**Звіт про науково-дослідну роботу: ”Комп'ютерне моделювання та оптимізація новітніх методів низькотемпературної консолідації, полегшеної зсувом, дрібнодисперсних та нанопорошків, їх спікання, поєднане з дією зовнішніх сил та кінематичних обмежень”**

**Мета роботи** - моделювання та оптимізація нових методів пресування та спікання нано та дрібнодисперсних порошків, що дозволяють контролювати еволюцію внутрішньої структури порошкового тіла в процесі консолідації.

Терміни виконання наукової роботи : початок 1кв. 2011р.

 закінчення IV кв. 2013р.

**Керівник роботи**: Штерн Михайло Борисович, д.т.н., член - кор. НАНУ, (Email:stern@materials.kiev.ua)

Дані про реєстрацію роботи: № 0111U002120

 **Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Проект присвячено комп'ютерному моделюванню та оптимізації новітніх методів низькотемпературної консолідації, полегшеної зсувом, дрібнодисперсних та нанопорошків, їх спікання, поєднане з дією зовнішніх сил та кінематичних обмежень. Розроблено версію методу дискретних елементів , що дозволяє відслідковувати поведінку окремих частинок з урахуванням їх стисливості та їх внесок у формування глобальних властивостей порошкових виробів. Спорідненим для даного результату є поглиблення уявлень про границю текучесті порошково - пористих середовищ. Проект виконаний на рівні світових аналогів і містить нові результати, які поглиблюють уявлення , що супроводжують процеси консолідації дисперсних систем, а алгоритми та обчислювальні засоби можуть бути використані для оптимізації процесів ущільнення та деформування.

 **Пропозиції про подальше використання результатів роботи**.

Рекомендувати впровадження результатів роботи, як у споріднених за тематикою в інститутах НАН України, так і на підприємствах металургійно-машинобудівного комплексу,де застосовуються технології порошкової металургії.

 **РЕФЕРАТ**

**Мета роботи** - моделювання та оптимізація нових методів пресування та спікання нано та дрібнодисперсних порошків, що дозволяють контролювати еволюцію внутрішньої структури порошкового тіла в процесі консолідації.

 **Об'єкт досліджень** - технології ущільнення, формоутворення та структуроутворення порошкових матеріалів із застосуванням складних траєкторій деформування.

**Методи досліджень** - теоретичний аналіз, формулювання моделей та комп'ютерне моделювання із застосуванням методу скінчених елементів.

Запропоновано модель пластичного деформування порошково-пористих середовищ, яка, на відміну від існуючих, поряд із пористістю, накопиченою деформацією матеріалу твердої фази, чутливістю часток порошку до зчеплення, враховує також і здатність матеріалу часток до деформування. Модель описує деформацію порошків і пористих тіл, а також матеріалів з недосконалими контактами: сирих пресовок, пошкоджених і не повністю спечених порошкових виробів (чутливість до знаку навантаження й складу шихти). Вона дозволяє описувати ефект росту пористості при негативних (стиск) величинах гідростатичного тиску під дією зсувних напружень. На підставі використання моделі встановлено, що реалізація таких схем деформування, які характеризуються значними деформаціями зсуву пов'язана із ризиком зростання темпу накопичення пошкоджень і росту пористості. Запобігання руйнуванню можливо за рахунок застосування схем деформування, що забезпечують певне підвищення гідростатичної складової тензора напружень. Обчисленнями встановлено діапазон навантажень, що припускає таке підвищення. Зокрема, встановлені граничні значення можливого протитиску.

Запропоновано метод комп'ютерного моделювання порошкових матеріалів, що поєднує особливості методів скінчених і дискретних елементів. Метод враховує контактну взаємодію між окремими частками або їх агломератами та дозволяє аналізувати напружено-деформований стан як часток і гіперчасток, так і всього тіла в цілому. На відміну від існуючих, запропонований метод дозволяє враховувати внутрішню пористість часток, а також можливість їх взаємного проковзування.

Сформульовано узагальнений критерій в'язкого руйнування при пластичній обробці матеріалів, що містять дефекти. Критерій безпосередньо пов'язаний із вмістом дефектів та їх еволюцією. Методом скінчених елементів із використанням засобів теорії малих збурень були встановлені особливості розвитку смуг зсуву та їх орієнтація відносно напряму навантаження. Утворення смуги при одновісному розтягуванні пористих спечених матеріалів є наслідком нестійкої деформації і супроводжується катастрофічним зростанням пористості в області смуги. Вказаний феномен може служити передвісником руйнування при пластичній деформації пористих тіл і розглядатися як його критерій.

