

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА К 18. 02. 03

МАРХАЙЧУК ПАВЛО ІВАНОВИЧ

УДК 621.73.043

**Розроблення, дослідження та освоєння технологічних процесів
деформації і слікання тонкостінних деталей з дрібнодисперсних
порошкових матеріалів**

Спеціальність 05.03.05 - Процеси і машини обробки тиском

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Луганськ - 1997

ДВ 38.447

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Східноукраїнському державному університеті на кафедрі "Ковально-пресове виробництво і матеріалознавство" механічного факультету

Наукові керівники : доктор технічних наук, професор
Лещинський В.М., СУДУ, зав. каф.

кандидат технічних наук, доцент
Деорліца Ю.С., СУДУ, зав. каф.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор Шепельський Н.В., КІСМ;

кандидат технічних наук, Дядічев В.В., СУДУ, доцент.

Провідна установа:
Донбаський гірничо-металургійний інститут, м.Алчевськ,
Луганської обл.

Захист відбудеться "9" жовтня 1997 року о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої Ради К 18.02.03 у Східноукраїнському державному університеті за адресою:
348034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20-а.
Довідки по телефону : (0642) 46-67-88

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Східноукраїнського державного університету.

Автореферат розісланий "29" серпня 1997 г.

Вчений секретар спеціалізованої вченої Ради кандидат технічних наук, доцент

 Рябичева Л.О.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751452 (0)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Сучасні галузі машинобудування, особливо електронного, електровакуумного та інших, пред'являють високі вимоги до якості виробів різноманітного призначення, отриманню спеціальних властивостей виробів.

Технології порошкової металургії займають одну з провідних позицій у зазначеному напрямі, бо дозволяють створювати складні композиційні матеріали з неповторним поєднанням властивостей при одночасному зниженні собівартості продукції і ресурсозбереженні. Серед позитивних якостей, що забезпечуються композиційними порошковими матеріалами, треба визначити комплекс властивостей, що не можуть бути досягнуті іншими засобами виробництва: висока термостійкість, стійкість до радіаційних дій, різноманітне поєднання електрофізичних параметрів у широкому діапазоні частот електромагнітного впливу, вакуумні, механічні та інші властивості.

Разом з тим необхідно визначити, що у всьому спектрі операцій порошкової металургії є ряд нерозв'язаних технологічних проблем, внаслідок яких отримання багатьох композиційних матеріалів з необхідним поєднанням властивостей ускладнено. Зокрема, недостатньо розроблені і в багатьох випадках не вирішувалися проблеми оптимізації структури і властивостей матеріалів, виробляємих з дрібнодисперсних порошкових сумішей складної сполуки, а тому відсутні необхідні матеріали та елементи з них для електронної техніки.

Технології порошкової металургії, що застосовуються у ряді зарубіжних країн часто не враховують взаємозв'язок між макроскопічним поведінням і мікропроцесами структуроутворення матеріалу з заданими властивостями. З цієї точки зору одним з чинників, що визначає структуроутворення композиційних матеріалів є напружено-деформований стан на різноманітних етапах виготовлення, розгляду якого у багатьох випадках не віддавалось достатньої уваги.

Крім цього розв'язання даних задач в основному здійснюється шляхом розвитку засоба інжекційного формування, за допомогою якого є можливість одержати вироби складної форми в умовах масового виробництва. Але виконання таким методом деталей типу тонкостінних колпачків зустрічає ряд труднощів. Із цієї точки зору стає актуальною задача вжиття засобів точної штамповки видавлюванням дрібнодисперсних порошкових композицій і розробки оптимізованих режимів їх спікання.

Мета роботи. Створенні технології виробництва тонкостінних виробів з заданими фізико-механічними властивостями з тонко-дисперсних порошкових матеріалів на основі впровадження операцій видавлювання і спікання пластифікованих порошкових середовищ.

Засоби дослідження. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану при видавлюванні пластифікованих порошкових середовищ (ППС), що базуються на законах механіки складного середовища і теорії

пластичності. Експериментальні дослідження структури і властивостей пластифікованих порошкових тіл (ППТ) при деформації, експериментальні дослідження перебігу ППС при спіканні. В основу цього покладені оригінальні засоби вимірів деформацій при простих і складних схемах напруженого стану та ділатометричні виміри при неізотермічних режимах спікання ППТ.

Наукова новизна та особистий внесок автора. Розроблена методика теоретичного аналізу процесу видавлювання дрібнодисперсних ППС з урахуванням основних елементів деформаційного та силового впливу на деформоване середовище. Проведений теоретичний аналіз зміцнювання ППС у процесі деформування. Одержані аналітичні залежності для визначення напружень, зусиль залежно від міри деформації при закритому прошитті тонкостінних виробів з тонкодисперсних ППС, що дозволять вести розрахунок і побудову технології, що забезпечує отримання виробів з заданими електрофізичними властивостями. Експериментально виявлені особливості деформації ППС, що дозволили визначити режими їх обробки з високими мірами деформації при низьких питомих зусиллях за рахунок реалізації ефектів, аналогічних надпластичної течії. Одержані залежності, що описують кінетику ущільнення тонкодисперсних порошкових середовищ при спіканні у неізотермічному режимі і виявлено їх взаємозв'язок з структурою ППТ, що формується штампуванням видавлюванням тонкодисперсного ППС.

