наплавке тонких стальных дисков [Текст] / Ч. В. Пулька // Автомат. сварка. – 1998. – №1. – С. 48–50.
13. Декларацийний патент UA. 68940A, 7B23K 13/00. Пристрій для регулювання потужності в зоні наплавлення [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, О.С. Письменний; опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8.

Отримано 05.11.2013