МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2023
Інженерно-фізичний факультет

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

24–28 квітня 2023 року

Електронне видання на DVD-ROM

м. Запоріжжя

УДК 004(06)

Т39

Рекомендовано до видання Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»
(протокол № 9 від 29.05.2023 р.)

Упорядник Михайло ГНАТЕНКО

Редакційна колегія:

Вадим ШАЛОМЄЄВ , д-р техн. наук, професор, (відпов. ред.)
Олексій КУЗЬКІН, д-р техн. наук, професор;
Василь ГЛУШКО, канд. техн. наук, доцент;
Олександр КЛИМОВ, канд. техн. наук, доцент;
Микола АНТОНОВ, канд. техн. наук;
Віра САВЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент;
Олександр МАЛИЙ, канд. техн. наук.;
Микола КАСЬЯН, канд. техн. наук, доцент;
Владислав КОРОЛЬКОВ, канд. екон. наук, доцент;
Микола ДЄДКОВ, канд. іст. наук, доцент;
Олена ВАСИЛЬЄВА, д-р екон. наук, професор;
Ірина ПУЩИНА, канд. пед. наук, доцент;
Юрій ФІЛЕЙ, канд. юрид. наук, професор;
Таїсія ГАЙВОРОНСЬКА, канд. філос. наук, доцент;
Михайло БРИКОВ, д-р техн. наук, професор;
Наталя ВИСОЦЬКА, начальник патентно-інформаційного відділу;
Наталя САВЧУК, начальник редакційно-видавничого відділу;
Сніжана ВИЧУЖАНІНА, керівник відділу наукової роботи студентів;
Юлія ЧУШКІНА, провідний фахівець відділу наукової роботи студентів;
Сергій ЛЕОЩЕНКО, голова НТСА

Т39 **Тиждень науки-2023. Інженерно-фізичний факультет.** Тези доповідей науково-технічної конференції, Запоріжжя, 24-28 квітня 2023 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 75 с. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

ISBN 978-617-529-407-9

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

ISBN 978-617-529-407-9

© Національний університет
«Запорізька політехніка»
(НУ «Запорізька політехніка»), 2023

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ПРИКЛАДНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Іванченко Є.Ю., Волков Г.П., Вініченко В.С.
Дослідження впливу параметрів деформаційного перероблення на міцність вольфрамоторієвого сплаву 7

Гіржон В.В.
Лазерне азотування титанового сплаву ВТ3-1 8

Айкін М.Д., Шаломєєв В.А.
Визначення оптимальної температури гартування нового біорозчинного магнієвого сплаву 10

Джуган О.А., Ольшанецький В.Ю.
Порівняння титанових порошкових матеріалів зі сферичною і несферичною формою частинок 12

Фасоль Є.О, Кубіч В.І
Вплив способу нанесення ущільнювальних покриттів на коефіцієнт лінійного температурного розширення 14

Ольшанецький В.Ю., Кононенко Ю.І., Золотаревський І.В.
Про деякі особливості фазових переходів в чистому залізі під дією зовнішніх факторів 16

Глотка О.А., Єсауленко С.Л.
Термодинамічні аспекти фазових перетворень в подвійних металевих системах 17

Глотка О.А., Демідов Д.О.
Взаємозв’язок між хімічним складом і карбідами в ливарних жароміцних нікелевих сплавах 19

Ярмошенко Д.В., Грабовський В.Я.
Визначення режиму відпалу нової штампової сталі 4Х3Н3Г7М7Ф з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації та дисперсійним твердінням 21

Лазечний І.М., Кононенко Ю.І., Лисиця О.В., Корнійчук Д.Ф.
Способи визначення тривалості нагрівання виробів при термообробці 23

Біліонок Д.І., Ткач Д.В., Педаш О.О.
Вплив технології виготовлення катодів на якість покриття лопаток турбін 25

Джус А.В., Виноградський Д.О.
Вплив атомно-магнітного стану аустеніту на стійкість до піттингової корозії сталі aisi 304 26

СЕКЦІЯ «МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ, МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

Іванов В. Г., Матвейшин М. В.
Вдосконалення технологічних параметрів виробництва поршневих кілець зі спеціальних сірих чавунів 28
Yurii Goltvianitsa, Volodymyr Sazhnev, Yuriy Torba, Ruslan Bekhter
Prediction and avoiding "debris" defect in investment castings of turbine blades applying analytical and control methods 29
Кузовов О.Ф., Малий О.В., Хиль А.А.
Рішення проблеми живлення виливка «Куля-баба 5т» 31
Івахненко Є.І., Майстренко О.В.
Вплив вібрації на структурні елементи високолегованих сплавів 34
Щербина А.М., Сергієнко О.С.
Дослідження можливостей зменшення викидів пилу металургійними підприємствами 36
Сапронов Д.С., Кудін В.В., Дяченко О.О.
Можливості лиття за газифікованими моделями 38
Тихий Р.С., Василевська Я.А., Пархоменко А.В.
Використання САПР для виготовлення ливарних форм 40
Дібров Я.А, Гнатенко М.О.
Використання віртуальних середовищ при підготовці студентів ливарників 42

СЕКЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

Нетребко В.В.
Вплив рухомого середовища на напруженний стан меж зерен та мікротріщин 44
Кирилаха С.В., Завгородній О.В., Білоник І.М.
Аналіз сучасних методів отримання титанових порошків для адитивних технологій 45

Kuts D.O., Efanov V.S., Laptieva H.M.
Application of additive technology in the production of aviation gas turbine engines combustion chamber wheels 47
Куц Д.О., Єфанов В.С., Лаптєва Г.М.
Перспективи застосування адитивних технології у авіабудуванні 49
Білоник Д.І., Попов С.М., Білоник І.М., Кирилаха С.В.
Структура і властивості зливків титану отриманих за технологією ЕШП 51
Білоник Д.І., Попов С.М., Білоник І.М., Кирилаха С.В.
Електрошлаковий переплав у відкритому кристалізаторі електродів що витрачаються, виготовлених з відходів листової обрізі титану ВТ1-0 53
Терещенко В.В., Бажміна Е.А.
Теоретична база створення моделей на чпу верстатах 55
Бажміна Е.А., Юренко С.А.
Моделювання конструкцій 56
Міщенко В.Г., Бажміна Е.А., Шевченко Д.О.
Експериментальна перевірка результатів дослідження впливу схеми гарячої деформації сталі 10ХФТБЧ для коліс автотранспортних засобів 57
Міщенко В.Г., Павлюк О.А.
Контроль параметрів цементованого шару досліджуваної сталі за допомогою диференціального дилатометра 60
Шишкін І.Р., Корнієнко О.Б.
Сучасні програми для проектування електричних схем 62
Доновська Д. В., Бовкун С. А.
Геометрія в дизайні інтер'єру 64
Білоник Д.І., Капустян О.Є., Лаптєва А.М., Маліцкій І.П.
Обгрунтування застосування електрошлакового процесу для рециклінга відходів обрізі титану ВТ1-0 66
Попов С. Н., Морозов А. В.
Теоритичне дослідження зносостійкості сталей і наплавленних сплавів від фізико-механічних характеристик 68
Бойко С.Ю., Лаптєва Г.М., Єфанов В.С.
Вплив розміру скінченних елементів на розрахункові напруження зминання у зоні контакту кульки з доріжкою кочення радіального шарикопідшипника 70

Скоробогата М.В., Мітяєва З.А.
Вивчення інженерної і комп'ютерної графіки в умовах дистанційного навчання 72
Попов С.М., Чернєв Д.А.
Аналіз умов експлуатації зношування, руйнації поверхней тертя шарошки бурового долота та розробка технології зміцнення 73

СЕКЦІЯ «ПРИКЛАДНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

УДК 669.018.045
Іванченко Є.Ю.[1], Волков Г.П.[2], Вініченко В.С.[3]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ПЕРЕРОБЛЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ВОЛЬФРАМОТОРІЄВОГО СПЛАВУ

На сьогодні найбільш важкотопким металом, який виробляється промисловістю, є вольфрам. На його основі досить широко застосовуються дисперснозміцнені композиційні матеріали. Вони уявляють собою вольфрамову матрицю, в яку штучно введені частинки зміцнювальної фази, частіше за все, оксиди лантану, ітрію або торію. Дріт із цих сплавів застосовується для виготовлення різноманітних деталей, зокрема, пружин, гачків, зварювальних електродів, де необхідні міцність при високих температурах.

Зменшення діаметра дроту до потрібного значення здійснюють протягуванням кованих прутків через велику кількість фільєр. При цьому ступінь обтиску за кожне протягування обмежене міцністю дроту за фільєрою. Кількість протягувань визначає продуктивність даного процесу. Тому з метою підвищення цієї характеристики бажано проводити волочіння з якомога меншою кількістю протягувань, а для цього бажана висока міцність заготовок при температурах волочіння. Тому дослідження впливу технологічних параметрів процесу волочіння на міцність вольфрамового дроту за фільєрою досі актуальна проблема.

У зв’язку з цим метою даної роботи було дослідження впливу технологічних параметрів процесу деформаційного перероблення вольфрамових сплавів на міцність вольфрамового дроту за фільєрою. Об’єктом досліджень був вольфрамоторієвий сплав ВТ15, що виробляється у промислових масштабах. Предметом досліджень були структура та властивості вказаного сплава.

Для проведення досліджень в даній роботі використовували прутки діаметром 2,75 мм із сплаву ВТ15. Його хімічний склад наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідженного сплаву, % мас.

Марка сплаву	ThO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	Mo
ВТ15	1,5	0,0011	0,0015	0,003	0,003	0,005

Випробування на розтяг проводили за стандартною методикою у відповідності з ГОСТ 9651-84 «Методи випробування на розтягування при підвищених температурах до 1200 °С» на розривній машині FM-1000.

На деформування структури і властивості волокон в процесі волочіння впливають ряд факторів, зміною величини яких зручно регулювати властивості даних сплавів. Тому із залученням методу математичного планування експерименту був проведений аналіз впливу на механічні властивості волокон: температури волочіння, ступеню обтиснення за перший і наступні переходи волочіння. За результатами дослідів, проведених відповідно до матриці планування, отримана модель, що характеризує залежність істинних напружень (S_{icm}) від вказаних параметрів процесу волочіння.

Отримана таким чином математична модель дозволяє визначити значення параметрів, які забезпечать для кожної конкретної партії дроту максимально можливе значення істинних напружень при розриві, які в свою чергу визначають можливість проводити волочіння з максимальним значенням обтиску за прохід і, тим самим, зменшити кількість проходів, а відповідно, підвищити продуктивність процесу волочіння.

УДК 621.9.048.7:669.295.5
Гіржон В.В.
д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ЛАЗЕРНЕ АЗОТУВАННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ3-1

Одним з основних методів зміцнення поверхні титанових сплавів є хіміко-термічна обробка матеріалу, зокрема термодифузійне насичення поверхневих шарів киснем, азотом, вуглецем тощо. Традиційні методи такої обробки зазвичай проводяться за температур 1123…1223 К, наслідком чого є зростання розміру зерна в матеріалі, дифузія водню, що призводить до погіршення механічних властивостей виробів. Основними недоліками такої обробки є низька продуктивність, висока енергозатратність, недостатня глибина зміцненого шару.

Перспективним напрямом покращення механічних властивостей поверхневих шарів титанових сплавів є лазерна хіміко-термічна та лазерна термічна обробки. Кількість досліджень процесів структуроутворення за таких обробок є недостатньою, тому метою даної роботи є вивчення структурного стану, фазових перетворень і властивостей поверхневих шарів сплаву ВТ3-1 після лазерного оплавлення в середовищі азоту.

За матеріал для досліджень було обрано робочі лопатки компресора низького тиску, виготовлені з жароміцного титанового сплаву ВТ3-1, який відноситься до двофазного (α + β)-сплавів мартенситного класу.

Лазерна обробка зразків здійснювалася за допомогою імпульсного лазера КВАНТ-12 (λ = 1,069 мкм) в струмені азоту. Дослідження фазового складу у вихідному стані та після лазерних обробок виконувались дифрактометрично т(ДРОН-3) у фільтрованому Cu-K_α-випромінюванні. Мікроструктура зразків вивчалась за допомогою оптичних мікроскопів «Axiovert 200 MAT» та Epiquant. Мікротвердість вимірювалася за допомогою приладу ПМТ-3.

У вихідному стані структура сплаву ВТ3-1 була однорідною двофазною. Розмір зерен α-Ti складав близько 3 мкм, β-Ti – 1,5 мкм. Об'ємна частка α-Ti не перевищувала 65 %.

Наявність в структурі титанового сплаву високоміцного нітриду титану може приводити до підвищення інтегральної мікротвердості зразків. З цією метою досліджені були оплавлені лазером в середовищі азоту. Після такої обробки, в структурі оплавлених поверхневих шарів окрім α- та β-фаз, дифрактометрично було зафіксовано ще й кубічний нітрид титану типу TiN. Висока інтенсивність дифракційних максимумів від гратки цієї фази свідчила про наявність значної її кількості в зоні оплавлення. Аналіз дифрактограм виявив незначне підвищення параметрів кристалічної гратки α-Ti. Це може бути пов'язано з тим, що частка атомів азоту могла проникати в міжвузловини ГЩУ гратки, утворюючи твердий розчин втілення азоту в α-Ti. Зазначимо, що при лазерному оплавленні в середовищі азоту могли відбуватися два конкуруючих процеси – атоми алюмінію (як основного легуючого елемента) могли заміщувати атоми титану, що приводило б до зниження параметрів кристалічної гратки; з іншого боку, деяка часткаа атомів азоту могла втілюватися в октаедричні пори гексагональної гратки, що приводило б до зростання її параметрів. Очевидно, що утворення твердого розчину втілення більш ефективно впливало на зміни параметрів гратки, що й привело до деякого їх зростання порівняно з вихідними.

Після лазерного оплавлення (ЛО) в середовищі азоту значення мікротвердості в зоні лазерної дії (ЗЛД) зросли та складали близько 5,8…6,0 ГПа. Підвищення значень мікротвердості після ЛО в середовищі азоту можна пов'язати з декількома факторами: зростанням ступеня дисперсності структури внаслідок високих (~10^4…10^5 К/с) швидкостей охолодження розплаву, як і у випадку ЛО у будь-якому газовому середовищі; утворенням високоміцних дисперсних нітридів титану типу TiN; утворенням пересиченого твердого розчину впровадження азоту в α-Ti (твердорозчинне зміцнення) та зменшенням відносної кількості фази α-Ti.

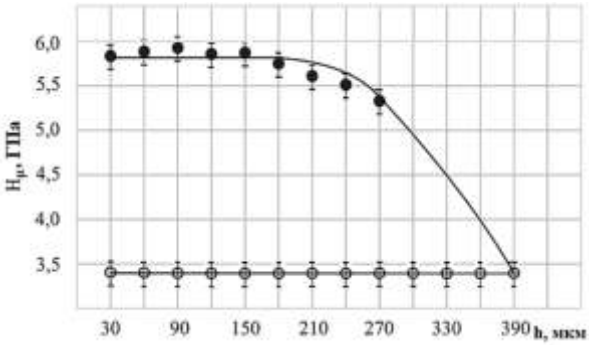


Рисунок 1 – Розподіл мікротвердості за гдибиною ЗЛД:
- вихідний стан; - після лазерного оплавлення в середовищі азоту

Таким чином, ЛО поверхні сплаву ВТ3-1 в середовищі азоту приводить до суттєвого підвищення значень мікротвердості в 1,8…2 разів, що спричинено одночасним впливом описаних вище факторів.

УДК 669.721.5
Айкін М.Д.[1],Шаломєєв В.А.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НОВОГО БІОРОЗЧИННОГО МАГНІЄВОГО СПЛАВУ

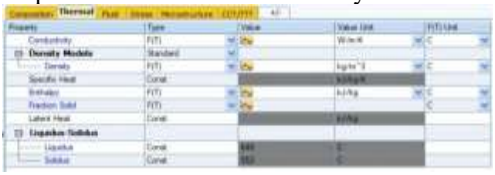
Магнієві сплави широко використовуються в легкій промисловості та авіації, оскільки вони забезпечують високу міцність при малих вагових показниках. Крім того, магнієві сплави знайшли своє застосування у медицині при виготовленні імплантатів, які з часом розчиняються в організмі без будь-яких негативних наслідків. Враховуючи різноманітні застосування магнієвих сплавів, розробка нових магнієвих сплавів з покращеним комплексом властивостей залишається перспективним напрямком досліджень.

Найбільш перспективним для виготовлення біорозчинних імплантатів типом магнієвих сплавів є сплави системи Mg-Zr-Nd. Типовим сплавом цієї системи є сплав МЛ10 (2,2 – 2,8 % Nd, 0,4 – 1 % Zr, 0,1 – 0,7 % Zn). Також, у попередніх дослідження авторами було розроблено новий сплав системи Mg-Zr-Nd з підвищеним вмістом легувальних елементів (3,05 – 3,25 % Nd, 1,15 – 1,35 % Zr, 0,1 – 0,7 % Zn).

Для забезпечення максимально можливих характеристик розробленого сплаву необхідним є корегування режиму термічної обробки. Визначення можливості підвищення температури нагріву під гартування, проводили розрахунок температур солідус та ліквідус за допомогою розрахункового модулю «COMPUTHERM», що входить до складу програмного комплексу «ProCAST».

Для розробленого сплаву, температура солідус становила $T_{сол.}$ = 552 ºС, а температура ліквідус $T_{лікв.}$ = 648 ºС (рис. 1, а). Для порівняння, проведені розрахунки температур для стандартного сплаву системи Mg-Zr-Nd – МЛ10: $T_{сол.}$ = 530 ºС, $T_{лікв.}$ = 647 ºС (рис. 1, б). Зсув температури солідус складав + 22 ºС, а температури ліквідус + 1 ºС. Таким чином, визначено, що підвищення легувальних елементів Nd та Zr призводить до підвищення температури солідус та майже не впливає на температуру ліквідус.

Для практичного визначення оптимальної температури нагріву під гартування нового сплаву використовували диференційно-термічний аналіз (ДТА). На графіку (рис. 2) показані ДТА-криві для розробленого сплаву в порівнянні зі стандартним сплавом МЛ10. Криви для обох сплавів були подібні та мали 2 піки: перший – відповідає розплавленню нерівноважної евтектики; другий – розплавленню самого сплаву.



а

б

а – розроблений сплав; б – стандартний сплав МЛ10

Рисунок 1 – Робоче вікно модулю «COMPUTHERM»

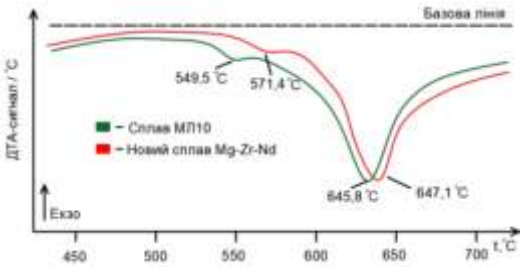


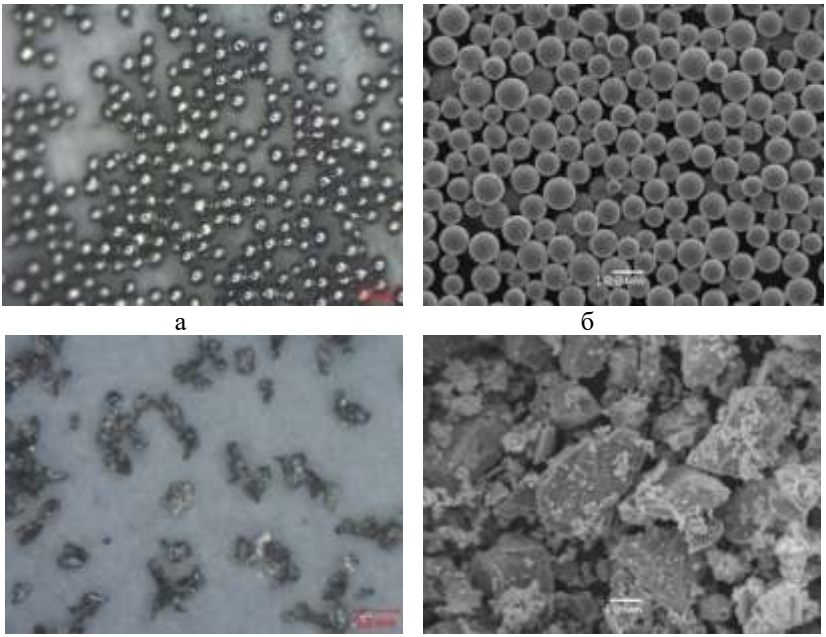
Рисунок 2 – Типові ДТА-криві стандартного сплаву МЛ10 і нового нетермообробленого сплаву

Результати ДТА добре відповідають розрахункам «COMPUTHERM». Температура плавлення евтектики дослідного біорозчинного сплаву складала 571,4 °С, що на 21,9 °С більше за відповідну температуру для стандартного сплаву МЛ10 – 549,5 °С. Температура плавлення нового сплаву – 647,1 °С, незначно (на 1,3 °С) перевищувала сплав МЛ10 – 645,8 °С. Таким чином, для забезпечення найбільш повного розчинення евтектики без перегріву та оплавлення та забезпечення максимального комплексу властивостей, встановлено температуру нагріву під гартування нового сплаву Mg-Zr-Nd на рівні $T_{гарт}$ = 560 °С.

