

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2021.
Інженерно-фізичний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів,
викладачів, науковців,
молодих учених і аспірантів

19–23 квітня 2021 року

Електронне видання на DVD-ROM

м. Запоріжжя

УДК 621
Т39

*Рекомендовано до видання Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»*

(Протокол №10/21 від 12.04.2021 р.)

Упорядник Висоцька Н.І.

Редакційна колегія:

Наумик В. В., д-р техн. наук, професор (відпов. ред.)

Шило Г.М., д-р техн. наук, доцент

Кузькін О.Ф., д-р техн. наук, доцент

Глушко В.І., канд. техн. наук, доцент

Климов О.В., канд. техн. наук, доцент

Антонов М.Л., канд. техн. наук, доцент

Савченко В.О., канд. техн. наук, доцент

Кабак В.С., канд. техн. наук, доцент

Касьян М.М., канд. техн. наук, доцент

Корольков В.В., канд. екон. наук, доцент

Дєдков М.В., канд. іст. наук, доцент

Васильєва О.О., канд. фіз.-мат. наук, доцент

Пуцина І.В., канд. пед. наук, доцент

Філей Ю.В., канд. юр. наук, доцент

Гайворонська Т.О., канд. філос. наук, доцент

Сажнев В. М., канд. техн. наук, доцент

Висоцька Н. І., начальник патентно-інформаційного відділу

Тези доповідей друкуються методом прямого відтворення тексту, представленого авторами, які несуть відповідальність за його форму і зміст.

Т39 Тижень науки-2021. Інженерно-фізичний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 19–23 квітня 2021 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.
ISBN 978-617-529-313-3

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, які проводяться на Інженерно-фізичному факультеті Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців.

ISBN 978-617-529-313-3

© Національний університет
«Запорізька політехніка», 2021

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ПРИКЛАДНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО».....	5
<i>Гончарова В.В., Глотка О.А</i> Математичне прогнозування теплофізичних властивостей жароміцних нікелевих сплавів.....	5
<i>Іванченко Є.Ю., Авраменко В.В., Вініченко В.С.</i> Аналіз можливості зниження вмісту ренію в сплаві ВР27	7
<i>Іванченко Є.Ю., Шепотько В.О., Вініченко В.С.</i> Дослідження можливості застосування ніобію як матриці волокнистого композиційного матеріалу .	9
<i>Ольшанецкий В.Ю.</i> Про фазовий стан конфігуративних точок на лініях рівноважних бінарних систем	10
<i>Грибанова С.Е., Грабовський В.Я</i> Дослідження здатності до дисперсійного зміцнення нової штампової сталі з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації і підвищеним вмістом молібдену	11
<i>Євченко П.О., Грабовський В.Я.</i> визначення можливості оцінки працездатності пресових матриць із сплавів з ГЦК ґраткою та дисперсійним твердінням шляхом випробувань на термомеханічне циклування	13
<i>Школовий В.В., Мельникова І.О., Ткач Д.В.</i> визначення температури полімеризації завдяки методу ДМА	15
<i>Пишняк О.В., Клімов О.В.</i> Особливості застосування ущільнювальних покриттів в ГТД.....	17
<i>Школовий В.В., Ткач Д.В.</i> Перспективи застосування інтерметалідних сплавів в газотурбінних двигунах нового покоління	18
<i>Гордієнко М.Р., Ткач Д.В.</i> Перспективи використання технології 3D-друку методом адитивного зварювання тертям для виготовлення відповідальних деталей.....	20
<i>Ольшанецкий В.Ю., Глотка О.В.</i> Про пораболічність властивостей рівноважних та квазірівноважних металевих систем.....	22
<i>Кашуба О.В., Ольшанецкий В.Ю.</i> Проблемні питання малогабаритного електротранспорту для мегаполісів	23
<i>Джуган О.А., Ольшанецкий В.Ю.</i> Технологія модифікування нікелевих катодів для нанесення жароміцних покриттів на деталі ГТД	24
СЕКЦІЯ «МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ, МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»	27
<i>Іванов В.Г., Прохан В.В.</i> Зниження трудомісткості вибивання ливарних форм на рідкому склі.....	27
<i>Нечибой Л.П., Кудін В.В.</i> Дослідження чавунних виливків після гарячого лудіння оловом	28

<i>Парахневич Є.М., Прочан В.В.</i> Відновлення біметалевих деталей електрошлаковим наплавленням.....	30
<i>Єнікєєва Т.К., Кузовов О.Ф.</i> Вдосконалення технології живлення 4-тонного ковальського зливка	32
<i>Худяков П.А., Луньов В.В.</i> Вплив кількості фосфору на властивості сталі	34
<i>Василевська Я.А., Василевський В.В., Чушкіна Ю.О.</i> Аналіз особливостей підготовки моделей до FDM 3D друку ABS пластиком	36
<i>Прядко І.В., Алексєєнко О.В.</i> Наномодифікування нікелевих сплавів.....	38
<i>Чушкіна Ю.О., Алексєєнко О.В.</i> Модифікування жароміцних сплавів.....	40
<i>Нехлюдов А.А., Івахненко Є.І.</i> Вплив металургійних факторів на підвищення якості висококремнистих сплавів заліза.....	42
<i>Алексєєнко О.В., Турченко О.А.</i> Дослідження використання флюсу «Бар'єр» для зниження дефектів у виливках з чавуну та сталі	44
<i>Курінний М.С., Луньов В.В.</i> Вплив відсоткового вмісту сірки на властивості сталі під час десульфурзації	45
СЕКЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ» ..	48
<i>Нетребко В.В.</i> Якість, сертифікація та атестація основа конкурентного виробництва	48
<i>Попов С.М., Облогін В.Д.</i> Особливості змащення вузлів і механізмів важких кар'єрних машин в умовах абразивного зношування	49
<i>Попов С.М., Григоренко М.С.</i> Аналіз впливу структурно-фазового складу сплавів на механізм абразивного руйнування матеріалів	51
<i>Popov S.M., Shumykin S.O., Laptieva H.M.</i> Mathematical simulation structure and properties of welded deposit layers.....	52
<i>Попов С.М., Шумикін С.О., Суле Р.</i> Технологія відновлення та підвищення зносостійкості деталей дорожньо-будівельної техніки.....	54
<i>Савонов Ю.М., Куликовський Р.А., Суле Рамат</i> Розробка технології зварювання устаткування з двофазної сталі типу Х21Н5Т	56
<i>Савонов Ю.М., Куликовський Р.А., Суле Рамат</i> Схемотехніка інверторних зварювальних джерел живлення	57
<i>Попов С.М., Залозецький В.В.</i> Аналіз механізму руйнації поверхні тертя колісних пар локомотива та розробка технології зміцнення	59

СЕКЦІЯ «ПРИКЛАДНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

УДК 669.245.018.044:620.193.53

Гончарова В.В.¹Глотка О.А.²

¹студ. гр. ІФ -210м НУ «Запорізька політехніка»

²канд.техн.наук., доц.. НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

За останні роки розвиток реактивної авіації, температура водневмісного газу на вході в турбіну зросла з 1200 К, в двигунах другого покоління, до 1800-1950 К в двигунах п'ятого покоління. Близько 70% цього приросту було отримано за рахунок вдосконалення систем повітряного охолодження лопаток газових турбін, а 30% - в результаті підвищення рівня механічних властивостей жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) [1 - 4].

Мета даної роботи - отримання прогнозують регресійних моделей, за допомогою яких, можна адекватно розраховувати критичні температури для жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) спрямованої кристалізації, без проведення попередніх експериментів.

Для експериментально-теоретичних досліджень температурної працездатності сформована робоча вибірка сплавів, що складається з відомих промислових ЖНС для спрямованої кристалізації вітчизняного і зарубіжного виробництва, наступних марок: ЖС-26, ЖС-26У, ЖС6Ф, ЖС-28, ЖС-30, ВЖЛ-20, GTD-111, Mar-M247, CM-247LC, Mar-M200 + Hf, Mar-M246 + Hf, U- 500, U-700, PWA-1 422, PWA-1426, CM-186LC, Rene 142, Rene 150, IN-792LC, DS-16, Mar-M002, Rene 125, Rene 80H. Вибірка сплавів була зроблена з позиції різноманітності хімічних складів (систем легування), які за змістом основних елементів мають широкий діапазон легування. Жароміцність сплавів визначається термодинамічної стабільністю фаз, яку пропонують оцінювати по температурах $t_{c,d}$, t_{eut} , t_S , і t_L розробка методики розрахунку цих значень від хімічного складу сплаву є актуальним завданням.

В результаті обробки експериментальних даних і наведених вище міркувань, вперше запропоновано співвідношення елементів для оцінки термодинамічної стабільності фаз, який враховує комплексний вплив всіх компонентів сплаву. Дане співвідношення добре корелює з температурами $t_{c,d}$, t_{eut} , t_S , t_L , які, в свою чергу, добре корелюють з жароміцністю сплавів.

Зв'язок температур повного розчинення γ' -фази, евтектичного перетворення і солідусу із запропонованим співвідношенням $K_{\gamma'}$ адекватно описуються регресивними моделями. Підвищення теплофізичних характеристик

сплавів зі збільшенням параметра $K_{\gamma'}$ зв'язується зі збільшенням легування сплавів як γ' -утворюючими елементами, так і елементами знаходяться в γ -твердому розчині. Однак, при значенні 1,6 ... 1,7 $K_{\gamma'}$, спостерігається зниження температур $t_{c.d}$ і t_S , в наслідок особливості легування сплавів в даному інтервалі, а саме збільшення вмісту елементів, які класифікуються як γ -твердорозчинні зміцнювачі. При збільшенні значення більш 2,2 ... 2,3 $K_{\gamma'}$ спостерігається зростання температур $t_{c.d}$ і t_S , що пов'язано зі зміною сил міжатомного зв'язку (за рахунок збільшення легування сплаву).

Температура ліквідус пов'язана з термодинамічною стабільністю твердого розчину, на яку впливають тугоплавкі елементи, вони розчиняються переважно в γ -твердому розчині і істотно підвищують термодинамічну стабільність фаз в ЖНС через низький коефіцієнт дифузії, що призводить до гальмування рухливості атомів. Тому, обробивши експериментальні дані вперше запропоновано наступне співвідношення елементів:, яке дає можливість досить точно прогнозувати температуру ліквідус і температурний інтервал кристалізації ЖНС.

Температура ліквідус збільшується зі зростанням значення K_{γ} , що характерно при збільшенні елементів, які знаходяться в γ твердому розчині. Залежність температурного інтервалу кристалізації від значення K_{γ} має подібний характер з $t_{c.d}$ і t_S і підпорядковується вище описаним взаємозв'язкам.

За допомогою побудованих регресійних моделей можна з високою точністю прогнозувати критичні температури сплавів без попередніх експериментів методом диференціального термічного аналізу, а також розраховувати ширину температурного інтервалу для ефективного гомогенізуючого відпалу в залежності від вмісту легуючих елементів в сплаві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. B. G. Choi MC Carbide Decomposition during Thermal Exposure of Polycrystalline Ni-Base Superalloys / B. G. Choi // Solid State Phenomena. – 2007. Vols. 124-126. –PP. 1505-1508.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.124-126.1505>
2. M.Kvapilova Creep behaviour and life assessment of a cast nickel – base superalloy MAR – M247 / M.Kvapilova, J. Dvorak, P.Kral, K.Hrbacek // High Temperature Materials and Processes. – 2019. Vols.38. – PP. 590–600.
<https://doi.org/10.1515/htmp-2019-0006>
3. Petrushin, N.V., Elyutin, E.S., Nazarkin, R.M. et al. Segregation of alloying elements in directionally solidified Re–Ru-containing Ni-based superalloys. Inorg. Mater. Appl. Res. 7, 824–831 (2016).
<https://doi.org/10.1134/S2075113316060149>

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ РЕНІУ В СПЛАВІ ВР27

На сьогоднішній час функціонування промислово - розвиненої держави може бути вкрай утруднено відсутністю потужних радіосистем. Важливу роль в роботі таких систем виконують потужні генераторні лампи (МГЛ). Тому напрям електроніки, пов'язаний з розробкою і виробництвом МГЛ є невід'ємною частиною життєзабезпечення держави, а ці прилади - одним із видів стратегічно важливої продукції. Крім цього, МГЛ широко застосовуються в сучасних технологічних верстатах, а також в спеціальних електрофізичних установках, призначених для прискорення заряджених частинок, які, в свою чергу, використовуються при проведенні досліджень в галузях ядерної фізики і термоядерного синтезу.

Як емітери електронів в МГЛ використовують катоди (ТТК-катод), що виготовляються із торійованих вольфрамових сплавів. Торійовані вольфрамові сплави уявляють собою вольфрам (W) з присадкою двоокису торію – (ThO₂). Додавання до вольфраму 1-2 % мас. ThO₂ дозволяє знизити енергію виходу електронів і, відповідно, отримати значно вищу електронну емісію, ніж з чистого вольфраму.

Підвищення емісії при застосуванні торійованого вольфраму забезпечується внаслідок утворення моноатомної плівки торію (Th) на поверхні катода при його активації. Для активації катода спочатку проводиться короткочасне нагрівання до температури близько 2200 °С для дисоціації оксиду торію, після цього при температурі 1600...1900 °С виконують активацію катода. Робота виходу такого катода, як правило, не перевищує 2,63 еВ, що значно нижче, ніж для W (4,55 еВ) і Th (3,88 еВ).

Вказані високі температури і тривала витримка при експлуатації катода, призводять до рекристалізації вольфраму в результаті чого він переходить у крихкий стан нижче температур у 300...600 °С. Вказаний високий температурний поріг холодноламкості є суттєвим недоліком подібних сплавів, який крім зниження надійності готових виробів обмежує можливість застосовувати нагрівання до температур рекристалізації, які бажано виконувати для спрощення процесу виробництва напівфабрикатів (дротів). В даному випадку конструктори при виборі сплавів для створення катодів МГЛ змушені враховувати не тільки експлуатаційні властивості матеріалів, а і технологічні можливості виготовлення готових виробів.

Відомо, що зниження температури переходу в крихкий стан вольфрамових сплавів можливо шляхом введення у їх склад до 27 % ренію. При цьому спостерігається проявлення так званого «ренієвого ефекту», який полягає в одночасному підвищенні міцності і пониженні температури переходу у крихкий стан.

Механізм «ренієвого ефекту» поки що до кінця не виявлено, проте вказаний ефект уже використовується в промислових сплавах, зокрема марки ВР27. Даний сплав має температуру переходу в крихкий стан нижче кімнатної, а це в процесі деформаційного перероблення його в дріт дозволяє здійснювати рекристалізаційні відпали напівфабрикатів, що значно полегшує вибір технологічних параметрів у промисловому виробництві.

Однак, не дивлячись на вказані переваги, сплав з таким вмістом ренію (а він коштовніший за золото) є доволі коштовним матеріалом. Просте зниження вмісту ренію підвищує поріг холодноламкості, що ускладнює встановлення значень технологічних параметрів виробництва дроту.

В даній ситуації конструктори змушені вибирати розумний компроміс між коштовністю і властивостями даних сплавів, а це потребує інформації щодо вказаного питання. Тому дослідження можливостей удосконалення технології виробництва вольфрамових сплавів зі зниженим вмістом ренію є актуальною задачею.

Для дослідження вказаної проблеми використовували сплав ВР10Т2, який виробляють методами порошкової металургії.

Як фактори, вплив яких досліджували, вибрали тиск пресування, температуру спікання та відпалу прутків. Вихідним параметром слугував показник виходу годного. Його визначали як відношення маси отриманого дроту до маси спечених заготовок. Крім цього, для пояснення результатів даного експерименту досліджували мікроструктуру заготовок та їх пластичність.

Аналіз результатів даного експерименту показав, що найбільш доцільною структурою прутків є структура яка складається з крупних зерен (більше 10 мкм), які оточені дрібними зернами (менше 1 мкм). Пояснено це тим, що крупні зерна забезпечують здатність заготовкам деформуватись при температурах вище температури переходу в крихкий стан, а дрібні зерна протидіють утворенню тріщин вздовж границь крупних зерен при звичайних температурах (20°C).

Показано, що дану структуру можливо отримати застосуванням рекристалізаційного відпалу прутків діаметром 7,6 мм і подальшими відпалами при температурах, що не перевищують температури рекристалізації даного сплаву.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НІОБІУ ЯК МАТРИЦІ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Відомо, що одним із шляхів збільшення коефіцієнта корисної дії теплового двигуна є підвищення максимальної температури робочого тіла. Дана проблема настільки актуальна, що для її вирішення вже досліджують можливість застосування сплавів на основі таких металів, як іридій і родій. Подібні сплави зможуть забезпечити технічні вимоги конструкторів, проте, на сьогодні, ціна такого рішення буде не завжди виправдана. Для виготовлення деталей з анізотропним розподілом напружень, зокрема оболонок навантажених внутрішнім тиском, більш доцільно застосування композиційних матеріалів, які дозволяють конструкторові керувати їх властивостями в заданих напрямках вибором схеми армування.