Практична цінність і реалізація результатів роботи. Розроблена методика автоматизованого проектування операцій закритого прошивання у технологічних процесах штампування складопротилежних заготовок з тонкодисперсних ППС. Створені технологічні процеси штампування та спікання тонкостінних стаканів температурних сенсорів з фіксованою точкою Кюрі і тонкостінних втулок з магнітом'яких феритів для високоефективних свічок запалювання карбюраторних двигунів.

Технології опановані у досвідчено-промисловому масштабі на підприємствах "ПМ-авто" (м. Стаханов), "Повернення-3" (м. Луганськ).

Технічна документація на серійні технологічні процеси передані підприємствам України (Кіровський ЦЕНТРОКУЗ, Кіровський ЗПВ, Артюмовський машинобудівельний завод). Розроблені технології забезпечують отримання якісно нових виробів з заданими електрофізичними властивостями при їх високій економічності. Очікуваний економічний ефект від впровадження нової технології виробництва температурних сенсорів з фіксованою точкою Кюрі при обсязі поставки 1000000 штук на рік складатиме 0.04 грн. на одиницю продукції (в цінах 1997 року).

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідалися на Міжнародному симпозіумі по магнітом'яким матеріалам (м.Познань, 1997р.), на Республіканських конференціях "Фізика і механіка порошкових матеріалів" (м.Луганськ, 1991р.), "Розроблення і впровадження маловідходних і безвідходних технологій у металооброблювальному ви-

рабництві" (м.Севастополь,1996р.), науково-технічних конференціях Східноукраїнського державного університету (1991-1996рр.). У цілому робота обговорена і схвалена на об'єднаному науковому семінарі механічного факультету СУДУ у 1996 році.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 4 статті, 2 доповіді у тезах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з: вступу, 5 розділів, загальних висновків і прикладення. Текстовий матеріал викладений на 120 сторінках, таблиць по тексту -10, рисунків -60, літературних джерел -125 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета роботи, її наукова і практична цінність.

Розділ 1. Стан питання і постановка завдань дослідження. Проведений аналіз теорії і технології деформації порошкових матеріалів показав, що у практиці широко розповсюджені стандартні технологічні процеси формоутворення порошкових матеріалів у закритих пресформах і спікання формовок в ізотермічному циклі.

Необхідність оцінки поводження реального порошкового матеріалу, що наражається на чималі пластичні деформації, по його механічним властивостям є основою експериментального і теоретичного завдання. Її розв'язання привело до розвитку теорії пластичності пористого тіла, що базується на концептуальних підставах механіки суцільного середовища. Основні положення теорії пластичності розроблені Г.Я.Гуном, Р.Дж.Грінном, Б.А.Друяновим, М.С.Ковальченко, О.М.Лаптевим, В.З.Мідуковим, В.В.Скоро-ходом, Б.М.Штерном, Х.А.Куном, М.Ояне, Т.Табата та іншими.

Проведений аналіз показав, що розробки теорії пластичності пористого тіла у цілому не можуть бути застосовані для тонкодисперсних ППС тому, що відсутні дані о властивостях ППС, та його поведінці при деформації.

У цей час у літературі достатньо розглянуті механізми ущільнення при спіканні металевих порошоків. Але дифузійні процеси структуроутворення при спіканні пластифікованих композитів на наш погляд з'ясовані далеко не повністю. Визначення особливостей поводження часток при спіканні пластифікованих матеріалів надто важливо для розроблення технології отримання складнопрофільних виробів з достатньо високими точнісними і спеціальними електрофізичними характеристиками. Проте недолік літературних даних не дає можливості остаточно судити про технологічні особливості спікання згаданих вище порошкових матеріалів.

Аналіз літературних даних свідчить про те, що у теорії і технології деформації порошкових матеріалів практично не розглядається пластичний плин пластифікованих порошкових тіл, що містять в собі велику

кількість пластифікатора і металевий чи керамічний порошок з розміром часток 1-40мкм. Не існує даних про вплив концентрації сполучного пластифікатора і розміру часток порошка на макроскопічні особливості деформації пластифікованих порошкових тіл при простих і складних схемах напруженого стану.

На сьогоднішній час найбільш повно розроблена технологія інжекційного формування порошкових середовищ з високою концентрацією сполучного пластифікатора, але через брак розробок технологічних процесів для комплексних порошкових матеріалів виникають труднощі у реалізації масового виробництва, наприклад, тонкостінних колпачків спеціального призначення.

Не проводився аналіз напружено-деформованого стану пластифікованих порошкових тіл в операціях об'ємного штампування, напружень при стисненні, видавлюванні та інших операціях, внаслідок чого відсутні рекомендації по призначенню технологічних параметрів для них. Деформація пластифікованих порошкових середовищ внаслідок наявності ультрадрібних часток і пластифікатора з малим опором зрушенню може мати деякі аномалії, подібні ефекту зверхпластичної течії субдрібнокристалічних матеріалів, тому подас інтерес відшукування цих особливостей і використання їх у відповідних технологічних процесах.