УДК: 621.762.02:669.295
Джуган О.А.[1],Ольшанецький В.Ю.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ПОРІВНЯННЯ ТИТАНОВИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ СФЕРИЧНОЮ І НЕСФЕРИЧНОЮ ФОРМОЮ ЧАСТИНОК

Останнім часом набула широкого поширення технологія 3D друку виробів із застосуванням адитивних процесів. При цьому використовується пошарове формування промислових об’єктів, тобто кожен новий шар майбутньої конструкції являє собою порошковий матеріал, що складається з однакових або різних за формою частинок металевого матеріалу. Зазвичай вважають, що найкращими за формою частинками є сфероїди приблизно однакового розміру (рис. 1) . Кожний такий шар порошку зазвичай компактують шляхом прикладення незначних поверхневих зусиль (за допомогою валика, що обертається).



а б

в г

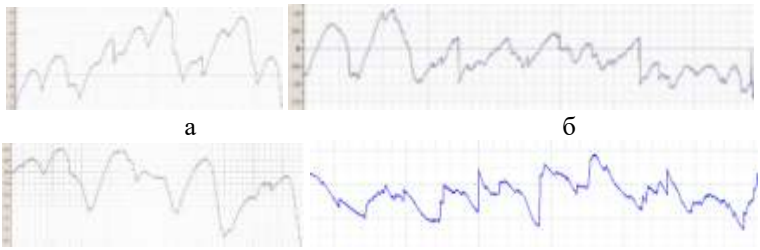
Рисунок 1 – Зовнішній вигляд сферичних (а, б) и несферичних (в, г) порошків

Оскільки подальша технологічна операція передбачає спікання або проплавлення шару з таких частинок, то необхідно передбачити можливість використання термодинамічних підходів для отримання найкращих результатів як за часом завершення процесу формування конгломерату шарів, так і за якістю формованої поверхні.

Питання про характер рельєфу поверхні кожного шару частинок порошку можна приблизно вирішити за допомогою прогону головки профілометра-профілографа уздовж і поперек насипаних і закріплених з підкладкою порошкових шарів мінімальної товщини (одинарного укладання) тобто шарів, що мають мінімальну висоту.

Попередні графічні результати експериментів з використанням зазначеного приладу наведені на рисунку 2.

Отримані дані свідчать про те, що в разі використання порошкових матеріалів різних фракцій «найбільш рівна» зовнішня поверхня виходить при використанні порошкового матеріалу, в якому частинки мають форму багатогранників умовно прийнятих за об’єкти, що наближаються за формою до частинок, наближених до неправильних багатогранників.



а - сферичний порошок фракцією -200 + 100 мкм.; б - несферичний порошок фракцією -200 + 100 мкм.; в - сферичних порошок фракцією -50 мкм.; г - несферичних порошок фракцією -50 мкм.

Рисунок 2 - Результати дослідження порошків на профілометрі-профілографі

Все це свідчить про те, що орієнтація на використання порошків такого типу обіцяє при застосуванні адитивних технологій добре початкове ущільнення, що має сприяти отриманню зразків з більш однорідною будовою.

УДК 669.017:629.7.023.22

Фасоль Є.О[1],Кубіч В.І[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

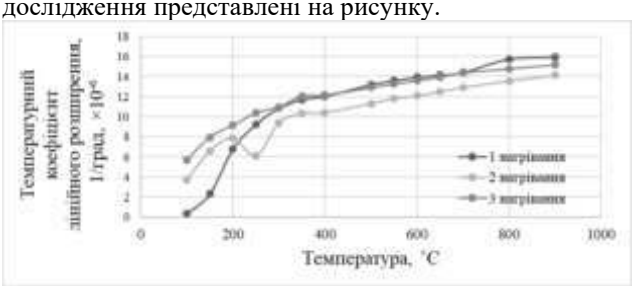
ВПЛИВ СПОСОБУ НАНЕСЕННЯ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗШИРЕННЯ

Застосування лабіринтних ущільнень є основним напрямів удосконалення конструкції двигуна та підвищення його коефіцієнту корисної дії. Проте, внаслідок високоградієнтного термоциклювання при експлуатації ГТД постає задача мінімізації зазорів, з одного боку, та запобігання схопленню і заклинюванню елементів конструкції двигуна, що обертається, з іншого. Одним із найпоширеніших рішень цієї проблеми є створення ущільнювальних покриттів.

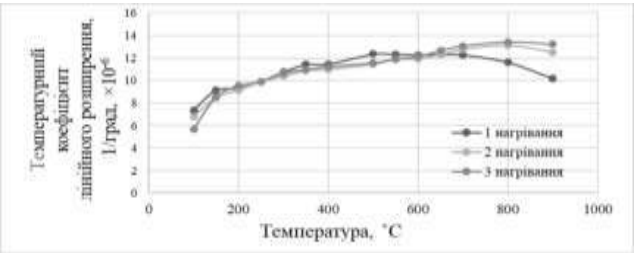
Підприємство ПАТ «Мотор Січ» широко використовує покриття КНА-82 із застосуванням складної лігатури Co-Ni-Cr-Al-Y. Варіювання вмісту ітрію є перспективним напрямком досліджень, оскільки ведення в сплав 0,0–0,05 %Y підвищує його термічну стабільність, уповільнює коагуляцію основної зміцнювальної γ′- фази, ітрій може забезпечити покращення жаростійкості та жароміцності. ущільнювальних покриттів та знизити коефіцієнт теплового розширення, що дозволяє покращити стійкість покриттів до перепаду температур.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) є одним з головних факторів, які впливають на адгезію в процесі експлуатації. Якщо ТКЛР покриття значно відрізняється від ТКЛР базового матеріалу, це може призвести до того, що покриття буде відшаровуватись в процесі зміни температури.

Досліджувались зразки із 0.1%Y, покриття формувалось газополуневим і плазмовим способом. Дослідження зміни ТКЛР проводилось в автоматичному режимі із програмованим нагріванням до температури 1000 ºС протягом 3 годин та подальшим охолодженням в атмосфері печі. Нагрівання зразка проводилось три рази після повного охолодження. Результати дослідження представлені на рисунку.



а



б

а – газополуменеве нанесення покриття; б – плазмове нанесення покриття

Рисунок – Залежність температурного коефіцієнта лінійного розширення покриттів від температури

Як видно з рисунку, спостерігається поступове збільшення ТКЛР до температури 650…700 ºС із подальшою зміною вигляду дилатометричної кривої, що вказує на певне зменшення об’єму матеріалу. Якщо розглядати рисунки а) та б) то у випадку плазмового нанесення для зразку із 0,1%Y криві не мають чітко виражених екстремумів, а значення ТКЛР для першого і другого нагрівання майже ідентичні, проте під час третього нагрівання спостерігається зниження ТКЛР. ТКЛР для газополуменевого нанесення із

вмістом ітрію 0,1% має найбільшу різницю значень, та має екстремуми, що в свою чергу може призвести до відшаровування покриття в процесі експлуатації. Також зафіксовано значне окислення зразку після третього нагрівання. Отже, використання плазмового напилення є більш доречним, так як забезпечується висока якість покриттів завдяки використанню високотемпературної плазми для розплавлення матеріалів та їх напилення на поверхню та в свою чергу дозволяє отримувати покриття з високим рівнем адгезії.

УДК 669
Ольшанецький В.Ю.[1],Кононенко Ю.І.[2],Золотаревський І.В.[3]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ В ЧИСТОМУ ЗАЛІЗІ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Під впливом таких факторів, як тиск, металеві домішки або легувальні елементи (навіть в гомеопатичних кількостях) можуть приводити кінцевий стан заліза як у феромагнітний, так і в антиферомагнітний. Ця обставина змінює розташування критичних точок на температурній вертикалі заліза. При цьому в залежності від вимоги забезпечення стабільності матеріалу в кінцевому варіанті залишаються такі альтернативні варіанти:

– рідке залізо (Fe^{liq}) → парамагнітне γ-залізо (γ-Fe) → антиферомагнітне β-залізо (β-Fe);

– рідке залізо (Fe^{liq}) → парамагнітне β-залізо (β-Fe) → феромагнітне α-залізо (α-Fe).

Треба мати на увазі, що в обох випадках через наявність у заліза незаповненої d-смуги відбувається певного виду магнітна взаємодія, котра і збільшує вищесказану стабільність.

Окрім цих крайніх випадків у звичайному стані, які обговорюються в різних літературних джерелах, ми маємо в залізі багато переходів типу: рідка фаза (Fe^{liq}) → парамагнітне δ-залізо (δ-Fe) → парамагнітне γ-залізо (γ-Fe) → парамагнітне β-залізо (β-Fe) → феромагнітне α-залізо (α-Fe).

При цьому вважається, що феромагнітний стан встановлюється миттєво і охоплює увесь об’єм матеріалу (тобто приймається, що жодних перетворень при досягненні температури феромагнітного стану (точки Кюрі) в подальшому не відбувається).

Те ж саме має місце при переохолодженні заліза в область від’ємних температур – процес формування антиферомагнетика при

30 К (точка Нееля) супроводжується таким же ефектом (тобто у цьому випадку теж нічого не відбувається).

Якщо з точки зору впливу елементів все зрозуміло (експериментально підтверджено), то питання впливу тиску ніде по суті не обговорюється. Особливо цікавим в цьому сенсі є вплив тиску на перетворення в чистому залізі, оскільки тут ми маємо справу в кінцевому стані або з антиферомагнетиком, або з феромагнетиком, котрі як магнетики начебто ніяк себе не проявляють. Це питання є не тільки теоретичним, але вимагає певного підтвердження у вигляді експериментального доведення (тобто зменшення швидкості охолодження у часі при послідовному утворенні пошарових виділень нової фази). Що стосується дослідження впливу тиску, то це вимагає суттєвого ускладнення техніки експериментів.

УДК 669.245.018.044:620.193.53
Глотка О.А.[1], Єсауленко С.Л [2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-222м НУ «Запорізька політехніка»

ТЕРМОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ПОДВІЙНИХ МЕТАЛЕВИХ СИСТЕМАХ

Діаграми стану в основному допомагають металознавцям-практикам при створенні чи вдосконаленні технологічних процесів, дозволяють суттєво підвищити якість необхідної металевої продукції. Самі ж діаграми у цьому ракурсі мають обмежені можливості, бо часто зберігають залишкову метастабільність (наприклад, діаграма стану «залізо-вуглець», в якій замість графіту часто обмежуються метастабільністю цементитної фази). При цьому вважається, що процеси, які забезпечили певний графічний вигляд будь-якої подвійної системи, мали квазістатичний характер, тобто наближено відбувалися практично по законам рівноважної термодинаміки. Окрім цього, наявні подвійні діаграми стану побудовані зі знехтуванням факторів, котрі можуть максимально проявляти себе на мікроструктурному або навіть наноструктурному рівні, що суттєво впливає на кінцевий структурний стан. До такого роду факторів можна віднести наявність меж поділу термодинамічних систем зі своїми поверхневими вільними енергіями, а також різноманітних домішок, що кардинально впливає на характер процесів, передусім дифузійного плану.

Тепер конкретно щодо самих діаграм, які мають в системі «температура-хімічний елемент (або сполука)» набір похилих та прямих (паралельних осям концентрацій) ліній фігуративних точок, кожна з яких дає конкретну інформацію стосовно структурно-фазового стану у кожній такій

точці. Необхідно сказати, що кількість фаз на лініях так званої рівноваги, не співпадає з кількістю рівноважних фаз, яка випливає із розв'язання термодинамічних рівнянь, оскільки останні є очікуваними альтернативними фазами, котрі залишаються по закінченні перетворення. Так, в точках на похилій лінії, що розділяє фази α та β в системі А-В, може існувати лише одна фаза (α чи β), незважаючи на те, що їхні хімічні потенціали однакові $\mu_\alpha(c^*) = \mu_\beta(c^*)$ (c^* – конкретна концентрація точки координати А (В)).

Особливої уваги заслуговують випадки, коли при евтектичному (евтектоїдному) перетворенні можна спостерігати так звану квазіевтектичну (квазіевтектоїдну) структуру. Розглянемо з позиції попереднього твердження розпад аустеніту в інструментальній сталі У8 ($c_{\text{вугл}}$ = 0,8%). В навчальних підручниках чи посібниках стверджується, що при температурі 727ºС має місце реакція $\gamma_{0,8} \leftrightarrow \alpha_{0,02} + Fe_3C_{6,67}$. При цьому можна спостерігати появу квазіевтектоїду в температурному інтервалі нижче евтектоїдної точки між продовженнями ліній GS та ES.

На нашу думку це можна пояснити наступним чином. Розглянемо термостат, в якому здійснюється сходинкове охолодження за визначеною програмою. Тоді все буде відбуватися за ланцюжком подій на кожній сходинці (згідно Лавесу). Перелічимо ці процеси:

в аустенітній матриці утворюється колоїдний розчин, що складається з нанокластерів двох типів, які збагачені залізом чи вуглецем. А це приводить до невеличкого зменшення ентропії та повертає термодинамічний стан матриці до вихідного виду. Межі між кластерами при цьому відсутні;

якщо програмовано трішки переохолодити сплав, кластери збільшуватимуться у розмірах, що приводить до фрагментації будови системи з появою внутрішніх розмитих меж скоріше за усе з перехідною граткою. Ентропія у цьому випадку ще більше зменшується і з'являється деякий дуже малий концентраційний інтервал суміші кластерів («квазіевтектоїду»);

межі між збільшеними кластерами стають дислокаційними (або напівдислокаційними);

перехід до звичайних меж у фрагментів будови перетворює їх у доевтектоїдну або заевтектоїдну будову. Евтектоїдна складова буде збагачена вуглецем, в якій цементит набуває характер карбідної фази певного типу;

якщо межі у суміші є звичайними, то подальше охолодження за програмою потребує для здійснення перетворення суттєвих змін у характері структури відповідно діаграмам стану (троостит або сорбіт) і при цьому матимемо дві «проевтектоїдні» складові, а саме «проевтектоїдний» ферит чи цементит та сам евтектоїд, який збагачений чи збіднений вуглецем.

Розглянемо в чисто гіпотетичному плані перебіг подій, який може привести до утворення суміші «проевтектоїдний» ферит – пластинчастий евтектоїд, збагачений вуглецем у класичній евтектоїдній сталі (У8) при наявності «гомеопатично» активних домішок.

Спочатку на кластерному рівні в аустеніті формуються осередки, які збалансовані по енергетиці та напруженням (по Набарро). Зайвий ферит, що має в деяких частинах об'єму матриці близькі до рівноважних тетраедричні стики (~108º), перетворює їх у топологічні дефекти, котрі починають поглинати навколишнє середовище.

Типовим прикладом такої фізичної картини є перетворення заевтектичного алюмінієвого сплаву АЛ2 (силумін) в доевтектичний під впливом введення невеликої кількості домішки натрію або його солі NaF.

УДК 669.245.018.044:620.193.53

Глотка О.А.[1], Демідов Д.О [2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-222м НУ «Запорізька політехніка»

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ І КАРБІДАМИ В ЛИВАРНИХ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВАХ

Метою цієї роботи є вивчення специфіки впливу легуючих елементів на розподіл карбідів у структурі, їх топологію та морфологію, а також їх склад для багатокомпонентної системи типу Ni-34Cr-4,3W-2,3Mo-1,3Al-1,3Ti-1, 3Nb-0,1C за допомогою розрахункового методу прогнозування CALPHAD (пасивний експеримент) порівняно з даними, одержаними методом растрової електронної мікроскопії (активний експеримент).

Зміна температури карбідного ліквідусу для карбідів типу MC практично не спостерігається при введенні Ti в сплав. Однак це призводить до зміни складу первинних карбідів і при вмісті більше 4% виділення η-фази (типу Ni-17Ti-4Nb-1Al-0,22Cr). Введення понад 2,7% Ti призводить до зміни основи карбіду з ніобію на титан, при цьому вміст титану в карбіді збільшується до 55%.

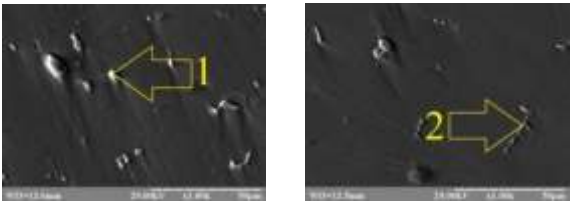
Збільшення концентрації ніобію у сплаві призводить до зниження температури утворення (виділення) карбідів MC, що пояснюється зміною сил міжатомного зв'язку. Утворення первинних карбідів у цій системі починається з концентрації Nb від 1%, а вміст його в карбіді коливається від 60 до 81%. Концентрація титану в карбіді при цьому знижується з 24 до 7%.

Вторинні карбіди утворюються при концентрації хрому, у цій системі, на рівні 10%. Зі збільшенням вмісту Cr у сплаві температура розчинення (виділення) карбідів зростає, як і його вміст у вторинному карбіді.

Концентрація нікелю та молібдену при цьому знижується до 3,5 та 8,8% відповідно за параболічними залежностями. При концентрації хрому в сплаві 31% утворюється твердий розчин на основі Cr, таким чином перестає хром розчиняються в нікелі.

Молібден знижує температуру розчинення (виділення) карбідів типу $M_{23}C_6$ такий характер залежності пояснюється зміною сил міжатомних зв'язків у вторинному карбіді.

Результати розрахунку фазового складу, отримані згідно з залежностями, надалі порівнювали з експериментальними даними, отриманими за допомогою електронної мікроскопії в режимі мікрозондування на растровому електронному мікроскопі, РЕМ-106І. Типова морфологія первинних карбідів у структурі металу даного класу зустрічається у вигляді окремих блоків (Рис. 1). Карбіди типу $M_{23}C_6$ у даному сплаві присутні у переривчастих блоковій та пластинчастій формах (Рис. 1) [1-5].



а б

а – карбід типу МС; б – карбід типу $M_{23}C_6$.

Рисунок 1 – Морфологія карбідів в жароміцному нікелевому сплаві.

Хімічний склад карбідів, визначали експериментально методом рентгеноспектрального мікроаналізу, за допомогою якого фіксували інтенсивність рентгенівського випромінювання залежно від енергії кЕв. Експериментально встановлено, що до складу карбідів входять титан, ніобій, вольфрам, молібден, нікель та хром у наступних співвідношеннях порівняно з розрахунковими значеннями (табл. 1).

У таблиці 1 показано, що розрахункові та експериментальні дані добре узгоджуються між собою практично за всіма елементами. Спостерігається підвищений вміст хрому та нікелю у первинних та вторинних карбідах відповідно. Такі значення можуть бути викликані підвищеним вмістом цих елементів у сплаві. Таким чином, розрахункові дані щодо визначення типу та хімічного складу карбідів, показали хорошу збіжність та узгодженість з експериментальними даними, отриманими методом електронної мікроскопії.