В останні роки у багатьох промислово розвинених країнах ведуться інтенсивні розробки по застосуванню цілої гами композиційних матеріалів, зокрема, з металевими компонентами. Для вказаних композиційних матеріалів характерне поєднання високих міцностних і в'язкістних характеристик. Як правило, вони мають вищу теплопровідність, нижчу чутливість до теплових ударів і поверхневих дефектів порівняно з неметалевими композитами.

Наприклад, у авіакосмічній техніці широке застосування знаходять високотемпературні металеві композиційні матеріали, які часто використовуються в конструкціях, що працюють в потоці гарячих газів. Питомі характеристики міцності таких матеріалів суттєво перевищують аналогічні показники традиційних жароміцних сплавів, особливо при температурах вище 1600 °С.

Як матрицю волокнистого композиційного матеріалу для подібних температур експлуатації, доволі часто, використовують ніобієві сплави. Це обумовлено тим, що вони мають відносно високу температуру плавлення (2468 °С), задовільні технологічні властивості, виробляються в достатніх кількостях промисловістю. Також позитивним при використанні ніобієвих сплавів як матриці композиційного матеріалу у випадку застосування волокон із вольфрамових сплавів є те, що взаємодія матриці і волокон підвищує жароміцність останніх (особливо ефективно, якщо сплав ніобію містить цирконій і вуглець).

Проте металеві компоненти подібних матеріалів (особливо в рідиннофазному стані) активно взаємодіють між собою, що часто призводить до зни-

ження міцності і це вимагає скорочення до мінімуму часу знаходження компонентів в рідкому стані в процесі формування.

У найменшій мірі ці недоліки проявляються при високошвидкісних методах з'єднання компонентів. Зокрема, у роботах проведених на кафедрі «Фізичне матеріалознавство» НУ «Запорізька політехніка» показана ефективність застосування контактного шовного зварювання для виготовлення тонкостінних великогабаритних деталей. При його реалізації як джерело енергії використовуються потужні імпульси електричного струму. Короткочасність процесу з'єднання дозволяє звести до мінімуму фізико-хімічну взаємодію фазових складових між собою і з навколишнім середовищем, а проведення зварювання в рідкій фазі – отримати щільну зону з'єднання елементів композиції.

Тим не менш, застосування зазначеного способу для виготовлення оболонок з композиційних матеріалів з матрицями із ніобієвих сплавів вимагає експериментального уточнення технологічних режимів, оскільки необхідно забезпечити надійне з'єднання між різнорідними фазовими компонентами і при цьому бажано зберегти вихідну (або близьку до неї) міцність, цілісність і задану просторову орієнтацію волокон. Такі суперечливі вимоги свідчать про те, що визначення значень технологічних параметрів має бути компромісним.

Оскільки в даний час теоретичний опис процесу формування композиційного матеріалу методом контактного зварювання не дає рішень з точністю, необхідною для розробки промислової технології, дану проблему, а саме, визначення значень технологічних параметрів, вирішували методом планування експериментів.

При цьому визначено режими формування композиційного матеріалу з шаруватою ніобієвою матрицею армованою вольфрамо-ренієвими волокнами зі сплаву ВР273ВП. Показано, що для отримання "бажаної" бездефектної структури композиційного матеріалу прийнятно використовувати імпульси зварювального струму мінімальної тривалості (0,02 с), яку може забезпечити обладнання. При цьому встановлено, що використання імпульсів зварювального струму такої тривалості не знижує вихідну міцність складових у сформованому композиційному матеріалі.

УДК 669.

Ольшанецкий В.Ю.

проф. НУ « Запорізька політехніка»

ПРО ФАЗОВИЙ СТАН КОНФІГУРАТИВНИХ ТОЧОК НА ЛІНІЯХ РІВНОВАЖНИХ БІНАРНИХ СИСТЕМ

Питання про кількість фаз на лініях діаграм рівноваг, згідно існуючих питань матеріалознавства (монографії, підручники, навчальні посібники то-

що) є суперечливим і дискусійним. Відповідно законам термодинаміки кількість фаз, що мають однаковий парціальний потенціал, визначається розв'язком системи однорідних рівнянь, в яких зовнішні фактори (температура, тиск та інші) входять у систему як змінні. Все це не дає ніяких підстав вважати, що максимальна кількість рівноважних фаз, присутніх на лініях діаграм відповідає правилу Гіббса такого виду:

$$f = k + q,$$

де k – число компонентів; q – зовнішні фактори впливу, котрі повинні розглядаємому випадку входити до числа змінних.

Тоді на діаграмних лініях буде існувати максимум дві фази. При цьому таке число фаз, що дорівнює двійці може бути тільки на лініях, які є паралельними осі концентрацій бінарної системи. В точках нахильних ліній відносно осі концентрації завжди буде існувати в альтернативному сенсі одна фаза (тобто при однаковому значенні парціально хімічному потенціалу для двох фаз буде існувати тільки одна: або перша, або друга).

Як простий довід, що все вищесказане відповідає реальній дійсності, розглянемо такий приклад. Нехай у термостаті, де жорстко підтримується температура 0°C , розміщені два сосуди напівнаповнені льодом та водою (при однакових масах речовин). Створюється уява, що при однаковій рівноважній температурі можуть існувати незкінчене довгий час обидві фази. Але в цьому випадку існують дві різні термодинамічні системи, які при приведенні до контакту утворюють спільну межу поділу, тобто майже миттєво виникає екзотермічний або ендотермічний процес, що приводить до поглинання однієї фази іншою. Так що в результаті будемо мати тільки одну фазу і відновлену до початкового рівня температуру термостату.

УДК 620.178.3

Грибанова С.Е.¹, Грабовський В.Я²

¹ студ. гр. ІФ-210м НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗДАТНОСТІ ДО ДИСПЕРСІЙНОГО ЗМІЩЕННЯ НОВОЇ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ З РЕГУЛЬОВАНИМ АУСТЕНИТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ МОЛІБДЕНУ

Досліджені в роботі сталі призначені для експлуатації при температурах вище 700°C як замітники серійних високотеплостійких сталей мартенситного класу. Особливістю таких сталей є те, що при кімнатній температурі вони мають ОЦК, а при температурах вище $400 - 500^{\circ}\text{C}$ набувають ГЦК кри-

талічну ґратку і експлуатуються в такому стані. В результаті вони мають підвищений опір знеміцненню при нагріванні, що забезпечується аустенітною основою, та задовільну оброблюваність різанням (порівняно з аустенітними сталями) за рахунок феритної основи при кімнатній температурі. Це новий клас штампових сталей з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ). Їх особливістю є низькі значення критичних точок А1 та А3 порівняно з серійними штамповими сталями, що досягається відповідним вмістом компонентів. Підвищенню експлуатаційних властивостей таких сталей сприяє їх зміцнення не тільки за твердорозчинним та деформаційним механізмами, а і шляхом дисперсійного твердіння. Зокрема вважається перспективним використання зміцнення їх дисперсними частинками фази Лавеса типу Fe_2Mo , що можливо забезпечити відповідним легуванням молібденом. Метою даних досліджень є визначення хімічного складу сталі з РАПЕ, що робить можливим реалізацію її дисперсійного твердіння при легуванні молібденом.

При проведенні досліджень за базовий склад була обрана дослідницька сталь з РАПЕ марочного складу 31Н8М7Ф з наступним значенням критичних точок: $Ac1\ 565^{\circ}C$, $Ac3\ 765^{\circ}C$, $Ar3\ 410^{\circ}C$, $Mn\ 210^{\circ}C$, $Mn\ 40^{\circ}C$. Після гартування в маслі від температури $1150^{\circ}C$ сталь має переважно мартенситну структуру (з 11% залишкового аустеніту), а при наступному нагріванні вище $700^{\circ}C$ набуває аустенітну основу. Аустенітна структура, з твердорозчинним зміцненням, забезпечує такий сталі при високих температурах більший опір знеміцненню порівняно навіть з теплостійкими серійними штамповими сталями мартенситного класу. Водночас, як було встановлено, для вказаної сталі не відбувається дисперсійне зміцнення при старінні. Це обумовлено тим, що, згідно попереднім дослідженням, сталі з РАПЕ для реалізації дисперсійного твердіння повинні набувати після гартування не мартенситну, а аустенітну основу. Однак у вихідному (відпаленому) стані сталь повинна зберігати переважно ОЦК ґратку. А це потребує відповідної зміни вмісту в їх складі аустенітоутворювальних легувальних елементів. Для цього вирішено в базовій

З урахуванням вказаного для дослідів обрані сталі, в яких, порівняно зі сталлю 31Н8М7Ф, введено марганець, регламентовано вміст нікелю та підвищено вміст вуглецю. Результати структурного аналізу та твердість дослідних сталей наведені в таблиці.

Марка сталі	Кількість аустеніту у сталі		Твердість після гартування від $1150^{\circ}C$
	після відпалювання	після гартування	
32Х3Н8Г7М7Ф	100	100	85HRB
39Х3Н3Г6М7Ф	19	95	26HRC
41Х3Н3Г5М7Ф	14	70	40HRC
39Х3Н3Г4М7Ф	14	33	58HRC

З отриманих даних видно, що необхідним вимогам до структури найбільше відповідає сталь 39Х3Н3Г6М7Ф зі збалансованим вмістом марганцю та нікелю. Для цієї сталі досліджено вплив температури (675-750 °С) та часу (1-10 годин) старіння на зміну механічних властивостей після попереднього гартування. Дослідження виконували за схемою, що використовується для випробувань сталей з РАПЕ, яка передбачає визначення механічних властивостей при температурі 750 °С безпосередньо після старіння (тобто без проміжного охолодження). Встановлено, що після старіння при температурі 750°С протягом 1-2-х годин значення границі текучості сталі 39Х3Н3Г6М7Ф, порівняно з загартованим станом, зростали з 413 до 576 Н/мм² і границі міцності х 582 до 637 Н/мм². Це приблизно в 1,5 рази вище, ніж для базової сталі 31Н8М7Ф. Показано, що старіння призводить до виділення в дослідженій сталі великої кількості дисперсних частинок фази Лавеса типу Fe₂Мо голчастої форми (довжина біля 100 нм) та рівноосних частинок високої дисперсності (перерізом біля 5нм), які ідентифіковані як карбіди типу МС. Таким чином встановлена можливість зміцнення дисперсійним твердінням штампової сталі з РАПЕ при легуванні її біля 7% молібденом. Досягнутий рівень її високотемпературної (750 °С) міцності більше ніж в 2 рази вище ніж високотеплостійкої штампової сталі мартенситного класу марки 5Х3В3МФС (ДИ23). Отримані дані свідчать про ефективність використання нової сталі замість серійних штампових сталей.

УДК 620.178.3

Євченко П.О.¹, Грабовський В.Я²

¹ студ. гр. ІФ-210м НУ «Запорізька політехніка»

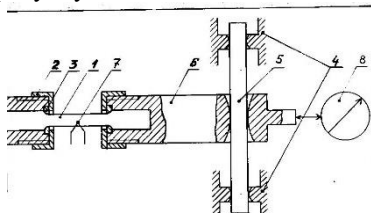
² канд. техн. наук, доц.. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОЦІНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРЕСОВИХ МАТРИЦЬ ІЗ СПЛАВІВ З ГЦК ГРАТКОЮ ТА ДИСПЕРСІЙНИМ ТВЕРДЕННЯМ ШЛЯХОМ ВИПРОБУВАНЬ НА ТЕРМОМЕХАНІЧНЕ ЦИКЛУВАННЯ

Необхідність пошуку нових штампових матеріалів робить важливим використання найбільш відповідних методів оцінки їх працездатності, оскільки промислові (натурні) випробувань на стадії розробки є витратними і не завжди можливі. Для температур експлуатації вище 700°С перспективним є розробка та використання сталей та сплавів на основі ГЦК кристалічній ґратці, які зберігають більшу високотемпературну міцність порівняно із серійними теплостійкими штамповими сталями мартенситного класу. Водночас,

фактором, що обмежує їх працездатність є утворення тріщин в процесі експлуатації

Метою даної роботи є дослідження можливості використання випробувань на термомеханічне циклування для оцінки працездатності сплавів для інструментів гарячого деформування металів. Принцип роботи устаткування видно з наведеного рисунку.



Для випробувань використовувався циліндричний зразок 1 який закріплювався в захватах з використанням накидних гайок 2 та “сухарів” 3. Зміна відстані між опорами 4 дозволяла забезпечувати різну ступінь жорсткості пружного елемента 5. При нагріванні зразка його теплове подовження через шток 6 утворює в ньому напруження. Циклічне нагрівання зразка відбувалось пропусканням через нього струму протягом 2,5 – 3,0 с з наступним охолодженням на повітрі. Загальна тривалість циклу складала 25 с. Температура нагрівання зразка вимірювалась термопарою 7, привареною до середини зразка. Зразки піддавали циклічному нагріванню в інтервалі $250 \leftrightarrow 850^{\circ}\text{C}$ в умовах жорсткого защемлення. На робочій частині зразків посередині була виконана кільцева проточка шириною 10 мм та глибиною 0,5 мм, в області якої відбувалось утворення тріщин та руйнування. Стійкість матеріалу визначалась кількістю циклів до руйнування зразків N_p . Вказані умови випробувань є близькими до умов експлуатації матриць при гарячому пресуванні прутків з мідних сплавів.

Досліджувались три сплави на залізохромонікелевій (Fe-15%Cr-30% Ni) основі з ГЦК кристалічною ґраткою та дисперсійним твердінням. Це сплав ХН35ВТЮ (ЭИ787), який зміцнюється частинками γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, сплав ХН30ВМЮ (ЭК40) зі змішаним зміцненням карбідами типу Cr_2C_6 , γ' -фазою типу $\text{Ni}_3(\text{Al})$ та фазою Лавеса типу $\text{Fe}_2(\text{W}, \text{Mo})$ і дослідницький сплав ХН30ВМК, що зміцнюється тільки фазою Лавеса типу $\text{Fe}_2(\text{W}, \text{Mo})$. Сплави отримували литвом (після електрошлакового переплаву). Зміцнювальна термічна обробка сплавів полягала в гартуванні з охолодженням в маслі та наступного старіння. Сплав ХН35ВТЮ випробували також без термічної обробки та тільки після старіння. Результати випробувань на термомеханічне циклування співставляли з даними стійкості пресових матриць, які втрачали

працездатність внаслідок утворення тріщин. Отримані дані по мірі зростання значення №р наведені в таблиці.

Сплав	Термічна обробка	№р	Стійкість матриць, кількість пресувань
ХН30ВМЮ	Гартування +старіння	142	5
ХН35ВТЮ	Гартування +старіння	263	32
	Старіння	328	37
	Без т.о.	520	48
ХН30ВМК	Гартування +старіння	1111	150

З наведених даних добре видно, що чим більше значення №р тим більша стійкість матриць. Структурні перетворення в сплавах після випробувань на термомеханічне циклування були подібні тим, що відбуваються в поверхневих шарах матриць в процесі експлуатації. Так, в сплаві ХН30ВМК і в тому і в другому випробуваннях відбувається суттєве подрібнення голчастих частинок зміцнювальної фази Лавеса. Їх форма в обох випадках стає більш рівноосною, а розподіл в об'ємі - більш рівномірним, що зміцнює сплав. Отримані результати свідчать про можливість прогнозування працездатності матеріалів для пресових матриць шляхом їх випробування на термомеханічне циклування за розглянутою методикою.

УДК 111 УДК678.01:54.084

Ішколовий В.В.¹, Мельникова І.О.², Ткач Д.В.³

¹ аспірант НУ «Запорізька політехніка»

² нач. бюро. АТ «Мотор Січ»

³ канд. техн. наук доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ЗАВДЯКИ МЕТОДУ ДМА

З настанням нового тисячоліття, все більше технологій та виробництв не стоїть на місці, а сміливо крокує вперед на зустріч майбутньому, яке має великі надії та потужний потенціал в розвитку нашого майбутнього технічного розквіту. В теперішній час ми маємо те, що сучасні «титани»-виробники повітряних суден використовують для виготовлення своїх апаратів сучасні матеріали, які набагато легші та міцніші й не поступаються своїми характеристиками звичайним сплавам металам – цей матеріал несе назву полімерний композитний матеріал (ПКМ), який в собі містить низки фізико-механічних властивостей, одна з яких температура склування.