Структурутворення порошкових композитів визначається умовами їх спікання, технологічні параметри якого у разі пластифікованих порошкових тіл недостатньо повно проаналізовані у літературі. Особливо це стосується неізотермічних режимів спікання, що дозволяють регламентувати співвідношення між поверхніми та об'ємними механізмами деформації у порошковому тілі. Тому розшук відповідних закономірностей впливу технологічних параметрів спікання на процеси ущільнення пластифікованих порошкових тіл є визначаючим при розробленні технологічних процесів спікання.

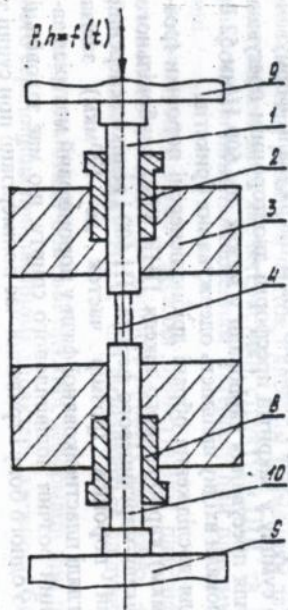
На підставі результатів проведеного аналізу і згідно з метою дисертації у роботі поставлені такі основні задачі дослідження:

1. Експериментальне дослідження макроскопічних особливостей деформації пластифікованих порошкових тіл при простих і складних схемах напруженого стану.

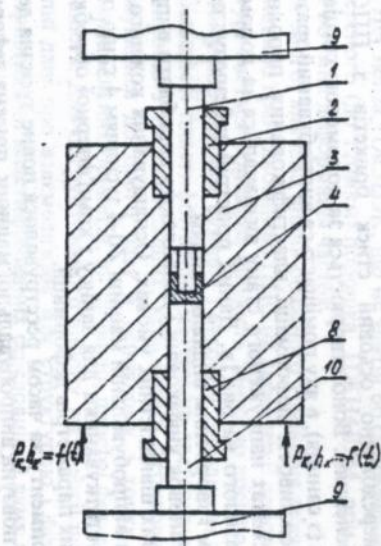
2. Аналіз напружено-деформованого стану пластифікованих порошкових тіл в операціях видавлювання і визначення механізмів пластичного перебігу таких тіл.

3. Вивчення кінетичних особливостей течії та ущільнення при спіканні пластифікованих порошкових тіл в ізотермічних і неізотермічних режимах.

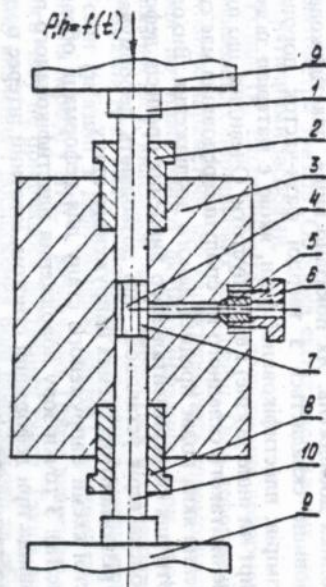
4. Дослідження технології отримання тонкостінних виробів з пластифікованих порошкових тіл і розроблення кризових алгоритмів її розрахунку по всім технологічним операціям процесу.



а) лінійна схема



б) стискування під гідростатичним тиском



в) видавлювання

1, 10 - пуансоны; 2, 8 - направляючі втулки; 3 - контейнер; 4 - взірєць; 5 - фільтєра; 6 - гайка; 7 - сфера

Рисунок 1. Устаткування для дослідження

5. Освоєння технологічних процесів штампування і спікання тонко-стінних стаканів і втулок з дрібнодисперсних порошкових сумішів.

Розділ II. Методика досліджень. Як показано вище, пластифіковане порошкове середовище складається з твердої фази-часток порошка різноманітних розмірів; пластифікованої фази, якою є матеріал зв'язки (полівініловий спирт чи інше зв'язне) і фази пористості. Очевидно, що пластичне формозмінення такого складного по складу середовища має свої особливості, вивчення яких подає предмет даного дослідження. Виходячи з завдань роботи для експериментального вивчення процесів деформації ППС розроблена серія установок, що дозволяють деформувати зразки з ППТ при різноманітних схемах напруженого стану.

У вигляді простої схеми напруженого стану для деформації обрано осьовий стиск (рис. 1а). З точки зору поведінки пластифікованого порошкового середовища при деформації стиском, істотний інтерес подає пошук впливу гідростатичного тиснення на характеристики ущільнення і формозмінення пластифікованого порошкового тіла. Для дослідження цього питання використовується оснащення, показане на рис. 1б. У цьому варіанті передбачено осьовий стиск брикетів з ППС під гідростатичним тисненням. Воно створюється за допомогою спеціальної пластичної об'єми (з свинця), в яку поміщається випробуваний зразок.

Технологічні можливості деформації пластифікованих порошкових тіл при складних схемах напруженого стану визначалися за допомогою оснащення, показаного на рис. 1в. Даний пристрій забезпечує деформацію ППТ прямим і зворотним видавлюванням.

Всі три види установок уніфіковані і дозволяють виробляти випробування при однакових швидкісних умовах. Оснащення кожного виду влаштувалося на випробувальній машині Zd-4 зусиллям 4 т, що поставлена спеціальним устаткуванням для запису і комп'ютерної обробки силових і кінематичних параметрів деформації.