Таблиця 1 – Хімічний склад карбідів розраховані за отриманими залежностями та отримані експериментально методом рентгеноспектрального мікроаналізу при 20°С

Метод отримання результату	Вміст елементу, % по масі						
	Ti	Nb	W	Mo	Ni	Cr	C
Розрахунковий склад MC	25,11	59,09	2,4	-	-	0,49	12,58
Розрахунковий склад $M_{23}C_6$	-	-	9,31	8,62	3,54	73,47	5,06
Експериментальний склад MC (рис. 1, точка 1)	23,52	51,3	5,76	-	-	6,92	12,5
Експериментальний склад $M_{23}C_6$ (рис.1, точка 2)	-	-	8,85	8,86	6,0	71,2	5,05

УДК 111 УДК 669.15:620.17:621.77.3
Ярмошенко Д.В.[1] ,Грабовський В.Я[2]
[1] студ. гр. ІФ-232м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ВІДПАЛУ НОВОЇ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ 4Х3Н3Г7М7Ф З РЕГУЛЬОВАНИМ АУСТЕНІТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ДИСПЕРСІЙНИМ ТВЕРДІННЯМ

Гранична температура експлуатації навіть найбільш теплостійких серійних штампових сталей мартенситного класу знаходиться в межах 700-750 °С, що обумовлено принциповою особливістю структури їх основи. Водночас, при гарячій обробці металів тиском розігрів робочих частин інструментів може значно перевищувати вказані температури. Це обумовило необхідність пошуку для роботи при високих температурах штампових матеріалів іншого типу. Зокрема, як замінники серійних штампових сталей, пропонують сталі та сплави на основі ГЦК кристалічній гратки з дисперсійним твердінням. Однак перешкодою широкого їх використання є коштовність та погана оброблюваність різанням. Таких недоліків значно позбавлені нові штампові сталі з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ). Вони мають ОЦК кристалічну гратку при кімнатній температурі, що надає їм задовільну оброблюваність різанням, та набувають ГЦК кристалічну гратку при нагріванні вище 500 – 600 °С, що збільшує опір високотемпературному знеміцненню. Вказане досягається зниженням на 200 –300 °С їх критичних точок порівняно з серійними теплостійкими

штамповими сталями. В результаті забезпечуються переваги сталей з РАПЕ для виготовлення пресових інструментів з температурами експлуатації вище 700 °С. Однією з першою таких розробок є сталь 4Х2Н5М3К5Ф (ЭП930). За результатами пошуку більш ефективного легування, запропонована нова штампова сталь з РАПЕ марки 4Х3Н3Г7М7Ф. Важливою її відмінністю від інших сталей з РАПЕ є здатність до дисперсійного твердіння. Зміцнювальна термічна обробка сталі 4Х3Н3Г7М7Ф полягає в гартуванні (обробці на пересичений твердий розчин) від температури 1150 °С та наступного старіння 725 °С, 2 години. Це забезпечує суттєве зростання високотемпературної (750 °С та вище) міцності цієї сталі - в 2 -3 рази порівняно з теплостійкими серійними штамповими сталями мартенситного класу. Однак, як і для інших сталей з РАПЕ, важливою задачею є пошук режимів її відпалу для отримання структури з якомога меншою твердістю і, відповідно, кращою оброблюваністю різанням. Труднощі такого пошуку обумовлені тим, що сталі з РАПЕ мають високу стійкість переохолодженого аустеніту (більше 30 годин) в області перлитного перетворення. Значно швидче повний розпад переохолодженого аустеніту відбувається в бейнітній області. Однак, як було попередньо встановлено для сталі 4Х2Н5М3К5Ф (ЭП930), такий бейніт має досить високу твердість (не менше 44 HRC), що робить важкою механічну оброблюваність сталі різанням. Необхідним є додатковий термічний вплив на бейнітну структуру для зменшення твердості таких сталей. Робота присвячена пошуку режиму відпалу сталі з РАПЕ 4Х3Н3Г7М7Ф, що забезпечує їй мінімальну твердість для кращої обробки різанням.

Зливки сталі 4Х3Н3Г7М7Ф отримували виплавкою у відкритій індукційній печі місткістю 50 кг. Досліджена плавка сталі мала наступний вміст легувальних елементів (в % мас.): С 0,39; Cr 3,10; Ni 3,16; Mn 6,06; Mo 6,93; V 1,32. Кування зливків здійснювали на прутки квадратного перерізу зі стороною 35 мм, з яких виготовляли зразки для досліджень. Після кування та охолодження на повітрі сталь мала переважно мартенситно-бейнітну структуру з твердістю біля 45 HRC. При виборі температур відпалу враховували, що сталь має такі значення критичних точок: Ac_1 = 530 °С, Ac_3 = 795 °С, Ar_3 = 220 °С. Обрана наступна схема дослідів по визначенню потрібного режиму відпалу сталі. Ковані зразки сталі спочатку піддавали аустенітизації в інтервалі температур 800-900 °С з витримкою 2 години та наступному охолодженню з піччю. Швидкість охолодження складала 50°С/с. Твердість після цього знижувалась з 45 HRC до 40-41 HRC. Далі виконували нагрів в інтервалі температур 580-730 °С з витримкою 4 години, після чого зразки також охолоджували з піччю. Отримані значення твердості для кожної температури аустенітизації змінювались в межах 36-40 HRC в залежності від температури витримки. Найменшу твердість (36 HRC) мали

зразки після витримки при 680 °С. З урахуванням отриманих результатів вирішили дослідили зміну твердості кованих зразків тільки після відпалу в області 650-700 °С (без попередньої) аустенітизації). Час витримки змінювали від 2-х до 6-ти годин, а охолодження проводили або з піччю або на повітрі. Встановлено, що найменшу твердість, що складає 34 HRC забезпечує відпал за режимом: 680 °С, 4 години, охолодження з піччю. За результатами металографічних досліджень мікроструктура сталі з мінімальною твердістю відповідає дрібнодисперсному перлиту з балом 1 за відповідною шкалою. Методом рентгеноструктурного аналізу встановлено, що кількість залишкового аустеніту в зразках з найменшою твердістю не перевищує 6 % при наявності в структурі карбідів типу Me_6C та $Me_{23}C_6$, а також слідів МеС. Таким чином, за результатами виконаних досліджень для кращої обробки різанням відпал заготовок сталі з РАПЕ марки 4Х3Н3Г7М7Ф рекомендовано виконувати за режимом: 680 °С, 4 години, охолодження з піччю.

УДК 111 УДК 621.785
Лазечний І.М.[1],Кононенко Ю.І.[2],Лисиця О.В.[3],Корнійчук Д.Ф.[4]
[1] канд. техн. наук, Запоріжжя
[2,3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. ІФз-211сп НУ «Запорізька політехніка»

СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ НАГРІВАННЯ ВИРОБІВ ПРИ ТЕРМООБРОБЦІ

Підвищення якості, продуктивності, надійності та довговічності деталей машин та інструментів значною мірою визначається розробленням якісної технології, одним з найважливіших етапів якої є термічна обробка, що формує кінцеві експлуатаційні властивості металевих матеріалів. У свою чергу якість термічної обробки залежить від правильного вибору матеріалу для конкретних умов експлуатації, вірно обраних видів та основних параметрів термічної обробки, дотримання розробленої технології термічної обробки і контролю якості.

Режими термічної обробки характеризуються температурою, часом і швидкістю нагрівання, тривалістю ізотермічної витримки, швидкістю та тривалістю охолодження. Складність визначення тривалості нагріву, витримки та охолодження пояснюється багатьма факторами: температурою та характером робочого середовища, розміром та формою деталей, які нагріваються, способу укладання їх в печі, теплопровідності металу тощо.

Існує декілька способів визначення тривалості нагрівання τ_H.

1. Середня швидкість нагрівання $\overline{V_H}$ є заданою, тоді:

$$\tau_H = \left(t_{ВИР..К} - t_{ВИР.П.}\right) / \overline{V_H} \text{ год,} \quad (1)$$

де $t_{ВИР.П}$, $t_{ВИР.К}$ – температура виробу початкова і кінцева відповідно.

2. τ_H визначається за емпіричним рівнянням:

$$\tau_H = S \cdot k \cdot f \cdot L_Л , \quad (2)$$

тут S – характеристичний розмір (радіус кулі, циліндру тощо), мм;
k – коефіцієнт форми;
f – коефіцієнт розташування виробів;
$L_Л$ – коефіцієнт легування, хв/мм.

3. Для виконавців (термістів) τ_H. можна розраховувати так:

$$\tau_H = (20...90) \cdot h \text{, с} \quad (3)$$

h – товщина стінки або діаметр циліндричної заготовки (тут 20…90 с/мм).

Чим вище температура нагріву, тим меншим буде значення τ_H.

4. При нагріванні виробів в печах-ваннах τ_H визначають як

$$\tau_H = K_1 \cdot \left(\frac{V}{F}\right) K_Ф \cdot K_P , \quad (4)$$

де K_1 – коефіцієнт, котрий залежить від температури (довідник);
V – об'єм виробу, см^3;
F – площа зовнішньої (тобто теплосприймаючої) поверхні, см^2;
$K_Ф$ – коефіцієнт форми виробу (довідник);
$K_Р$ – коефіцієнт розвиненості поверхні.

5. В наведених вище рівняннях в явному вигляді відсутні дані щодо маси садки, теплоємності матеріалу виробу, умов передачі тепла, площі теплосприймаючої поверхні виробів, температур робочого (нагрівального) середовищ та температур виробів на різних етапах нагрівання. Це враховано в наступному рівнянні

$$\tau_H = \frac{M_C \cdot \bar{c}}{\alpha_\Sigma \cdot F_{TO}} \ln\left(\frac{t_{СЕР} - t_{ВИР.П}}{t_{СЕР} - t_{ВИР.К}}\right) \text{, с.} \quad (5)$$

Тут M_C – маса садки, кг;
$\bar{c}$ – середня теплоємність матеріалу в інтервалі $t_{ВИР.П} - t_{ВИР.К}$ (довідникові дані, Дж/(кг·К));

α_Σ – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від робочого середовища (конвекцією та випромінюванням) до поверхні виробу, Вт/(м^2·К);
F_{TO} – площа теплосприймаючої поверхні усіх виробів садки;
$F_{TO} = F_{TO1} \cdot n_C$,
n_C – кількість виробів в садці;
F_{TO1} – площа теплосприймаючої поверхні одного виробу;
t_{CEP} – температура середовища.

Рівняння використовується в тому випадку, якщо температура середовища є величиною постійною.
Вибір того чи іншого способу визначення тривалості нагрівання τ_H здійснюється технологом з урахуванням особливостей виробництва та виробу.

УДК 621.74

Біліонок Д.І.[1],Ткач Д.В.[2],Педаш О.О.[3]
[1]студ. гр.ІФ-212м НУ «Запорізька політехніка»
[2]канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3]канд. техн. наук, керівник бюро АТ «МОТОР СІЧ»

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КАТОДІВ НА ЯКІСТЬ ПОКРИТТЯ ЛОПАТОК ТУРБІН

В сучасному авіабудуванні гостро постає питання захисту лопаток турбін від гарячої корозії та можливості підвищення жароміцності. Одним зі способів захисту використовують покриття поверхні лопаток. Одним із таких є багатокомпонентне покриття на основі сплаву системи Me-Cr-Al-Y, яке розширює працездатність лопаток турбін у діапазоні температур від 700 до 1000°С. Для покриття використовують традиційну технологію нанесення покриттів, вона заснована на процесах фізичного випаровування металів у вакуумі і їх осіданні на поверхні виробів (PVD). Для розпилення використовують вакуумно-дугове випаровування, матеріал конденсує з плазми при високих температурах, що забезпечує підвищену щільність покриття, високу адгезію та дрібнозернисту структуру. В якості матеріалу, що розпилюється використовують жароміцні сплави на нікелевій основі.

Для розпилення використовують так звані «катоди», які виготовляються у вигляді циліндру з поверхні якого поступово випаровується метал та осідає на поверхні. За звичайною технологією катоди виготовляють способом лиття, але цей метод не є досконалим оскільки під час литва виникає багато пор та усадкових раковин. Через це доводиться залишати дуже велику прибуткову частину.

В даній роботі було проведено порівняльне дослідження двох технологій виготовлення катодів: традиційний метод литва та металургія гранул, а також вплив методу виготовлення на якість трубчастих катодів та виконана оцінка якості покриттів, що наносяться на лопатки методом PVD.

Результати дослідження показали, що використання технології металургії гранул при виготовлені катодів дозволяє сформувати щільну, дисперсну макро- та мікроструктуру, яка відрізняється однорідним фазовим складом та рівномірним розподілом структурних складових. При цьому в структурі відсутні дефекти, які характерні для литва, а саме рихлоти, пори, тріщини та майже відсутні неметалеві включення.

Покриття отримане з використанням гранульного катоду має більш дрібну крапельну фазу на поверхні лопаток, що покращує їх шорсткість та стан трактових поверхонь лопатки в цілому.

Необхідно також зазначити, що в процесі роботи катоди, що були виготовлені металургією гранул показали більш рівномірне випрацьовування поверхні в процесі експлуатації, що забезпечило більш стабільну роботу обладнання та збільшило кількість циклів роботи катода.

УДК 620:197:669.15
Джус А.В.[1], Виноградський Д.О.[2]
[1] асист. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-212м, НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ АТОМНО-МАГНІТНОГО СТАНУ АУСТЕНІТУ НА СТІЙКІСТЬ ДО ПІТТИНГОВОЇ КОРОЗІЇ СТАЛІ AISI 304

Корозійностійка сталь AISI 304 перспективна для використання на промислових підприємствах з використанням систем оборотних вод. Зараз існує багато наукових досліджень впливу хімічного складу і структурної неоднорідності цієї сталі на її піттингостійкість у хлоровмісних середовищах. Тому, метою роботи було встановити кореляцію між атомно-магнітними станами аустеніту цієї сталі та її стійкістю до піттингової корозії в модельних оборотних водах.

Встановлено, що в модельних оборотних водах з pH4 і концентрацією хлоридів 350, 600 мг/л критичні температури піттингоутворення (КТП) сталі AISI 304 лінійно знижуються на 5…7°С при збільшенні її питомої магнітної сприйнятливості (χ_o) від 2 ,23·10^{-8} $м^3$/кг до 2,31·10^{-8} $м^3$/кг. Аналіз коефіцієнтів (б) регресійних залежностей (1, 2) показав, що в модельній оборотній воді з концентрацією хлоридів 600 мг/л вплив параметра χ_o на КТП на 7 % вищий, ніж при 350 мг/л.

КТП = 156,8 - 43,2 χ_o , C_{Cl}=350 мг/л

КТП = 150,4 - 46,3 χ_o , C_{Cl}=600 мг/л

Із цього випливає, що атомно-магнітний стан аустеніту суттєво не впливає на адсорбцію хлоридів поблизу включень та ймовірність зародження піттингів поблизу них. При цьому встановлено, що в досліджуваних модельних оборотних водах КТП сталі AISI 304 лінійно зростає на 10…13°С із збільшенням pH модельної оборотної води від 4 до 7, а з pH8 вони такі ж, як і з pH4, і навіть менше (рис.). Це пояснюється високим вмістом азоту в складі та майже відсутністю в сталі титану.

Крім того, в результаті досліджень встановлено комплексні залежності корозійних втрат основних металів (ΔFe, ΔNi, ΔCr) від піттингової корозії на поверхні сталі AISI 304 в залежності від питомої магнітної сприйнятливості χ_o. Характер цих залежностей показують знайдені коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni від піттингу. Знайдено, що коефіцієнт селективного розчинення хрому (Z_{Cr}) від піттингової корозії в досліджуваних модельних оборотних водах менше одиниці. Показано, що всі піттинги на поверхні сталі AISI 304 стабільні.

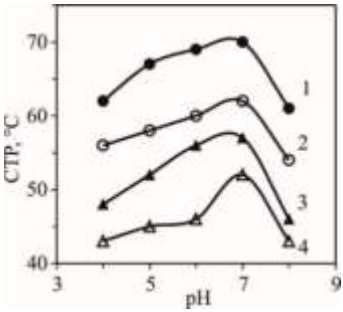


Рисунок – Залежність між КТП сталі AISI 304 та pH модельної оборотної води з концентрацією хлоридів 350 мг/л (лінії 1 і 2), 600 мг/л (лінії 3 і 4)

Встановлено, що в модельних оборотних водах з концентрацією хлоридів 300 мг/л коефіцієнти Z_{Ni} також менше одиниці. З цього можна зробити висновок, що селективне розчинення заліза від піттингової корозії більше, ніж нікелю. Тому, стійкий піттинг на поверхні досліджуваної сталі зростає дуже швидко. Однак у модельних оборотних водах з концентрацією хлоридів 600 мг/л ці коефіцієнти майже у всьому інтервалі питомої магнітної сприйнятливості сталі AISI 304 були більше одиниці. Це показує, що корозійні втрати від піттингової корозії для Ni вищі, ніж для Fe. Це є причиною того, що стійкий піттинг на поверхні сталі росте дуже повільно. Екстремуми залежностей корозійних втрат ΔFe, ΔNi, ΔCr від піттингу на поверхні сталі AISI 304 залежно від її питомої магнітної сприйнятливості χ_o виникають внаслідок репасивації метастабільного піттингу на поверхні сталі.

СЕКЦІЯ «МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ, МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

УДК 621.74

Іванов В. Г.[1], Матвейшин М. В.[2]
[1] д-р техн. наук НУ «Запорізька політехніка»
[2] асп. НУ «Запорізька політехніка»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИХ СІРИХ ЧАВУНІВ

Поршневі кільця відносять до особливої групи лиття для двигунобудування. Їх виготовляють із спеціальних сірих або високоміцних чавунів. Хімічний склад, структура і властивості чавунів регламентується відповідними державними та галузевими нормативними документами. Як правило, контролюються декілька важливих показників: хімічний склад, форма та характер розподілу графіту, розподіл фосфідної евтектики, ступінь перлітизації, наявність цементиту, а також можуть контролювати деякі механічні властивості.

З особливостей хімічного складу сірих чавунів з пластинчастим графітом слід відзначити підвищений вміст фосфору (0,4…0,7 %) та знижений вміст вуглецю (2,9…3,2 %) і кремнію (1,4…1,9 %). Висока схильність до ліквації фосфору сприяє утворенню легкоплавкої фосфідної евтектики. Як відомо фосфідна евтектика може розташовуватися у вигляді розірваної (при 0,3…0,6 %P) або замкнутої (більше 0,6%P) сітки по границям зерен металевої матриці.

Таким чином у чавунах, що використовуються для отримання поршневих кілець, існує висока вірогідність отримання відбілювання, а також утворення потрійної фосфідної евтектики недопустимої концентрації по границям зерен. Таке явище дійсно іноді спостерігається в практиці виробництва поршневих кілець із сірого чавуну з пластинчастим графітом.

Вивчали можливість усунення зазначених дефектів шляхом застосування високотемпературного відпалу. Хімічний склад чавуну відповідав нормативним документам і був наступним (мас. частка, %): 3,0 C; 1,6 Si; 1,0 Mn; 0,2 Mo; 0,3 Cr; 1,2 Ni; 0,5W; 0.06 S; 0,7 P. Металографічний аналіз виконували на мікроскопі МІМ-8. Відпал зразків проводили при температурі 950°C протягом 5 годин. Охолодження відбувалося разом з піччю до температури близько 500°C, далі зразки охолоджувалися на повітрі.

Як показав металографічний аналіз, початкова структура чавуну характеризувалася наявністю перліту з рівномірно розподіленим графітом у вигляді дрібних пластинок завіхреної або прямолінійної форми, а також

відрізнялася наявністю суцільної фосфідної потрійної евтектики по границям зерен та структурновільного цементиту. Також по границям зерен і у фосфідній евтектиці спостерігалися карбіди легуючих елементів.