Актуальність роботи полягає в визначенні температури склування яка опосередковано вказує на температуру проведення процесу полімеризації, та дає нам розуміння яких помилок ми допустили під час самого процесу, та подальшому коректуванні, для отримання заданих показників властивостей матеріалу. Ціллю являється безпосередньо визначення температури склування.

Температура склування є невід'ємний показник граничної температури роботи нашого полімерного матеріалу. Цей граничний показник являється по факту перехідником від склоподібного стану в гнучко-пружній, що опосередковано вказує на ступінь полімеризації (затвердження). А що таке є полімеризація? Полімеризація – це утворення високомолекулярних сполук (полімерів) з низькомолекулярних сполук (мономерів) і це є найважливішим етапом у створенні деталей з композиційних матеріалів, це етап після якого деталь має незмінну характеристику властивостей в процесі експлуатації в, відомих вже нами, експлуатаційних факторах. Для дослідження ступеня полімеризації найбільш простим та інформативним методом являється динамічно-механічний аналізатор (ДМА).

Динамічно-механічний аналізатор використовують для проведення випробувань які вказують на температуру полімеризації матеріалу, його сутність полягає в встановленні зразків в двухконсольний затискач, який піддається механічно-коливальним рухами з паралельною подачею температури, яка сягає в границя 170 °C, на сам зразок при цьому на моніторі, паралельно процесу проведення роботи машини, будується графік, по досягненню моменту коли зразок втрачає свої міцності чинити опір пружній деформації під впливом температури, можна вважати температурою склування даного зразку. Так для роботи було взято 4 зразки з матеріалу який використовується для будування лопаті гвинтокрила.

При проведенні експерименту було використано 6 зразків з композиційного матеріалу 7781, в результаті чого ми отримали, що при проведенні випробування на температуру склування перші 4и зразки які були виготовлені з обшивки несущого гвинта та пройдені технологічні умови виконання полімеризації, значно не добирають температуру склування і ця різниця сягає від 7 та 19 одиниць , що не є позитивним показником для заявленого матеріалу. Але вже після проведення експериментального прогріву матеріалу при температурі 140° C та витримкою 2,5 години, маємо значно ліпші показники які відповідають заявленим до цього матеріалу.

Висновком даного експерименту являється що найліпшим показником являються зразки, які пройшли пост полімеризацію при заданих температурах та годинах витримки, це звісно вказує на те, що технологія, яка була надана при виготовленні даного матеріалу, не відповідає та не дає показників температури склування й вимагає вдосконалення та коректування в техніч-

них документах. Завдяки приладу ДМА ми встановили вихідний контроль матеріалу без всяких зусиль та витрат робочої сили, що ще раз доказує: це являється найточнішим та найсучасним методом контролю температури склювання в композитних матеріалах.

УДК 669.62-03

Пишняк О.В.¹, Клімов О.В.²

¹ аспірант НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ В ГТД

Підвищення надійності, економічності та ресурсу ГТД потребують безперервних розробок та удосконалення нових, відомих матеріалів або технологій.

Через те, що поверхневий шар визначає фізико-механічними властивостями, що потребують використання дефіцитних та коштових матеріалів по всьому об'єму турбіни є недоцільними, а в деяких випадках і неможливим. У зв'язку з цим ця проблема вирішується шляхом нанесення на окремі вузли, деталі спеціальних покриттів.

Типи покриттів та використання в ГТД, а саме: істираєміущільнювальні покриття, сотові покриття; зносостійкі плазмові покриття, теплозахисні плазмові покриття.

Для вирішення даної проблеми є необхідність використання розробок та застосування спеціальних ущільнювальних покриттів, які будуть володіти властивостями «стиратись» під час їх контакту з лопатками, не даючи їм можливості зношуватися.

Такий ущільнювальний матеріал повинен володіти рядом важливих властивостей: володіти високою термостійкістю, мати ерозійну стійкість, характеризувати в собі співвідношення зносу покриття та лопатками не менше ніж 5:1.

До складу ущільнювальних матеріалів в сучасних ГТД використовують металеві сотові конструкції, які здатні працювати при температурі 1100-1200°C, але слід зауважити, що їх ефективність нижче, ніж у гладких ущільнювачів.

Гладкі ущільнювачі (таблиця) використовують для зменшення зазорів в компресорів. До них відносяться композити на основі Ni, Al, з «м'яким» наповнювачем - графітом або нітридом бора, які наносять газотермічним методом на деталі статора ГТД.

Покриття являють собою дрібнодисперсну суміш металів та твердих мастил, які гранульовані за спеціальними технологіями .

Таблиця - Типи гладких ущільнювальних покриттів та їх температура експлуатації

Покриття	Склад, %	Температура, °C
АНБ	18-23% BN, 48% SiO ₂	550 °C
20Б	Cu; Ni	650 °C
КНА	Ni; BN; NiAl; Y; Ni ₅ Y; Ni ₂ Si	750 °C
УВС-П	Ni;Si	до 700 °C
НГП-75	75% Ni; 25% C	до 500 °C
УП-34	П15417(90%)+10% (ПНБН)	750 °C
АЛК	60% Al; залишок NB	до 1000 °C
ВИПВМ 1100	Fe-Cr-Al-Y	1100 °C
Merck 2460 NS	Y-Zr	1150 °C

УДК621.791:669.295

Школовий В.В.¹, Ткач Д.В.²

¹ аспірант НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ СПЛАВІВ В ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНАХ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Підвищення ефективності авіадвигунів за вдяки можливості зниження маси деталей й тим самим не втрачаючи фізико-механічних цінностей – ось основна задача та перспективна проблема на майбутнє, яка вимагає сучасних вирішень! На даний момент наші технології розвиваються й не стоять на місці, тому з запропонованих замінників матеріалів по лідерству фізико-механічних властивостей виграє γ -TiAl.

Інтерметаліди сплаву γ -TiAl володіють високою питомою міцністю, жорсткістю, опором повзучості і жаростійкістю при підвищених температурах

($T = 600 \dots 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Питомий модуль пружності цих сплавів вище, ніж титанових і нікелевих сплавів на 50-70%, і ця різниця зберігається при підвищених температурах. Передбачається, що інтерметаліди сплаву частково замінять жароміцні нікелеві сплави в газотурбінному двигуні, що дозволить якісно збільшити співвідношення «тяга-вага» літального пристрою. З сплавів можна виготовляти лопатки, диски, елементи сопла та інші деталі.

Але нажалі до широкого використання інтерметаліди сплаву перешкоджають їх недоліки в області технологічних властивостей в литому стані, а саме:

- Важкість у виготовленні об'ємних деталей;
- Крихкість при кімнатній температурі;
- Низька технологічна пластичність;
- Великий розподіл механічних властивостей;
- Низька механічна обробка;

Фундаментально ці всі недоліки обумовлені тим, що наявна грубозернистість разом з хімічною неоднорідною структурою та гострою текстурою. Але виходом з цієї ситуації, а саме підвищення технологічних властивостей являється деформаційна обробка, яка включає в себе гарячу екструзію та штамповку при високих температурах. В свою чергу це дозволяє виготовити литі вироби з покращеними технологічними властивостями та тим самим полегшити проведення термомеханічних обробок.

Завдяки позбавленню технологічних недоліків, при яких витрачаються великі кошти та трудомісткість у виготовлення, ми з легкістю можемо сказати, що сплави на основі алюмінідів Ti_3Al можуть конкурувати з вище сказаними сплавами, а саме титану та нікелю й впроваджуватися як перспективний сплав для виготовлення сучасних літальних апаратів, космічних кораблів й інше.

З основних показників гідності сплаву на основі інтерметалідів системи Ti-Al :

- Густина складає $\rho = 3,7 \dots 4,2 \text{ г/см}^3$;
- Високий опір окисленню в навколишньому середовищу;
- Висока міцність;
- Модуль пружності, що зберігається до 900°C .

Однак на ряду цих показників, ми також маємо не забувати, що Ti та Al мають великий ковалентний зв'язок, який ми можемо зменшити та покращити фізико-механічні властивості, завдяки легуванню такими елементами як молібден та ніобій, адже саме ці елементи мають досить високу межу розчинності в Ti_3Al .

Тому при вмісті молібдену 5-10% в розчині, дозволяють нам підвищити міцність сплаву з $\sigma_{\text{в}} = 120 \text{ МПа}$ (в нелегованому) до 540-560 МПа та з показником пластичності $\delta = 1,2 - 1,6 \text{ \%}$ й $\psi = 2 - 4\%$ вже в легovanому стані після

проведення термічної обробки, яка включає в себе гарт при температурі 1050°C й старінням в межах 850-900°C. А максимальним показником міцності $\sigma_b = 880$ МПа та порівняно схожій пластичності в межах $\delta = 1,6\%$, $\psi = 2\%$ дозволяє нам отримати додавання легувального елементу Nb до сплаву Ti - 13,5% Al - 21,5% з проведенням такої ж самої термічної обробки.

Роблячи висновок, можна сказати що, з використанням інтерметаліди сплаву в літакобудуванні - це запорука успіху у досягненні цілей по збільшенню співвідношення «тяга-вага» завдяки своїм, відносно високими фізико-механічними показниками, які перемагають у порівнянні з такими металами як титану та нікелю. Звісно мають дещо свої ускладнення по виготовленні об'ємних деталей, але це все вирішується звичайним легуванням й з подальшим проведенням термічної обробки, після чого ми вже маємо вдосконалений сплав, який має максимальний показник міцності 880 МПа й при цьому з маленьким показником густини $\rho = 3,7...4,2$ г/см³, що чудово чинить опір агресивному середовищу й тим самим ще раз доказує, що інтерметаліди сплаву мають існувати в виготовленні деталей ГТД.

УДК 669.295:620.193

Гордієнко М.Р.¹, Ткач Д.В.²

¹ аспірант НУ «Запорізька політехніка»

² доц. канд. техн. наук НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3Д-ДРУКУ МЕТОДОМ АДИТИВНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Новим етапом розвитку виробництва стало впровадження машин 3д-друку для виготовлення деталей різної конфігурації. Методи 3д-друку якнайкраще підходять для виготовлення деталей як для широкого використання, так і відповідальних деталей для космічної промисловості.

Принтери для об'ємного друку машинобудівних деталей за методами формування кінцевої продукції поділяються на два основних типи - лазерні та нелазерні.

Перші через простоту експлуатації отримали більш широке поширення. Формування деталі відбувається при впливі лазерного променя на порошкову суміш. Металеві частки розігріваються і, спікаючись, утворюють монолітний металевий шар. Потім платформа опускається на величину кроку побудови. Далі додається (англ. Add) порція будівельного матеріалу, який розрівнюється спеціальним роликом, після чого знову «працює» лазер. Таким чином, шар за шаром вирощується необхідний об'єкт.

Іншим видом 3д-друку є нелазерні технології. Однією з технологій виробництва є ротаційне зварювання тертям. Зварювання тертям - це добре відомий твердотільний процес зварювання, у якому дві заготовки вирівнюються по одній осі: одна тримається нерухомо, а інша кріпиться до шпинделя, який обертається з постійною швидкістю за допомогою електродвигуна. Шпиндель розкручується до заданої постійної швидкості, і заготовка, що обертається, підводиться до нерухомої. У міру стирання поверхонь, вони нагріваються до пластичного стану. Обертання триває протягом заданого часу або до встановленого значення вкорочення (спалення). Потім шпиндель від'єднується від привідного вузла і застосовуються гальмо, щоб зупинити шпиндель. Одночасно осьове зусилля підвищується (зусилля зсуву) і підтримується протягом короткого часу, щоб завершити зварювання. 3Д друк тертям дещо відрізняється від зварювання і є, скоріше, наплавленням металу шар за шаром, за допомогою тієї ж насадки з великою швидкістю обертання. Матеріал для друку подається через отвір в центрі робочого інструмента і «втирається» в основу або нижні шари.

Новий метод має ряд важливих переваг, перед такими відомими способами друку як наплавлення за допомогою промислових лазерів і селективне спікання. Поступається ротаційному тривимірному друку і методу WAAM. Основним плюсом можна вважати те, що перехід порошкового матеріалу в рідку фазу відбувається під дією тиску, що не вимагає створення дуже високих температур. Робоча температура нових установок набагато нижче, ніж температура плавлення металу. Це дозволяє уникнути багатьох побічних ефектів, які неминучі при сильному нагріванні, таких як виникнення залишкових напружень усередині матеріалу, поява порожнин і пор і розтріскування при охолодженні. Також ротаційний спосіб знижує кількість відходів, що дуже важливо при великих обсягах виробництва.

Як вже говорилося, деталі, що друкуються даним методом мають невеликі розміри, та потребують механічної обробки після виготовлення. Але при цьому ротаційне зварювання тертям дозволяє добитись градієнтності, тобто отримати різні властивості матеріалу в окремих частинах деталі.

Дослідниками показано задовільне зв'язування шарів між собою. На межі зварного шва спостерігали тонку дрібнозернисту область. Зазвичай це пов'язують із динамічною рекристалізацією, що відбувається під час зварювання тертям. Безпосередньо поруч із межею зварного шва була вузька зона термомеханічного впливу, за якою йшла зона теплового впливу, типова для зварних з'єднань тертям. Випробування на розтяг на твердих циліндричних зразках з алюмінієвого сплаву, виготовлених за допомогою зварювання тертям дозволило встановити, що властивості розтягування цих зразків (границя плинності 378 МПа, границя міцності на розрив: 586 МПа, відносне видовження 35 %) відповідають властивостям стандартних кованих стрижнів AISI

310 (границяплинності 375 МПа, границя міцності 578 МПа, відносне видовження 45 %)

Отже, застосування запропонованої технології може бути успішно застосовано для виготовлення присадок тривимірних металевих деталей, коли це доречно поєднується з обробкою з ЧПУ для отримання геометричних деталей. Процес особливо привабливий для виробництва великих деталей, які або неможливі, або економічно не вигідні з існуючими процесами виробництва деталей. Швидкості осадження, досяжні за допомогою цього процесу, набагато вищі порівняно з іншими застарілими процесами виробництва металевих деталей.

УДК 669

Ольшанецький В.Ю.¹, Глотка О.В.²

¹ проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук НУ «Запорізька політехніка»

ПРО ПАРАБОЛІЧНІСТЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІВНОВАЖНИХ ТА КВАЗІРІВНОВАЖНИХ МЕТАЛЕВИХ СИСТЕМ.

При дослідженні властивостей металевих матеріалів за наявності різноманітних факторів впливу (як на мікро структурному, та субмікроструктурному рівнях) іноді спостерігаються залежності параболічного типу, а саме

$$\Phi \sim K^2 ,$$

де Φ – певна функція відгуку, K – узагальнена координата того чи іншого фактора впливу (переважно це стосується концентраційних факторів).

При застосуванні відношень Φ_1/Φ_2 дослідники мають справу з प्रति- лежно діючими залежностями за тенденцією лінійного типу, або U-подібного типу, що перетинають одна іншу в деякій проміжній області (це може бути як приклад область досягнення конструктивної міцності у сталях, або зона найкращих показників довготривалої жароміцності).

Як типовий приклад останнього явища можна розглянути вплив відношення параметрів ґраток нікельового «аустеніту» і γ -фази (котра окрім нікелю, містить алюміній та титан (ніобій)).

Параболічність вказаного відношення обумовлена цілою низкою діючих під час нагріву дифузійних процесів. Спочатку відбуваються збільшення параметра γ -фази через збільшення у неї кількості алюмінію і титану (яке перебільшує зміну параметра матриці (γ -фази), а в подальшому спостерігається стабілізація параметра γ -фази при продовженні збільшення параметра

нікелевого твердого розчину. Тобто в результаті можна бачити в області перетину двох кривих (мінімум залежності) відповідний компроміс між цьوما змінами, що обумовлює досягнення необхідних показників довготривалої міцності.

УДК 621.

Кашуба О.В.¹, Ольшанецький В.Ю.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² проф. НУ «Запорізька політехніка»

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ДЛЯ МЕГАПОЛІСІВ

В сучасних умовах зростає інтерес до екологічного компактного транспорту, ведуться пошуки та спроби впровадження такого виду транспорту у всі сфери життя та послуг; набуває актуальності питання особливостей різних аспектів дизайну гіроскутерів, ускладнення їх функціонального аспекту спонукає до більш детального розглядання проблема дизайну електротранспорту та формоутворення об'єкту.

Мета роботи полягає у висвітленні та аналізі важливих аспектів дизайну електроскутерів, включаючи нові матеріали що мають малу вагу і можливість змінювати свою форму за спрощеною технологією.

Стосовно зазначеної проблеми розглянуто ряд робіт, в яких автори тим чи іншим чином торкаються проблеми зв'язку науково-технологічних інновацій і проектної діяльності на різних рівнях.