У процесі експерименту за часом реєструвалося повне зусилля деформації, переміщення повзуна випробувальної машини, пружна деформація непорушної траверси цієї машини і переміщення контейнеру.

Зразки ППТ діаметром 16мм і висотою 30мм одержували формуванням порошкового сумішу у закритій пресформі двостороннім пресуванням. Питомі зусилля пресування варіювали у межах 40...600 Н/мм², внаслідок чого змінювали вхідну щільність одержуваних брикетів.

Матеріалами для дослідження обрані дрібнодисперсні порошки (розмір часток до 10мкм) карбонільного нікеля ПНК 1Л8, карбонільного заліза ПЖМ 3К, нікель-марганцевого ферита НН 600 і великодисперсний частково-легований порошок (розмір часток до 120мкм) заліза ПЖН 4Д2М. У вигляді пластифікованої фази у порошковий матеріал задавали 10% водяний розчин полівінілового спирту, що має задовільні ключі властивості з одного боку і тривалий час полімерізації при сушці з іншого. Останнє дозволяє використати пластичність зв'язування з обме-

женою вологістю у технологічному циклі обробки ППТ. Вивчення кінетики ущільнення ППТ при спіканні виконувалася з використанням дилатометрії зразків. Обробка експериментальних даних здійснювалася статистичними засобами.

Розділ III. Експериментальне дослідження деформації і перебігу пластифікованих порошкових середовищ. Опір деформації ППК є одним з основних параметрів, що характеризують спроможність даного середовища до пластичного формозмінювання. При цьому вона тече та ущільнюється, внаслідок чого змінюється її структура. Основними механізмами течії ППС є поверхні (зв'язані з механічним зміщенням) та об'ємні (зв'язані з деформацією часток), причому роль поверхніх механізмів перебігу ППС є визначною. Проте вивченню цих механізмів до цього часу не приділялося достатньої уваги. Таким чином, надто актуально вивчення і дослідження ролі поверхнього та об'ємного механізму ущільнення ППС. З цією метою у даному розділі розглянуті дослідження деформування і перебігу дрібнодисперсних (до 10мкм) порошоків нікеля ПНК 1Л8, заліза ПЖЗНЗК, що не здатні об'ємно деформуватися, і великодисперсного (до 120мкм) порошка ПЖН4Д2М, при ущільненні якого діється об'ємна деформація часток.

Крім цього, вивчено вплив об'ємного тримання зв'язувального і вологості вхідною гранульованою ППС на характер її деформації. У цей час у літературі мається обмежена кількість даних по дослідженню пластичного перебігу порошкових сумішей з високим триманням пластифікатора. В своїй більшості пластифікування матеріалів застосовується при формуванні виробів з твердосплавних, керамічних, феритових матеріалів, що досліджувалися до цього часу в основному з точки зору отримання транспортабельних брикетів, як правило, простої форми, що мають певну щільність. Для обґрунтованого вибору технології штампування ППТ необхідні дані про взаємозв'язок між структурою і фізико-механічними характеристиками пластифікованих середовищ, з яких можна визначити пластичність матеріалу та його опір деформації.

Виходячи з викладеного, проведені дослідження деформації ППТ з різноманітним розміром часток і високим триманням зв'язуючого, а також визначені деякі характеристики, структури ППС та їх взаємозв'язок з макроскопічним поведінням матеріалу при пластичному деформуванні.

З точки зору впливу зусилля брикетування пластифікованого гранульованого матеріалу на міцність брикету одержано, що мається три групи кривих перебігу ППТ, що визначаються слідуючими особливостями:

- відсутність стадії обігової пружної деформації при перебігу порошкового середовища при лінійному характері залежності $b_1 = f(\epsilon)$;

- слабке зміцнення порошкового середовища при пластичній деформації в період що передує руйнуванню;

- чималі різниці в швидкості зміцнення не деформованих часток ППТ фракцією до 10мкм (НН600, ПНК1Л8, ПЖЗМЗН) у порівнянні з ППТ з великих (до 120мкм) деформованих часток (ПЖН4Д2М).

Показано, що ущільнення пластифікованого гранульованого матеріалу у першому наближенні діється у два етапа. Перший- ущільнення гранул. Цей етап регламентується питомим зусиллям брикетування у межах 40 Н/мм². При цьому брикет транспортабельний, пластичний, але має низьку міцність. Другий етап- процес пластичного перебігу часток друг щодо друга (при $R_{\text{брик}}=100...550\text{Н/мм}^2$). Вже при питомому зусиллі брикетування 90-100Н/мм² зв'язувальне внаслідок всебічного стиска обволікує металеві частки, що знижує міжчасткове тертя і тертя часток щодо інструменту. При цьому брикет набуває властивості пластичної маси з достатньою міцністю і порівняно високою пластичністю. Очевидно, що на другому етапі, при подальшому підвищенні зусилля брикетування, частки зближаються одне з одним, певно проривають оболонку ППС і витісняють пластифікатор у пори і на зовнішню поверхню ППТ, що призводить до зростання міцності і зниження пластичності зразків.