Після проведення термічної обробки за зазначеним режимом кількість потрійної фосфидної евтектики та структурно вільного цементиту у чавуні трохи знизилась, але не суттєво. Розподіл та форма графіту також залишилася майже без змін. Слід відзначити також часткове перетворення пластинчатого перліту у зернистий.

Таким чином, вірогідно, що високий вміст фосфору 0,7 % сприяє стабілізації цементиту та перліту. Крім того наявність сильних карбідоутворювачів (марганцю, хрому, вольфраму) також сприяють утворенню структур, що містять цементит. Тому, на наш погляд, вміст фосфору слід обмежувати 0,5 % з метою запобігання утворення суцільної фосфідної евтектики по границям зерен, а також цементитних складових.

Для здійснення остаточних висновків необхідно провести подальші дослідження (мікроренгеноспектральні) з метою виявлення ліквації кремнію, фосфору та легуючих елементів, а також розподілу їх між структурними складовими чавунів.

УДК 621.74.045

Yurii Goltvianitsa[1], Volodymyr Sazhnev[2], Yuriy Torba[3], Ruslan Bekhter[4],
[1] PhD student, MTF Dpt., NU «Zaporizhzhia Polytechnic»
[2] PhD, Dotsent, MTF Dpt., NU «Zaporizhzhia Polytechnic»
[3] PhD, ZMBDB «Progres» SE named after Academician O.G. Ivchenko
[4] ZMBDB «Progres» SE named after Academician O.G. Ivchenko

PREDICTION AND AVOIDING «DEBRIS» DEFECT IN INVESTMENT CASTINGS OF TURBINE BLADES APPLYING ANALYTICAL AND CONTROL METHODS

Improper values of the relevant parameters related to sub-processes of investment casting (wax making, shell making, dewaxing, melting etc.), and chemical composition of the alloy can lead to defects in the castings. These include ceramic inclusion, so-called «debris» (non-metallic particles embedded in casting), flash (excess metal fin), misrun (unfilled sections), shrinkage (porosity due to solidification), and slag inclusion. The occurrence of casting defects needs to be predicted and prevented by suitable changes in process parameters or alloy composition to achieve the desired quality assurance. Casting defects can probably be predicted using computer simulation of the physical phenomena involved, for a given set of process parameters, alloy composition, and part geometry along with

methods design. There are a number of math models and even artificial intelligence algorithms involved in accurate prediction of defects.[1]

Investment molding results are evaluated only after examining the final product. Quality control techniques for work in stock, particularly molds, are lacking, which makes it difficult to assess the state of the ceramic shell for precision casting. This uncertainty can lead to the use of defective shells, resulting in product rejection during final inspection. One way to reduce this risk is to monitor all process parameters closely and maintain them within the desired operating range. Automated methods, such as photogrammetry, thermal imaging, and computed tomography, can be used for operational control without human intervention. [2]

The known findings in computer-based prediction could be compared with the result of similar experiment using Radiographic examination. And it shows that there is excellent agreement between computer predicted data and the result from Radiography as the defects occur at the same predicted locations.[3]

To reduce defects in casting, identifying and controlling relevant parameters through comprehensive domain knowledge is essential. However, it's a challenging task as the parameters can vary widely, and determining the range of values to avoid defects is difficult. One approach is to use a Bayesian inference-based methodology to analyze and reduce casting defects. Data on process parameters, chemical composition of alloys, and defective castings are collected from a foundry. Bayesian inference is used to compute the posterior probability of each input parameter, identifying the most influential parameters and the range of their avoidable values. [4]

Precise manufacturing methods like investment casting require detailed monitoring to identify and eliminate critical points that could impact final quality. Researchers have evaluated these points and proposed recommendations for improvement. [5]

Complete solution of the indicated problem of debris defects lies not only in diagnosing the possible causes, but also in timely avoidance of them during the technological process. This means, it is necessary to analyze the process step-by-step, and insert such proactive control method(s) that will allow us to stop the process, make corrections or repair, make some changes to comply with the created conditions in a better, minimum or zero-defect way. The methodology of the research lies in the study of defective castings, which obviously must be preserved and not reused until the end of the study.

REFERENCES

1. Sata, Amit (2016) Investment casting defect prediction using neural network and multivariate regression along with principal component analysis. *International Journal of Manufacturing Research*, vol. 11.4, pp. 356-373.

2. Zaba, K., et al (2014) Application of non-destructive methods to quality assessment of pattern assembly and ceramic mould in the investment casting elements of aircraft engines. *Archives of* Metallurgy and Materials vol. 59.4, pp. 1517-1525.

3. Ng Chuan Huat, Sulaiman Hassan, Sulastri Sabudin, Saparudin Ariffin (2005) Defect analysis of investment casting using computer prediction. Proceedings of the *International Conference on Information and Communication Technology (Cairo, Egypt, December 5-6, 2005),* Piscataway, N.J.

4. Sata, Amit, and B. Ravi (2017) Bayesian inference-based investment-casting defect analysis system for industrial application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 90, p. 3301-3315.

5. Herman, A., O. Vratny, and I. Kubelkova (2018) Monitoring of manufacture stability of large turbine blades using Infrared Thermography (IRT) in investment casting technology. *Archives of Foundry Engineering*, vol. 18.4, pp. 9-14.

УДК 669.1

Кузовов О.Ф.[1], Малий О.В. [2], Хиль А.А. [3]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-118 НУ «Запорізька політехніка»

РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЖИВЛЕННЯ ВИЛИВКА «КУЛЯ-БАБА 5Т»

Отримання щильної литої структури кулі із сталі або білого зносостійкого хромового чавуну уявляє собою дуже складну технічну задачу. Це обумовлено конфігурацією виливка, яка може бути спотворена живлячим елементом, який за класичною ливарною технологією повинен мати розміри близькі до розмірів виливка.

Виливок «Куля-баба 5т» уявляє собою кулю діаметром 1080 , матеріал виливка – сталь 25Л, маса – 5 т. Ливарна форма – кокіль із сталі 15Л, товщина стінки – 170 мм, надлив – утинутий конус діаметром 300 унизу, 250 мм – уверху, висотою 300 мм, футерований піщано-глинистою сумішшю товщиною 50 мм.

Об’єм надлива $V_{надл}$ = 17 $_{дм}^{3,}$ маса рідкого металу $G_{надл}$ = 120 кг. Заливка форми – зверху через відкритий надлив. Розміри надлива прийняті свідомо значно меншими, щоб не спотворювати конфігурацію кулі. Дефіцит живлення передбачено поповнювання шляхом доливки відкритого надлива.

Розрахунок процесу живлення зроблений за розробленою авторами формулою:

$$Ч = \frac{M^2_{жив}}{M^2_{вил}} \cdot G_{вил,} \qquad (1)$$

де Ч – частина виливка, що затвердіває одночасно із живлячим елементом;

$M_{жив}$ – модуль живлячого елемента, см;

(у даному випадку – це надлив);

$M_{вил}$ – модуль виливка, см.

Вираз (1) має формулювання: «Частина виливка, що затвердіває одночасно з живлячим елементом, пропорційна співвідношенню квадратів їхніх модулів».

Геометричний модуль надлива $M_{надл.геом.}$ = 6,88 см. Враховуючи, що надлив футерований піщаною сумішшю і константа затвердівання металу відрізняється від кокілю у два рази (2), фактичний модуль надлива буде складати $M_{надл}$ = 13,76. Модуль виливка складає $M_{вил}$ = 18,5 см

$$Ч = \frac{13.76^2}{18.8^2} \cdot 5000 = 2766 \text{ (кг)}$$

Ця маса металу при затвердінні потребує живлення від надлива ($G_ж$):

$$G_ж = k \cdot Ч \qquad (2)$$

де k – коефіцієнт сумарної об'ємної усадки в рідкому стані і при затвердіванні (для вуглецевих сталей k = 0,045);

$G_ж$ = 0,045 . 2766 = 124 (кг)

При масі рідкого металу надлива $G_{надл}$ = 120 кг реально через надлив долити цю масу рідкого металу, що спостерігається на практиці.

Залишок рідкого металу ($G_{залиш}$) всередині виливка:

$G_{залиш}$ = 5000 – 2766 = 2234 (кг)

Цей залишок уявляє собою кулю об'ємом $V_к$ = 319 дм^3, або діаметром 840 мм. Якщо ця маса металу буде затвердівати автономно, не отримуючи живлення від надлива, то треба очікувати утворення усадкової раковини об'ємом ($V_{рак}$):

$$V_{рак} = k \cdot V_к \qquad (3)$$

$V_{рак} = 0,045 \cdot 319 = 14,4$ (дм^3)

Щоб цього уникнути, треба забеспечити примусове затвердівання маси металу $G_{залиш}$ за допомогою внутрішніх холодильників у відомій кількості 25% від цієї маси. Маса внутрішніх холодильників ($G_{хол}$):

$$G_{хол} = 0,25 \cdot G_{залиш} \quad (4)$$

$G_{хол} = 0,25 \cdot 2234 = 558$ (кг)

Ця маса холодильників складає 11,2% від маси заливка, що свідчить, що умови зварювання металу холодильників з металом виливка не виконуються.

Щоб збільшити ефективність роботи надлива, треба застосувати екзотермічну оболонку. Практичний досвід показує, що такий засіб дозволяє збільшити ефективні надливи не менше, ніж на 20%. Тобто фактичний модуль екзотермічного надлива ($M_{надл.екз.}$):

$$M_{надл.екз} = 1,2\ M_{надл.} \quad (5)$$

$M_{надл.екз} = 1,2 \cdot 13,76 = 16,5$ (см)

Виконуючи розрахунки за попередньою схемою, отримаємо:

ч = 4000 кг

$G_ж = 180$ кг

$G_{залиш} = 1000$ кг

$G_{хол} = 250$ кг

Маса холодильників складає 5% від маси виливка, що задовольняє умови зварювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузовов А.Ф., Малий А.В. Можливості ливникової системи як живильного елемента виливки. Інформаційно-технічний бюлетень «Лиття України», №12, 2014, с.11-12.

2. Гуляєв Б.Б. Теорія ливарних процесів. Навчальний посібник для вишів. Л., «Машинобудування», 1976. –216 с.

УДК 669.018.28:621.9.048.6

Івахненко Є.І.[1], Майстренко О.В.[2]
[1]канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька Політехніка».
[2]студ. гр. ІФ-110 НУ «Запорізька Політехніка».

ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ

В роботі вивчали вплив режимів вібрації (частоти та амплітуди) на властивості високохромистого сплаву марки 100Х27С2Л. Хімічний склад вказаного сплаву знаходиться в межах промислового випробування.

Рідкий метал виплавляли у печі ІСТ – 0,1 з основною футеровкою. Температура металу у печі перед заливкою складала 1470…1490 ºС. Сплав заливали у кокілі для отримання відливків розмірами 115х115х115 мм та експериментальних відливків порогових плит і без болтових полок печей спікання глинозему.

Зовнішній вплив проводили механічним вібратором інерційного типу ВКСР – 200, закріплювали кокілі на вібраційний стенд з вже заданими параметрами. Досліджувані межі частоти коливання форми складали 60 – 190 Гц, амплітуда вібрації 0,2…0,01 мм. Визначали густину, твердість і міцність металу досліджуваних плавок.

Результати випробувань показали, що для високохромистого сплаву використання вібрації забезпечує підвищення густини та міцності при деякому підвищенні твердості.

Встановлено, що для високохромистого сплаву (100Х27С2Л) оптимальні параметри вібрації – частота 70 Гц, амплітуда до 0,2 мм.

Металографічне дослідження структури металу литих у кокіль зразків показали, що вплив вібрації проявляється у різкій зміні зерен фериту, більш рівномірному розподілу карбідів у матриці, глобуляризації та дроблення неметалевих включень. Протяжність зони стовбчастих кристалів зменшується в 3 – 4 рази порівняно з аналогічними зразками, залитими у кокіль без накладення вібрації. Середній розмір рівноосних кристалів зменшується при цьому у 2 – 3 рази.

Спеціально проведені дослідження показали, що оптимальні товщини стінок, забезпечують найвищу ефективність впливу вібрації, для високохромистого спаву складає 70…90 мм.

Результати проведених експериментів, підтверджують дані [1,2] по досліджуваному питанню, дозволяє припустити, що ефект зовнішнього впливу у значній мірі визначається декількома основними факторами. Один з цих факторів проявляється у тому, що коливання сприяють підвищеному контакту змочування розплавом поверхні форми та відповідно більш інтенсивному тепловідводу (більш ніж на 12%) через стінку форми, що

сприяє підвищеній кристалізації та подрібненню мікроструктури. У звичайних умовах поверхня розплавів покривається оксидною плівкою, знижуючи однорідність контакту розплаву з стінкою форми.

Вібрація інтенсивно руйнує оксидні плівки, підвищуючи цим змочування поверхні форми, у результаті швидкість охолодження розплаву підвищується та зерно фериту зменшується у 2 – 3 рази.

Другий фактор впливу вібрації на розплав – змішання шарів твердої та рідкої фаз, у результаті якого проходить подрібнення дендритів та поява рівноосних кристалів.

Природа вібраційного методу лиття полягає у тому, що рідкий метал у процесі власного затвердіння піддається впливу змінних короткочасних динамічних імпульсів, викликаючи втрату його вагомості та змінним за цим стиснення сплаву за рахунок підвищення його ефективної ваги більш ніж у 2 рази порівняно за звичайними умовами. Цей ефект спостерігається до певної частоти впливу (для кожного сплаву своя частота), після чого відбувається втрата вагомості сплаву. При появі ефекту втрати вагомості, посилюється ефект виділення розчинених газів та коагуляції включень, які при наступному імпульсі стиснення металу підсилено виштовхуються на поверхню рідкої ванни. Наявність імпульсного вакууму і подальшої компресії дозволяє умовно розглядати механізм впливу вібрації як з’єднання в малих обсягах вакуумної плавки і лиття під тиском.

Результати проведених досліджень дозволяють зробити висновок, що позитивний вплив зовнішнього впливу на кристалізацію високохромистого сплаву ефективно проявляється при відливанні виробів з товщиною стінок понад 70 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаревич І.Ф., Теорія вібраційної техніки та технології. / Фролов К.В. - М.: Наука, 1981. – 318 с.

2. Гуляєв Б.Б., Спеціальні способи лиття. / Липницький А.М. - Л.: Машинобудування, 1973. – 264 С.

УДК 669.1

Щербина А.М.[1], Сергієнко О.С.[2]
[1] студ. гр. ІФ-112м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПИЛУ МЕТАЛУРГІЙНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Пил – це зважені частинки, що утворюються при подрібненні матеріалів до порошкоподібного стану у процесі висушування, завантаження, змішування, дозування просіювання та транспортування пиловидних матеріалів, а також при спалюванні твердого палива.

З усієї номенклатури забруднювальних речовин, одним з найбільш небезпечних є дрібнодисперсний (респірабельний) пил з розміром частинок до 10 мкм. Такий пил представляє собою тверді частинки, які можуть тривалий час знаходитися в завислому стані в повітрі, недостатньо ефективно вловлюється існуючими апаратами очистки і поширюється в атмосфері на значні відстані.

Вплив пилу можуть посилювати важка фізична праця, переохолодження, деякі гази, тощо. Дрібнодисперсні частинки відносно легко проходять крізь фізіологічні фільтри людини та потрапляють у легені, де вони всмоктуються у кров. Пил відкладається на стінках судин і в сполучних тканинах навколо них. Звуження судин та погіршення циркуляції крові в організмі призводить до порушення нормальної роботи системи кровообігу.[1] Та може викликати наступні захворювання:

1) захворювання шкіри і слизових оболонок (гнійничкові захворювання шкіри, дерматити, кон’юнктивіти і ін.);
2) неспецифічні захворювання органів дихання (риніти, фарингіти, пилові бронхіти, пневмонії);
3) алергічні захворювання (алергічні дерматити, екземи, астматичні бронхіти, бронхіальна астма);
4) професійні отруєння (від впливу токсичною пилу);
5) онкологічні захворювання (від впливу канцерогенного пилу, наприклад, сажі, азбесту);
6) пневмоконісзи (від впливу фіброгенного пилу). Пневмоконіози займають перше місце серед профпатології у всьому світі.[2]

Для очищення повітря від твердих і рідких домішок в системах вентиляції використовують пило- та туманоуловлювачі. Очищення може бути грубим (видалення часток з розміром більше 50 мкм), середнім (10 мкм...50 мкм) та тонким (менше 10 мкм). Для грубого та середнього очищення використовують пиловловлювачі, дія яких заснована на

використанні сил тяжіння та інерції. Найчастіше для цього використовують циклони. Виділення пилу в них протікає під дією відцентрових сил.[3]

Для підбору найбільш ефективного циклону для очищення повітря від пилу проаналізовано дані джерел [3–6], резльтати наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики циклонів.

Назва циклону	d_{50},мкм(розмір частинок, що вловлюються в циклоні даного типу з ефективністю 50%)	ξ(коефіцієнт гідравлічного опору циклона без додаткових пристроїв)	Ціна, грн.	Продуктивність м³/год
ЦН-11-315	3,65	245	9250	620
ЦН-15-450	4,50	155	16471	2141
ЦН–15В-600	6,00	65	29322	3810
ЦН–24-600	8,50	75	22113	4600
СДК–ЦН–33-600	2,31	520	12492	2500
СК–ЦН–34-600	1,95	1050	9009	2500
СК–ЦН–22-600	1,13	700	10500	1936

Можна зробити висновок, що кращим обладнанням для боротьби з дрібнодисперсним пилом є пиловловлювач типу циклон СК–ЦН–22 за ринковою ціною 10500 грн. діаметром 0,6 м, ступінь очищення якого становить 97,9 – 99,7%, однак втрати тиску при цьому досягають 8,1 – 8,9 кПа. Недоліком такого варіанту є деяке збільшення габаритів і металоємності циклона. З'ясували, що останнім часом стереотипний підхід до залежності ступеня очищування від діаметра циклона змінився. Відомо, що чим більший діаметр циліндричної частини циклона, тим більший шлях повинна пройти частинка в процесі її виділення з газу, тим менша величина відцентрової сили, яка відкидає частинку пилу до стінок циклона, і, отже, меншою буде ступінь очищування. Однак є недоліки токої теорії, які пов'язані з нерівномірним розподілом газу по елементах, наявністю перетікань газу між елементами через загальний бункер, здатні значно зменшити ступінь очищування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козій І.С. Математично- статистичне дослідження впливу дрібнодисперсних твердих забруднюючих речовин на здоров'я людини [Текст] / І.С. Козій, І. О. Рой, О. М. Яхненко та ін.– Суми, 2011.– 5с.

2. Виробничий пил та його шкідливість для організму людни [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://vn.dsp.gov.ua/noviniupravlinnya/virobnichiy-pil-ta/

3. Кучерук В.В. Очистка вентиляционного воздуха от пыли [Текст] / В.В. Кучерук– М.: Машгиз, 1963. – 144 с.

4. Гордон Г.М. Пылеулавливание и очистка газов [Текст] / Г.М. Гордон, И.Л. Пейсахов – М.: Металлургия, 1968. – 396 с

5. Проскуріна І.В. Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від пилових викидів металургійної промисловості: дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н.:21.06.01. / Проскуріна Ірина Валеріївна.– Алчевськ , 2011.–211с.

6. СИСТЕМАКС [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://systemax.ua/ua/

УДК 621.74

Сапронов Д.С.[1], Кудін В.В.[2], Дяченко О.О.[3]
[1] студ. гр. ІФ-519 НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

МОЖЛИВОСТІ ЛИТТЯ ЗА ГАЗИФІКОВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Лиття по моделях, що газифікуються (ЛГМ) є одним з сучасних способів виробництва виливків, яке з'явилося в результаті наукових досліджень обумовлених розвитком промисловості поряд з такими процесами, як вакуумно-плівкове формування, електрошлакове та безперервне лиття, повітряно-імпульсне формування, лиття під низьким тиском та інших.