Сучасне суспільство переживає «четверту хвилю» глобальної технологічної революції на рівні модернізації та дизайну. Таким чином, виникає необхідність у проектуванні компактного електротранспорту, передусім медичного призначення. Основним акцентом у комерційних трендах зазначеного сектору продукції виступає думка про необхідність сегвею для всіх, хто хоче пришвидшити переміщення по місту, але зберегти екологію довкілля.

Сегвей - електроскутер, якому не потрібне ні кермо, ні гальма. При нахилі корпусу їздця вперед, сегвей починає котитися вперед, і чим більший нахил, тим більшу він розвиває швидкість. При відхиленні корпусу їздця назад, сегвей уповільнює рух, зупиняється і потім починає котитися заднім ходом. При нахилі вліво або вправо електродвигун відповідного колеса сповільнюється, сегвей повертається в потрібну сторону».

Гіроскутер (двоколісний скутер, самобалансовний скутер (англ. GyroScooter) - вуличний електричний транспортний засіб, виконаний у формі поперечної планки з двома колесами по боках. Використовує електродвигу-

ни, що живляться від електроакумуляторів, і ряд гіроскопічних датчиків для самобалансування і підтримки горизонтального положення підніжки.

Винахід подібного виду транспорту сягає корінням ще в 90-і роки минулого століття, коли з'явилися перші прототипи транспортних засобів, які використовують в своїй конструкції системи автоматичного балансування. Мабуть, прагнучи сучасного гіротранспорту подібного типу можна назвати винахід Segway. Цей пристрій також має два колеса і майданчик для ніг. У рідкісних випадках модель може бути оснащена сидінням. Однак головна відмінність гіроскутера від сегвея - відсутність рульового стовпа. Тут управління здійснюється не маніпуляцією руками, а переміщенням маси тіла з боку в бік. Наприклад, для руху вперед необхідно нахилитися у відповідному напрямку, для гальмування і руху назад - навпаки. Повороти здійснюються за допомогою зміщення маси тіла в бажану сторону. При проведенні систематизації інформаційних джерел були сформовані вимоги до екологічного компактного транспорту.

УДК 621.793

Джуган О.А.¹, Ольшанецький В.Ю.²

¹ ст. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ТЕХНОЛОГІЯ МОДИВІКУВАННЯ НІКЕЛЕВИХ КАТОДІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ЖАРОМІЦНИХ ПОКРИТТІВ НА ДЕТАЛІ ГТД

Експлуатаційна надійність робочих лопаток газотурбінних двигунів (ГТД) з жароміцних сплавів на нікелевій основі (системи Ni-Cr-Al-Y) в першу чергу залежить від здатності їх поверхні опиратися впливу окисного середовища при високих температурах, тому що в більшості випадків руйнування лопаток турбіни починається з поверхні.

Одним із основних способів підвищення стійкості лопаток до різних видів гарячої корозії є нанесення захисних покриттів іонно-плазмовим методом. Тому, стійкість і довговічність нанесених покриттів безпосередньо впливають на термін експлуатації виробів.

В свою чергу основну роль в характеристиках нанесених покриттів відіграє якість катодів, їх хімічна, структурна та фазова однорідність з мінімальною кількістю дефектів. Це, в свою чергу, обумовлює необхідність використання складних багатокомпонентних систем легування, а також комплексів модифікуючих елементів у сплавах.

Ефективність їх дії залежить від рівномірності розподілу за об'ємом, що впливає на гомогенність структури катодів і в кінцевому підсумку - на якість

покриттів. Одним з визначальних чинників рівномірного розподілу легуючих і модифікуючих елементів є їх початковий стан в матеріалах шихти.

Таким чином, якість виготовлених катодів, а як наслідок і якість нанесених покриттів безпосередньо залежить від технології їх виробництва. До основних методів виготовлення катодів на основі нікелю відносяться електронно-променевий переплав (ЕПП), вакуумно-індукційний переплав (ВІП), вакуумно-дуговий переплав (ВДП) та порошкова металургія (ПМ). Технологічна схема при виготовленні виробів методами ПМ включає операції підготовки шихтових матеріалів, їх компактування і подальше спікання. Якість таких заготовок в більшості випадків залежить від якості вихідної сировини - порошоків і підготовки шихти, що вимагає великих економічних витрат.

Ще однією проблемою є залишкова пористість котра негативно впливає на технологічність катодів отриманих ПМ.

Доцільно розглянути застосування технології виготовлення катодів з нікелевого сплаву (системи Ni-Cr-Al-Y), методом ВДП з метою зменшення кількості характерних дефектів, і підвищення якості кінцевої продукції.

Відливки системи Ni-Cr-Al з добавками ітрію як модифікатора структури отримували на установці вакуумно-дугового переплаву яка дозволяє використовувати для виготовлення злитків дрібнодисперсну сировину (у вигляді порошоків або чушок), що позитивно позначається на гомогенності одержуваних відливок. Підготовка шихти здійснювалась шляхом механічного подрібнення матеріалів. Мікроструктуру та розподіл легувальних елементів отриманого сплаву показано на рисунку 1б та 1г відповідно.

Отже в роботі розглянуто можливість удосконалення технології вакуумно-дугового переплаву як однієї з найбільш перспективних для отримання злитків високої якості з низьким рівнем ліквіації структурної неоднорідності.

Підвищення якості злитків досягається за рахунок використання шихтових матеріалів різного фракційного складу, підбору оптимальних параметрів переплаву (струм, напруга, час плавки).

Проведені металографічні дослідження мікроструктури (рис. 1а, 1б), а також хімічного складу (рис. 1в, 1г), показали високий ступінь гомогенності злитків і відсутність характерних дефектів.

Це дозволяє прогнозувати підвищення якості і в свою чергу ефектності нанесення захисних покриттів, підвищення рівня їх технологічності, а як наслідок покращення експлуатаційних характеристик покриттів

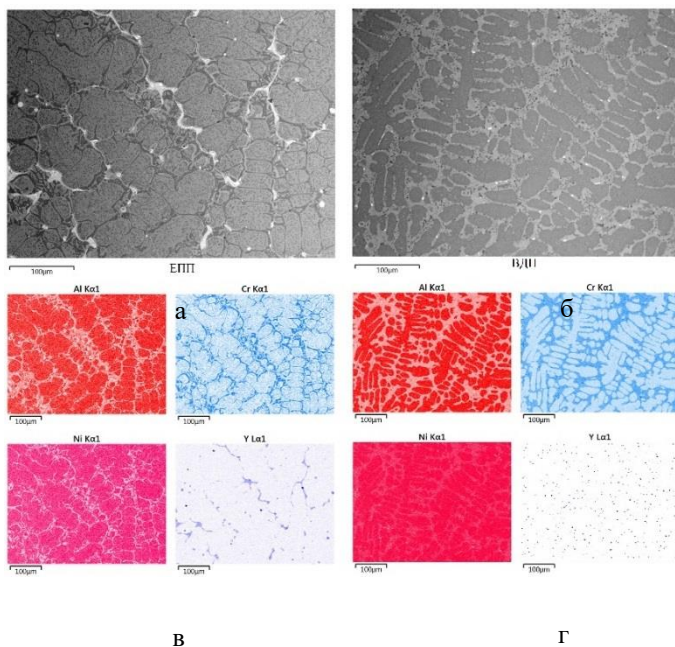


Рисунок 1 – Порівняння мікроструктури та розподілу легувальних елементів у відливках катодів отриманих різними методами:
а, в – метод електронно-променевого переплаву;
б, г – метод вакуумно-дугового переплаву.

СЕКЦІЯ «МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ, МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

УДК 621.74

Іванов В.Г.¹, Прочан В.В.²

¹ д-р техн. наук, зав. каф. МІТЛВ НУ «Запорізька політехніка»

² студент гр. ІФ-518сп НУ «Запорізька політехніка»

ЗНИЖЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ВИБИВАННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ НА РІДКОМУ СКЛІ

Використання у складі формувальних сумішей рідкого скла, пов'язано з його перевагами: екологічністю, відносно низькою вартістю, можливістю застосування прискорених технологій виготовлення форм і стрижнів, що зміцнюються за рахунок введення спеціальних добавок - затверджувачів. Однак суттєвим недоліком рідкого скла є утруднене вибивання сумішей з виливків внаслідок розплавлення силікатів натрію при нагріванні форм металом і наступного спікання формувальної суміші. Одним з найбільш простих способів зниження трудомісткості вибивання формувальних і стрижневих сумішей є введення в суміш спеціальних добавок органічної та неорганічної природи.

В роботі досліджували ефективність таких добавок. Використовували спучений графіт, полістирол, вермікуліт. Для оцінки трудомісткості вибивання рідкоскляної суміші був застосований широко поширений метод заснований на підрахунку кількості ударів, витрачених на пробивання стандартного циліндричного зразка, виготовленого з досліджуваної суміші. Для цього охолоджений зразок вставлявся в спеціальну оправку і на лабораторному копрі, оснащеному бойком, пробивався на всю товщину.

Було виготовлено декілька комплектів зразків з дослідною сумішшю на кварцевому піску з 6 % рідкого скла. Діапазон добавок варіювався у межах 1...5 %. Виготовлені зразки попередньо висушували в печі при температурі 200...220°C протягом 1 години, потім прожарювали при температурі 800°C протягом 1 години, охолоджували і піддавали випробуванню.

Міцність на розрив усіх зразків після сушки була високою і становила 1,5...2,0 МПа. Найменші показники були відзначені у зразків, що містили полістирол та спечений графіт, що мабуть було пов'язано з частковим вигоранням добавки.

Найменша робота вибивання відповідала добавці вермікуліту та спученому графіту (4% і вище). Але добавка спученого графіту понад 2 % приводила до збільшення розмірів циліндричних зразків після сушіння. Крім того, усі добавки внаслідок різниці у щільності нерівномірно розподілялися при перемішуванні за об'ємом. Тому вірогідно для покращення вибивання рід-

косляних сумішей необхідно використовувати комплексні добавки. Цьому будуть присвячені наступні дослідження.

УДК 621.74

Нечибой Л.П.¹, Кудін В.В.²

¹ студент гр. ІФ-517 НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. каф. МіТЛВ НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ ПІСЛЯ ГАРЯЧОГО ЛУДІННЯ ОЛОВОМ

В Національний університет «Запорізька політехніка» від ливарного підприємства ТОВ «ТВІНС-СЕРВІС ЛТД» надійшли дві чавунні корпусні деталі після гарячого лудіння оловом (м'ясорубка і соковижималка), для дослідження на наявність ливарного пригару або корозії на поверхні. Дослідження проводилися в металографічній лабораторії кафедри «Машини і технологія ливарного виробництва» на мікроскопі МІМ-8.

Дослідження поверхні при макрозбільшенні показало наявність ділянок корозії і окремих ділянок олов'яного покриття (рис. 1). Слід зазначити, що ділянки олов'яного покриття були розподілені нерівномірно. Дослідження поперечного макрозлому показало, що на поверхні виливків є окремі краплі олова (рис. 2). Краплі олова мають опуклу форму і не утворюють суцільного олов'яного покриття, що свідчить про незадовільне змочування оловом поверхні чавуну. При дослідженні макроструктури не виявлено слідів ливарного пригару на поверхнях чавунних виробів.

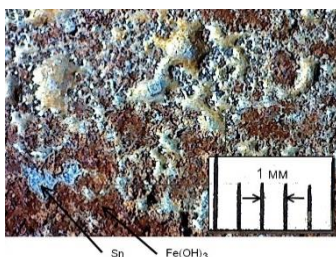


Рисунок 1 - Поверхня чавунного виробу.

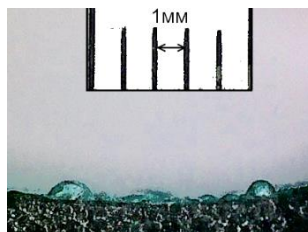


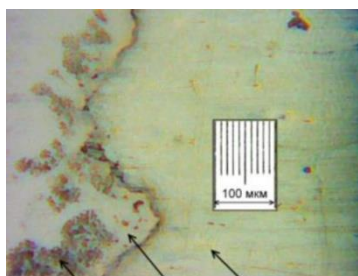
Рисунок 2 - Краплі олова на поверхні.

Змочування оловом поверхні чавуну оцінюється крайовим кутом змочування Θ . При повному змочуванні кут Θ наближається до 0° . Повна відсутність змочування відповідає $\Theta = 180^\circ$. Вимірювання крайового кута змочування показало, що його значення дорівнює приблизно $\Theta = 62^\circ$. Така величи-

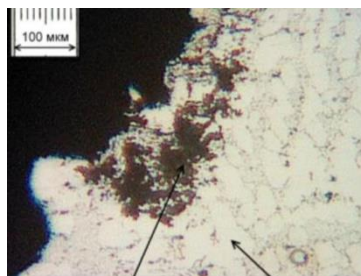
на крайового кута Θ свідчить про незадовільний стан поверхні чавунних виробів для гарячого лудіння.

Для визначення причини незадовільного змочування поверхні чавунних виробів оловом приготували поперечний металографічний шліф.

Мікроструктура чавуну містила дрібні включення графіту і з точки зору придатності для гарячого лудіння була цілком задовільною. На зовнішній стороні виливків під олов'яним покриттям були виявлені включення продуктів корозії чавуну (рис. 3). На внутрішній стороні виливків виявлені проникли в чавун продукти корозії, що свідчать про тривалий вплив вологої атмосфери на поверхню чавунних виливків (рис. 4).



Fe(OH)₃ Чавун Олово
Рисунок 3 - Корозія чавуну під оловом.



Продукти корозії Чавун
Рисунок 4 - Корозія в поверхневій зоні.

Спостерігали окремі ділянки локального електрохімічного руйнування металевої матриці в безпосередній близькості від включень графіту (вказано стрілкою) (рис. 5). Зафіксували початкову стадію проникнення корозії в поверхню внутрішньої частини чавунних виробів (рис. 6).

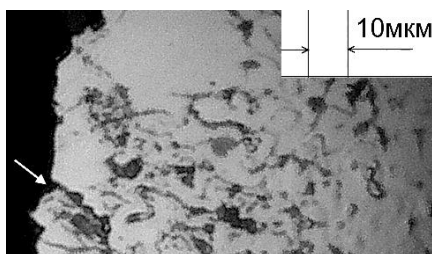


Рисунок 5 - Електрохімічне руйнування матриці (вказано стрілкою).



Рисунок 6 - Початкова стадія проникнення корозії в поверхню.

Аналіз результатів проведеного дослідження дозволяє зробити наступні висновки: олов'яне покриття носить фрагментарний характер, особливо на внутрішній поверхні виливків, у вигляді окремих крапель. Рівномірному розтіканню олова в процесі гарячого лудіння перешкоджали продукти атмосферної корозії, які не були повністю видалені при підготовці виробів під лудіння. Для отримання якісного олов'яного покриття необхідно ретельно видаляти продукти корозії та включення графіту, що виходять на поверхню виробу.

УДК 669.187.56

Парахневич Є.М.¹, Прочан В.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студент групи ІФ 518сп НУ «Запорізька політехніка»

ВІДНОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

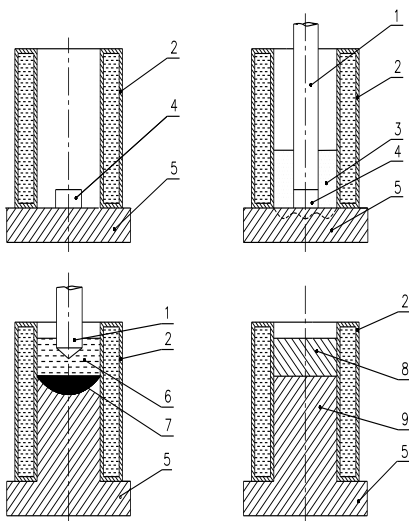
В останні роки біметалеві матеріали з особливими експлуатаційними властивостями широко використовується в різних галузях промисловості. Вимоги до деталей постійно зростають і можуть бути досить різними по перетину деталі, тому проблема отримання біметалевих деталей з різними показниками механічних і експлуатаційних властивостей на сьогодні є дуже актуальною. Отримати різні експлуатаційні показники можливо тільки поєднавши різномірні або близькі за хімічним складом сталі. Однією з найбільш ефективних технологій, які надають можливість отримувати деталі з заданими властивостями є технології, що базуються на електрошлаковому процесі (ЕШН) [1]. Найбільш технологічно простою є виготовлення біметалевих заготовок вертикальним електрошлаковим наплавленням, яка не потребує переробки основних вузлів і агрегатів [2].

Експериментальні плавки проводили на установці для електрошлакового відновлення, створеної на базі апарату для зварювання пластинчастим електродом А - 550У і трансформатора для зварювання ОСУ – 80/0,5.

