УДК 621.762; 621.77

Михайлов О. В., докт. техн. наук, ст. наук. співробітник
Михайлов А. О., доктор філософії
Штерн М. Б., докт. техн. наук, проф., чл. - кор. НАН України
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ,
olmi.2021@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРИСТИХ ЗАГОТОВОК, МАТЕРІАЛ ЯКИХ МІСТИТЬ ЖОРСТКІ ВКЛЮЧЕННЯ

Методи порошкової металургії мають ряд переваг, серед яких можна виділити можливість отримання композицій з металевих і неметалевих матеріалів. До таких композицій відносяться матеріали з металевою матрицею та керамічними включеннями.

Послідовність технологічних операцій складається з отримання порошків, змішування компонентів, ущільнення та подальшого спікання. Отримана в такий спосіб заготовка є пористою. Для її ущільнення та формування кінцевого виробу потрібна додаткова деформаційна обробка. Широко поширеним методом такої обробки є пряме видавлювання.

Досліджено процес прямого видавлювання пористих заготовок, матеріал яких містить жорсткі включення. Розрахункова схема процесу наведена на рис.1. Деформування заготовки 3 відбувається в результаті впливу пуансона 1. Матеріал заготовки тече в отвір, що звужується.

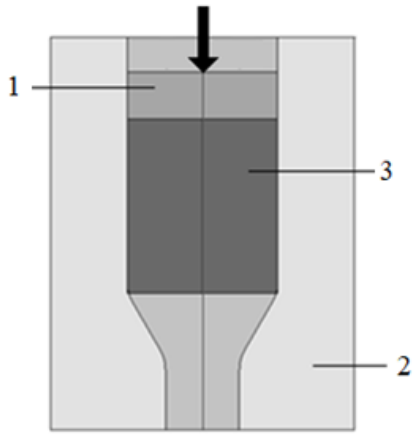


Рис. 1 – Розрахункова схема прямого видавлювання: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка

Моделювання виконано методом скінчених елементів [1]. При аналізі деформування металевої матриці використовували співвідношення теорії пластичності пористого тіла [2], яка враховує можливість порошків та пористих матеріалів незворотно змінювати об'єм під дією гідростатичного тиску.

Матеріал пористої матриці був сплав Al. Заготовка містила жорсткі включення, матеріал яких був SiC.

Вважали, що матеріал матриці деформується пружно-пластично, а матеріал включень - пружно. Деформуючий інструмент розглядався як абсолютно жорстке тіло. Початкова пористість матеріалу матриці була 0.3. Коефіцієнт тертя між інструментом та заготовкою приймали рівним 0.15. Розглядали плоско-деформований стан, враховували властивості симетрії.

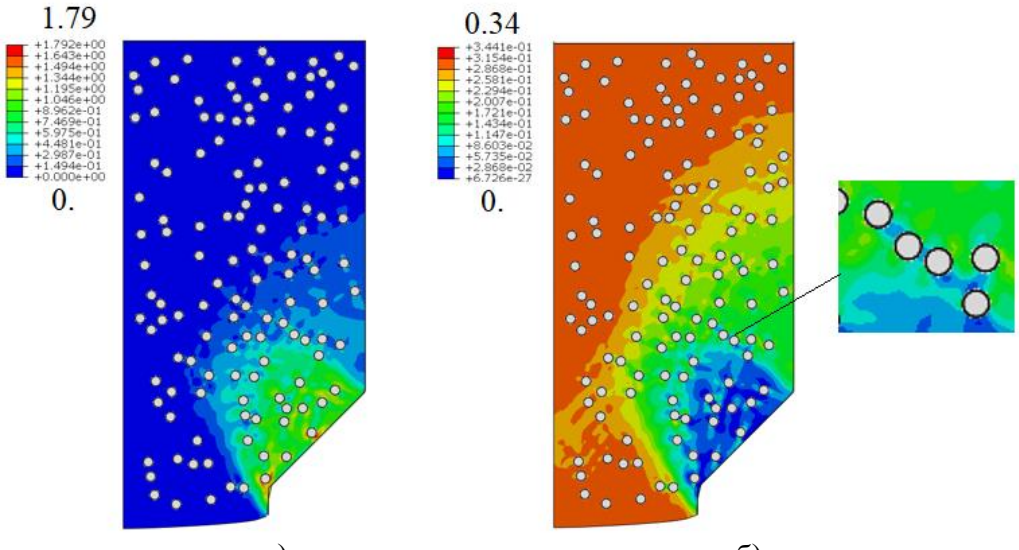
Моделювання процесу деформування виконувалося поетапно, методом послідовних навантажень. На кожному кроці навантаження визначалися напруження, причому вважали, що матеріал є пружним. Потім обчислювали пластичний потенціал і, в залежності від його величини, проводили коригування напружень і матеріальних параметрів моделі.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану на послідовних етапах навантаження. Визначено розподіли накопиченої пластичної деформації матеріалу матриці та величини її залишкової пористості.

При моделюванні когезійної взаємодії між матрицею та включеннями використовували поняття когезійної зони (Cohesive Zone), яка характеризується залежностями напруження – переміщення (або деформації) у нормальному та дотичних напрямках до контактної поверхні. Вигляд цих залежностей, що описують еволюцію руйнування, може бути різним і визначається властивостями зв'язків між компонентами композиційного матеріалу. При цьому допускається деформація з можливим відривом в напрямку нормалі до поверхні контакту під дією навантажень, що розтягують. Під дією стискаючих навантажень деформація не відбувається. Крім того, можлива деформація зсуву. Залежності напруження – переміщення при нормальному і дотичному навантаженні, що визначають еволюцію відшарування матриці від включення, а також параметри когезійної взаємодії були взяті на підставі результатів роботи [3].