При литті за газифікованими моделями використовується одноразова модель з пінополістиролу, яка формується у піщану нероз'ємну форму. При заливанні форми рідким сплавом ця модель газифікується та заміщується металом. Для виготовлення моделей застосовується пінополістирол марок ПСВ-Л, ПСВ-ГМ 409, ПСВ-ГМ 406, ПСВ-ГМ 404 та зарубіжні аналоги.

Ливарний пінополістирол має низьку густину – 15-30 кг/м^3;

Міцність пінополістиролу на вигин має бути не менше 1,8-2,5 МПа.

Теплофізичні властивості пінополістиролу наступні:

- щільність твердого пінополістиролу, кг/м^3 – 15-30;
- щільність рідкого пінополістиролу, кг/м^3 – 1000;
- теплопровідність пінополістиролу, Вт/м·К – 0,035-0,045;
- теплоємність пінополістиролу, Дж/кг·К – 1500;
- питома теплота плавлення Дж/кг – 150000.

Специфіка ЛГМ дозволяє в багатьох випадках відмовитися від стрижнів, що окремо виготовляються, так як модель по конфігурації досить точно відтворює конфігурацію виливки. Існує кілька варіантів лиття, вибір залежить від маси та розмірів виливки, вимог до неї, а також характеру виробництва. При індивідуальному і дрібносерійному виробництві великих виливків застосовуються цілісні, не видобуті з форми пінополістиролові моделі, роз'ємні газифіковані моделі, що витягуються з форми та комбіновані, що складаються з дерев'яної видобутої моделі з відокремленими елементами. Також є можливість вводити у пінополістиролову модель різні порошки для легування та модифікування при заливці рідкого металу у ливарну форму.

Для великих форм використовують облицювальні та наповнювальні суміші. При застосуванні спеціальних опок для вакуумування форм замість піщано-глинистих сумішей використовується сухий пісок, що ущільняється вібрацією. При вакуумуванні забезпечується досить висока міцність форми, як при вакуумно-плівковому формуванні.

Декілька варіантів лиття за газифікованими моделями та їх можливості.

Policast-процес розроблений італійськими та англійськими фірмами. Технологія полягає у складанні моделей у блок стояку, який є основою для автоматизації процесу отримання виливків переважно із алюмінієвих сплавів.

Replicast-процес розроблений англійськими фірмами у двох варіантах. Перший (FM) полягає у вакуумуванні ливарної форми при заливанні рідким металом для підвищення її міцності. При другому (CS) блок моделей покривається декількома шарами вогнетривкого покриття, оболонка прожарюється при температурі 900-1000°С протягом 5-10 хвилин, при цьому відбувається видалення пінополістиролової моделі. Це виключає контакт рідкого металу з моделлю, виділення токсичних продуктів термодеструкції та поверхневе навуглецювання виливків.

ГАМОДАР-процес розроблений ФТІМС НАН України. Процес заливання відбувається за допомогою видавлювання рідкого металу у порожнину ливарної форми. Особливістю є відсутність ливникової системи, що збільшує вихід придатного литва та підвищує механічні властивості виливків за рахунок впливу низького тиску в період їх твердіння.

Лиття вакуумним всмоктуванням форм з пінополістироловими моделями забезпечує екологічність виробництва, оскільки продукти термодеструкції з вакуумної камери всмоктуються у спеціальний ресивер, а потім фільтруються.

Переваги технології лиття за газифікованими моделями (ЛГМ):

- можливість випуску виливків складної конфігурації;
- висока точність одержуваних виливків навіть за складної конфігурації;

- можливість отримання тонкостінних сталевих виливків;
- якість та щільність металу у виливку забезпечується за рахунок часткового вакуумування в процесі лиття;
- висока якість поверхні виливків дозволяє відмовитися від механічної обробки, яка необхідна при іншому способі лиття;
- мінімальний припуск на механічну обробку;
- повна ідентичність деталей у серії;
- можливість виробляти лиття з вуглецевих, високолегованих, жароміцних сталей та чавунів, а також кольорових сплавів.

До недоліків лиття за газифікованими моделями, можна віднести безповоротну втрату разової пінополістиролової моделі та виділення токсичних продуктів її термодеструкції. Це вимагає застосування відповідного технологічного обладнання для захисту навколишнього середовища та створення безпечних умов виробництва.

УДК 111
Тихий Р.С.[1], Василевська Я.А.[2], Пархоменко А.В.[3]
[1] студ. гр. ІФ-522м НУ «Запорізька політехніка»
[2] зав. навч. лаб. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ САПР ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ

Системи автоматизованого проектування в ливарному виробництві дозволяють значно покращити якість та продуктивність процесу виробництва, моделювати ливарні форми, визначати оптимальний режим заливки та контролювати якість готових виробів.

Одним з основних переваг САПР в ливарному виробництві є зменшення часу, необхідного для проектування ливарних форм та їх виготовлення. Більшість програмних засобів дозволяють створювати 3D-моделі форм, що ускладнюються та мають складні геометричні форми. Це знижує кількість помилок та допомагає визначити оптимальний дизайн форми з високою точністю.

Крім того, САПР дозволяють вирішувати завдання по визначенню оптимального режиму заливки металом. Вони забезпечують аналіз температурних режимів та напружень, які виникають під час процесу заливки. Це дозволяє попередити деформацію та руйнування форми, що може призвести до відбракування виробів, автоматизувати процес контролю якості виробів. За допомогою таких систем можна визначити розміри та геометричні параметри виробів з високою точністю, що знижує кількість відбракування та збільшує якість продукції.

Моделювання ливарної форми є важливим етапом у виробництві металоконструкцій та деталей. Цей процес зазвичай здійснюється з використанням систем автоматизованого проектування, що дозволяють створювати точні та складні 3D-моделі форм.

Один з основних етапів моделювання ливарної форми - це створення вихідної 3D-моделі виробу, який потрібно виготовити. Зазвичай цю модель створюють у програмному забезпеченні САПР, використовуючи дані з креслень або сканування реального виробу.

Після цього створюють модель ливарної форми. Для цього можна використовувати готові моделі форм, що зберігаються в бібліотеці САПР або створити модель форми з нуля. У процесі моделювання форми враховуються різні фактори, такі як терміни служби форми, технологічні вимоги виробництва, матеріал, з якого буде виготовлена форма та інші.

Далі проводяться різні етапи оптимізації форми, включаючи аналіз температурних режимів та напружень, що виникають під час процесу заливки металом. Це дозволяє попередити деформацію та руйнування форми, що може призвести до відбракування виробів. Коли форма готова, проводяться додаткові етапи перевірки її на точність та можливість виробництва. Це зазвичай здійснюється з використанням різноманітних алгоритмів та інструментів САПР.

Загалом, моделювання ливарної форми є важливим етапом виробництва металоконструкцій та деталей.

Існує декілька різновидів програмного забезпечення для моделювання ливарних процесів, які відрізняються функціональністю та способом реалізації.

Один з прикладів – це програмне забезпечення MAGMAsoft, яке використовує технологію скінченних елементів для моделювання процесу зливки, включаючи процес наповнення, затвердіння та відпуску. Це програмне забезпечення дозволяє прогнозувати дефекти виробів та відбій під час виробництва.

Іншим прикладом є програмне забезпечення ESI ProCAST, яке використовує фізичні моделі для прогнозування поведінки матеріалу та процесів, таких як наповнення, затвердіння та відпуск. Це програмне забезпечення також дозволяє враховувати вплив різних факторів, таких як температура і склад матеріалу, на якість виробів.

Відмінною особливістю FLOW-3D є потужний гідродинамічний вирішувач, який дозволяє адекватно і з високим ступенем точності моделювати течію металу в ливарній формі та достовірно прогнозувати дефекти лиття, що утворюються на етапі заливки металу в форму.

Ще одним прикладом є програмне забезпечення NovaFlow&Solid, яке використовує метод рідинних елементів (LBM) для моделювання процесу

наповнення та затвердіння металу. Це програмне забезпечення також дозволяє прогнозувати дефекти виробів та відбій під час виробництва.

Усі ці програми мають свої переваги та недоліки, але в цілому вони дозволяють прогнозувати процеси ливарного виробництва, що допомагає покращити якість виробів та ефективність виробництва. Однак, для успішного застосування програмного забезпечення для моделювання ливарних процесів, необхідно мати високоякісні дані про матеріали та процеси виробництва.

Таким чином, використання САПР в ливарному виробництві забезпечує зниження часу та витрат на проектування та виготовлення ливарних форм, оптимізацію процесу заливки металом та контроль якості виробів, забезпечуючи більш точне та прогнозоване виробництво.

УДК 621.74
Дібров Я.А[1], Гнатенко М.О.[2]
[1] студ. гр. ІФ-519 НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ ЛИВАРНИКІВ

На сьогоднішній час в умовах довготривалого дистанційного навчання існує проблема яка полягає у відсутності доступу студентів і викладачів до виробничого обладнання і відвідування підприємств загалом.

Майбутнім інженерам важливо не лише знати про принцип дії і роботу обладнання з якими вони будуть працювати, а і мати уявлення про розміри, реальний зовнішній вигляд машин та дослідити, зрозуміти і відпрацювати виробничі процеси власноруч.

Одним з методів вирішення даної задачі є використання віртуальних середовищ при навчанні студентів зокрема, для створення моделей обладнання та деталей використано стандартні пакети 3D графіки, для створення віртуального середовища і візуалізації пропонується використовувати ігровий рушій Unreal Engine. Використання даного софту дозволить відтворювати як безпосередньо максимально наближені до реальності моделі обладнання, робочі вузли і механізми так і моделювати металургійні процеси: від заливки, плавки, кристалізації, до механічної обробки.

Використання даних методик дає наступні переваги при впровадженні у навчальний процес:

Впровадження віртуальних лабораторій дозволить студентам більш детально вивчати будову та функціонування складних механізмів та

конструкцій, що забезпечує більш глибоке розуміння теми та підвищує якість навчання.

Використання 3D графіки та Unreal Engine дозволить проводити віртуальні екскурсії в інженерних спорудах та цехах, що дозволить студентам краще зрозуміти технологічні процеси та особливості роботи у певних умовах.

Використання віртуальних лабораторій дозволить проводити практичні заняття в умовах максимально наближених до виробництва.

Віртуальні лабораторії, можуть бути використані для навчання студентів різних технічних спеціальностей, включаючи ливарну справу, машинобудування та інші інженерні спеціальності.

Віртуальна лабораторія в Unreal Engine дозволить студентам експериментувати з різними параметрами та налаштуваннями у безпечному віртуальному середовищі.

Використання віртуальних лабораторій у навчальному процесі може підвищити інтерес студентів до навчання, оскільки віртуальна реальність дозволяє студентам підійти до навчання з іншого ракурсу, що може зробити навчання більш захоплюючим та цікавим.

Застосування віртуальних лабораторій може бути ефективним способом підвищення якості навчання для студентів технічних спеціальностей, забезпечуючи студентам зручний, ефективний та безпечний спосіб вивчення матеріалу особливо у тих умовах коли немає доступу до реального обладнання.

Створення віртуальної лабораторії не потребує коштовного обладнання.

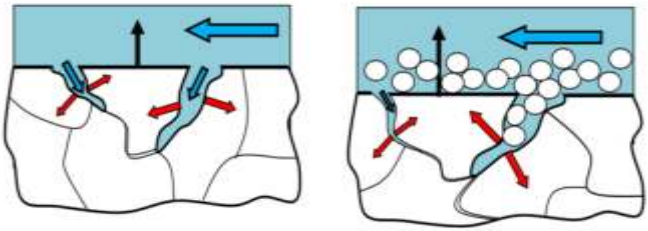
Для створення 3D моделей можна використовувати OpenSource софт та безкоштовні програми, рушії для візуалізації такі як Unity та Unreal Engine також є безкоштовними для використання.

СЕКЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

УДК 669.15
Нетребко В.В.[1]
[1] проф. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ РУХОМОГО СЕРЕДОВИЩА НА НАПРУЖЕННИЙ СТАН МЕЖ ЗЕРЕН ТА МІКРОТРІЩИН

Гідро-абразивне зношування є найбільш небезпечним видом абразивного зношування. Наявність рідкої складової призводить до виникнення ефекту Ребіндера і розклинення меж зерен та мікротріщин. В процесі руху деталей у рідкому середовищі виникають ефекти які посилюють руйнування. Зношування (втрати маси) зростає за наявності пульпи – частинок із розміром до 0,5 мкм. Дрібні частинки накопичуються в дефектах поверхні, межах зерен та мікротріщинах і під впливом (тиском) рухомої рідини дія гідродинамічного клину посилюється, що сприяє поширенню тріщин і руйнування в цілому.



а б

а – гідродинамічне розклинення меж зерен;
б – гідродинамічне розклинення меж зерен за наявності пульпи.

Рисунок 1 – Схеми процесів руйнування за гідро-абразивного зношування

Потік дрібних абразивних частинок (пульпи) рухаючись уздовж карбідів, дендритів та мікродефектів, подібно до руху по жолобу, розширював та заглиблював зону руйнації, що призводило до утворення тріщин, які розповсюджувалися та призводили до відокремлення цілих фрагментів В наслідок розклинення меж зерен руйнування відбувається цілими зернами та фрагментами.

Аналіз різних марок зносостійких чавунів у стані литва та після термічної обробки показав, що в умовах гідроабразивного зношування у середовищі із пульпою найменші втрати маси мав чавун 110Х12Г5Н2 без термічної обробки.

УДК 669.295:621.793.71

Кирилаха С.В.[1], Завгородній О.В.[2], Білоник І.М.[3]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТИТАНОВИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Одним з найперспективніших і стрімко розвиваючих напрямів розвитку світової промисловості в останні роки стали адитивні технології (АТ). Серед основних переваг АТ можна виділити те, що за допомогою автоматизованого комп'ютерного управління з'являється можливість пошарового виготовлення нового виробу або відновлення пошкодженої частини виробу після експлуатації з його тривимірної 3D моделі.

Одним з найбільш активно, що розвиваються напрямів виготовлення деталей ГТД складної конфігурації з титанових сплавів є адитивні технології (від англійської Additive Fabrication або Additive Manufacturing – AM). Деталі виготовляють шляхом формування шару матеріалу, з наступним затвердінням та фіксацією цього шару відповідно до конфігурації перерізу CAD-моделі.

Для виготовлення деталей методами AM як витратний матеріал переважно застосовуються порошки з необхідними параметрами: хімічний склад, розміри та сферична форма частинок. Необхідні розміри частинок та сферичну форму порошків титанових сплавів одержують за допомогою різноманітних технологій атомізації, які ґрунтуються на процесах розпилення металу з розплавленої титанової заготовки.

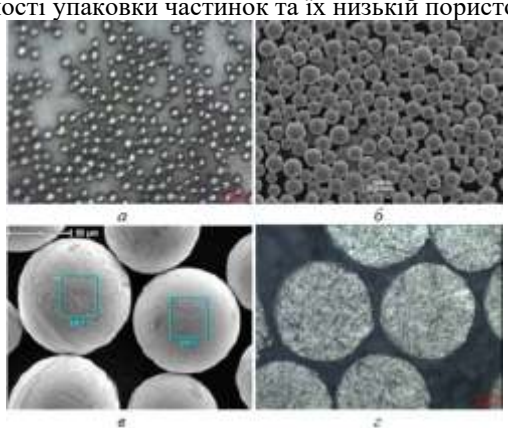
До сучасних методів отримання титанових порошків відносяться такі, як: гідрування-дегідрування з титану губчастого, диспергування розплавів, електрохімічного відновлення оксидів металів, FFC, OS, EMR и PRP, розпилення певного розплаву, гідрометалургійні методи (у тому числі автоклавний та карбонільний), електроліз водних та соляних розчинів, дифузійне насичення з точкових джерел, подрібнення твердих речовин. Потенційні переваги цих методів: найбільш продуктивні, економічні (низька собівартість) та ефективні методи отримання дрібних та середніх порошків металів, мають сферичну форму та дрібнодисперсну структуру порошку. Головним недоліком цих методів є необхідність використання дорогого і складного устаткування.

Одним із найбільш перспективних методів отримання титанових порошків є відцентрово-плазмове розпилення (метод PREP – Plasma Rotate Electrode Process – з міжнародної класифікації). Даний метод полягає у тому, що електрод з розпилюваного сплаву обертається навколо горизонтальної осі,

а його вільний кінець розплавляють за допомогою електричної дуги. Краплі розплавленого металу зриваються з електрода і кристалізуються у вільному падінні до зіткнення зі стінками камери розпилення. В цій камері є захисне інертне середовище (або вакуум), що дозволяє отримувати порошки з високою чистотою поверхні. Частинки, отриманого в такий спосіб порошку, мають сферичну форму. Середній розмір цих частинок залежить від технологічних параметрів розпилення та відповідає інтервалу розмірів 40...200 мкм.

Аналіз порошків, отриманих методом відцентрового розпилення:

- суттєво нижче вміст кисню;
- вищий коефіцієнт однорідності частинок (для фракцій -70 і -100 мкм);
- нижчі значення питомої поверхні частинок; вище значення пікнометричної та насипної щільності. Це підтверджує більш високі показники щільності упаковки частинок та їх низькій пористості.



а,б,в – зовнішній вигляд; г – структура.

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд та структура титанових порошкових матеріалів сферичної форми, отриманих методом плазмового відцентрового розпилення

Крім того, можна застосувати активний вплив атмосфери на властивості отриманих порошків. Метод розпилення рідкого металу з використанням води, азоту, аргону або їх комбінації, а також відновлення оксидів металів у водні або з використанням вуглецю дають можливість отримати порошки з високим рівнем фізичних та механічних властивостей. Встановлено, що порошки мають розвинену поверхню, характерну для титану губчатого, з мінімальною сумарною поверхнею, що позитивно позначається на здатності до наступного спікання. В результаті таких технологічних процесів порошки мають ідеальну сферичну форму, в них відсутні сателіти та внутрішні пори, з необхідним гранулометричним складом (40-100 мкм) для адитивних технологій.

UDC 621.452.3.
Kuts D.O.[1], Efanov V.S.[2], Laptieva H.M.[3]
[1] PhD Student of the National University "Zaporizhzhia Polytechnic"
[2] Doctor PhD, Associate Professor of the National University "Zaporizhzhia Polytechnic"
[3] Candidate of Engineering Scienses, Associate Professor of the National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES COMBUSTION CHAMBER WHEELS

One of the most urgent problems of the modern aviation industry that needs to be solved is the labor intensity of production, the modernization of already existing processes and the creation of new technological processes.

It is additive technologies that have the greatest importance in the development of the technological process of manufacturing complex technical systems in aircraft construction. The essence of such technologies consists in the creation of a computer model of the part and its manufacture with the help of layer-by-layer addition of metal on special equipment using various methods, such as the method of selective laser sintering (selective laser sintering - SLS).

Using the example of manufacturing a combustion chamber swirler using the SLS method, it is shown the possibility of a sharp reduction in the working time of the structure and its geometric parameters in order to obtain the necessary cost characteristics of the product without additional production preparation. Let's consider the application of this method on the example of the manufacture of a monolithic swirler of the combustion chamber, in the basic version it consists of three parts obtained by the method of casting according to the models that are melted. To do this, we change the design by combining the input parts into a single whole, while excluding welded and soldered seams. This change in design elements made it possible to reduce the number of parts and the cost of one swirler by more than half, as well as to significantly reduce production time and minimize defect. After the release of the design documentation, which includes 3-D models (taking into account the specifics of the presence of the "support" material, sintering conditions, etc.), we select a material that satisfies both in terms of strength and temperature characteristics. After printing, in order to increase the density of the material, the parts and samples undergo hot isostatic pressing (HIP) followed by heat treatment. The density depends on the development of pores during the printing process, as well as the presence of non-metallic (in particular, gas) inclusions. The higher density and homogeneity of the blanks after HIP improves mechanical properties with corresponding increases in tensile strength and yield strength, ductility and fracture resistance. Carrying out the HIP process

also reduces the spread of these characteristics along the cross-section and length of the workpiece. According to the work, the mechanical properties of compact samples from powder materials of fraction 20-45 μm based on mono aluminum nickel are able to provide the following record level due to the hot isostatic pressing cycle: compressive strength of the order of 3200 MPa, yield strength of 100, relative compression only at the level of 17%. After the HIP process and heat treatment, the parts are checked by non-destructive control and geometry for compliance with the drawing. This is followed by a check of air flow along the contours. The results of blowing along both contours showed a difference in air consumption of less than 5%, in contrast to the results of blowing swirlers manufactured according to the current technology (casting method according to molten models) - 12%. The use of the SLS technological process in the production of the swirler ensured high stability of air flow along the contours of the swirler and reduced the stage of production preparation in the serial production of such parts.