Отримання деталей складної форми, зокрема, тіл обертання з товщиною стінки до 1мм, пов'язане з спроможністю ППС затікати у важкозаповнюванні порожнини матриці. Для здобутку цієї цілі використовувався дрібнодисперсний матеріал з фракцією до 10мкм, що володіє особливими пластичними властивостями, які забезпечують затікання ППС у відповідні зазори між пуансоном і матрицею.

Проведене дослідження макроскопічних параметрів деформації порошкових сумішей при стиску дозволило визначити умови зниження опору деформації за рахунок збільшення міжчасткових зміщень порошкових часток внаслідок деформації міжчасткових проміжків з зв'язника.

У вигляді параметру, що визначить структуру ППС з великою концентрацією зв'язування, у першому наближенні була прийнята середня величина міжчасткового проміжку (Δ), заповненого ППС, виходячи з речень, що пластифіковане порошкове тіло складається з твердої фази (часток), рівномірно розподіленої у пластичній матриці пластифікатора.

За даними експериментів по пресуванню брикетів та їх наступної деформації осьовим стиском розраховувалися параметри Δ , об'ємного тримання зв'язувального С, деформованого зміцнювання: коефіцієнт труднощі скочвання по співвідношенню Холла-Петча, коефіцієнт зміцнювання лінійно-апроксимації кривої зміцнювання, стискування ППТ.

З наведених даних випливає, що величина Δ зменшується з збільшенням питомого зусилля пресування, але у межах $100\text{Н/мм}^2 \leq R_{\text{брик}} \leq 550\text{Н/мм}^2$ залишається майже незмінною. Це свідчить про те, що при питомих зу-

силлях формування вище 100Н/мм^2 ППС практично складається з пластифікатора і часток порошка, а пори відсутні. Використання порошка з розміром часток до 10мкм дозволяє виключити вплив об'ємної деформації часток при стиску зразків, тому наступна пластична деформація такого середовища реалізується у зміщенні часток одна відносно другої у пластичній матриці, та, оскільки у ППТ ($\rho=5\text{-}5,5\text{г/см}^3$) відсутні пори, одержано, що при деформації фактично додержується умова постійності обсягу.

Таким чином, макроскопічне поведіння ППТ при його деформації у чималій мірі залежить від тримання у ньому зв'язувального і відповідно від середньої міжчасткової відстані у двофазному суміші (тверда фаза+зв'язувальне). Необхідно також враховувати стиснення пластифікованого порошкового тіла при його деформації у зв'язку з тим, що наявність пор у зазначеному тілі буде призводити до зменшення опору деформації останнього.

Крім того, ущільнення порошкового тіла при деформації стиском діється до мір $\epsilon=0.002\text{...}0.025$, після чого тіло також стає беспористим. Останнє свідчить про те, що ефект зміцнювання при деформації за рахунок доущільнення порошкового тіла може з'являтися лише при малих мірах деформації. У наших експериментах доущільнення порошкового брикету $\rho=3.2\text{г/см}^3$ при деформації діється практично без зміцнювання, що свідчить про несуттєвий вплив дощільнювання на силові умови деформації.

Очевидно, що дані особливості пластичної течії порошкових тіл можна використати у технологічних процесах формоутворення останніх. Іншими словами, регулюючи об'ємне тримання пластичної матриці у ППТ, можна добитися таких його властивостей, що забезпечать його низький опір деформації, високу пластичність, і, спроможність заповнюють важкодоступні порожнини пресформи.

Розділ IV. Дослідження кінетичних особливостей ущільнення і структури утворення при неізотермічному спіканні ППТ. Розглянуто вжиття неізотермічних режимів спікання для здобутку високої щільності і дрібнозернистості структури ППТ, що забезпечує високий рівень їх електрофізичних характеристик.

Для дослідження використали порошок стронцієвого ферита з питомою поверхнею 0.8 і $1.2\text{м}^2/\text{г}$, з якого пресували паралелепіпеди розмірами $10\times 10\times 20\text{мм}$ у постійній магнітній статі. Зразки спікали на повітрі по неізотермічним режимам (рис. 2). Температури нагріву змінювалися стрибкообразно від T_1 до T_2 . В інтервалах $T_2\text{-}T_3$ і $T_4\text{-}T_5$ швидкості нагріву та охолодження складали $100\text{ }^\circ\text{C/година}$. У процес спікання проводили дилатометричні виміри довжини зразка, по яким визначали швидкість об'ємного стискування dv/dt . Атестаційні електромагнітні параметри (B_r , Нсв, Нсм, ($B_{H_{\max}}$) визначалися стандартними засобами.