Методами обчислювальної мікромеханіки із застосуванням методу скінчених елементів вдалося встановити особливості пружно - пластичного переходу в пористих тілах. На підставі отриманих результатів може бути обраний критерій набуття матеріалом в цілому пластичних властивостей. Він може бути сформульований як момент зовнішнього навантаження, що відповідає утворенню нескінченого кластеру із різних пластичних зон, що виникають як на границі комірки, так і на поверхні пори.

Розглянуто процес ущільнення пористого матеріалу, що містить площинні дефекти за рахунок одночасної дії спікання та зовнішнього розтягуючого напруження. Аналіз процесу базується на узагальненій моделі незворотно стисливого середовища, що містить пори і площинні дефекти. На підставі даної моделі отримано співвідношення для кінетики ущільнення та осьової деформації.Їх використання дозволяє зробити висновок про уповільнення спікання та можливість розпушення при спіканні, суміщеному із повзучістю за рахунок площинних дефектів. Отримані результати дозволять уникати процесів руйнування при застосуванні технологій спікання, суміщеного із зовнішнім навантаженням.

**Ключові слова:** **ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКІВ, ЗСУВНІ ДЕФОРМАЦІЇ, ЕВОЛЮЦІЯ МІКРОСТРУКТУРИ, СПІКАННЯ, РОЗВИТОК ДЕФЕКТІВ, РОЗШАРУВАЛЬНІ СМУГИ, ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ, ПОВЕРХНЯ ТЕКУЧОСТІ.**

**ПУБЛИКАЦІЇ.**

Модифицированные модели деформирования порошковых материалов на основе пластичных и трудно деформируемых порошков. Штерн М.Б., Михайлов О.В. Весник национального технического университета КПИ.

Залежності швидкостей розширення акустичних хвиль в лінійно - пружних

матеріалах від характеру динамічного навантаження. Штерн М.Б., ВдовиченкоО.В., Киркова О.Г. Наукові нотатки (зб. наук праць ЛДТУза напрямом „інженерна механіка")№31,2011.

 Моделювання процесу волочіння порошкового дроту на основі визначальних

співвідношень пластичного деформування пористих матеріалів із планарними

дефектами. Штерн М.Б., Ткаченко Л.Н., Кіркова О.Г., Майданюк О. П.

Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні( зб. наук. праць СНУ ім. В. Даля)2011.

 Моделирование уплотнения бипористых порошковых изделий, имеющих

наклонные к направлению прессования. Михайлов О. В. Математические модели и вычеслительный експеримент в материаловеден ии. Випуск 13, 2011.

 Розвиток анізотропії пластичного деформування порошкових тіл при пресуванні Максименко А.Л. Математические модели и вычеслительный експеримент в материаловедении. Випуск 13, 2011.

Исследование процесса уплотнения порошкового сердечника при волочений порошковой

проволоки на основе модели пластического деформирования пористых материалов. Ткаченко Л.Н., Киркова Е.Г., Кузьмов А.В., Штерн М.Б. Математические модели и вычеслительный експеримент в материаловеден ии. Випуск 13, 2011.

Численное моделирование процесса деформационного упрочнения

пористых втулок методом многократного протягивания. Розенберг О.А., Михайлов О.В., Штерн М,Б. Порошковая металургия №7/8,2012.

Моделирование процесса волочения порошковой проволоки. Киркова Е.Г., Ткаченко Л.Н., Кузьмов А.В., Штерн М.Б., Майданюк О.П. Порошковая металургия №7/8,2012.

Влияние реологических особенностей поведения пористых поврежденных

материалов на результаты их индентирования. Штерн М.Б., Кузьмов А.В. Вісник НТУУ КПИ. Серія машинобудування. Випуск №66,2013.

 Численное моделирование локализации деформаций в пористом дефектном

жестко – пластическом материале. Кузьмов А.В., Штерн М.Б.

 Математическ ие модели и вычислительный эксперимент в материаловедении.

Вьпуск 5, 2013.