Thus, the SLS method has significant advantages, including reducing the number of necessary post-processing stages, controlling the spatial distribution of the composition and microstructure by printing with optimized parameters, as well as designing complex structural elements in combination with a computer system, increasing reliability and reducing labor intensity, the mass of the certificate is reduced by more than 15%.

From the above, it follows that the use of additive technologies mainly has a positive effect on the technological aspects of the production of parts, and the use of this technology for the production of parts in aircraft construction will increase every year.

УДК 621.452.3.

Куц Д.О.[1], Єфанов В.С.[2], Лаптєва Г.М.[3]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р PhD, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЇ У АВІАБУДУВАННІ

Однією з найактуальніших проблем в авіаційній промисловості є трудомісткість виробництва, модернізація існуючих процесів та створення нових технологічних процесів. Застосування адитивних технологій має велике значення у розвитку технологічного процесу виготовлення складних технічних систем в авіабудуванні [1]. Суть таких технологій полягає у створенні комп'ютерної моделі деталі та її виготовленні за допомогою пошарового додавання металу на спеціальному обладнанні з використанням різних методів, таких як метод селективного лазерного спікання (SLS).

На прикладі виготовлення завихрювача камери згоряння за методом SLS показано можливість різкого зниження часу відпрацювання конструкції та її геометричних параметрів з метою отримання необхідних витратних характеристик виробу без додаткової підготовки виробництва. Розглянемо застосування даного методу на прикладі виготовлення монолітного завихрювача камери згоряння, який в базовому варіанті складається з трьох деталей, виготовлених методом лиття за моделями, що виплавляються. Для досягнення цього результату, ми змінили конструкцію, поєднавши вхідні деталі в одне ціле, виключивши зварні та паяні шви. Це дозволило нам скоротити номенклатуру деталей та зменшити вартість одного завихрювача більше ніж удвічі, а також суттєво зменшити час виробництва та звести до мінімуму брак. Після створення конструкторської документації, яка включає 3-D моделі (що враховують специфіку наявності матеріалу «підтримки», умови спікання і т.д.), ми підбираємо матеріал, що задовольняє як міцнісні, так і температурні характеристики. Після друку, деталі та зразки проходять гаряче ізостатичне пресування (ГІП) з метою збільшення щільності матеріалу, а потім піддаються термообробці. Щільність залежить від розвитку пір у процесі друку, а також наявності неметалевих (зокрема газових) включень. Вища щільність і гомогенність заготовок після ГІП покращує механічні властивості з відповідним підвищенням міцності на розтягування та плинності, ковкості та опору руйнуванню. Розглянемо експеримент з проведенням процесу гарячого ізостатичного пресування (ГІП), що сприяє зниженню розкиду характеристик по перерізу та довжині заготовки. Згідно з результатами випробувань механічних властивостей компактних зразків з порошкових матеріалів фракції 20-45 мкм на основі

моно-алюмінію-нікелю, проведення циклу ГІП забезпечило наступний рекордний рівень властивостей: межа міцності на стиск порядку 3200 МПа, межа текучості 100, відносне стискання лише на рівні 17%. Після проведення ГІП та термообробки, деталі проходять неруйнівний контроль та перевіряються за геометрією для відповідності кресленням. Наступним кроком є перевірка витрат повітря по контурах. Результати продування обох контурів показали різницю витрат повітря менше 5%, що відрізняється від результатів продування завихрителів, виготовлених за діючою технологією (методом лиття за моделями, що виплавляються), де різниця склала 12% [2]. Використання технології SLS при виготовленні завихрювача забезпечило високу стабільність витрат повітря по контурах завихрювача та скоротило етап підготовки виробництва при серійному виготовленні таких деталей.

Отже, метод SLS має значні переваги, зокрема, скорочує кількість необхідних пост-обробних етапів, забезпечує контроль просторового розподілу складу та мікроструктури за допомогою друку з оптимізованими параметрами та дизайном складних конструкцій у поєднанні з комп'ютерною системою. Це підвищує надійність і знижує трудомісткість. З усього вищевикладеного випливає, що застосування адитивних технологій має переважно позитивний вплив на технологічні аспекти виготовлення деталей, а застосування цієї технології в авіабудуванні буде зростати з кожним роком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шарова Н.А., Живушкін А.А., Тихомирова Є.А., Кузьмін О.В., Малигін С.М., Соловйова А.В. Актуальні питання застосування нових технологій для двигунів ближньої перспективи. // Світ техніки та технологій. 2021. №1. С.132-134.

2. Левашов Є. А., Капланський Ю. Ю., Курбаткіна С. С., Пацера Є. І., Самохін А. С., Фадєєв А. А., Мартинов Д. А., Гурських А. С., Чупеєва А. Н. Нове покоління жароміцних нікелевих сплавів з ієрархічною структурою та їх застосування в адитивних технологіях // Матеріали 13-ї міжнародної науково-технічної конференції. Мінськ, 2018. С. 62-65.

УДК 669.295:669.187.56

Білоник Д.І.[1], Попов С.М.[2], Білоник І.М.[3], Кирилаха С.В.[4]
[1,4] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р філософ. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ЗЛИВКІВ ТИТАНУ ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ЕШП

На отриманих електрошлакових титанових зливках було проведено дослідження структури та властивостей. Дослідження макроструктури злитків показало, що для виливків всіх типорозмірів характерно формування щільної та однорідної структури, відсутність дефектів ліквацiйного та усадкового характеру. Стовпчасті кристали мали радіально-осьову спрямованість, що характерно для електрошлакових виливків. Поперечний розмір стовпчастих кристалів змінювався від 1,25 мм до 3,50 мм відповідно на краю та в центрі виливки. По висоті злитків різниця в макробудуванні не виявлено. Ультразвуковий контроль показав відсутність у зливках внутрішніх дефектів та крупних неметалевих включень. Зафіксував наявність незначних за розміром усадочних раковинок на верхніх торцях зливків, що обумовлено тим, що по закінченню плавок операцію усадки не виконували. Мікроструктура виливків представляє α-розчин.

При дослідженні механічних властивостей електрошлакового титану встановлено, що характеристики міцності $\sigma_в$ та $\sigma_{0,2}$ вище в 1,7 та 1,8 раз, відповідно, ніж у технічного титану ВТ1Л (таблиця 1). Але пластичністю електрошлаковий титан поступається. В α-сплаві ТЛ-3 для підвищення міцності ($\sigma_в$ та $\sigma_{0,2}$ застосовують легування алюмінієм (4,1-6,2%), але при цьому одночасно знижується їх пластичність (δ та ψ). Порівнюючи механічні властивості дослідного титану з механічними властивостями сплавів ТЛ-3 та можна зробити висновок, що їх різниця незначна.

Таблиця 1 – Механічні властивості та кількість домішок литого електрошлакового титану, технічного титану ВТ1Л та ТЛ-3

Марка сплаву	Механічні властивості				Кількість домішок, %					
	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %	O_2	N_2	H_2	C	Fe	Si
Дослідний титан після відпалу	590	560	7,5	13,5	0,25	0,058	0,0016	0,12	0,28	0,10
ВТ1Л* технічний титан	<343	<297	< 10,0	<20,0	< 0,20	<0,05	<0,015	<0,15	<0,30	<0,15
ТЛ-3* (Ti + 4,5 % Al)	<588	<539	<8	<16	<0,15	<0,05	<0,015	<0,15	<0,30	<0,15

Більш низькі характеристики пластичності дослідних зливків визначаються не тільки підвищеним вмістом кисню та азоту, а й крупнокристалічною будовою литого титану. Зменшити розмір литого зерна в зливках для наших умов можливо, наприклад, такими способами:

1) скорегувати режим плавки (струм, напруга, швидкість наплавлення, кількість флюсу) для зменшення глибини металевої ванни та збільшення швидкості кристалізації;

2) модифікувати зливок бором, лантаном або ітрієм.

Також доцільно забезпечити більш ефективний захист від кисню та азоту повітря розігрітої частини витратного електроду та поверхні шлакової ванни. Застосування даних заходів поодинці чи в комплексі повинно значно підвищити показники пластичності литого електрошлакового титану.

При дослідженні технологічних властивостей було встановлено, що електрошлаковий титан добре піддається механічній обробці різанням. Суттєвої різниці в оброблюваності різанням в порівнянні з титаном ВТ1Л не виявлено. Про це свідчили як сам характер різання (дрібна кручена стружка), так і отримання необхідного класу шорсткості поверхні і конфігурації технологічних проб.

Встановлено, що формування зварних швів та самого з’єднання відбувається нормально. в зоні сплавлення пор не виявлено, не зважаючи на декілька підвищений вміст кисню і азоту в зразках. При дослідженні макроструктури зварного з’єднання слід зазначити його структурну однорідність. Тобто, всьому з’єднанню притаманна структура литого титану. Міцністні характеристики зварного шва декілька нижче ніж основного металу (електрошлакового литого титану), а пластичність вище (табл. 2). Руйнування зварного з’єднання при дослідженні на статичне розтягнення відбувається по зварному шву, що обумовлено більш високою чистотою присадного дроту у порівнянні з основним металом. Отже, при зварюванні литого технічного електрошлакового титану може бути отримано однорідне і рівноміцне з’єднання якщо застосовувати леговані присадні дроти, наприклад ОТ4св або ОТ4-1св.

Таблиця 2 – Механічні властивості зварного з’єднання литого електрошлакового титану

Тип зразка	Механічні властивості				
	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %	НВ
Основний метал	590	560	7,5	13,5	224
Метал зварного шва	556	530	8,9	15,8	218

УДК 669.187.56:669.295

Білоник Д.І.[1], Попов С.М.[2], Білоник І.М.[3], Кирилаха С.В.[4]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р філософ. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[4] асп. НУ «Запорізька політехніка»

ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ У ВІДКРИТОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ ЕЛЕКТРОДІВ ЩО ВИТРАЧАЮТЬСЯ, ВИГОТОВЛЕНИХ З ВІДХОДІВ ЛИСТОВОЇ ОБРІЗІ ТИТАНУ ВТ1-0

Надійність і довговічність деталей машин та обладнання з титанових сплавів значною мірою залежить як від умов експлуатації, так і від властивостей сплавів. Однак у більшості випадків немає потреби реалізовувати одночасно весь комплекс спеціальних властивостей титанових матеріалів. Наприклад, висока ударна в'язкість титану ВТ1-0 часто не повною мірою використовується для обладнання, що працюють в умовах корозійного впливу. У ряді конструкцій з титану і титанових сплавів схильних до механічних навантажень доцільно збільшити межі міцності і плинності при колишньому рівні корозійної стійкості.

На машинобудівних підприємствах України при виготовленні хімічного, газоочисного, котельного обладнання широко використовується листовий прокат титанових сплавів, зокрема титан ВТ1-0. Відходи титану, що утворюються в результаті розкрою листів на заготовки, можуть становити до 35% від вихідної кількості матеріалу. Хімічний склад листового обрізу відходів, як правило, не зазнає істотних змін у порівнянні з вихідним титаном ВТ1-0. Тому з огляду на високу вартість титанових сплавів проблема переробки відходів листового обрізу з метою отримання вторинного титану у вигляді заготовок деталей є важливою та актуальною.

Для вирішення даної проблеми дослідили можливість застосування процесу електрошлакового процесу у відкритому кристалізаторі, який забезпечує високу якість литого металу, а також дозволяє виплавляти різні за формою і розмірами заготівлі деталей з мінімальними допусками на механічну обробку.

Опитні плавки проводили на електрошлаковій установці ЕШП-0,25 на якій був встановлений струмопровід ковзного типу, що дозволяє підводити струм до електрода, що витрачається, безпосередньо на рівні верхнього фланця кристалізатора. Це забезпечило значне зниження опору короткої мережі установки, а також виключило перегрів та окислення поверхні електрода, що витрачається під час плавки.

Відходи листового обрізу титану ВТ1-0 розрізали гільйотинними ножицями на полоси шириною від 30 до 50 мм, а потім зварювали аргоно-дуговим зварюванням у електроди, що витрачаються. Переплав електродів

проводили в кристалізаторі діаметрів 60 мм, 85 мм і перетином 90×100 мм з використанням флюсу АНФ1-П. З метою захисту шлакової ванни та рідкого металу від впливу атмосфери, в плавильну ємкість в кристалізаторі подавали захисний газ аргон. При проведенні плавок варіювали величиною електричної потужності, що виділяється шлаковою ванною швидкістю наплавлення, кількістю флюсу, коефіцієнтом заповнення.

В результаті проведених експериментів визначили оптимальні значення параметрів електрошлакового процесу, на яких плавлення електродів проходило стабільно, кидки струму були відсутні. Отримані зливки мали гладку, блискучу поверхню (рис. 1).

а б

а – діаметром 85 мм; б – перерізом 90х100мм.

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд електрошлакових зливків.

Хімічний склад отриманих зливків: Ti – основа; C = 0,024 %; Fe = 0,06 %; Si = 0,05 %; O_2 = 0,25 %; N_2 = 0,058 %; H_2 = 0,0016 %.

Таким чином, було встановлено принципову технологічну можливість застосування електрошлакового процесу для переплаву витратних електродів, виготовлених з відходів листової обрізі титану ВТ1-0.

УДК 621.9.06-529.001
Терещенко В.В.[1], Бажміна Е.А.[2]
[1] студ. гр. Т-212 НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ТЕОРЕТИЧНА БАЗА СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ НА ЧПУ ВЕРСТАТАХ

Цифрові фрезерувальні верстати із числовим програмним управлінням (ЧПУ верстати) є неодмінною частиною сучасного виробництва в різних галузях промисловості, що підвищує продуктивність та якість виготовленої продукції. Верстати призначені для фрезерування складних деталей із високою точністю та повторюваністю, особливо в таких галузях як авіаційна та медична техніка. ЧПУ верстати автоматизують процес виробництва та знижують ризики помилок у процесі обробки матеріалу. Однією з головних переваг роботи з такими верстатами є можливість швидко змінювати налаштування та переходити до виробництва нових деталей, що зменшує час настроювання та підвищує ефективність виробництва.

Створення програм для ЧПУ верстатів вимагає від фахівця розуміння тривимірних форм та принципів проєкціювання геометричних образів, що ґрунтуються на знаннях нарисної геометрії. Так, для створення програми обробки деталі на верстаті необхідно розуміти розташування точок у просторі, розміщення деталі на робочій поверхні верстата, відстані між різними точками тощо. Крім цього, для ефективної роботи із ЧПУ верстатами потрібно вміти використовувати різні програмні засоби для розробки моделей, що також вимагає знань комп'ютерної графіки.

Для зручної роботи з фрезами необхідно застосовувати вміння розв'язувати рівняння прямокутного трикутника. Щоб дізнатися кут конічної фрези, необхідно обчислити кут α за допомогою рівняння alpha = asin (a/c) (рис. 1).

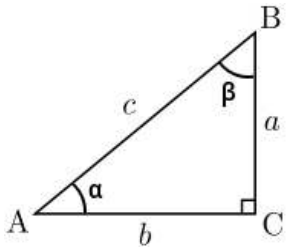


Рисунок 1 – Обчислення кута α

Приклади розроблених векторів для ЧПУ верстата проілюстровано на рис. 2, а готовий виріб – на рис. 3.

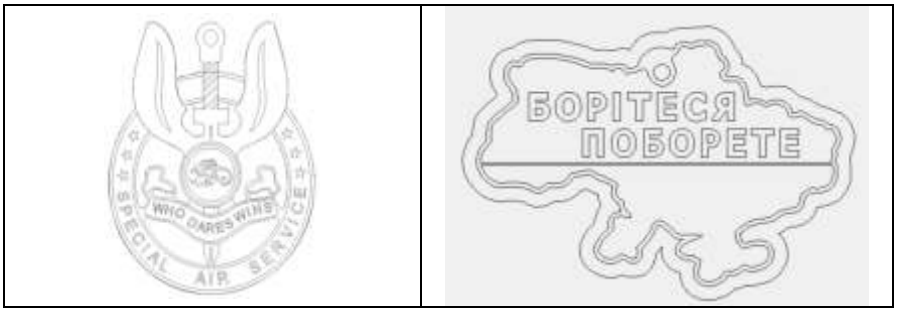


Рисунок 2 – Авторські роботи деталей (Валерій Терещенко)

Рисунок 3 – Готовий виріб військового жетона

Отже, знання нарисної геометрії та комп'ютерної графіки є теоретичною базою для роботи із ЧПУ верстатами, оскільки сприяють ефективному використанню різних програмних засобів розробки моделей і створенню програм.

УДК 621-047.58
Бажміна Е.А.[1], Юренко С.А.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Т-322 НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ

Моделювання конструкцій є процесом розробки моделей деталей цілісної будови в різних галузях науки та техніки, що уможливлює їх виготовлення для потреб суспільства. Моделювання конструкцій ґрунтується

на знаннях основ нарисної геометрії та інженерної графіки й виконується в різних програмах засобами цифрових технологій.

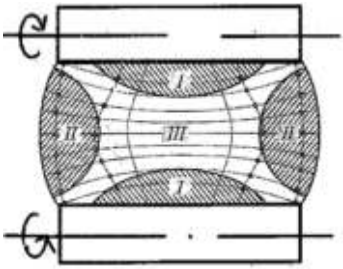
Так, для моделювання деталі спочатку обирають її основу – фігуру деталі. Потім удосконалюють первісну форму, додають потрібні елементи, реалістичність відображення і демонструють деталь у тривимірному зображенні, що дає цілісне уявлення про певний продукт. Рівень реалістичності повністю залежить від вибору матеріалу. Сучасні програми надають повний спектр таких текстур. Одним із найскладніших етапів 3D моделювання є корекція світла та місця спостереження. Корекція дає змогу показати глибину тіней, рівень яскравості та тон світла. Місце спостереження можна вибрати, як із висоти пташиного польоту, так і масштабування простору з ефектом присутності в ньому (вибір погляду з висоти зросту людини). Якщо необхідно досягти максимальної деталізації, то доцільно додати такі графічні спеціальні ефекти як туман, сяйво тощо. Якщо треба зробити відеовізуалізацію, то знадобиться налаштування предметів, ландшафтів. Це робиться з метою максимальної ілюстрації деталей конструкції та її внутрішньої будови, за необхідності.

Після завершення 3D моделювання просторове зображення деталі перетворюють на кресленик із необхідними розрізами, перерізами, виносними елементами та виготовляють на вибраному обладнанні.

УДК 669.14.018.4:629.3.027.4
Міщенко В.Г.[1], Бажміна Е.А.[2], Шевченко Д.О.[3]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. Т-212 НУ «Запорізька політехніка»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СХЕМИ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛІ 10ХФТБЧ ДЛЯ КОЛІС АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

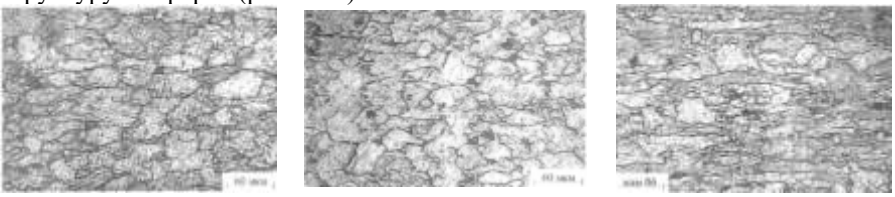
Експериментальна перевірка результатів моделювання та дослідження впливу схеми гарячої деформації сталі 10ХФТБч для коліс автотранспортних засобів, проведена шляхом прокатування зразків (моделей) і вивчення їх структури (рис. 1). Загалом можна виділити три зони з різним ступенем деформованості. У першій зоні різниця між напруженнями незначна і може не відповідати умові пластичності, хоча самі напруження (рівні) великі. У третій зоні стримуючий вплив сил тертя такий же, як і в другій, але схема напруженого стану інша (спостерігається напруження розтягування), що знижує пластичні властивості та погіршує деформованість тіла.