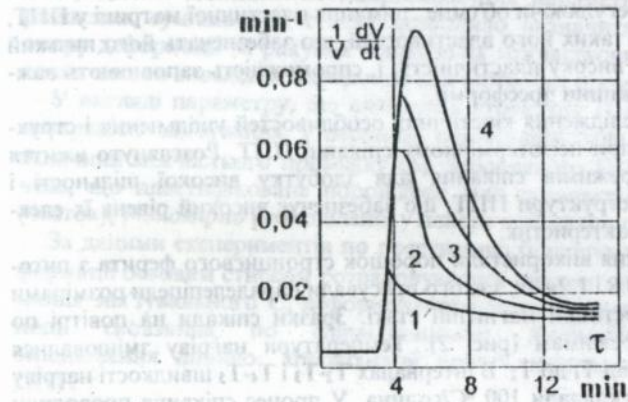
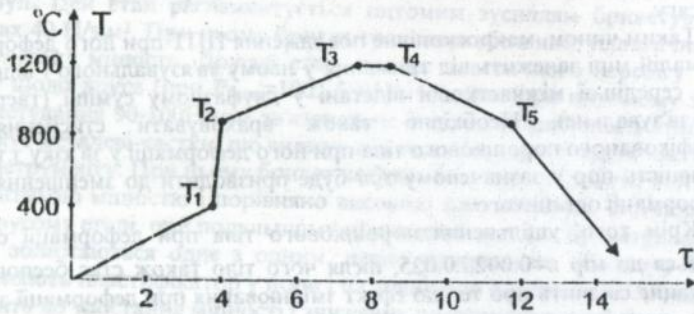


Рисунок 2. Результати дослідження кінетики ущільнення при неізотермічному спіканні

Результати досліджень кінетики ущільнення при неізотермічному спіканні у температурному інтервалі стрибка показані на рис.2.

З наведених результатів виникає, що неізотермічний режим спікання дозволяє різко збільшити швидкість ущільнення.

Основним параметром спікання як кінетичного процесу по Івенсену В.А. прийнята швидкість ущільнення, що акумулює у собі всі особливості структури, складу матеріалу, його взаємодії з навколишнім середовищем і відбиває реакцію системи на зовнішній вплив. Цей параметр "зручний" і тим, що його можна безупинно контролювати протягом всього часу спікання. Отже, контролюючи швидкості ущільнення, можна непрямо керувати швидкостями зростання пор, рекристалізації, гомогенізації, тощо, безупинний контроль яких іншими засобами практично неможливий. Величиною швидкості ущільнення оперують і кінетичні теорії спікання. Проте, теоретичні розробки у галузі неізотермічного спікання знаходяться у зародковому стані, а екстраполяція на основі ізотермічних моделей не дає задовільних результатів. Тому у кожному конкретному випадку необхідно експериментальне дослідження кінетичних характеристик процесу. Оптимізація режиму спікання ППТ на основі ферита дозволила досягнути рівнів щільності 0.92...0.95 компактного матеріалу. Останнє, як видно, є одною з основних умов для здобутку високих значень електромагнітних параметрів.

Таблиця 1. Електромагнітні параметри анізотропних стронциєвих феритів

№ П/ПІ	Інтервал температурного стрибка, °С	Тл	кА/м	кА/м	кДж/м ³
1	T ₁ - T ₂ = 700 - 850	0,380	154	215	16,1
2	T ₁ - T ₂ = 600 - 850	0,380	178	235	18,0
3	T ₁ - T ₂ = 600 - 900	0,390	240	250	29,5
4	T ₁ - T ₂ = 400 - 900	0,310	225	246	21,2

Попередній аналіз зв'язку електромагнітних параметрів з структурою показав, що високі значення (Вн) тах забезпечуються дрібнокристалічною однорідною структурою і достатньою її однорідністю.

Розділ V. Розроблення і дослідження технології отримання термісторів з фіксованою точкою Кюрі з ППС.

Технологічний процес отримання тонкостінних стаканів з порошкових матеріалів передбачає використання пластифікованих сумішей, що мають низький опір деформації і високий ресурс пластичності.

Проведені експериментальні дослідження процесів формоутворення брикетів з пластифікованих середовищ, її деформації відкритою осадкою, видавлюванням і наступного спікання.

Виходячи з зростаючих потреб електронної техніки у різноманітних її вузлах, все ширше застосовуються вироби з магніто-м'яких матеріалів з заданими електрофізичними властивостями, що виготовляються з дрібнодисперсних порошків Fe і Ni, зокрема, для виробництва друкованих плат на мікросхемах різноманітної складності. Все ширше застосовуються технологічні процеси пайки доріжок з вивідів мікросхем при різноманітних температурах. Причому температурний режим такого сполучення контролюється у вузькому інтервалі. Для цього застосовуються спеціальні сенсорні наконечники з нікелевих сплавів, легірованих Cu, Fe та іншими елементами з метою забезпечення строго фіксованої температури переходу (точки Кюрі) з феромагнітного у парамагнітний стан.

При створенні технології його отримання необхідно враховувати високу крихкість сплаву на основі Ni, що не дає можливості застосовувати технологію формування у спеченому стані.

Дуже важливим є забезпечення однорідності хімічного складу сплаву, що забезпечує вузький температурний інтервал переходу з феромагнітного у парамагнітний стан. Треба звернути увагу на тонку стінку термістора, що визначає складність його механічної обробки. Тому завданням цього розряду є розроблення технології зворотнього видавлювання стаканів і визначення електрофізичних характеристик деталей залежно від режиму обробки.

Експериментальні та теоретичні дослідження, зв'язані з визначенням необхідних параметрів, вироблялися слідуючим чином. Пористе порошкове тіло (ППТ) у вигляді брикету розмірами $d=5\text{мм}$, $H=10\text{мм}$ поміщали у матрицю, після чого виробляли видавлювання порожнини. При цьому записувалася індикаторна діаграма процесів деформації $\epsilon=0.22; 0.4; 0.515$, що відповідає діаметрам пуансонів 2.5, 3.2, 3.8мм. Отримані деталі форми стаканів розрізалися з метою визначення щільності у стінці стаканів і в її данній частині засобом гідростатичного зважування. Для експериментів використовувались брикети з різноманітної щільності, отриманої при різноманітних питомих зусиль деформування у закритій порожнині.

