

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Співак Олександр Юрійович

УДК 621.73.011

**ВПЛИВ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ВОЛОЧІННЯМ НА ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ
ТЕРМОПАРНИХ ДРОТІВ**

Спеціальність 05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Огородніков Віталій Антонович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри опору матеріалів та прикладної
механіки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Штерн Михайло Борисович,
Інститут проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, за-
відувач відділу мікромеханіки, реології та обробки тиском порис-
тих порошкових та композиційних матеріалів

кандидат технічних наук, доцент
Кухар Володимир Валентинович,
Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ,
докторант кафедри обробки металів тиском

Захист відбудеться " 03 " грудня 2010р. о 15³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.03 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК.

Автореферат розісланий "02" листопада 2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. В. Дерібо

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Розробка й впровадження нових ресурсозберігаючих технологій, удосконалення існуючих та підвищення за їх рахунок ефективності виробництва є одними із найважливіших задач сучасної машинобудівної галузі промисловості. Один із шляхів розв'язання цих задач полягає у розвитку безвідходних технологій обробки матеріалів та тероретичного підґрунтя таких способів як волочіння, штампування, холодне видавлювання. Це, в свою чергу, вимагає подальшого розвитку методів оцінки деформуємість заготовок і виробів, які дозволяють для проектування технологічних процесів прогнозувати рівень їх пошкоджуваності дефектами руйнування. Точність прогнозування якості та технологічної спадковості готових виробів значною мірою визначається історією деформування для визначення якої необхідно мати максимальну інформацію про напружено-деформований стан заготовки у процесі формозмінення.

Найбільш поширеним безвідходним способом обробки циліндричних металевих заготовок тиском є холодне волочіння, яке дозволяє звести до мінімуму або повністю виключити необхідність обробки деталей різанням. Подальший розвиток методів холодного волочіння та ширше впровадження їх у виробництво можливі на основі використання феноменологічної теорії деформуємість, як для розробки нових способів холодного пластичного формозмінення, так і для раціонального об'єднання існуючих операцій та створення на їх основі комбінованих процесів.

Наукові основи вище означених теорій представлено в роботах І.С. Алієва, В. А. Бабічкова, А. А. Богатова, Я. С. Бейгельзімера, П. Бріджмена, С. І. Губкіна, Г. Д. Деля, О. О. Ільюшина, В. Л. Колмогорова, Ю. Г. Калпіна, Н. Н. Малініна, В. М. Михалевича, А. Г. Овчіннікова, В. А. Огороднікова, О. М. Розенберга, О. О. Розенберга, І. О. Сивака, Г. О. Смірнова-Аляєва, М. Б. Штерна, С. П. Яковлева та інш.

Ефективним методом відновлення запасу пластичності та розширення можливостей процесів холодної обробки металів тиском є проміжний відпал, ефективність якого, в основному, залежить від величини використаного ресурсу пластичності. Відомі критерії руйнування не дозволяють оцінювати комплексний вплив немонотонності навантаження та проміжних відпалів на пластичність. Разом з тим, проміжний відпал негативно впливає на якість поверхні тонких дротів діаметром (70–100 мкм), для матеріалів зі специфічними властивостями (термоелектричних, резистивних тощо), де властивості поверхні матеріалу дротів мають визначальний вплив на властивості. У зв'язку з цим проблема прогнозування густини пошкоджень в пластично деформованому металі для розробки комбінованих процесів холодного волочіння з проміжними відпалами і оцінки впливу історії деформування і відпалів на кінцеві властивості тонких термопарних дротів є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, які визначені в Законі України від 11.07.2001 р. за №2623-III "Про пріоритетні напрямки науки і техніки"; науковому напрямку "Феноменологічні критерії руйнування суцільних, пористих та композиційних матеріалів у межах великих пластичних деформацій та застосування їх до вирішення технологічних задач механіки" провідної наукової школи Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає в забезпеченні якості тонких термопарних дротів, отриманих холодним волочінням, якісному та кількісному визначенні впливу технологічних умов процесу волочіння на властивості готових виробів.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

- удосконалити експериментально-розрахункові методи досліджень кінематики пластичного деформування для волочіння тонких дротів при немонотонному навантаженні;
- встановити основні закономірності накопичення пошкоджень при деформуванні волочінням тонких дротів та удосконалити на цій підставі методи оцінки деформуємість;

- встановити вплив немонотонності навантажень та проміжних відпалів на зміну службових характеристик тонких термопарних дротів.
- розробити методіку оцінки використаного ресурсу пластичності при немонотонному навантаженні волочінням;
- розробити технологічні маршрути волочіння тонких (70–100 мкм) дротів з термопарних сплавів хромель і копель, які б забезпечували високу якість поверхні дротів і маршрути волочіння для дротів з сплавів системи нікель-молібден;
- дослідити вплив деформації волочінням на абсолютну диференційну термо-е.р.с. тонких термопарних дротів з сплавів хромель, копель та системи нікель молібден з вмістом молібдену 2...17% , на інтегральну термо-е.р.с. з цих сплавів та на їх питомий електричний опір;
- на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розробити методіку розробки маршрутів волочіння тонких дротів, які б задовольняли стандартні градувальні характеристики термопарних сплавів.