I – зона гальмування; II – зона периферійної деформації;
III – зона інтенсивної деформації

Рисунок 1 – Схема розташування полів деформації

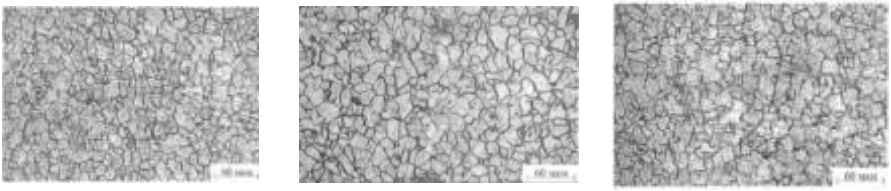
Результати проведеного експерименту демонструють, що всі зразки після прокатування з різною температурою деформації мали різнозеренну структуру в перерізі (рис.2 – 3).



а б в

а – зона контакту з інструментом, I; б – зона периферії, II;в – центральна зона інтенсивної деформації

Рисунок 2 – Мікроструктура деформованих зразків сталі при температурі деформації 770 °С (×360)



а б в

а – зона контакту з інструментом, I; б – зона периферії, II;в – центральна зона інтенсивної деформації

Рисунок 3 – Мікроструктура деформованих зразків сталі при температурі деформації 850 °С (×360)

Встановлено, що зниження температури деформації сприяє зменшенню розмірів рекристалізованого аустенітного зерна, а відповідно, подрібненню феритного зерна. Ще одним важливим чинником запобігання росту феритного зерна у верхній частині феритної області є охолодження сталі у валках.

Рекомендований режим для сталі 10ХФТБч: температура закінчення прокатування – 850 °С, початок прискореного охолодження – 750 °С, температура намотування смуги у валки – 600 °С.

Так, у разі закінчення прокатування при 850 °С були отримані такі механічні властивості, визначені в ході випробування на розрив: межа міцності 540 ... 560 МПа, ударна в'язкість 0,80 ... 0,85 МДж/м2, відносне подовження 25...29 %. У разі зниження температури деформації забезпечуються вищі характеристики міцності при помітному зниженні пластичності та ударної в'язкості. Механічні властивості визначені на зразках після рекристалізаційної обробки з 850 °С.

За допомогою методу фізичного моделювання розкрито механізм впливу енергосилових параметрів прокатування на формування макро- і мікроструктури двофазних сталей (ферито-перлітної), у процесі їх гарячої деформації. Застосована схема напружено-деформованого стану, з використанням робочих валків змінного перерізу, забезпечила підвищення однорідності структури розроблених сталей і зберегла центральну частину перерізу прокату від перегріву.

У процесі дослідження запропоновано методологію кількісного визначення температурного поля центральної частини листового прокату, яку необхідно враховувати при розробці або проєктуванні технологічного процесу термопластичного деформування; визначено кілька варіантів комплексних технологій гарячого прокатування двофазних, листових низьколегованих сталей, що дають варіювати механічні та експлуатаційні характеристики.

Отже, реалізація рекомендованих режимів термопластичної деформації для сталі 10ХФТБч із такими параметрами: температура закінчення прокатування – 850 °С, початок прискореного охолодження – 750°С, температура намотування смуги у валки – 600 °С сприяє підвищенню механічних властивостей сталі до рівня $\sigma_в = 540..560$ МПа, $\delta = 25...29$ %, KCU=0,80...0,85 МДж/м2.

УДК 669.141.3:620.179
Міщенко В.Г.[1], Павлюк О.А.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Т-412 НУ «Запорізька політехніка»

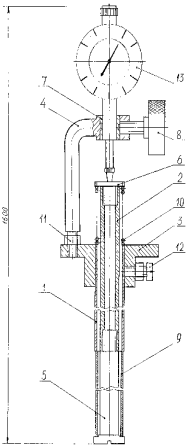
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ЦЕМЕНТОВАНОГО ШАРУ ДОСЛІДЖУВАНОЇ СТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ДИЛАТОМЕТРА

Спосіб контролю параметрів цементованого шару досліджуваної сталі за допомогою диференціального дилатометра дає змогу безпосередньо в процесі хіміко-термічної обробки (ХТО) сталі реєструвати початок та завершення насичення, фіксувати процес зневуглецювання (деазотування), а також регулювати активність насичувального середовища для отримання гарантованих параметрів дифузійного шару.

Штовхачі дилатометра (рис. 1) – 1 і 2 не повинні піддаватися впливу вуглецевого середовища та зазнавати фазових перетворень під час експлуатації (виготовляли штовхачі зі сплаву Х20Н80). Еталон 5 і трубчастий зразок 9 виготовляли з тієї ж марки сталі, що й деталі, що піддаються ХТО. Точність фіксації початку дифузійного насичення при ХТО можна підвищити шляхом використання пустотілого еталона 5 (товщина стінки 1,5 мм) замість суцільного внаслідок швидшого прогріву в період виходу на температуру ХТО.

Після досягнення температури ХТО зникає різниця в довжині штовхачів 1 і 2, яка була викликана температурним градієнтом при нагріванні. При температурі насичення (1030 °С) структура зразка аустенітна полікристалічна (ГЦК решітка). Коефіцієнт лінійного розширення аустеніту має однакові значення для всіх кристалографічних напрямів ([010], [100], [001]). У трубчастому зразку полікристали аустеніту середньостатистично розорієнтовані один відносно одного. Тому можна вважати, що лінійні розміри зразка змінюються однаково у всіх напрямках прямо пропорційно до зміни параметра решітки аустеніту. У процесі ХТО (при незмінній температурі насиченої атмосфери) зразок 9 подовжується внаслідок збільшення в ньому концентрації вуглецю, що пов’язано зі збільшенням параметра решітки аустеніту (рис. 2).

Під час дифузійного насичення трубчастого зразка еталон 5 зберігає свої розміри, оскільки захищений спеціальним покриттям від дифузії вуглецю (наприклад, шар нікелю завтовшки 0,1 мм). Це дає можливість із високою точністю вимірювати подовження зразка Δl за допомогою індикаторного годинника 13. Параметри дифузійного шару безпосередньо в процесі ХТО можна визначити за допомогою показників величини Δl за градуювальними графіками. Градуювальні графіки залежностей товщин шару В та концентрації вуглецю на поверхні С до подовження Δl попередньо складають за результатами хімічного, металографічного та дюрометричного аналізів.



1 – зовнішній штовхач, 2 – внутрішній штовхач, 3 – фланець, 4 – кронштейн, 5 – еталон, 6 – пластина-фіксатор, 7 – втулка, 8 – гвинт, 9 – зразок, 10 – пружина, 11 – гайка М5-6Н.5, 12 – гвинт А.М5-6g’12.48, 13 – індикаторний годинник

Рис. 1 – Диференціальний дилатометр (складальний кресленик)

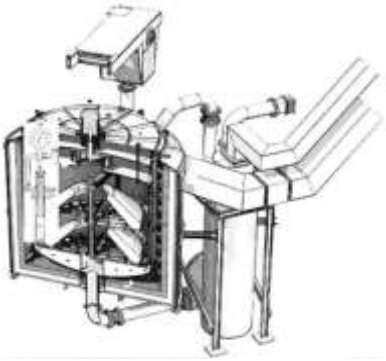


Рис. 2 – Диференціальний дилатометр у шахтній печі

Використання диференціального дилатометра для контролю процесу дифузійного насичення забезпечує отримання стабільних параметрів цементованого (нітроцементованого) шару зубчастих коліс редукторів авіа- та суднобудівництва, що значно сприяє покращенню їхньої надійності та довговічності.

УДК 004.4:621.3.061
Шишкін І.Р.[1], Корнієнко О.Б.[2]
[1]студ. гр. Е-412а НУ «Запорізька політехніка»
[2]викл. НУ «Запорізька політехніка»

СУЧАСНІ ПРОГРАМИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Сучасні технології – це наука, яка застосовується для практичних цілей з метою полегшення та прискорення виконання завдань. За допомогою новітніх програм можна конструювати будівлі, вдосконалювати двигуни, аналізувати фізичні схеми, моделювати ситуації та отримувати результат. Важливо також використовувати спеціальні програмні засоби для аналізу ланцюгів електронних пристроїв на складному рівні.

Micro-Cap – це професійна програма, яка була створена у 1982 році компанією Spectrum Software. Вона дозволяє створювати електричні ланцюги в графічному редакторі і аналізувати отримані дані, що дозволяє самостійно складати рівняння та проводити моментальний розрахунок. Всі параметри та номінали елементів можуть бути змінені в залежності від різних факторів. Програма має бібліотеки електронних компонентів, які можна поповнювати, анімовані деталі та набір аналізів.

Приклади застосування:

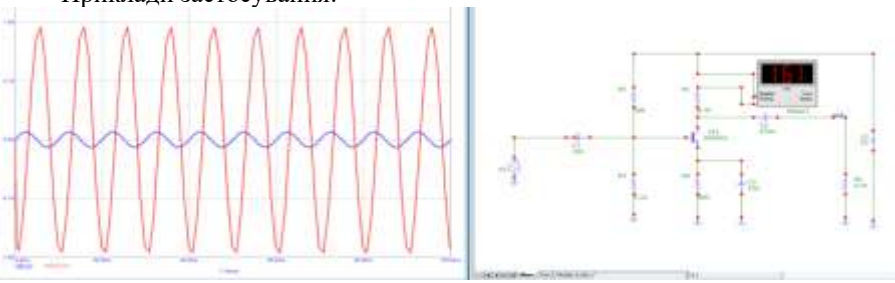


Рисунок 1 – Одно-каскадний підсилювач звуку.

Схема із зворотним негативним зв’язком одно каскадного підсилювача звука на базі біполярного транзистора 2N3055 (рис.1). За допомогою внутрішньо вбудованого осцилографа в програму, ми можемо перевірити частотні характеристики підсилювача, помітити спотворення звуку, та в режимі онлайн «підганяти» схему до ідеальних умов.

Proteus VSM – це програма, яка допомагає зібрати електронний пристрій та перевірити його роботу на екрані комп’ютера. Вона складається з двох частин: ISIS, яка дозволяє створювати електронні схеми, та ARES, яка допомагає створити друковану плату для цієї схеми. Програма має вбудовану

бібліотеку з понад 6000 електронних компонентів та можливість підключення віртуального пристрою до портів USB та COM комп'ютера. Proteus VSM підтримує різні компілятори та може експортувати моделі електронних компонентів із програми PSpice. Але варто пам'ятати, що симуляція не дає абсолютно точного результату, тому потрібно бути обачним та чітко уявляти кінцевий результат.

Приклади застосування:

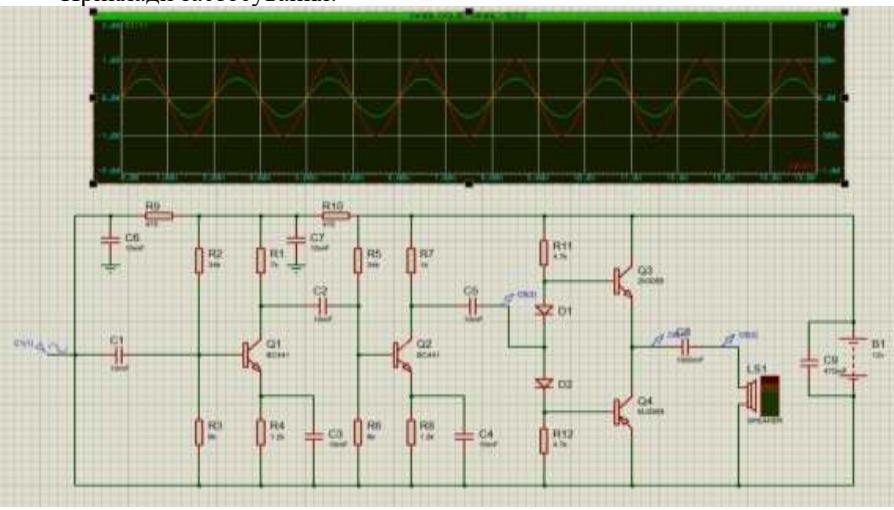


Рисунок 2 – Трьох-каскадний підсилювач звуку з кінцевою комплементарною парою.

Схема трьох каскадного підсилювача звука класа АВ, на біполярних транзисторах (рис.2), останній каскад зібраний на комплементарній парі, для збільшення рівня вихідного сигналу. Відповідно до аналізу можна зробити висновок стосовно схеми, на вході (зелена лінія = 500мВ) на виході підсилювача ми бачимо (червона лінія), що сигнал збільшився до 1В (в 2 рази), та повністю відтворює форму без спотворень сигналу.

УДК 744
Доновська Д. В.[1], Бовкун С. А.[2]
[1] студ. гр. БАД-521 НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ГЕОМЕТРІЯ В ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРУ

У сучасному середовищі геометричні фігури слугують не лише декоративним елементом, а й виконують певні функції. Дослідникам-дизайнерам відома безліч видів геометричних фігур. Різні форми і розмір дозволяють формувати простір та впливати на емоційний стан. За допомогою геометричних фігур можна зробити стіну візуально ширше і візуально опустити стелі. Вони допомагають відвернути увагу від нерівностей і кривизни поверхонь, а також дарують приміщенню додатковий простір, візуально піднімаючи стелю. Завдяки використанню геометрії з'являється можливість візуально приховати не тільки можливі недоліки проєктованих середовищ, але і несучі конструкції та комунікації. Ефективне використання геометричних форм може виконувати важливу функцію зонування середовища. Функція зонування полягає у тому, що геометричні фігури розділяють приміщення на певні зони. Функціональні зони виділяють, використовуючи акцентну обробку у вигляді смужок, трикутників, кіл тощо. Візуально зонується проєктоване середовище за допомогою візерунків ліній на підлозі, використовуючи ламінат або плитку контрастного кольору. Це є ефективним засобом проєктування і необхідне у великих приміщеннях.

Сучасне житлове та громадське середовище потребує введення нових геометричних елементів або комплексів елементів, адже вони створюють затишок, впливають на підвищення настрою. Кожен геометричний елемент по-своєму впливає на емоційну сферу людини. Одним із найперспективніших напрямів дизайну є проєктування нових геометричних фігур або їх комплексів у декоративних аксесуарах, в текстилі, освітленні, в меблях, дзеркалах, зонуванні. На сьогодні достатньо ефективними та поширеними геометричними фігурами для практичної реалізації є форми, які знайдені у природі. Це, наприклад, медові соти, форму яких можна використовувати при виготовленні плитки та різноманітних тумб, шаф, полиць тощо. Форма спіралі прийшла до нас із відомої Мушлі Наутилуса. Загалом, геометрія присутня всюди і навколо нас. Вона наявна у природі (різноманітні форми рослин, мушель, навіть тварин), в побуті (форми стін, підлоги, стелі, паркетної дошки, плитки, цегли, горщиків, ваз, форма глобуса, м'яча та інше), в архітектурі (будівлі, починаючи від круглих, прямокутних, квадратних форм до химерних, в стилі Заха Хадід), в транспорті (форми автомобілів, трамваїв, тролейбусів, човнів, літаків, поїздів, ракет, космічних кораблів).

Поширення цієї дизайнерської тенденції пов'язують з циклічністю моди й поверненням стилів, відомих ще у середині XX століття. В ті часи велику перевагу надавали яскравим та помітним фактурам, крупним візерункам. Своєї актуальності ці риси не втратили і на сьогоднішній день. З точки зору сучасного розуміння того, яким має бути інтер'єр приміщення, геометрія вважається виразним примітивізмом, тим спрощенням, яке здатне ефектно і раптово звернути на себе увагу. Саме тому геометрія часто використовується для створення виразних інтер'єрів.

Геометричний дизайн вважається універсальним, оскільки у ньому може втілити свої задуми і любитель мінімалізму, і прихильник поп-арту. Все залежить лише від того, як саме будуть використовуватись візерунки з фігурами. Для створення нейтрального інтер'єру, який був би в міру строгим та в міру яскравим – використовують круглі форми та узори. Вони завжди в моді й навряд чи втратять колись свою актуальність. Така геометрія доречна всюди: за круглим столом може сісти більше людей, ніж за прямокутним чи квадратним, круглі пуфи чи стільці виглядають оригінальніше. Меблі без гострих кутів менш травматичні. Квадратні форми завдяки своїм правильним формам і рівним сторонам додають інтер'єру надійності. Використовуючи їх, можна ізолювати частину приміщення або візуально поєднати в одне ціле. Прості лінії допоможуть зорово змінити висоту і ширину стін. Використання квадратів у інтер'єрі – це широке поле для експериментів. Прямокутники, як і квадратні форми, не звертають на себе багато уваги. В цьому полягає одна з основних переваг, оскільки їх можна поєднати практично з будь-якими інтер'єрами. Прямокутні візерунки роблять дизайн одночасно стильним та затишним. З їхньою допомогою можна візуально змінити розмір приміщення, «підняти» стелю, «збільшити» розмір стін тощо. Прямокутники в дизайні можна використовувати по-різному: дрібні фігури зроблять інтер'єр більш динамічним, тоді як великі фігури в пастельних тонах створюють спокійну атмосферу.

Геометрія є важливою у проєктуванні житлового та громадського середовища. На сучасному етапі розвитку дизайну роль геометрії розширюється. Вона стає багатофункціональним об'єктом, поєднує властивості декору, розділяє приміщення на зони, а також впливає на формування емоційного стану. В інтер'єрах з використанням геометричних візерунків прослідковується глибокий символізм, втілення математичних законів Всесвіту й гармонія їхнього поєднання. Саме тому такі мотиви користуються популярністю й нікого не залишають байдужим.

УДК 669.187

Білоник Д.І.[1], Капустян О.Є.[2], Лаптєва А.М.[3], Маліцкій І.П.[4]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка
[2,3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка
[4] студ. гр. ІФФ-312м НУ «Запорізька політехніка»

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ РЕЦИКЛІНГА ВІДХОДІВ ОБРІЗІ ТИТАНУ ВТ1-0

Для розвитку сучасної електрометалургії з використанням вторинної сировини, особливе значення набувають титанові відходи. Максимально повне та раціональне використання відходів – перспективний та пріоритетний шлях здешевлення титанової продукції, що, безперечно, зміцнить економічні позиції титанової промисловості. Залучення відходів титану та його сплавів у плавку для виробництва серійних титанових сплавів, фасонного лиття, феротитану та інших продуктів є найбільш раціональним та ефективним способом рециклінгу.

Зі способів плавки титану, які дозволяють залучати титанові відходи є вакуумно-індукційна та вакуумно-гарнісажна плавки, електронно-променевий та електрошлаковий переплави. Вакуумно-індукційна плавка була розроблена О.О. Фогелем в ВІЕТО. Обладнання для цього процесу розробляється в США (Retech Systems LLC) та Німеччині (ALD Vacuum Technologies). Однак в Україні ця технологія на даний час не застосовується.

Ефективним агрегатом, для залучення відходів титану та його сплавів в плавку, є вакуумно-гарнісажні печі, які працюють по технології гарнісаж – витратний електрод (ГВЕ). Найбільш важлива економічна перевага технології та печей ГВЕ – це суттєве зниження об’єму робіт по підготовці відходів титану до плавки. Технологія ГВЕ, яка залучає відходи титану, також забезпечує отримання витратних електродів для подальшого вакуумно-дугового переплаву (ВДП). Об’єднання технологій ГВЕ та ВДП замінює трикратний ВДП при виплавлянні зливків титанових сплавів Ti-10-2-3 і Ti-6Al-4V.

