

Відомо, що на трибохімічні характеристики поверхонь тертя трибоспрями деталей (коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування, температури в зоні тертя) впливають різноманітні фізико-хімічні фактори. При дослідженні матеріалів в зоні тертя представляється важливим встановлення кореляції коефіцієнта тертя з фундаментальними показниками фізики твердого тіла. Одним з таких показників є характеристична температура Дебая. З цим показником зв'язані такі параметри матеріалів деталей, як густина, температура плавлення і кипіння, ентальпія плавлення і випаровування, теплоємність, енергія зв'язку хімічних елементів, коефіцієнт лінійного теплового розширення, стискуваність, об'ємний модуль пружності, параметр кристалічної ґратки, робота виходу електронів, енергія Фермі та ін.

В даній роботі з точки зору фізики твердого тіла, на основі теоретичних досліджень, проаналізовано зв'язок коефіцієнта тертя з температурою Дебая матеріалу деталі (металів). Розглянуті однотипні *d*-елементи (залізо, нікель, мідь, срібло) і *p*-елементи (алюміній, свинець, вісмут, олово). Ці хімічні елементи відносяться до різних періодів системи Менделєєва.

Виявлено, що зі зростанням температури Дебая коефіцієнт тертя для *d*-елементів спадає, а для *p*-елементів зростає, що слід враховувати при теоретичній оцінці коефіцієнта тертя, як чистих матеріалів, так і їх композиції. Коефіцієнт кореляції при дослідженні матеріалів *d*-елементів становить 0,95, а при *p*-елементів – дорівнює 0,90.

Відомо, що коефіцієнт тертя ковзання за своїм фізичним змістом має складові:

$$f_{mp} = f_{mpa} + f_{mpd},$$

де f_{mpa} – адгезійна складова;

f_{mpd} – деформаційна складова.

Міцність адгезійного зв'язку описується з рівнянням:

$$\tau = \tau_0 + \beta p,$$

де p – тиск, що приходить на фрикційний контакт;

τ_0 , β – параметри зв'язані з властивостями матеріалу приповерхневого шару.

В роботі на основі зсуву адгезійного зв'язку спряжень матеріалів деталей при терті по сталі ШХ-15 отримано залежність параметру τ_0 від температури Дебая для ряду *d*-металів, яка є прямопропорційна. Прямопропорційний зв'язок спостерігається і для міцності адгезійного зв'язку ряду *p*-металів.

Показано, що температура Дебая металевих елементів, як складна хвильова структура, є носієм інформації. В якості важливого фундаментального показника твердого тіла, тісно зв'язаного з коефіцієнтом тертя, запропоновано температуру Дебая, що дає можливість теоретично оцінити рівень коефіцієнта тертя, а також розрахувати його для композиційного матеріалу. В роботі розглянуто вплив температури Дебая і на інші триботехнічні характеристики матеріалів деталей.

УДК 621.9

3-D ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В.Ю. Мірний, ст. гр. МЗ-16МН,

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,

О.В. Кузик, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет

Вироби, вироблені з допомогою технологій 3D-(друку), успішно застосовуються в різних галузях промисловості, таких як автомобілебудування, авіабудування, лиття або ковальсько-штампувальне виробництво. Скорочення виробничого циклу виготовлення технологічного оснащення сприяє підвищенню продуктивності технологічних процесів і зниження витрат на інструментальне виробництво.

Одним з видів 3D технологій лазерного відновлення деталей машини є метод прямої пошарової побудови в процесі сплаву дрібнодисперсних частинок металевого порошку лазером безпосередньо по CAD-моделі.

В процесі 3D-(друку) технологій лазерного відновлення, матеріал в необхідній кількості подається локально в область плавлення утворену на поверхні заготовки при впливі на неї лазерного випромінювання. Завдяки способу прямої подачі порошку, технологія має ряд унікальних переваг. Технологія тривимірного друку відрізняється гнучкістю застосування. Існує 2 основних способи застосування технології: метод простої побудови, що дозволяє виготовляти об'ємні металеві деталі «з нуля» та метод гібридної побудови.

З метою економії металевих порошків і часу на виготовлення виробу, незалежно від його розмірів і складності, доцільно застосовувати технологію для нарощування металевих структур на поверхні деталі виготовленої традиційними методами, такими як механічна обробка, лиття, кування, і т.д. В даному випадку не має значення наявність у підкладці криволінійних поверхонь, метод дозволяє будувати на підкладці структури з різних сплавів, створюючи біметалічні вироби, тобто спостерігається процес відновлення.

Однією з переваг технології 3D-(друку) лазерного відновлення є можливість використання безліч металевих порошків, комерційно доступних на ринку; виробництво деталей з композитних матеріалів, використовуючи дві або декілька систем подачі різних порошків; нанесення жароміцних і зносостійких покриттів будь-якої товщини; виготовлення багатошарових металевих структур; ремонт і відновлення штампового або іншого технологічного оснащення; модифікація металевих деталей та ін..

Зазначимо, що використання такої технології дозволяє повністю розплавляти металеві порошки в процесі побудови без технологічних відходів, забезпечує швидке охолодження області розплаву і низьку ймовірність утворення газових пір забезпечуючи отримання виробів з щільністю близькою до 100% і впорядкованої мікроструктури. Механічні властивості металевих виробів, виготовлених за допомогою 3D-(друку) лазерного відновлення часто вищі, ніж у деталей, отриманих традиційними способами обробки металів.