Технологія електрошлакового наплавлення розроблена на кафедрі «Машини і технологія ливарного виробництва» Національного університету «Запорізька політехніка» [4]. Підготовлені деталі встановлювали на спеціальний стіл, який електрично з'єднаний із джерелом живлення. На деталь встановлювали оснащення (електроконтактний елемент, затравку, витратний опір). Перетин витратного електрода підбирали в залежності від розміру частини деталі, яку відновлювали. Місце контакту витратного електрода з витратним опором засипали порошкоподібним флюсом АНФ – 6 - 1.

Процес відновлення деталей відбувається за схемою, яка представлена на рисунку 1. Наплавлення проводили у стик, тому що такий спосіб є економічно ефективним способом відновлення деталей. Важкість використання цього способу полягає в тому, що в початковий період процесу (розводки) необхідно отримати якісне з'єднання основного металу з наплавленим. Це досягається за умови розплавлення металу основи деталі по всьому перетину кристалізатора.

Якісне оплавлення всього перетину кристалізатора можливе на максимальній силі струму, яка розрахована для даного перетину. В результаті досягається висока якість зони сплавлення та зон термічного впливу.



1 – витратний електрод; 2 – мідний кристалізатор; 3 – флюс; 4 – витратний опір; 5 – підкладка; 6 – рідкий флюс; 7 – металева ванна; 8 – шлакова шапка; 9 – наплавлена частина.

Рисунок 1 - Схема відновлення деталей.

Таким чином, метод електрошлакового відновлення деталей електровозів дозволяє знизити собівартість деталі, значно скорочує час ремонту деталей, які після відновлення працюють у 1,5 – 2 рази довше за нові деталі із – за високої якості електрошлакового металу наплавлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Медовар, Л.Б. ЕШП: возможности повышения экономичности действующего оборудования и современные технологии [Текст]/ Л.Б. Медовар, А.П. Фоменко, А.В. Чернец и др.// Современные проблемы электрометаллур-

гии стали: материалы XII междунар. Конф./Южно-Уральский государ. Университет. – Челябинск, 2004. – С. 148-149.

2.Шарапов, А.А. Производство заготовок для коррозионно-стойкого биметалла на электрошлаковых печах методом наплавки [Текст]/А.А. Шарапов, И.Г. Родионова, А.Г. Шалимов и др.// Труды конгресса сталеплавильщиков. – Москва, 1996. – С. 192-194.

3.Петруша Ю.П. Разработка и внедрение технологии электрошлакового восстановления отработанных деталей железнодорожного транспорта: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Петруша Юрий Петрович. – Запорожье, 1989. – 225с.

УДК 621.74

Єнікєєва Т.К.,¹ Кузовов О.Ф.²

¹ студ. гр. ІФ 510м НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЖИВЛЕННЯ 4-ТОННОГО КОВАЛЬСЬКОГО ЗЛИВКА

Технологія отримання даного зливка до розробки нової технології передбачала використання надливної надставки із рідкоскляної суміші із подальшою тепловою сушкою. Метою роботи було зробити, по-перше: науково-обгрунтований новий розрахунок надлива з очікуванням зменшення його розмірів і, відповідно, зі зменшенням витрат рідкого металу на зливкок. По-друге, на підставі згаданого нового розрахунку розробити нову конструкцію надливкової надставки під використання сучасних теплоізолюючих елементів-рігелів з метою кардинального покращення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення продуктивності праці при підготовці виливниці під заливку. Інші умови не змінювалися: матеріал зливка – сталь 25Л, кількість виливниць на піддоні – чотири, заливка – сифоном через центрову, тобто класична технологія.

За існуючою технологією геометричні розрахунки об'ємів металевої ливарної форми, дм³: виливниця – 419, донна частина – 22, надлив – 129.

Сумарний об'єм – $(419 + 22 + 129) = 570$ дм³.

Маса рідкого металу:

$$570 \times 7 = 3990 \text{ кг.}$$

Об'єм рідкого металу на надлив (голова зливка):

$$(129/570) \times 100\% = 22,6\%.$$

Це значно вище, ніж за літературними даними (15-18%) /1/.

Розрахунок коефіцієнта корисної корисної дії (ккд), виконаний за формулою:

$$(V_{\text{вил}} + V_{\text{надл}}) \cdot k = \eta \cdot V_{\text{надл}} \quad (1)$$

де $V_{\text{вил}}$ - об'єм вилівка ($V_{\text{вил}} = 441 \text{ дм}^3$);

$V_{\text{надл}}$ - об'єм надлива ($V_{\text{надл}} = 129 \text{ дм}^3$);

k – коефіцієнт сумарної об'ємної усадки сталі 25Л у рідкому стані і при кристалізації ($k = 0,045$);

η – ККД надлива.

Згідно з розрахунком: $\eta = 0,20$.

Для розрахунку нового надлива з використанням рігеля приймаємо обґрунтоване практикою значення ККД як для піщаної форми і ізотермічного надлива, а саме $\eta = 0,28$.

Об'єм нового надлива, розрахований за вищевказаною формулою складає:

$$(441 + V_{\text{надл}}) \cdot 0,045 = 0,28 V_{\text{надл}}, \quad (2)$$

$$V_{\text{надл}} = 85 \text{ дм}^3$$

Новий об'єм надлива заощаджує рідкого металу на один зливоч:

$$(129 - 85) \cdot 7 = 308 \text{ (кг)}$$

Об'єм рідкого металу на надлив (голова зливка):

$$(85 / (419 + 22 + 85)) \cdot 100\% = 16,2 \%$$

Це у межах норми.

Виходячи із результату нового об'єму надлива ($V_{\text{надл}} = 85 \text{ дм}^3$), визначені його геометричні параметри: циліндр діаметром 506 мм і висотою 420 мм. Під ці параметри розроблена конструкція надставки з урахуванням товщини рігеля 40 мм і його висотою 420 мм.

Впроваджена у виробництво ця технологія повністю підтвердила правильність розрахунків, не викликала проблем з якістю зливка. Заощаджено 308 кг рідкого металу на кожний зливоч, скасована трудомістка операція формовки надставок і їхньої теплової сушки, суттєво покращені санітарно-гігієнічні умови праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов Н.Н. Разливка черных металлов [Текст] / Н.Н. Власов, В.В. Король, В.С. Радя. – М.:Металлургия, 1987. – 272 с.

УДК 669.74

Худяков П.А.¹, Луньов В.В.²

¹ студ. гр. ІФ-117 НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук. проф. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ФОСФОРУ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

Фосфор (Р) – хімічний елемент. Міститься у всіх частинах зелених рослин, ще більше його в плодах і насінні, та в тканинах тварин, входить до складу білків та інших найважливіших органічних сполук. А також міститься у воді (річки, озера, моря, океани та інші). До ливарного виробництва, фосфор потрапляє у руді, яка була здобута на місці колишніх озер, болот та інших родовищ [1].

В основі шкідливого впливу фосфору лежать дві його властивості:

1. Значне розширення двофазної області між лініями ліквідусу і солідусу, в результаті чого при кристалізації злитка виникає сильна первинна ізоляція, а також значне звуження γ -області, що полегшує розвиток сегрегації і в твердому стані.

2. Відносно мала швидкість дифузії в α і γ -твердих розчинах, в результаті чого утворилася неоднорідність (сегрегація) яка погано усувається методами термообробки. Розташовані в міжзеренному просторі тендітні прошарки, багаті фосфором, знижують пластичні властивості металу [3].

Фосфор має сильну тенденцію до сегрегації на кордонах зерен, що призводить до відпускнуї крихкості легованих сталей, особливо в марганцевих, хромистих, магнієво-кремнієвих, хромонікелевих і хромомарганцевих сталях. Фосфор, крім того, збільшує міцність сталей і уповільнює, як і кремній, розпад мартенситу в сталях. Підвищений вміст фосфору часто задають в низьколегованих сталях для поліпшення їх механічної обробки, особливо автоматичної.

Фосфор в сталі є шкідливою домішкою і перебуває на межі зерен. Основний вплив фосфору приходить на кристалічну ґратку в залізі. Фосфор підвищує холодноламкість, також він зменшує твердість і ударну в'язкість. У сталей з великим вмістом фосфору підвищується схильність до тріщин та спостерігається значне розширення ліній ліквідусу і солідусу.

Вплив фосфору менш відчутний, ніж сірки та залежить від вмісту в сталі елементів, що сприяють його ліквації в обсязі зерна, в першу чергу марганцю. Підвищення вмісту фосфору на 0,01% в сталях з вмістом марганцю 1% і більше підвищує критичну температуру крихкості на $80 \dots 100^\circ\text{C}$.

Домішки, присутні в рідкій сталі, істотно впливають на процеси дефосфорації. Особливо негативно впливають елементи - розкислители, що знижують активність кисню в сталі та є відновниками стосовно фосфорного ангідриду. Наприклад, якщо в сталі міститься понад 0,1% Si, дефосфорація прак-

тично не протікає. Такі відносно слабкі розкислители, як марганець і хром, помітно уповільнюють швидкість дефосфорації, а при високих їх концентраціях ($> 0,5\%$) видалення фосфору суттєво ускладнюється. У цьому випадку спочатку окислюються переважно марганець і хром, а потім починається дефосфорація. Зі зменшенням концентрації тетрафосфат кальцію в шлаку відповідно зростає дефосфорируюча здатність шлаків, тому його загальну кількість часто доводять шляхом безперервного оновлення до 7% [2].

На сталі 20ГЛ (С $0,22\%$; Мн $1,4\%$; Si $0,23\%$; S $0,003...0,035\%$; Р $0,005...0,035\%$) було досліджено зростаючий вплив присадок сірки та фосфору на складові ударної в'язкості в діапазоні температур від $+20^{\circ}\text{C}$ до -60°C . Сталь мала II-й тип неметалічних включень. Розкладання ударної в'язкості на складові робили за методикою Гуляєва А.П.[2].

Результати досліджень показують, що збільшення вмісту сірки й фосфору призводить в основному до зниження процесу поширення тріщин. Процес зародження тріщини зі збільшенням вмісту сірки та фосфору змінюється незначительно (рис. 1) [2].

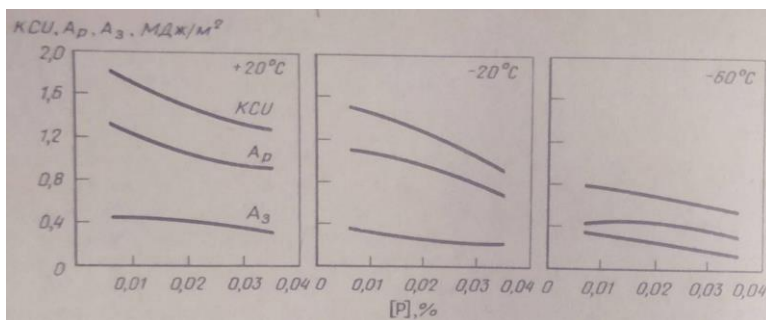


Рисунок 1- Вплив вмісту фосфору на складові ударної в'язкості сталі 20ГЛ при різних температурах.

Отже, хоча фосфор і шкідливий елемент, він зазвичай використовується для полегшення процесу механічної обробки, але якщо ми хочемо отримати високоякісний виливок, то позбутися фосфору технічно досить важко і економічно - достатньо дорого.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глосарій термінів з хімії / уклад. Й. Опейда, О. Швайка ; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. – Донецьк : Вебер, 2008. –738 с.
2. Шульте Ю.А. Производство оливок из стали.(Текст) /Ю.А. Шульте .- Киев ;Донецк: Вища школа. Главное изд-во,1983.-184 с.

3.<http://metal-archive.ru/konverternye-processy/526-defosforaciya-metalla.html>

УДК 66-962

Василевська Я.А.¹, Василевський В.В.², Чушкіна Ю.О.³

¹ асист. НУ «Запорізька політехніка»

² стар. викл. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. ІФ-510м НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДГОТОВКИ МОДЕЛЕЙ ДО FDM 3D ДРУКУ ABS ПЛАСТИКОМ

Типовий процес адитивного виробництва включає в себе наступні основні етапи [1]:

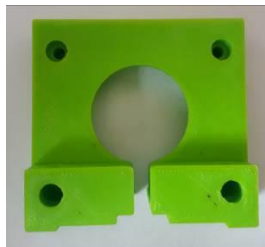
1. Підготовка комп'ютерної CAD моделі фізичного об'єкту.
2. Генерація STL файлу; завантаження готового STL файлу до програмного забезпечення 3D принтера.
3. Коригування масштабу моделі, її позиціонування та орієнтація для подальшої побудови.
4. Налаштування параметрів друку та генерація g-кодую
5. Побудова об'єкту.
6. Видалення готового об'єкту з робочої платформи.
7. Фінішна обробка та застосування готового об'єкту.

Виконання етапів 1-5 здійснюється із урахуванням властивостей полімерного матеріалу, який використовується при адитивному виробництві. Широке розповсюдження у сучасному FDM 3D друку знайшли ABS пластини та композиційні полімерні матеріали на їх основі (ABS+, ABS Flex, ABS PRO та інш.). До переваг ABS необхідно віднести високу механічну міцність, легкість обробки надрукованих деталей, вологостійкість та інш. Серед недоліків ABS одним із визначальних є наявність термічної усадки, що впливає на точність геометричної форми та розмірів отриманих деталей.

Нерівномірне охолодження в процесі друку призводить до викривлення нижніх шарів деталі (рис.1, а). Наслідком термічної усадки є також відхил реальних розмірів деталі від номінальних, зокрема порушення внутрішніх діаметрів отворів (рис. 1, б). Додатково на відхили реальних розмірів деталі впливає діаметр сопла екструдера принтера.



а



б

Рисунок 1 – Деталь, надрукована з ABS пластику

Серед особливостей підготовки моделі до друку ABS пластиком можна виділити наступні:

1. Необхідність коригування розмірів комп'ютерної CAD моделі фізичного об'єкту із урахуванням термічної усадки матеріалу та діаметру сопла. Виходячи із отриманого досвіду оптимальним є збільшення номінальних діаметрів отворів деталі на 0,2-0,4 мм.

2. Мінімізація щільності заповнення деталі. Висока щільність заповнення збільшує викривлення геометричної форми деталі внаслідок термічної усадки. Значення параметру *fill density*, що лежить в діапазоні 10-25% дозволяє отримувати задовільні за механічною міцністю деталі та підвищує точність їх геометричної форми.

3. Застосування брімів (*brim*), що дає можливість покращити адгезію та зменшити ймовірність деформації нижніх шарів друкованої деталі. Значення параметру *brim width* обирається виходячи із геометрії моделі.

4. Застосування робочої платформи із підігрівом, завдяки чому підвищується адгезія перших шарів друкованої деталі. Зазвичай, діапазон температур робочої платформи вказується виробником конкретного матеріалу. Так, для пластику ABS виробництва Monofilament рекомендовано встановлювати значення температури підігріву робочої платформи у межах 105-120°C [2]. Для пластику ABS+, який характеризується низькою деформаційною усадкою, рекомендовані температури робочої поверхні лежать в діапазоні 80-90°C.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gibson, Ian & Rosen, David & Stucker, Brent. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition. 10.1007/978-1-4939-2113-3.
2. Monofilament. Сравнение материалов [Електронный ресурс]. – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/>

УДК 669.77/78-048.25

Прядко І.В.¹, Алексєєнко О.В.²

¹ студ. гр. ІФ-510м НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

НАНОМОДИФІКУВАННЯ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

Матеріалом досліджень послуговував жароміцний нікелевий сплав ЖСЗДК-ВІ, який застосовується для виготовлення робочих лопаток ГТД.

Для введення порошків модифікатора в розплав розроблена технологія, що складається з трьох етапів. На першому етапі методом порошкової металургії в атриторії змішували порошки нікелевого сплаву з порошком модифікатора. На другому етапі проводили пресування порошків в сталевій прес-формі. Третім етапом було введення порошку в рідкий розплав жароміцного нікелевого сплаву. Атриторну обробку сумішей порошків проводили в три етапи. На першому відбувалося розплющення і розмелювання окремих частинок; на другому - руйнування і перебудова структури частинок за рахунок холодного зварювання різнорідних частинок та утворення шаруватої структури; третім етапом було витончення компонентів шарів і підвищення внутрішньої однорідності частинок. Теоретичною основою атриторної обробки є уявлення про систему куля-порошок як багатокомпонентної в'язкої рідини, інтенсивність переміщення компонентів якої визначається турбулентною дифузією. При обертанні мішалки в рух приводиться вся маса куль, що знаходяться в робочій камері. Безпосередньо мішалкою приводиться в обертання відносно невелика кількість куль, інші приводяться в рух шляхом естафетної передачі імпульсів від кулі до кулі.