Отримані результати свідчать про слідуючі особливості перебігу ППТ. У процесі видавлювання при $\epsilon=0.515$ діється не тільки впровадження пуансона у середовище, а також збільшення висоти заготівлі внаслідок закінчення середовища у стінці стаканів.

Так, при вхідній щільності брикету 4.5г/см^3 при видавлюванні висота виробів збільшується на 1мм, при вхідній висоті брикету 5.4мм. З збільшенням щільності брикету ефект стікання середовища у стінці знижується і при видавлюванні брикету висотою 4мм з $\rho=5.5\text{г/см}^3$ з питомим зусиллям видавлювання $P=550\text{МПа}$, висота виробу складає 4.4мм. Очевидно, що це слідство збільшення опору деформації ППТ при збільшен-

ні його щільності. Мається деяка стискуваність ППТ у процесі деформації видавлюванням. Проте вже при щільності ППТ, рівній 5.5г/см^3 , його стискуваність практично рівна нулю, а, отже, додержується умова постійності об'єму. Аналогічні дані одержані при понад низьких мірах деформації ($\epsilon=0.22$). Треба визначити лінійний характер залежностей розмірів глибини порожнини, а також порожнини у стінках і в дні "стакани" від мір деформації, що дозволяє використати з достатньою мірою точності лінійності апроксимації цих функцій для розрахунку технологічних параметрів процесу видавлювання ППТ в інтервалі, що дослідиться мірою деформації.

Теоретичні дослідження аналізу напружено-деформованого стану при видавлюванні порошкових сумішей зроблені за допомогою метода верхньої оцінки. Метою аналізу було визначення накопленої деформації у фіксованих обсягах пластифікованого порошкового тіла питомого зусилля деформування при визначених швидкостях деформації.

Одержані наступні співвідношення:

Для питомого зусилля деформування

$$\frac{p}{\sigma_s} = \frac{2}{\sqrt{3}(1-\mu)} \left[\frac{\sqrt{4+\text{ctg}^2\beta}}{4} \ln \frac{1}{\mu} - 2[1-m_k] \frac{(1-\mu)}{\mu} - (1-\mu) \times \right. \\ \left. \times \text{ctg}\beta + 2 \sqrt{\frac{2(1+\mu)(1+\text{ctg}^2\beta)}{3\sqrt{\mu}}} \right]$$

$$\Gamma = \frac{\mu}{1-\mu} (1+\text{ctg}^2\beta) - \frac{1}{2} \sqrt{4+\text{ctg}^2\beta} \ln \left[1 + \frac{4\mu\sqrt{\mu}}{\alpha r_k^2} \cdot \frac{h}{dn} \right]$$

де μ - коефіцієнт витягування, αr_k , β , Γ_k - параметри годографа швидкостей, h , dn - параметри очагу деформування, σ_s - межа опору деформації ППТ.

За допомогою отриманих співвідношень проведені розрахунки процесу видавлювання стаканів.

Внаслідок використання комбінованих технологій пресування, формотворення, спікання і термообробки одержані порошкові магнітні матеріали з фіксованою точкою в інтервалі $300\text{...}500\text{ }^\circ\text{C}$ і температурним інтервалом переходу із феромагнітного у парамагнітний стан у

межах 12...19°C. Проведена оптимізація режимів термообробки, що дозволила знизити ширину температурного інтервалу феро-пара-магнітного переходу до $\Delta t=12^\circ\text{C}$. Виготовлена досвідчена партія виробів типу "наконечник" з порошкових матеріалів на основі карбонільного нікеля шляхом вжиття нової технології формоутворення пластифікованих порошкових сумішей, що дає змогу отримання деталей без подальшої механічної обробки, котра вносить додаткові внутрішні напруги у структуру сплаву. Він обумовлює додаткове протікання процесів розсіювання теплової енергії термістора, що знижує точність визначення точки Кюрі і величини температурного інтервалу феромагнітного переходу. Основні особливості структуроутворення при спіканні порошкових магнітних матеріалів з фіксованою точкою Кюрі укладається у реалізації режимів гомогенізації твердих розчинів на основі нікеля.

У разі Ni-Fe і Ni-Cu порошкових композицій за рахунок інтенсифікації механізмів об'ємної поверхньої дифузії досягнута висока міра гомогенізації і, відповідно зменшена величина Δt .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасних напрямків розвитку технологічних процесів виготовлення порошкових заготовок конструкційних деталей складної форми. Одним з напрямків, що забезпечує отримання виробів з заданими властивостями, визначено деформування пластифікованих порошкових сумішей.

2. Розроблена методика і створені експериментальні засоби для дослідження пластифікованих порошкових матеріалів в умовах простих і складних схем навантаження. На основі аналізу дослідницьких установок для визначення механічних властивостей матеріалів розроблені конструкції дослідницьких установок для деформування пластифікованих порошкових тіл.