Машина інтуїтивно добудовує відсутні конструктивні елементи деталі в процесі відновлення пошкоджених ділянок поверхні будь-якої складності без допомоги 3D CAD / CAM.

Характерним є те, що технологія прямої пошарової побудови не пред'являє жорстких вимог до металевих порошків, що дозволяє знизити витрати на 3D-друк.

Технологія тривимірного друку дозволяє організувати виробництво деталей, в конструкції яких передбачені складні внутрішні елементи, таких як прес-форми для лиття пластиків зі складною системою внутрішніх каналів охолодження, що забезпечує рівномірний розподіл температури на поверхні робочих частин прес-форм, підвищуючи якість пластикових виробів. Відсутність підтримок при побудові внутрішніх каналів виключає необхідність складних операцій видалення матеріалу підтримок. Крім того, технологія DMT дозволяє не тільки виготовляти нові прес-форми, а й переробляти або відновлювати наявну оснащення.

Для виготовлення каналів охолодження прес-форм виробничому процесі використовують мідні трубки, які певним чином розташовуються у внутрішніх порожнинах оснащення, далі внутрішні порожнечі заварюються.

Технологія модульного сплаву полягає в виготовленні єдиної монолітної деталі з декількох простих в процесі 3D друку. Даний метод добре зарекомендував себе в масовому виробництві.

Зазначимо, що виготовлення мультиметалевих деталей, що складені з двох або більше різних металів, реалізується за допомогою укомплектованих 2 або 3 систем подачі, кожна з яких може подавати певний тип порошку. Багатшарова металева деталь, має відмінні характеристики, оскільки 3D технології дозволяють будувати металеві структури з різних матеріалів на будь-яких підкладках в необхідних кількостях в потрібному місці, що є однією з відмінних рис 3D технології.

Застосування технології у виробництві мультиметалевих деталей має наступні переваги:

- зниження собівартості кінцевого продукту завдяки зниженню витрати спеціальних дорогих металів, завдаючи їх в необхідних кількостях там, де необхідні їх функціональні властивості;

- поліпшення характеристик продукції за рахунок комбінації металів. Монолітна металева деталь може бути виготовлена за допомогою двох різних видів металевих порошків: порошку з міді або мідного сплаву для формування підкладки з високою теплопровідністю і порошку з інструментальної сталі для побудови структури робочої частини з високою зносостійкістю.

Якісні ремонт і відновлення пошкоджених металевих виробів - одна з найсильніших сторін 3D технології. Ремонт пошкоджених ділянок деталей забезпечує повне відновлення робочих характеристик і функціональних параметрів виробу в цілому. Технологія може також використовуватися для зворотного проектування в процесі відновлення пошкодженої деталі з наступними 3D скануванням і порівнянням 3D сканування з вихідними CAD-моделлями.

Функція системи автоматичного інтуїтивного відтворення поверхні заготовки полегшує відновлення об'ємних структур з криволінійною поверхнею, що не мають вихідних

CAD / CAM даних завдяки автоматичному інтуїтивного моделювання пошкодженої частини деталі в тривимірному просторі в режимі реального часу. Відновлення і технології ремонту за допомогою 3D технологій стають більш популярними серед традиційних галузей промисловості.

Модифікація металевих виробів за допомогою 3D технології може бути використана для формування нових або модифікації застарілих конструктивних елементів металевого виробу. Процес полягає в зіставленні поточних і оновлених CAD даних виробу методом зворотного проектування, одночасно можна видаляти застарілі елементи і вибудовувати нові структури. Дана особливість може застосовуватися в НДДКР, особливо при ітерації конструкції великогабаритних виробів.

Дослідження показали, що структури, побудовані на 3D принтерах, мають кращі фізико-механічними властивостями, в порівнянні з аналогічними показниками продукції, виготовленої за традиційними технологіями обробки металів.

Одна з основних завдань металургії - виробництво продукції з конкретними фізико-хімічними і механічними властивостями. Технологія 3D дає можливість здійснювати сплав металевих порошків різних типів одночасно. Кількість порошку точно дозується в певному співвідношенні і подається в область сплаву в необхідній кількості за допомогою окремих декількох незалежних форсунок, причому повне сплавлення лазером гарантовано. Таким чином, технологія DMT дозволяє виготовляти деталі з різних матеріалів, які неможливо змішувати в традиційному технологічному процесі, тим самим, отримувати нові матеріали з поліпшеними характеристиками.

Якість відновлення деталей за вказаною технологією таке, що його не можна досягти на звичайному металообробне підприємстві. У той же час необхідно використовувати високоякісні і, отже, дорогі присадочні матеріали, що дуже дорого в промислових масштабах.

Якщо не враховувати дорожнечу процесу, то він цілком придатний не тільки для відновлення початкових геометричних форм виробу, а й для виробництва окремих деталей з нуля, з конкретними заданими механічними властивостями. Це дозволить виконувати виробництво деталей з різнорідних матеріалів, використовуючи надміцний присадний матеріал в тих частинах виробу, де воно піддається найбільшому зносу.

Технологія 3D-друку металу дає можливість у створенні деталей найрізноманітніших геометричних форм, так як тут відсутні проблеми, характерні для литих і суцільнозварних конструкцій.

Більшість сплавів, які використовуються для друку мають високу жароміцність і корозійну стійкість, а також висока питома межа міцності. Через високої межі міцності, навіть наявність незначної пористості отриманого металу деталі практично ніяк не впливає на міцність останнього.

Проведені лабораторні дослідження межі міцності (випробування на розтягнення) і дослідження мікроструктури деталей, отриманих способом 3D-друку металу дали позитивний результат.