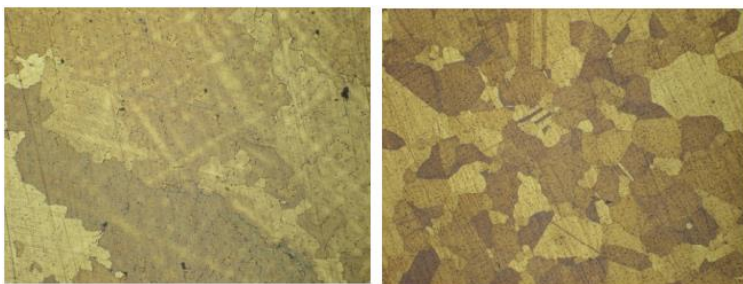
Основою модифікатора є нанодисперсний модифікатор - карбонітрид титану Ti (C, N), відповідний ТУ У 24.6-2424050-001-2002. склад спресованих таблеток: нанопорошок Ti (C, N) і Ti розміром 50...100 нм; порошок Al розміром 20...40 мкм; Al-пудра. Пігулка комплексного модифікатора, потрапляючи в розплав, розчиняється в ньому і рівномірно розподіляється за обсягом розплаву шляхом індукційного перемішування.

Механізм дії наномодифікатору в розплаві полягає в тому, що на поверхні часток Ti (CN) відбувається зародження первинних кристалів аустенітної γ -фази. Наномодифікатор робить дисперсними дендрити первинного аустеніту в сплаві ЖСЗДК-ВІ.

Дослідження макроструктури сплаву в початковому стані показало, що структура сплаву вкрай неоднорідна по перетину. Вихідні зразки мали крупнокристалічну структуру з розміром зерен 3...10 мм. Модифіковані зразки мали більш однорідну, дрібнозернисту структуру з розміром зерен до 1 мм. Таким чином, внаслідок наномодифікування середній розмір зерна зменшився в 6...10 раз.

Дослідження мікроструктури сплаву показало, що у немодифікованому зразку присутні достатньо крупні включення різної морфології, що розташовані по межах зерен. Тугоплавкі карбіди утворюються на стику зерен, що значно знижує міцність сплаву - вони можуть служити осередком руйнування. Деякі включення досягали 14 мкм. У модифікованому сплаві включення значно дисперсніші і розташовуються переважно всередині зерен.

Модифікування сплаву ЖСЗДК-ВІ приводить до істотної зміни структури. Утворення тугоплавких зміцнюючих фаз мають розмір одного порядку 1...3 мкм, одномірно розподілені по всьому об'єму сплаву, не розташовуються в групі. Розмір включень зменшився в 4...5 разів у порівнянні із вихідним станом. [1].



а - до модифікування; б - після модифікування.
Рисунок 1 - Макроструктура сплаву ЖСЗДК-ВІ, х50.

Формування при модифікуванні зміцненого нікелевого твердого розчину і більш розвиненої зерномежевої структури привело до підвищення комплексу механічних властивостей модифікованого сплаву ЖСЗДК-ВІ (межі міцності, межі текучості, відносного подовження і ударної в'язкості) в порівнянні з немодифікованим станом. Механічні властивості визначали на пальчикових зразках після стандартної термозміцнюючої обробки. Досягнуто значне підвищення міцностних і пластичних властивостей: σ_B вдалося підвищити на 8...10 %; σ_T - на 11...13 %; δ - в 1,1...1,3 рази; КСЧ різко підвищена на 40...44 %.

Встановлено, що у всіх зразках мало місце внутрішнє окислення. Більш інтенсивне високотемпературне окислення спостерігали в немодифікованому зразку глибиною ~ 40 мкм в порівнянні з модифікованим зразком, де глибина корозії складала 30 мкм. Таким чином, досягнуто зниження корозійного ушкодження на 10 мкм або 25 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Калініна, Н.Є. Отримання високоміцних алюмінієвих сплавів модифікування ультрадисперсними композиціями [Текст] / Н.Є. Калініна, О.А. Кавац // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – Харків, 2005. - №8 (24). - С. 18-20.

УДК 669.296-048.25

Чушкіна Ю.О.¹, Алексеєнко О.В.²

¹ студ. гр. ІФ-510м НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

МОДИФІКУВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ

Структура жароміцних ливарних сплавів, що використовуються для виготовлення не охолоджуваних та охолоджуваних повітрям лопаток ГТД наряду з їх хімічним складом - нікелева основа та хром (5,5...15 %), кобальт (4,6...15 %), титан (0,9...4,2 %), вольфрам (2,0...18,6 %), алюміній (1,0...6 %), тантал (2,8...12,1 %), є одним із основних чинників, що визначають їх властивості, такі як жароміцність, пластичність, опір втоми та інші. Тому отримання оптимальної структури сплаву є важливою умовою набуття властивостей і забезпечення підвищеної працездатності матеріалу.

Технологічні та експлуатаційні показники робочих лопаток турбін ГТД в значній мірі залежать від мікро- і макроструктури використовуваних нікелевих жароміцних сплавів. На формування сприятливих структурних складових в процесі виробництва лопаток істотно впливає модифікування металу.

При високотемпературній термічній втомі, коли температурні напруги не досягають межі текучості матеріалу, вплив границь зерен і прикордонних γ-фаз має бути аналогічним їх впливу на процес повзучості. В цьому випадку можуть бути загальними і принципи легування. На останній стадії високотемпературної повзучості розвиваються процеси утворення і зростання міжзернових тріщин. Багатьма дослідженнями показано, що ці процеси пов'язані з міжзерновим ковзанням і припливом вакансій в тріщини - зародки і мікропори.

Теорія і практика застосування мікродобавок таких елементів як ітрії, церій, бор, лантан, гафній і цирконій в жароміцні сплави показала їх істотний вплив на структуру кордонів зерен і сплавів.

Висока термодинамічна активність цирконію до ряду металів і неметалів послужила основою його застосування для модифікування різних сплавів. Було визначено вплив модифікування цирконієм на структуру і властивості жароміцних нікелевих сплавів ЖС6У-ВІ і ЖСЗДК-ВІ, додаванням в розплав (за розрахунком) 0; 0,05; 0,15; 0,25; 0,35 і 0,45 % (по масі) цирконія. Встановлено, що модифікування цих сплавів цирконієм зменшило кількість крихкої

складової в макрозломах. Зі збільшенням добавок цирконію зменшувалася відстань між осями дендритів другого порядку, що дозволяє очікувати меншого розвитку дендритних лікваций. Модифікування сплавів ЖС6У-ВІ і ЖСЗДК-ВІ цирконієм призвело до зміни морфології карбідів. Уже при добавці 0,05 % цирконію спостерігалася подріблення гілок евтектичних карбідів типу "китайські ієрогліфи" і їх деяка глобуляризація. Збільшення добавки цирконію до 0,45% призводить до практично повного зникнення карбідів цього типу. [1].

При введенні модифікатора в сплави ЖС6У-ВІ і ЖСЗДК-ВІ тривала міцність сплаву перевищувала вимоги стандарту. Добавка 0,05 % цирконію в сплав сприяла підвищенню його стійкості до перегріву +1255°C, внаслідок чого спостерігали збільшення тривалої міцності до значень, що більш ніж в 2,6 рази перевищували вимоги стандарту і в 2,0 рази перевищували значення тривалої міцності сплаву без присадок цирконію. Зі збільшенням присадок цирконію більше 0,15 % відбувалося зниження жароміцності сплаву. [2].

Розглянуті матеріали впливу модифікування на структуру і властивості жароміцних сплавів дозволили зробити наступні висновки:

1. Технологічні особливості модифікування нікелевого сплаву безпосередньо пов'язані з хімічним складом металу, методом введення модифікатора, температурними умовами плавки металу і кристалізації виливка.

2. Сплави ЖС6У-ВІ і ЖСЗДК-ВІ з поверхневим модифікуванням мають знижену (~ в 3 рази) в порівнянні з металом, отриманим звичайною рівноважною кристалізацією, дифузійну проникність. Це пов'язано зі станом поверхонь розділу ,як в міжосних областях дендритів, так і в міждендритних просторах.

3. Отримання сприятливих структурних складових, помітно подрібненого макрозерна в жароміцних нікелевих сплавах може здійснюватися модифікуванням всього обсягу розплаву (бор, цирконій і т.п.), або поверхневих зон кристалізуемого виливка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лысенко Н.А., Кудин В.В., Долгов Б.В., Цивирко Э.И. Модифицирование цирконием литейных жаропрочных никелевых сплавов. Металловедение и термическая обработка металлов. 1998. №3. С. 14–17.

2. Лысенко Н.А., Кудин В.В., Клочихин В.Г., Цивирко Э.И. Жаропрочные никелевые сплавы, модифицированные гафнием и цирконием. Металловедение и термическая обработка металлов. 1999. №12. С. 22–27.

ВПЛИВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИСОКОКРЕМНИСТИХ СПЛАВІВ ЗАЛІЗА

Висококремністі сплави заліза – феросиліди - застосовуються для роботи в умовах впливу кислих агресивних середовищ. Вони показують універсальні корозійні властивості при дії різноманітних кислот, не містять дефіцитних елементів, відносно дешеві і здібні замінити дорого вартісні матеріали(нержавіючу сталь, гартблей, титан).

Не дивлячись на високу корозійну стійкість застосування феросилідів обмежене через низькі технологічні властивості, механічної міцності та експлуатаційної надійності.. вирішення проблеми підвищення довговічності і надійності литих деталей визначається, перед усім, якісним виконанням технологічних заходів по всіх переділах .

На практиці виробництва вилівок із висококремністих сплавів найбільш розповсюджені дефекти лиття – газові раковини, підкоркова та міждендритна пористість, гарячі тріщини та інші. Утворення цих дефектів пов'язане з негативним впливом газів, розчинених в феросиліді (табл.1). Гази поглинаються металом із атмосфери печі(особливо під час плавки шихти, феросплавів) по ходу плавки в результаті складних дифузійних процесів, а також при транспортуванні та заливці металу в форми.

Таблиця 1 - Вміст газів в процесі плавки феросиліду

N п/п	Проба металу	Вміст газів		
		Водень, $\text{См}^3/100\text{г}$	Азот, %	Кисень, %
1	За розплавом	12,2	0,0102	0,0128
2	Пічна перед випуском металу	4,2	0,0096	0,0067
3	Ківшева	3,96	0,0090	0,0059

За даними [1] при виплавці феросиліду рекомендовано застосовувати марки феросиліцію ФС 75 та ФС 45 ГОСТ 1415-93, в яких вміст алюмінію не повинно перевищувати 2%. Застосування феросиліцію інших марок, які мають відхилення у вмісті цього елемента, призводить до утворення газових та усадкових раковин та тріщин, зниження механічних властивостей , що може призвести до збільшення браку лиття до 70%.

Із таблиці 1 видно, що основна складова частина газів, які входять в феросилід, -водень, який володіє більшою швидкістю дифузій, чим кисень, азот та інші.

Відомо, що кремній знижує розчинність водню в рідкому залізі. В [2] відзначається, що при зростаючій присадці кремнію (до 15%) дифузійна рухливість водню знижується. Ймовірно це відбувається за рахунок того, що атоми кремнію утворюють міцні зв'язки з атомами заліза, сили взаємодії яких значно вище, ніж сили зв'язків атомів заліза з воднем. За даними [3] в процесі кристалізації кристали, що ростуть містять менше газу, ніж рідкий метал, який безперервно насичується газом. При пересиченні водень видаляється із металу в місцях, які мають контакт з атмосферою.

Специфіка виплавки високоремнистих сплавів заліза заключається в обов'язковому нагріванні (на 150...250°C вище $T_{кр}$) після введення всіх складових компонентів, що сприяє значному покращенню якості металу.

Для достатньо надійного визначення ступеню дегазації сплаву і раціональних засобів його розливу застосовують експрес-контроль рідкого металу за газовмістом [4] з використанням портативного газоаналізатора типу ЛЖТ.

Вміст вуглецю в заевтектичних сплавах призводить до утворення крупних виділень графіту пластинчастої форми.

Вуглець в сплаві повинен відповідати евтектичному складу.

Введення міді та селену сприяє утворенню оболочок високо мідистих фаз, які дозволили ізолювати від матриці дисперсний графіт і не металічні включення, що ускладнює накопичення і дифузію газів і сплавів і суттєво впливає на такі параметри, як рідина течучість, теплопровідність, корозійна стійкість та інші.

Марганець відноситься до елементів, які не схильні до пасивації, тому швидкість корозії висококременистих сплавів в основному визначається вмістом кремнію. Кислотостійкість сплаву системи твердий розчин – комплексний карбід вище, ніж системи твердий розчин – графіт. Являючи аустенітоутворюючим елементом, марганець значно збільшує розчиненість вуглецю в γ – твердому розчині. Отримана в міждендритних проміжках структура перешкоджає утворенню крихкості сплаву.

Модифікування сплаву ванадієм приводить до утворенню в розплаві більшої кількості дрібних тугоплавких часток, що утворює предпосилання для об'ємної кристалізації. Вміст вільного азоту знижується за рахунок утворення карбонітридів ванадію.

Найбільший ефект дегазації досягається при комплексному модифікуванні спільно з ітрієм, який забезпечує переведення кисню та сірки із активного стану в пасивний. Таким чином, проведення дослідів по комплексному легуванню і модифікуванню при термочасовій обробці металу з застосуванням методів контролю показали, що використання раціонального управління металургійними факторами забезпечує високу ефективність при виробництві складно легованого корозійностійкого лиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ващенко К.И Химическистойкие отливки из высококремнистых железо-углеродистых сплавов.-М.: Машгиз,1946.-131 с.
2. Самт В.И., Гельд П.В. Физика металов и металовведение.-1973.-Т.35. 1-С. 119-124.
3. Лакомский В.И., Явойский В.И. Газы в чугунах.-К.,1959.-166с.
4. Гедеревич Н.А., Ивахненко Е.И., Грушко В.Г. Метод экспресконтрoля жидкого ферросилида// Республ.конф. «Неметаллические включения и газы в литейных сплавах». Тех.докл.-Запорожье,1988.-С.260с.

УДК 669.74

Алексєєнко О.В.¹, Турченко О.А.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. ІФз-510м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ФЛЮСУ «БАР'ЄР» ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ВИЛИВКАХ З ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

Підвищення якості конструкційних матеріалів є невід'ємною умовою прогресу усіх галузей техніки.

Потреба таких галузей промисловості, як суднобудування, машинобудування в металах і сплавах, здатних працювати при високих і низьких температурах, у високому вакуумі і агресивних середовищах, тривалий час витримувати динамічні і статичні навантаження, може бути задовільна лише на основі удосконалювання технологічних процесів виробництва сталей і сплавів.

Правильне застосування сумішевої зв'язки для шлаків гарантує зниження шкідливих викидів і дефектності виливків, підвищення ефективності витрат і якості сталевого і чавунного лиття, забезпечує гарантоване поліпшення механічних властивостей литих заготовок.

Метою дослідження є створення нових технологій використання флюсу, щоб забезпечити одержання високоякісних сталевих і чавунних виливків, для впровадження цих технологій у виробництві.

Відповідно до зазначеної мети потрібно вирішувати такі основні задачі:

1. Удосконалити технологію використання флюсу перлітового коагулюючого «Бар'єр» в процесі виплавки і розливання у форми сталевих і чавунних виливків у ливарному цеху.
2. Дослідити процеси зниження дефектів у виливках по шлаковим включенням.

3. Забезпечити зниження швидкості зашлаковивання ливарного і плавильного обладнання.

Дослідження проводились при плавке сірого і білого чавунів та сталі у дугових і тигельних індукційних печах.

В процесі випробувань досліджувались два методи введення флюсу "Бар'єр" в ківш:

1. Введення флюсу на дзеркало розплаву металу злитого в ківш з розрахунку - 0,5 кг на тонну. Температура розплаву : сірого чавуну-1380°C, білого чавуну-1530°C, сталі -1620°C.

2. Введення флюсу на дно ковша, з подальшим заповненням його розплавом сталі. Температура розплаву-1620°C.

В процесі дослідних робіт було з'ясовано, що:

- значно зручніше використання коагулюючого флюсу «Бар'єр» у технологічному процесі в порівнянні з використанням звичайного флюсу (суміші битого скла і піску);

- використання коагулюючого флюсу «Бар'єр» перешкоджає швидкому охолодженню металу в ковші при розливанні;

- знижується в два рази кількість дефектів у сталевих і чавунних виливках;

- знижується на 80% загальний рівень браку по шлаковим включенням в виливках з чавуну та сталі отриманих при використанні флюсу перлітового коагулюючого «Бар'єр» .