3. Розроблені і доопрацьовані на підставі аналізу та узагальнення отриманих експериментальних даних особливості течії пластифікованих порошкових тіл, критерії її структури та механічних властивостей.

4. Запропоновано модель, яка відображає вплив напруженого стану деформування при витискуванні на силові параметри формування пластифікованих порошкових тіл.

5. Розроблена технологія формоутворення тонкостінних стаканів з дрібнодисперсних пластифікованих порошкових середовищ і методика її розрахунку на підставі базових положень теорії пластичності.

6. Знайдені нові ефекти сверхпластичної течії пластифікованих порошкових середовищ і визначені параметри деформації для використання ефекту.

7. Розроблені неізотермічні режими спікання пластифікованих порошкових тіл на підставі оцінки дісаіації енергії при переміщеннях у процесі ущільнення.

8. Розроблені рекомендації по проектуванню технологій виготовлення виробів складної форми з дрібнодисперсних порошкових матеріалів. Економічний ефект від впровадження у масове виробництво складає 0.04 гривні на одиницю виробу.

Основні положення дисертації опубліковано у наступних роботах:

1. Лешинский В.М., Мархайчук П.И., Цыркин А.Т. Дислокационная аналогия течения порошковых сред //Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск N1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.5-10.

2. Zagirnyak M.V., Letschinsky V.M., Marhaichuk P.I., Magnetic materials with fixed Curie point. Permanent magnet electrical machines //Proceeding Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Electrotechniki Teoretycznej Stosowanej, Poznan.- 1997.- P.51-53.

3. Стоянов А.А., Мархайчук П.И. Определение физико-механических констант порошковой среды в сдвиговой ячейке //Труды республиканского семинара "Физика и механика пластических деформаций порошковых металлов". - Луганск. - ЛМСИ. - 1991. - С.47.

4. Мархайчук П.И., Бизина Н.А., Шенкман Г.Л. Изменение геометрии зубчатого контура порошковых шестерен при спекании //Материалы международной научно-технической конференции "Качество и долговечность зубчатых передач и редукторов". - Харьков. - 1995. - С.39.

5. Мархайчук П.И., Стоянов А.А., Шенкман Г.Л. Макроскопические особенности течения и уплотнения пластифицированных порошковых сред //Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск N1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.53-59.

6. Кузьмин Л.Е., Мархайчук П.И., Стоянов А.А., Шенкман Г.Л. Получение герметизирующих элементов арматуры из порошковых композитов //Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск N1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.156-160.

АНОТАЦІЯ

Мархайчук П.І. Розроблення, дослідження та освоєння технологічних процесів деформації і спікання складнопрофільних деталей з дрібнодисперсних порошкових матеріалів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 - Процеси і машини обробки тиском. - Східноукраїнський державний університет, Луганськ, 1997.

Захищаються теоретичні та експериментальні дослідження процесів ущільнення, деформування і запечення пластифікованих порошкових середовищ.

Розроблена методика та установки для дослідження властивостей матеріалів при різноманітних схемах напруженого стану. Визначені основні закономірності ущільнення, деформування і спікання пластифікованих порошкових середовищ. Розроблені технології видавлювання і спікання, методика їх розрахунків. Здійснено промислове впровадження рекомендацій по проектуванню технологічних процесів для виготовлення порошкових температурних сенсорів з фіксованою точкою Кюрі.

АННОТАЦИЯ

Мархайчук П.И. Разработка, исследование и освоение технологических процессов деформации и спекания сложнопрофильных деталей из мелкодисперсных порошковых материалов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением. - Восточноукраинский государственный университет, Луганск, 1997.

Защищаются теоретические и экспериментальные исследования процессов уплотнения, деформирования и спекания пластифицированных порошковых сред.

Разработана методика и установки для исследования свойств материалов при различных схемах напряженного состояния. Определены основные закономерности уплотнения, деформирования и спекания пластифицированных порошковых сред. Разработаны технологии выдавливания и спекания, методика их расчетов. Осуществлено промышленное внедрение рекомендаций по проектированию технологических процессов для изготовления порошковых температурных сенсоров с фиксированной точкой Кюри.

ANNOTATION

Marhaychuk P.I. The development, investigation and introducing the technological processes of deformation and sintering of complicatedly shaped parts from fine-dispersive powder materials into the practice. - Manuscript.

The thesis for the scientific degree of Candidate of technical sciences on the speciality 05.03.05- Plastic metal working processes and machines.- East Ukrainian State University, Lugansk, 1997.

The theoretical and experimental investigation of the processes of compacting, deformation and sintering of plasticizing powder mediums are being defended.

The method and special installations had been developed for the investigation of materials properties under different schemes of stress-strained state. The principal relationships of compacting, deformation and sintering processes of plasticizing powder mediums had been defined in the work. The technologies of extrusion and sintering as well as the method of their calculation had been developed. The industrial introducing the recommendations on designing the technological processes of manufacturing the powder temperature sensors with fixed Curie's point had been fulfilled.

Ключові слова: деформація, ущільнення, видавлювання, спікання, пластифікатор, дрібнодисперсний, складнопрофільний.



Подписано к печати 05.08.97. Формат 60x84 1/16

1.3 п.л. Тираж 100. Заказ №300

Ротапринт ВУГУ. 348034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а.

AB 38449

AB 38.449