Аналіз результатів моделювання показав, що напружено-деформований стан заготовки подібний до стану деформованої заготовки, що не містить жорстких включень. Найбільш інтенсивно процес ущільнення матеріалу пористої заготовки відбувається в області переходу конічної поверхні матриці в більш вузьку циліндричну поверхню.

Наявність жорстких включень вносить низку особливостей. Максимальні напруження виникають в областях біля включень і в них самих. Залежно від величини сил когезійної взаємодії та властивостей матеріалу матриці у цих областях можуть відбуватися відрив включень від матриці або збільшення пористості її матеріалу. Ці процеси можуть відбуватися одночасно. Також встановлено, що в результаті взаємодії жорстких включень, між ними можуть утворюватися локальні області, які характеризуються вищими значеннями накопиченої пластичної деформації та меншою величиною залишкової пористості (рис. 2).



а) б)

Рис. 2 – Розподіл величин накопиченої пластичної деформації а) та пористості матеріалу матриці б)

Список посилань

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ./ О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

2. Штерн М.Б. Узагальнена континуальна модель пластичності порошкових та пористих матеріалів. / Штерн М.Б., Михайлов О.В., Михайлов А.О. // Порошкова металургія. – 2021. – № 1/2. – С. 27 – 44.

3. Dandekar, C.R., & Shin, Y.C. (2011). Molecular dynamics based cohesive zone law for describing Al–SiC interface mechanics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 42(4), 355–363.

4. Михайлов А.О., Картузов В.В., Михайлов О.В. Моделювання когезійної взаємодії між пластичною матрицею та жорстким включенням. // Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції TERMM-2023, 16-18 травня 2023 р. Луцьк. 2023. – С. 195-196

УДК 629.7.02:539.67

Мозговий О.В., канд. техн. наук, доцент
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
mavimfto@gmail.com

НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ДІЇ НА КОМПОЗИТ АЛЮМІНІЙ-БОР

Анізотропність і недосконалості будови волокнистих композиційних матеріалів обумовлюють різку неоднорідність поглинання енергії їх компонентами при механічному навантаженні, особливо в напрямках, відмінних від орієнтації волокон. Для системи алюміній-бор при температурах вище 723 К між волокнами і матрицею відбувається активна фізико-хімічна взаємодія, яка супроводжується утворенням і зростанням на кордоні розділу крихких інтерметалевих фаз.

При дослідженні волокнистого композиту АД1-В було виявлено утворення на границі волокно-матриця інтерметалевого прошарку, кількість якого зростає із збільшенням часу теплового впливу (рис. 1). На виділених волокнах бору із композиту, який витримувався при температурі 823 К від 0,5 год. до 5 год., видно, що хімічна взаємодія між бором і алюмінієм більш активно відбувається на границі зерен бору, так як атомам поблизу міжзеренних границь властива статична і динамічна нестійкість.

Новоутворена крихка перехідна інтерметалева зона обумовлює порушення зв'язку між волокном і матрицею. Виниклі напруги викликають локальні розриви волокон, що призводить до різкого спаду їх механічних властивостей і погіршення експлуатаційних властивостей волокнистого композиту в цілому.

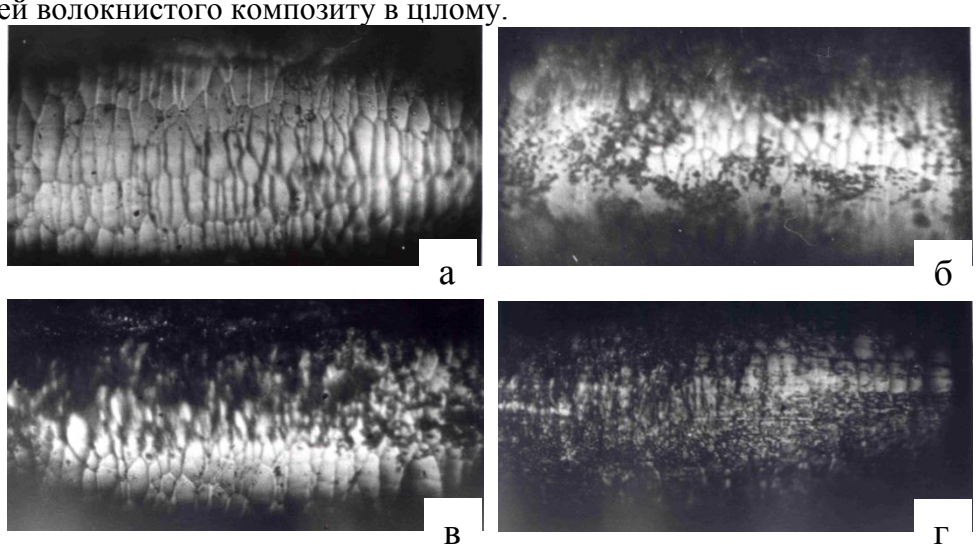


Рис. 1 – Поверхня борних волокон, які виділені з композиційного матеріалу АД1-В в 20% водному розчині NaOH після відпалу при 823 К: а) 0, 5 годин, б) 2 години, в) 3 години, г) 5 годин

Пропонується сформувати таку структуру матриці, яка б розподіляла існуючі напруги рівномірно по всьому об'єму, запобігаючи порушення зв'язку на границі волокно-матриця. Такою структурою є субструктура, яка формується у процесі термоциклювання