УДК 669.74

Курінний М. С.¹, Луньов В.В.²

¹ студ. гр. ІФ-118сп НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук. проф. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ВІДСОТКОВОГО ВМІСТУ СІРКИ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ ПІД ЧАС ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ

Сірка має шкідливий вплив на пластичність, ударну в'язкість, зварюваність і якість поверхні сталей (особливо в сталях з низьким вмістом вуглецю і марганцю). Її підвищений вміст в сталях призводить до їх червоноламкості через низькоплавкі сульфідні евтектики, які виникають по межах зерен. Сірка має дуже сильну схильність до сегрегації по межах зерен. Це призводить до зниження пластичності сталей в гарячому стані. Однак сірку в кількості від 0,08% до 0,33% навмисно додають в сталі для автоматичної механічної обробки. Відомо, що присутність сірки підвищує втомну міцність підшипникових сталей. Проте, у більшості випадків від неї намагаються позбавитися.

Залежність механічних характеристик металу від взаємної орієнтації сульфідних включень і напрямку дії руйнівного навантаження (або від орієнтації зразка щодо напрямку прокатки) отримала назву анізотропії механічних властивостей сталі. Особливо сильний вплив анізотропія надає на пластичні властивості металу - відносне подовження, відносне звуження і, особливо, ударну в'язкість.

Явище анізотропії усувається шляхом зниження концентрації сірки в сталі до низького рівня. Як приклад на рисунку 1 показано вплив вмісту сірки на співвідношення значень ударної в'язкості сталі, які отримані при випробуванні поперечних, поздовжніх і вертикальних зразків, вирізаних з безшовних труб. З наведених даних видно, що для усунення анізотропії механічних характеристик сталі концентрація сірки в ній не повинна перевищувати 0,003% ... 0,004% [1].

Для видалення сірки зі сталей часто прибігають до так званої десульфурзації – видалення сірки з металу. Суть процесу десульфурзації металу полягає в переводі сірки з металу в десульфуруючу фазу (найчастіше це шлак). На швидкість і ступінь («глибину») десульфурзації металу впливають: активність сірки в металі і шлаку, наявність поверхнево-активних домішок на поверхні розділу метал-десульфуруюча фаза, величина поверхні контакту метал-шлак, склад і властивості шлаку (перш за все основність, окисність і в'язкість), а також, особливо підкреслюємо, кількість шлаку або іншої десульфуруючої фази.

Для видалення сірки зі сталей часто прибігають до так званої десульфурзації – видалення сірки з металу. Суть процесу десульфурзації металу полягає в переводі сірки з металу в десульфуруючу фазу (найчастіше це шлак). На швидкість і ступінь («глибину») десульфурзації металу впливають: активність сірки в металі і шлаку, наявність поверхнево-активних домішок на поверхні розділу метал-десульфуруюча фаза, величина поверхні контакту метал-шлак, склад і властивості шлаку (перш за все основність, окисність і в'язкість), а також, особливо підкреслюємо, кількість шлаку або іншої десульфуруючої фази [2].

Сірка є поверхнево-активним елементом, її концентрація на поверхні розділу фаз істотно вище, ніж в обсязі металу. Тому при проведенні десульфурзації металу необхідно домагатися збільшення поверхні контакту металу з десульфуруючою фазою (перемішування металу зі шлаком, вдування в розплави порошків шлакоутворюючих компонентів і тп.).

У випадках, коли потрібно отримати сталь з конкретним вмістом сірки, плавку проводять з використанням переробного чавуну з конкретним вмістом сірки та брухту різної якості, тобто контролюють шихту. Десульфурацию, як правило, проводять тільки у випадках, коли вміст сірки не повинен перевищувати 0,010%.

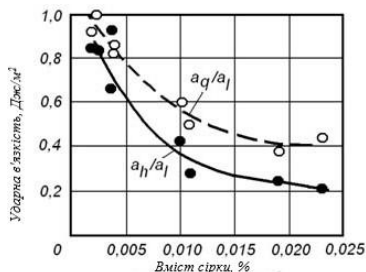


Рисунок 1 - Вплив вмісту сірки на співвідношення ударної в'язкості сталі на поперечних (a_q), поздовжніх (a_l) і вертикальних (a_h) зразках, вирізаних з безшовних труб.

Вміст сірки (S) у високоякісних сталях не перевищує 0,02-0,03 %. У сталях загального призначення допустимий вміст сірки вище 0,03-0,04 %. Спеціальною обробкою рідкої сталі вміст сірки в сталі доводять до 0,005 %. Однак, в окремих випадках підвищений вміст сірки в сталі є бажаним. Прикладом можуть служити автоматні сталі, в які сірка вводиться для отримання тонкої і ламкої стружки. Тому вірогідно для покращення умов механічної обробки виливків необхідно використовувати комплексний підхід для визначення оптимального проценту сірки в сталях різного призначення. Цьому доцільно присвятити наступні дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Информационный портал В мире металлургии STEELTIMES.ru. Теоретические основы металлургического производства. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://steeltimes.ru/books/theory/tomp/141/141.php>
2. Научно-технический портал METALLURGIST.PRO. Влияние серы на свойства стали, возможности десульфурации и поведение серы в условиях окислительной плавки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://metallurgist.pro/metallurgy/steel/electrosteel/vliyanie-sery-na-svoystva-stali-vozmozhnosti-desulfuratsii-i-povedenie.html>

СЕКЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

УДК 658.56; 006.32

Нетребко В.В.¹

¹ проф. НУ «Запорізька політехніка»

ЯКІСТЬ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА АТЕСТАЦІЯ ОСНОВА КОНКУРЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Якісні й конкурентоспроможні товари та послуги, що реалізуються на внутрішньому та зовнішньому ринках, мають відповідати останнім досягненням науки, найвищим техніко-економічним, естетичним та іншим споживчим вимогам. Одним із ефективних засобів підвищення якості товарів і послуг є стандартизація та сертифікація. Проблема забезпечення якості продукції є комплексною науково-технічною, економічною і соціальною проблемою. Значну роль в підвищенні якості продукції відіграють стандарти, які є організаційно-технічною основою систем якості. Поряд з цим в останні десятиліття одним із важливих механізмів гарантії якості стала сертифікація. Сертифікація продукції пов'язана з кількісною оцінкою показників її якості з використанням засобів вимірювання. У свою чергу достовірність і точність вимірювань вивчає метрологія. Тому свою роль відіграє і метрологічне забезпечення якості продукції.

Чинники, що впливають на якість продукції, можуть поділятися на *об'єктивні* (технічний рівень виробництва, устаткування, організаційна підготовка виробництва, рівень технології і ін.) і *суб'єктивні* (особиста зацікавленість в результатах праці, рівень освіти, професійна майстерність працівників і ін.). Модель системи управління якістю постійно еволюціонує від контролю конкретних параметрів виробів до контролю всього процесу і глобального рівня «Плануй – Виконуй – Перевірай – Дій».

Якість можна представити у виді піраміди. Нагорі піраміди знаходиться *якість усієї роботи*, яка виконується для досягнення необхідної якості всієї продукції. Нижче - *якість підприємства*, що пов'язана з забезпеченням організаційно-технічного рівня виробництва і необхідних умов праці. Ще нижче - *якість роботи*, що включає систему планування, прийняття рішень, контроль якості, навчання і мотивація персоналу, якість технологічних процесів і т.п. В основі піраміди - *якість продукції*, що є наслідком якості всієї роботи і визначається перерахованими вище складовими піраміди.

ОСОБЛИВОСТІ ЗМАЩЕННЯ ВУЗЛІВ І МЕХАНІЗМІВ ВАЖКИХ КАР'ЄРНИХ МАШИН В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Змащення вузлів підшипників, зубчастих з'єднань і трибо сполучень машин необхідно для зниження контактних напружень, зменшення сил тертя і зносу деталей, відведення тепла (виділяється при терті), захисту від корозії поверхні тертя, та для видалення твердих абразивних частинок з зони контакту.

На сьогодні системи змащення які застосовуються на кар'єрних машинах мають розгалужений характер та поділяються на індивідуальні та централізовані. При індивідуальній схемі мастило підводиться до кожної тертьової пари окремо від розташованого поруч мастильного пристрою. При централізованій схемі група окремих робочих пар змащується одним загальним пристроєм. Теоретичний наробок в цій науковій проблематики не має системного підходу, зокрема в умовах спрацьовування деталей та вузлів важких кар'єрних машин. Так, за часом дії системи змащення можна класифікувати на періодичні і безперервні, за способом подачі мастила – на примусову і соматичну. Тому проблема вибору оптимальної схеми змащення в особливих умовах абразивного зношування механізмів важких кар'єрних машин є актуальною та важливою науково-технічною задачею.

Аналіз апіорі показав, що кар'єрне обладнання працює в важких умовах на природних ґрунтових майданчиках, його робочі частини, механізми піддаються дії осадків, часток абразиву, значним перевантаженням, і інше. Це спричиняє велику інтенсивність зносу механізмів, деталей. Велике значення приймають також кліматичні умови. Під дією сонячних променів руйнується верхній шар конвеєрної стрічки, погіршує охолодження, знижує надійність електричного обладнання і інше. При роботі на морозі відбувається примерзання порід в ківшах, знижується продуктивність екскаваторів, глиби льоду підвищують динамічні навантаження, вібрації, руйнація рам, вузлів кріплення роторної стріли і інше. Примерзання порід к барабану конвеєру викликають нерівномірне натяг стрічки, збігання стрічки в бік, заїдання стрічки.

Правильно спроектовані системи подачі мастила, його густина, обсяг, швидкість подачі, тиск у системі мащення повинно запобігати процесам холодного зварювання, виривання, а також запобігати адгезії (прилипання) робочих поверхонь, особливо при великих контактних навантаженнях, таке змащення забезпечує мінімізацію затрат енергії на подолання сил тертя, а

також зниження величини зносу конструктивних елементів вузлів тертя. Аналіз умов спрацьовування деталей кар'єрного екскаватора показав, що великі контактні навантаження зароджуються в редукторах робочих лебідок, в механізмі повороту, в канатах при обхваті барабанів і блоків, в механізмі ходу, сидлових підшипниках і т. д. Для деталей цих механізмів, які рухаються з невеликою швидкістю відносно один одного з великим навантаженням, застосовують більш в'язкі, але здатні витримувати великі контактні навантаження мастильні матеріали, наприклад графітові мастила, в яких знаходяться частинки графіту які забезпечують змащення при величезних контактних навантаженнях між поверхнями, що труться. Недостатньо в'язкий мастильний матеріал вичавлюється з зазору між поверхнями тертя, товщина масляної плівки зменшується до повного розриву, приводячи до сухого тертя. Навпаки, чим вище швидкість і нижче навантаження, тим менше повинна бути в'язкість мастила, щоб воно встигало «змочувати» і «розтікатися» по контактним поверхням.

Так влітку коли температура становить до 10...25°C для змащення застосовують більш в'язкі мастильні матеріали, ніж взимку коли температура становить приблизно -5...20°C, а в умовах особливо низьких температур(до -40...50°C) – використовують мастила з дуже низькою в'язкістю, щоб компенсувати загустіння.

Періодичність заміни мастила в окремих вузлах тертя залежить від конкретних умов експлуатації і характеристик мастильного матеріалу.

Періодичність заміни мастил в ваннах редукторів становить 2 рази в рік, витрати консистентного мастила – за потребою, в результаті щозмінного огляду машини. Витрати мастила на канати робочих лебідок визначається періодичністю змащення, зазвичай кожні 240 годин роботи, канати підвіски стріли змащують через кожні 6 місяців. Заміну рідких мастил при переході з літнього режиму на зимовий і навпаки слід проводити восени або навесні при температурі від 0 до -5°C, заміну густих мастил в автоматичних системах змащення – при температурі 2 ... 6°C. Обігрів редукторів повороту, напору, ходових редукторів і станцій густого змащення слід включати при температурі не вище -5°C, але при роботі (зазвичай при пересуванні) екскаватора з ухилом більше 5° обігрівачі повинні бути відключені.

Таким чином проведені дослідження дали змогу рекомендувати мастила – TermoBent 770G, ELF EXCELLIUM Full-TECH, ISOVOLTINE P series, нові марки мастил і консистентних мастил провідних виробників Wolf Oil Corporation, Exxon Mobil, TOTAL Lubricants. Головне це пов'язано і з тим, що данні мастила можуть відрізнятися від традиційних ослабленим впливом на навколишнє середовище.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СКЛАДУ СПЛАВІВ НА МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Хімічний склад матеріалу не завжди може гарантувати ті чи інші властивості сплавів. В залежності від того, які хімічні елементи входять до сплаву, можуть утворюватися наступні структури: механічні суміші, хімічні сполуки, різні тверді розчини, фази та електронні сполуки. Дуже важливим є стан матеріалу, його структури, а саме термодинамічно стабільний чи не стабільний. В процесі експлуатації, термодинамічно не стабільна структура може змінюватись, тим самим викликати зміни у властивостях матеріалу. Ці зміни властивостей можуть бути корисними, а можуть прискорювати процес руйнування матеріалу. Прикладом може бути виділення фази з твердого розчину. Коли з твердого розчину виділяється карбідна фаза, то його властивості міцності зменшуються, що може призводити до прискорення руйнування під впливом навантажень. Але, якщо цей процес відбувається коли руйнування носить характер зношування, то виділення твердої карбідної фази сприятиме зменшенню зносу. В сталях і сплавах, як зазначалося вище, можуть утворюватися різні фази за формулою метал-неметал, в певному співвідношенні. Найбільш розповсюдженими є карбіди, нітриди та інтерметаліди. Важливим є не тільки факт наявності фази, а й те, в якому стані вона знаходиться, як вона розповсюджена, де вона знаходиться в середині зерен чи сконцентрована на межах зерен, відбуваються з нею будь-які перетворення, під час експлуатації, чи ні, тощо.

Розподіл карбідної фази між зерном та межею зерен впливає на рівень механічних властивостей сталі та процес утворення та розповсюдження тріщини. Відомо, що процес утворення та розповсюдження тріщин в значній мірі залежить від пластичних властивостей матеріалу. Чим вищі пластичні властивості матеріалу, тим більша частка пластичної деформації буде присутня в процесі руйнування. За таких умов процес руйнування носитиме в'язкий характер. Відповідно до цього, структури, які мають низький рівень пластичних властивостей будуть руйнуватися крихко. Дослідження швидкості розповсюдження тріщини, в реальних умовах експлуатації, виявили її залежність від розподілу карбідної фази та механічних властивостей, особливо пластичних. При збільшенні пластичності та в'язкості швидкість руху термічно утомної тріщини зменшується.

Збільшення розміру карбідів та їх концентрації на межах зерен, призведе до зменшення рівня пластичних властивостей та збільшення швидкості

розповсюдження тріщини. Для матеріалів, які працюють при високих постійних температурах й відповідно мають всі умови для в'язкого руйнування, потрібно навпаки створювати умови для зменшення пластичних властивостей, що дасть можливість підвищити міцність при цих температурах. Таким чином для різних умов експлуатації потрібні різні види структур, навіть протилежні. Не менш важливим є розмір зерен сплаву. Матеріали з дрібнозернистою структурою, у порівнянні з крупнозернистими, мають більшу пластичність та в'язкість й відповідно характеризуються в'язким характером руйнування. При високих температурах властивості матеріалів змінюються, а саме: показники пластичності збільшуються, а міцності зменшуються, що є небажаним. Тому для виробів чи деталей, які експлуатуються при високих температурах, потрібні матеріали з крупнозернистою структурою. Для інших умов експлуатації найбільш ефективними є дрібнозернисті структури.

На підставі вищезазначеного, слід зробити висновок, що в конкретних випадках, необхідно всебічно аналізувати умови експлуатації та відповідно до них вибирати найбільш прийнятну структуру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попов С. М. «Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні : Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, БАТ «Мотор Січ», 2010. – 367с

УДК 620.178.76+621.891

Popov S. M.,¹ Shumykin S. O.,² Laptieva H. M. ²

¹ проф. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

MATHEMATICAL SIMULATION STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED DEPOSIT LAYERS

Alloys with high initial hardness generally have high wear resistance, but the exception to this general rule are alloys, in the structure of which a significant amount of retained austenite is formed. In the process of wear of such steels with a metastable austenitic structure under the influence of the energy of abrasive grains on the friction surface, deformation martensite may form.

This process is closely related to the redistribution of energy costs, that is, its dissipation, which triggers mechanisms that strengthen the working surface of the parts. The sensitivity to the adaptation of steels and alloys to external mechano-energetic influences, leading to the martensitic ($\gamma \rightarrow \alpha$) transformation, depends on the temperature of the martensite point, which is largely determined by the content of carbon and alloying elements in the solid solution. The formation of

deformation martensite is accompanied by a complex shear in the crystal lattice of metastable austenite. With an external force during wear, the metal of the working surface receives the energy necessary for the ($\gamma \rightarrow \alpha$) transformation [2, 3]. Analysis of the dependence of the mass fraction of martensite on the magnitude of the deformation stresses showed that an increase in the mass fraction of martensite is observed in proportion to the deformation stresses of the material.