Завдяки інтенсивним науковим дослідженням Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, у розробці сучасного обладнання та технологій в галузі виробництва титанових зливків і слябів та іншої титанової продукції лідируюче положення зайняв процес електронно-променевої плавки. Промислове впровадження та подальше вдосконалення технології електронно-променевої плавки титану здійснюється на українських підприємствах: ДП «Науково-виробничий центр «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України», ТОВ «Міжнародна компанія «АНТАРЕС», ТОВ ЗТМК, а також виробників з Китаю, Німеччини, США та інших країн. Технологічна гнучкість процесу електронно-променевої плавки дозволяє

досить широко використовувати у виробництві титан різних марок, форми і розмірів, у тому числі і до 30-40 % низькосортної губки (ТГ-Тв, ТГ-оп). Наприклад, для одержання зливків нелегованого титану (СР-титану) марок ВТІ-0, Grad2 за технологією одноразової електронно-променевої плавки з проміжною ємністю. Також, шихта може доповнюється спеціально підготовленими відходами титану у вигляді стружки і донних частин слябів. Це дає можливість ефективно знижувати собівартість продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Пріоритет у дослідженні застосування електрошлакового процесу для отримання титанових зливків належить ІЕЗ ім. Є.О. Патона. В результаті проведених досліджень була розроблена технологія електрошлакової плавки, що забезпечує значні переваги в порівнянні з існуючими промисловими вакуумними методами плавки. Переконливо доведено, що одноразова електрошлакова плавка витратних електродів, пресованих із високоякісної титанової губки, при застосуванні флюсу АН-Т2 дозволяє отримувати технічний титан ВТ1 і сплав ОТ4 з властивостями, які не поступаються титану, що виплавлений у вакуумно-дуговій печі двократним переплавом.

Наукові дослідження по електрошлаковому переплаву пресованих з губки титанових електродів проводили також за кордоном. Було встановлено, що механічні властивості титанових сплавів незалежно від способу виплавки (подвійний ВДП або одноразовий ЕШП) визначаються, в першу чергу, чистотою титанової губки, з якої виготовляють витратні електроди.

Подальший розвиток технології виплавки зливків титану і його сплавів із застосуванням електрошлакового процесу пов’язано зі створенням печей камерного типу та розробкою нових флюсів. У цих установках підтримується вакуум, або захисна інертна атмосфера і застосовуються флюси на основі чистого фтористого кальцію з добавками лужних, лужноземельних елементів і металевого кальцію, що забезпечує ефект рафінування титану.

В електрошлакових печах камерного типу також можливо вести виплавку титанових зливків в дуговому режимі, так званий дуговий шлаковий переплав. Удосконалення захисту розплавленого шлаку і титанового електроду від кисню, водню та азоту повітря (флюсові затвори в комбінації з інертним середовищем) значно розширюють технологічні та металургійні можливості дугового електрошлакового процесу.

Безумовно, електрошлаковий процес у відкритому кристалізаторі набагато економніше в порівнянні з вакуумними технологіями (ВДП, ВГП, ЕЛП, ПДП, КЕШП). Крім того, в нашому випадку витратні електроди будуть виготовлені з кондиційних відходів листової обрізі титану ВТ1-0. Це також додатково та суттєво знизить собівартість зливків. Тому, доцільно провести дослідження можливості застосування електрошлакового процесу у відкритому кристалізаторі для отримання титанових зливків.

УДК 539

Попов С. Н.[1], Морозов А. В. [2]
[1] д-р філософ. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-310 НУ «Запорізька політехніка»

ТЕОРИТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ І НАПЛАВЛЕННИХ СПЛАВІВ ВІД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Апріорний аналіз літературних даних, а також власні дослідження залежності працездатності обладнання інерційно-роторних дробарок та терміну служби їх робочих органів – біл, які безпосередньо контактують з абразивною вугільною масою, показав, що їхній інтервал експлуатації є одним із вузьких місць. Це пов'язано з недостатньою зносостійкістю матеріалу деталей, що швидко зношуються, що тягне за собою недотримання вимог, при яких термін служби робочих органів повинен відповідати інтервалам поточних і планових ремонтів [1-3]. Дослідження сталей і сплавів в умовах інтенсивного ковзного ударно-абразивного зношування був показаний, що основним фактором, який визначає зносостійкість сталей при роботі в умовах ударно-абразивного зношування, є ударна в'язкість у сукупності з достатньою твердістю [1,4].

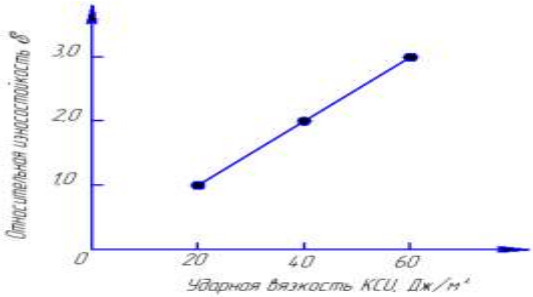


Рисунок 1 – Залежність відносної зносостійкості від ударної в'язкості

Враховуючи наявність ударно-абразивного руйнування поверхонь бив, метою цієї роботи стало дослідження залежності відносної зносостійкості від ударної в'язкості сплавів системи Fe-C-Cr-B (рис. 1) на прикладі бив інерційно-роторних дробарок ІРК-1.

На ударну в'язкість впливає хімічний склад матеріалу та температура. Зі зменшенням температури ударна в'язкість знижується. Насамперед для підвищення терміну служби було проведено дослідження з визначення

трибоматеріалознавчих параметрів. Для цього на поверхні А і Б ставилися мікрошліфи конструкційної сталі Х12Ф1, після чого ротор розганявся до номінального числа обертів 985 об/хв, по жолобу подавалося вугілля. Шматки породи, що подрібнюються, мають різноманітну форму і геометричні розміри до 200мм, мікротвердість вугілля становить від 2…8 МПа. Але в складі вугілля трапляються включення оксиду кремнію з мікротвердістю 12ГПа, оксид алюмінію 20ГПа та оксид магнію з мікротвердістю 12,6 ГПа, а також висока щільність ускладнює процес подрібнення.

При аналізі мікрошліфів було виявлено, що поверхня Б в основному сприймає ударне навантаження, про це свідчить наявність на поверхні мікрошліфа вм'ятин утворених від зіткнення з подрібнюваними частинками. На поверхні А є велика кількість рисок слідів в результаті зрізу мікростружки з поверхні.

Після чого були досліджені наплавні матеріали: ПП-У25Х17Т, ПП-Г13, ВСН-6, Сормайт-1, ПП-АН125, ПП-АН170, УПІ30Х10Г10, зносостійкість яких при ударно-абразивному зношуванні була вищою, ніж у сталі Г1. Високу зносостійкість показав наплавний матеріал ПП-АН170. Він підвищив термін служби деталі до 180 годин за рахунок оптимального поєднання твердості та достатніх пластичних властивостей, що забезпечує йому задовільну технологічну та експлуатаційну прийнятність.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1.Попов. В.С Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / В.С. Попов. – Запорожье.: Издательство ОАО «Мотор Сич», 2000. – 394 с.

2.Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов / Г.М. Сорокин. – М.: Недра, 2000. – 317 с.

3.Попов С.М. Особливості руйнування сталей і сплавів з нестабільною структурою в умовах адаптації до зовнішніх енергомеханічних впливів / С.М. Попов // Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: навч. посібник. – Запоріжжя: Вид-во ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с. – С.186-197.

4.Popov S.N. Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / S.N. Popov // Problems of Tribology. – Хмельницький: Хмельницький національний університет Міністерства освіти і науки України: журнал – 2005. – №2 (35). – С.95-101.

УДК 62-4

Бойко С.Ю.[1], Лаптєва Г.М.[2], Єфанов В.С.[3]
[1] студ. гр. ІФ-412м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] д-р PhD, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ РОЗМІРУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА РОЗРАХУНКОВІ НАПРУЖЕННЯ ЗМИНАННЯ У ЗОНІ КОНТАКТУ КУЛЬКИ З ДОРІЖКОЮ КОЧЕННЯ РАДІАЛЬНОГО ШАРИКОПІДШИПНИКА

Характерним пошкодженням металічних поверхонь деталей, які котяться під навантаженням, у тому числі і поверхонь підшипників, є раковини, ямки, щербинки – так звані пітінги, які являють собою особливий вид пошкодження поверхні під дією змінних контактних напружень, які перевищують деяку межу для даного матеріалу. Тому, при проєктуванні високовідповідальних підшипникових вузлів, які сприймають значні навантаження, необхідно оцінювати їх контактну витривалість, а для цього - і рівень фактично діючих контактних напружень (напружень зминання) в експлуатаційних умовах. Прикладене до підшипника навантаження сприймається вкрай малими площами контакту тіл кочення з доріжками кочення, тому напруження в місцях контакту навіть при відносно помірних навантаженнях виявляються дуже значними, що випливає із даного Герцем класичного вирішення цієї задачі (1882). Сучасні способи скінченно-елементного аналізу дозволяють вирішити цю задачу з урахуванням не тільки геометричних характеристик контактуючих тіл, пружніх характеристик матеріалу та величини навантаження, а й з урахуванням таких додаткових факторів, як робоча температура, тертя, відцентрова сила, пружно-пластичні і втомні характеристики матеріалу тощо. Однак застосування такого аналізу потребує верифікованої скінченно-елементної моделі з оптимальними розмірами елементів у зоні площинки контакту, які забезпечують достатню для інженерних розрахунків точність.

Дослідження впливу розміру скінченних елементів на розрахункові напруження зминання у зоні контакту кульки з доріжкою кочення радіального шарикопідшипника 209 виконано шляхом проведення розрахунків за допомогою програми для скінченно-елементного аналізу Ansys Mechanical APDL 2022 R2 та порівняння отриманих результатів з теорією Герца. Для цього підготовлено п’ять скінченно-елементних моделей «кулька – внутрішнє кільце»: з розміром елементів 0,5 мм, 0,3 мм, 0,15 мм, 0,075 мм та 0,04 мм у зоні контакту. Моделі розроблені з використанням елементів SOLID185, SOLID186, SOLID187 бібліотеки елементів Ansys, що використовуються для вирішення тривимірних задач механіки.

Вхідними даними для розрахунків є геометричні параметри, пружні характеристики матеріалу та параметри навантаження підшипника 209:

1. Основні геометричні параметри підшипника 209 для розрахунку: діаметр кульок: D = 12,7 мм, радіус канавок доріжок кочення r = 6,6 мм, радіус внутрішнього кільця по нижнім точкам канавки – R = 26,15 мм.

2. Матеріал кульок та кілець – підшипникова сталь з модулем пружності 2,08·106 МПа та коефіцієнтом Пуассона 0,3.

3. Найбільш навантажена кулька підшипника сприймає силу 3600 Н.

Величина максимальних напружень зминання за теорією Герца для вищевказаних умов складає 2865 МПа.

За результатами розрахунків у програмі Ansys побудовано графік залежності максимальних напружень зминання у зоні контакту кульки з доріжкою кочення при навантаженні силою 3600 Н від розміру елементів (див. рис.).

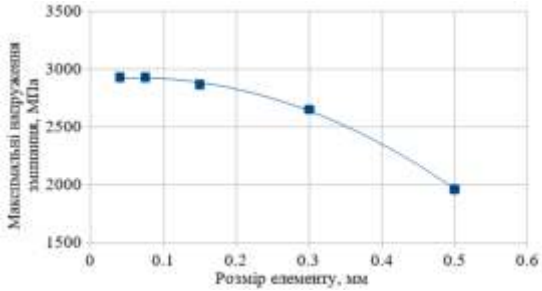


Рисунок – Графік залежності максимальних напружень зминання від розміру елементів у зоні контакту кульки з доріжкою кочення внутрішнього кільця шарикопідшипника 209 при навантаженні силою 3600 Н.

Таким чином, при зменшенні розміру елементів у зоні точкового контакту кульки з доріжкою кочення внутрішнього кільця шарикопідшипника 209 при навантаженні силою 3600 Н величина максимальних напружень зминання наближається до постійного значення 2926 МПа, що вказує на достатність проведених «згущень» сітки до розміру елементів 0,04 мм. Велична максимальних напружень зминання 2926 МПа на 2,1% більша за величину, отриману по теорії Герца (2865 МПа), що вірогідніше за все пов’язано з неповною відповідністю одному з припущень теорії Герца: розмір площинки контакту має бути дуже малим у порівнянні з кривизною контактуючих тіл.

Отриману верифіковану скінченно-елементну модель точкового контакту шарикопідшипника можна застосовувати для дослідження впливу різноманітних додаткових факторів, пов’язаних з характеристиками матеріалу та поверхні.

УДК 742

Скоробогата М.В. [1],Мітяєва З.А. [2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БАД-212 НУ «Запорізька політехніка»

ВИВЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Виходячи із реалій сьогоднішнього дня, для вдосконалення навчального процесу запроваджуються різні форми навчання. В даний час розвиток освіти характеризується широким впровадженням в освітній процес інформаційно-комунікаційних технологій, які забезпечують вихід системи освіти на якісно новий рівень за рахунок ефективного використання електронних освітніх ресурсів. Однією з форм є дистанційне навчання, що є сукупністю інформаційних технологій та методик викладання, які передбачають здобуття освіти без фізичної присутності здобувачів у навчальному закладі.

Вивчення інженерної та комп'ютерної графіки є невід'ємним елементом підготовки студентів технічного напряму у вищих навчальних закладах. Головна мета дисципліни – дати знання та навички з самої техніки виконання креслень, із застосуванням як креслярських інструментів, так і засобів комп'ютерної графіки. Курс інженерної графіки складається з ряду розділів, кожен з яких ставить перед собою певні цілі та завдання.

Дистанційне навчання передбачає використання навчально-методичних розробок в електронному вигляді: робочі програми, методичні вказівки для самостійної та практичної роботи, відповідні посібники, лекційний матеріал.

Найпоширенішою системою дистанційного навчання є платформа Moodle, яка має відкритий широкий доступ, зручний для викладачів і студентів, на основі якої здійснюється організація навчального процесу.

Перед початком навчання викладач готує матеріали, необхідні для проведення дистанційного курсу. Теми навчального матеріалу курсу відповідають розділам робочої програми дисципліни. Весь навчальний матеріал розбитий на модулі. Кожен освітній модуль є блоком інформації з даної теми.

Інформаційні модулі складаються з теоретичних матеріалів, прикладів розв'язання задач на задану тему, завдань. У теоретичному (лекційному) матеріалі виділяються: тема, мета, вступ, основна частина, висновки, питання для самостійної роботи. У розділі «Завдання» студентам пропонується до виконання графічні роботи. До нього додається теоретична частина, приклад виконання, зазначені терміни здавання. Виконання практичних завдань оцінюється викладачем з урахуванням якості роботи, термінів виконання.

Студенти отримують доступ до матеріалів цілодобово і протягом усього процесу навчання, що дає можливість працювати індивідуально, займатися самоосвітою та отримувати глибокі знання та вміння, розвивати творчі здібності.

Крім цього, віртуальне середовище навчання Moodle, за допомогою тестів, залікових та екзаменаційних письмових робіт, дозволяє проводити рубіжні контролі.

Розташований у курсі навчальний матеріал постійно актуалізується і оновлюється, що забезпечує успішне проходження відповідних тем дисципліни.

Таким чином, використання даного електронного курсу сприймається як засіб оптимізації освітнього процесу, оскільки з його допомогою вдається значною мірою задовольнити освітні потреби студентів.

Використання сучасних технологій дистанційного навчання дозволяє значно покращити основні показники навчального процесу, впливає на формування та підтримку інтересу до процесу навчання при вивченні курсу «Інженерна та комп'ютерна графіка».

УДК 669.187.56
Попов С.М. [1], Чернєв Д.А. [2]
[1] д-р філософ. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ІФ-411 НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗНОШУВАННЯ, РУЙНАЦІЇ ПОВЕРХНЕЙ ТЕРТЯ ШАРОШКИ БУРОВОГО ДОЛОТА ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ

Актуальність наукової тематики полягає в технічній та промисловій необхідності бурити надто глибокі скважини в складних ґрунтах, а в таких умовах роботозатність інструменту не відповідає нормативним термінам їх експлуатації. Тож саме від цього скорочуюється цикл експлуатації, та термін служби інструменту, що зумовлює передчасний ремонт обладнання, заміну шарошек і внаслідок чого підвищується собівартість буріння. Тому, перед нами постає нагальна науково-технічна задача підвищити термін служби деталей, без капітального або поточного ремонту. Тим самим зменшивши затрати. [1]

Аналіз умов зношування показав, що разом з тим, матеріал робочої зони бура маючи порівняно низьку ударну в'язкість і невисокий опір дії напружень деформації, що розтягують, ці матеріали має схильність до крихкого руйнування за рахунок значної твердості. Тому при взаємодії твердих вставок шарошек з абразивом, треба враховувати сили, що діють на інструмент з боку руйнуючої породи, що постійно змінюються, та впливають на напружений стан матеріалу на поверхні тертя.

Нами, у рамках курсового проекту з «Триботехніки» було проаналізовано механізм, та головні чинники, що впливають на руйнацію даних деталей. Так теоретичний апріорний аналіз показав, що в результаті поздовжніх коливань долота, що викликаються багатьма причинами, взаємодія зубків з породою носить ударний характер. Крім того, зуби озброєння шарошок не тільки перекочуються, а й прослизають вздовж по абразивній поверхні, що призводить до їх зношування. [2]

Наявний стан поверхонь тертя твердосплавних зміцнювальних елементів після відпрацювання в стендових і промислових умовах доліт різної конструкції, проведених різними авторами та власний макрографічний аналіз досліджень, показав, що в процесі роботи мають місце широкий діапазон видів механізмів зношування і руйнування поверхні тертя. Тож, в роботі встановлена така класифікація видів пошкодження і руйнування твердосплавного озброєння доліт:

ударно-втомне зношування, що викликає відколи і поломки зубків 10%;

чисте абразивне зношування – 10%;

ударно-абразивне зношування – 70%;

гідроабразивне зношування – до 5%;

розчавлювання зубків – до 1%;

випадання зубків – до 5%;

Таким чином, на нашу думку, при виборі технології зміцнення требо враховувати, що основним процесом зношування зубків шарошних доліт є одноциклове ударно-абразивне руйнування.

Оскільки, методика випробування на абразивну зносостійкість Семеген-Одосій не враховує реального зношування в умовах контактної взаємодії, ми пропонуємо на робочу кромку зуба лабораторної установки впаяти індуктивну термопару, яка буде передавати імпульс на приймач і тим самим демонструвати реальну температуру, що виникає при терті абразиву і зуба в момент контактної взаємодії. [3]

З ДСТУ 2823-94 відомо, що утомне зношування відбувається у результаті значній кількості циклів повторного передеформування одних і тих самих мікрообсягів. Цей процес має прихований латентний період, внаслідок якого відбувається накопичення ушкоджень, як у поверхневих зонах, так і усередині матеріалу і як наслідок вихід з ладу інструмента.

Тож, виходячи з цього підвищення довговічності шарошок лежить в площині покращення їх фізико-механічних властивостей, а саме в знаходженні оптимального збільшення агрегатної твердості та ударної в’язкості.

За результатами проведеної роботи, робимо висновок: що для секцій (лап) і шарошок бурових доліт краще застосовувати хромнікельмолібденові, хромонікелеві і нікельмолібденові сталі, а для виготовлення зубків застосовувати, головним чином, твердозапечені WC, TiC , TiB тверді сплави, які мають достатньо високу агрегатну твердість та ударну в’язкість, що забезпече високий супротив ударно- абразивному зношуванню. [4]

Наукове електронне видання
Можна використовувати в локальному та
мережному режимах

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2023
Інженерно-фізичний факультет

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM);

супровідна документація.

Тираж 100 прим. Зам. № 327

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.