It is very important for the study of this topic the construction of a multicriteria mathematical model of the tribosystem based on an active experiment. Planning a multiobjective equation should have a clear algorithm. The first stage includes the analysis of each of the systems: metallurgical, tribotechnical, technological, operational, economic. After that, they are differentiated and the main criteria are selected, which to the greatest extent determine the process of metal destruction in this particular case of the operation of parts. After checking the factors for compatibility and correlation, they are encoded and the variation intervals are selected. The model can be of several types: differential, fractional rational, trigonometric, or polynomial. The design matrix of the experiment can be full factorial or fractional factorial, which takes into account the number of interactions between factors.

Next, it is necessary to find out the deviation of the results from the arithmetic mean, that is, the total variance of the reproducibility of the experiment. It characterizes the dispersion of the results of experiments at a certain combination of factor levels. If the comparative number of variances is more than two and one variance significantly exceeds the others, then Cochran's test can be used to determine their homogeneity. If this criterion is not met, it is necessary to increase or decrease the number of parallel experiments. After calculating the matrix, it is necessary to check the adequacy of the model according to Fisher's criterion and to assess the significance of the coefficients of the equation. Compliance with all criteria allows you to build a linear equation. An insignificant coefficient at a factor means that this factor does not affect, or does not significantly affect the optimization parameter. However, the value of the regression coefficient is influenced not only by the role of this factor, but also by the selected interval of variation. This means that with very narrow limits, the change in the optimization parameter can indeed be very small. However, this alone cannot yet conclude that the factor is insignificant. Therefore, the statistical signal of the factor should be verified, if possible, or at least analyzed from a technological point of view. That is, before the full factorial experiment, star or null points are added, followed by a central compositional orthogonal or rotatable second order planning. At the end, a quadratic equation is obtained. With the further insignificance of the coefficients, the degree of the equation is increased to the third order plan, and so on.

An attempt was made to reproduce the mathematical equation of the dependence of wear resistance, hardness and the amount of the hardening phase on exter-

nal conditions. The regression equations were made with a certain tolerance, because we used the data of standard materials such as Cr12 and Cr12V (these steels are already studied) with certain assumptions, so that we can identify the effect of the chemical composition on the parameters we have chosen.

The task of adapting materials to external wear conditions is to predict the effect of external load conditions in combination with $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation processes, at which the maximum production of deformation martensite in the working metal layer will be achieved. Analysis of the data, when comparing the initial and final amounts of retained austenite, shows that it is decreasing. At the same time, the degree of this hardening under the most favorable conditions, when the volume of transformations of unstable austenite is maximum, still does not provide a sufficiently high microhardness. However, the use of an unstable austenitic structure in combination with martensite and a hardening solid phase is the optimal solution. Therefore, it is very important to control the structure and development of martensitic transformations in alloys, because this will significantly improve their technological properties. But the process of scientific research and proof of these phenomena requires a deeper study.

УДК 621.891

Попов С.М.¹, Шумикін С.О.², Суле Р.³

¹д-р філос.наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

²к.т.н, доц. НУ «Запорізька політехніка»

³студ. гр. ІФ-417 НУ «Запорізька політехніка»

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Спрацьовування деталей машин та обладнання являється основною причиною поломок спецтехніки. Особливо інтенсивному абразивному зношуванню піддаються робочі органи землерийних машин, ножі грейдерів та бульдозерів. Пошук нових технологій зміцнення робочих органів дорожно-будівельних машин з кожним роком набуває все більшої актуальності.

Зношування ножів грейдерів перш за все пов'язано з руйнуванням поверхневого шару ножів. При цьому треба визначити тип провідного процесу руйнування поверхні.

Аналіз спрацьованої поверхні ножів грейдера показав, що зношується значна частина робочої кромки (матеріал ножів – сталь 65Г). У різних ділянках виявлено сколи, зрізи, подряпини, поверхневого шару та наявність продуктів окиснення, які мають чітко виражений напрямок. Встановлене складне

зношування: абразивне, ударно-абразивне, гідро-абразивне, газоабразивне, корозійне.

Для підвищення стійкості деталей проти зношування випробувано іноплазмове покриття (ІПП) поверхні. Основним методом нанесення таких покриттів являють хімічні осадження з газового середовища і конденсація твердої речовини в умовах іонного бомбардування. Основною перевагою це є можливість регулювання температурного процесу (близько 300-800°C). Було вибрано покриття на основі Ti тобто TiN - Cr₂N. Нанесення його відбувалося шляхом устаткування « Булат-3».

Металографічними дослідженнями було встановлено, що покриття TiN- Cr₂N має найкращу адгезію при товщині від 2 до 4 мм. В іншому випадку фіксується порушення цілісності поверхневого шару. При товщині покриття понад 4 мм в процесі зношування може відбуватись його відшаровування. Випробування показали, що застосування іонно-плазмового покриття TiN- Cr₂N товщиною 4 мм дозволяє підвищити зносостійкість ножів зі сталі 65Г у 2-3 рази.

Підвищення зносостійкості ножів грейдера з покриттям TiN- Cr₂N, при встановленому оптимальному значенні товщини іонно плазмового покриття обумовлено наявністю титану, а корозійна стійкість – хрому.

Рекомендовано технологію нанесення іонно-плазмового покриття що дозволяє отримувати якісні відновлені зносостійкі робочі поверхні ножів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов С. М. «Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні : Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, БАТ «Мотор Січ», 2010. – 367с.

2. Попов, С.М. Аналіз характеру зношування і визначення основних критеріїв працездатності скребків бетонозмішувачів [Текст] / С.М. Попов, С.О. Шумикін, І.М. Білоник, Є.Я. Губар // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2018. – №2. – С. 84 – 92.

3. Попов, С.М. Багатокритеріальний підхід до аналізу визначення основних критеріїв зношування деталей [Текст] / С.М. Попов, С.О. Шумикін, І.М. Білоник, О.М. Захаренко // Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference (February 5-7, 2020). Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. Pp. 1048 – 1053. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

УДК 676.164.02:621.791

Савонов Ю.М.¹, Куликовський Р.А.², Суле Рамат³

^{1,2} канд.техн.наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»

³студ. гр.ІФ – 417

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ УСТАТКУВАННЯ З ДВОФАЗНОЇ СТАЛІ ТИПУ Х21Н5Т

Застосування двофазних аустенітно-феритних хромонікелевих сталей, як конструкційного матеріалу, при виготовленні устаткування глиноземного, целюлозного виробництв, що експлуатується в лужних середовищах дозволяє зменшити споживання нікелю на 40-50 %, збільшити довговічність устаткування й зменшити витрати на його ремонт, знизити матеріалоемність виробів.

Для виготовлення зварних конструкцій із двофазних аустенітно-феритних сталей зазвичай використовуються присадні матеріали, розроблені для зварювання аустенітних хромонікелевих сталей, що не завжди виправдане.

Метою і завданням цієї роботи є: розробка технології зварювання сталей типу Х21Н5Т стосовно до апаратів, що експлуатуються в лужних середовищах.

Дослідження проводили на наплавленому металі й зварних з'єднаннях аустенітно-феритної сталі марки 10Х21Н5Т (ЭИ-811). Ручне дугове зварювання робили із застосуванням промислових марок електродів (ЭА 395\9 (10Х15Н25АМ6), ОЗЛ-6 (06Х25Н13), ЦЛ-11 (08Х19Н10Б), ОЗЛ-7 (08Х18Н9Т). Зварне з'єднання виконували також аргонодуговим способом неплавким електродом з присадкою, яка ідентична за складом сталі 10Х21Н5.

Корозійну стійкість зразків у 40 %-ному розчині їдкого натру оцінювали гравіметричним методом.

Результати випробувань показали, що корозійна стійкість аустенітного наплавленого металу вище, ніж основного металу з аустенітно-феритною структурою і тим вище, чим більше вміст нікелю в металі зварного шва. Відзначається переважне розчинення зони термічного впливу. При зварюванні дротом 10Х21Н5Т спостерігалася рівномірна корозія як основного, так і наплавленого металу (рис.)

Переважне розчинення основного або наплавленого металу відсутнє, коли електродні потенціали їх рівні або відрізняються незначно. Така поведінка має місце при використанні в якості електродного матеріалу дроту марки 10Х21Н5Т, що ідентичний до складу основному металу.

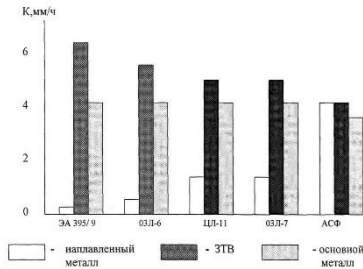


Рис. - Корозійна стійкість зварених з'єднань сталі 10X21H5T

Корозійні випробування зразків зварних з'єднань, виконаних з різними погонними енергіями показали, що швидкість корозії їх монотонно збільшується з ростом величини тепловкладення, що пояснюється збільшенням вмісту фериту, як у наплавленому металі так і в ЗТВ. На швидкість корозії металу зварного з'єднання впливає хімічний склад наплавленого металу і співвідношення феритної і аустенітної складових. Мінімальна швидкість корозії металу ЗТВ і зварних швів відповідає вмісту в структурі 35-40 % фериту.

Висновки

1. Корозійне руйнування зварних з'єднань сталі 10X21H5T, виконаних аустенітними зварювальними матеріалами у лужних середовищах локалізується в зоні термічного впливу.

2. Переважному розчиненню підлягає феритна фаза металу зварного шва, як менш легована нікелем.

3. Зварювання двофазних сталей доцільно вести із застосуванням електродних матеріалів, ідентичних до складу основного металу, на малій величині погонної енергії, уникаючи перегріву.

УДК 621.791.03:621.3.061

Савонов Ю.М.¹, Куликовський Р.А.², Суле Рамат³

^{1,2}канд. техн. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»

³студ. гр.ІФ – 417

СХЕМОТЕХНІКА ІНВЕРТОРНИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Розвиток сучасних технологій в машинобудуванні та, особливо, в авіагалузі вимагає використання робототехніки, адитивних технологій та сучасних зварювальних джерел. Найбільш прогресивними є інверторні зварювальні джерела. Вони забезпечують стабільне живлення зварювальної дуги, різноманітні вольт-амперні характеристики, дозволяють використовувати їх в

процесах MMA, MIG/MAG, TIG зварювання. Крім того, завдяки високій частоті роботи інвертора вони мають малу масу та габарити, при відносно великій потужності.

Існує декілька схем інверторів:

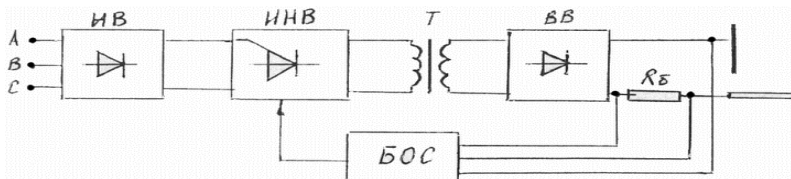
Мостова схема. Переваги - відносно великий струм живлення дуги. Недолік – використання більшої кількості транзисторів, що збільшує вартість виробу.

Напівмостова схема, або косий міст. Менша кількість транзисторів, але й менша потужність.

«Конденсаторний баласт». Для зварювання в MMA-технології використовується реактивний опір конденсатора. Компонувки відповідає класичній схемі «PUSH-PUL».

Резонансна схема. Для обмеження струму короткого замикання використовується послідовний LC резонансний контур.

Схема інверторного джерела живлення виглядає так (рис.):



«Блок випрямлення – батарея конденсаторів – інверторний блок – силовий трансформатор – випрямний блок вторинної напруги – схема захисту від короткого замикання». Крім того в складі інвертора можуть бути додаткові блоки: антипригар, гарячий старт та блок плавного спадання зварювального струму наприкінці процесу.

Схемотехніка блока інвертора повинна забезпечувати розкачку силового трансформатора на високих частотах. Для цього можуть використовуватися транзистори двох різновидів:

IGBT - це гібрид уніполярного та біполярного транзисторів. Має ізольований затвор та силові виводи колектор-емітер. Переваги – велика потужність, струм до 80 А. Недолік – гранична частота роботи не більше 40 кГц. Але на цих частотах не вдається використовувати всі переваги інверторних джерел живлення. Крім того, опір переходу К-Е у відкритому стані складає 0,2-0,3 Ом. Тому для охолодження транзисторів використовуються масивні алюмінієві радіатори та потужні вентилятори.

MOSFET – це уніполярний транзистор у чистому вигляді. Переваги – гранична частота роботи 1-2 мГц. Частота роботи інвертора може досягати 100 кГц, та обмежується тільки магнітними властивостями силового транс-

форматора з феритів. Крім того, опір переходу істок-сток у відкритому стані складає 5-10 мОм. Тому радіатори для охолодження потрібні зі значно меншою площею розсіювання. Це дає значну перевагу в плані зменшення габаритних розмірів всього інвертора Недолік – більша вартість у порівнянні з IGBT-транзисторами.

Силовий блок інверторного джерела може забезпечити струм живлення дуги до 300 А. Для збільшення потужності інверторного джерела використовують два силові блоки, які з'єднують паралельно.

Висока частота на виході трансформатора дозволяє обійтися без використання габаритних згладжувальних дроселів та ефективно проводити зварювання нержавіючих сталей та титанових сплавів.

УДК 621.791.92:629.4.02

Попов С.М.¹, Залозецький В.В.²

¹проф., д-р філос. наук

²студ. гр. ІФ-319 НУ«Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ РУЙНАЦІЇ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВА ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ

На сьогоднішній день залишається нагальною проблема пошуку оптимальних технологій зміцнення деталей що швидко руйнуються в агресивних середовищах зокрема колісні пари локомотива тому, що безпека руху поїздів в значній мірі залежить від надійної роботи колісних пар як найбільш навантажених елементів ходових частин рухомого складу.

В ході дослідження характеру руйнації бандажів колісних пар нами було проведено аналіз механізму зношування. Аналіз показав, що переважаючим процесом руйнування поверхні є тертя в середовищі напівзакріпленого абразиву з ударним навантаженням. Виявлено, що причиною саме руйнування поверхні тертя є напівзакріплений абразив кварцевий пісок SiO_2 що наспівають під колісні пари щоб подолати буксування, а також зерна абразиву занесені на рейки вітром.

Аналіз поверхонь руйнації показав, що максимальний знос бандажа фіксується в зоні гребеня бандажів колісних пар. Інтенсивність зношування гребеня прямо впливає на довговічність бандажів колісних пар. Зношування гребенів коліс рухомого складу залізниць негативно впливає на їх нормативні експлуатаційні геометричні параметри. При досягненні максимального зносу ($\Delta l \geq 18$ мм), колісні пари вилучаються з експлуатації для повного відновлення поверхонь кочення коліс з виконанням обточок за ремонтними профілями, що приводить до зменшення їх ресурсу. Від довговічності бандажів залежить строк служби всієї колісної пари локомотива, тому, що при гранич-

ному зношуванні бандажів необхідно робити викочування колісномоторного блока, що призводить до зростання собівартості перевезень і зниження конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Для підвищення зносостійкості деталі які працюють у визначених умовах нами було вирішено застосувати наплавлення матеріалів за допомогою електродугового відновлювального наплавлення. Зношену поверхню гребеня відновлюють електронаплавленням спеціальними дводуговими апаратами А-482 під флюсом з викочуванням колісних пар з-під локомотива, з подальшою обробкою на верстаті. Рекомендується також наплавляти гребені бандажів без викочування колісних пар з-під локомотива дводуговим апаратом Р-643 з подальшою обробкою на верстаті. В умовах депо обточку бандажів без викочування колісних пар виконують на спеціальних колісно-фрезерних верстатах КЖ-20М. Наплавлення зношених гребенів дозволяє приблизно в півтора разу скоротити зняття металу з бандажа при його обточуванні для отримання нормального профілю і продовжити термін служби бандажа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Сапронова С., Ткаченко В., Зуб Є. Ресурсозбереження при відновленні коліс залізничного рухомого складу // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту імені В.І.Далі. 2017. № 3. Вип. 233. С. 183-189

Черняк Г., Кравченко К., Кравченко К, Гріндей О. Аналіз методів продовження терміну служби бандажів колісних пар// Вісник НТУУ «КПІ». 2014. № 2. Вип. 71. С. 153-157

Наукове електронне видання

Можна використовувати в
локальному та мережному режимах

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2021.

Інженерно-фізичний факультет

Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної
конференції серед студентів, викла-
дачів, науковців, молодих учених і аспірантів 19–23
квітня 2021 року

Один електронний оптичний диск (DVD-
ROM); супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. № 295

Видавець і виготовлювач
Національний університет
«Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського,
64 Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.