Об'єкт дослідження – процес пластичного деформування термоелектричних сплавів волочінням.

Предмет дослідження – деформуємість заготовок з термопарних сплавів при холодному волочінні і вплив режимів волочіння на властивості тонких (70–100 мкм) дротів з термопарних сплавів хромель, копель і сплавів системи нікель-молібден.

Методи дослідження

Поставлені задачі вирішувались методами математичної та прикладної теорії пластичності, а також, феноменологічної теорії деформує мості, як шляхом аналізу та використання відомих методів, описаних в літературних джерелах, так і використання експериментальних методів досліджень впливу історії навантаження та термообробок для немонотонного навантаження на фізико-механічні властивості тонких термопарних дротів. Для визначення напружено-деформованого стану матеріалу заготовок використано метод візіопластичності.

Експериментальні дослідження виконувались в лабораторних та промислових умовах із застосуванням спеціально розроблених пристроїв та вимірювальних установок та використанням стандартного обладнання. Для дослідження поверхні тонких дротів та структури зливків використано метод металографічного аналізу, для дослідження інтегральної термо-е.р.с – метод градування термопар, диференційної термо-е.р.с. та електричного опору – стаціонарний зондовий метод, Обробка результатів експериментів та перевірка адекватності теоретичних моделей здійснювались на ПЕОМ із використанням методів обробки експериментальних даних та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів

- вперше експериментально визначені закономірності відновлення запасу пластичності для пластичного деформування з проміжними відпалами в тонких термопарних дротах.
- вперше встановлено, що для термоелектричних дротів перерізом менше 120 мкм відпал призводить до зміни термоелектричних властивостей внаслідок зміни властивостей поверхні.
- на основі систематичного експериментального дослідження електрофізичних властивостей тонких дротів із сплавів системи нікель-молібден та їх мікроструктури вперше встановлені залежності впливу ступеня пластичного деформування на зміну термо-е.р.с. системи нікель-молібден з концентрацією молібдену 2...17 ат%.
- вперше досліджено вплив холодної деформації волочінням на властивості тонких термопарних сплавів хромель, копель.
- отримав подальший розвиток метод дослідження напружено-деформованого стану для немонотонного пластичного деформування дротів із спеціальними електрофізичними властивостями.

Практичне значення одержаних результатів

- на основі теоретичних та експериментальних досліджень отримала подальший розвиток науково обґрунтована інженерна методіка оцінки впливу основних параметрів проце-

су пластичного формозмінення на деформуємість заготовок, яка дозволяє для проектування процесів обробки металів тиском оцінювати величини допустимих деформацій за одну операцію в процесах холодного волочіння та осесиметричного видавлювання.

- розроблена технологія отримання тонких (70 –100 мкм) дротів з термопарних сплавів, яку можна використовувати для волочіння й інших матеріалів.

- розроблено технологічні режими холодного волочіння для тонких дротів з термопарних сплавів хромель (НХ 9,5), копель (МНМц 43-0,5), системи нікель-молібден, які забезпечують високу якість поверхні тонких дротів та мінімальний вплив пластичної деформації на електрофізичні властивості даних сплавів та термопар з них.

- встановлено, що тонкі дроти з термопарних сплавів можуть бути використані для вимірювання температури на мікрооб'єктах, об'єктах малої теплової потужності та в середовищах з великим градієнтом температури.

- практичну цінність мають дані про систематизовані електрофізичні властивості сплавів системи нікель-молібден в інтервалі концентрацій молібдену 2...17%.

- результати дисертаційної роботи прийнято до впровадження фірмою "Технопром-Україна" для виготовлення термопар з тонких термопарних дротів із сплавів хромель і копель, які використовуються як швидкодіючі температурні датчики в сушильних шафах "С-250" і "С-1000", виробничо-комерційним підприємством "Віконт К" ТОВ для проектних робіт з виготовлення високошвидкісних сенсорів температури, впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті та Вінницькому національному аграрному університеті.

Особистий внесок здобувача полягає в складанні та дослідженні теоретичних моделей процесу волочіння тонких дротів, розробці технологічних режимів їх волочіння; постановці та проведенні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів, формулюванні висновків та пропозицій, розробці рекомендацій для впровадження результатів у виробництво. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботах, що опубліковані у співавторстві здобувачу належать: розрахунок кількості переходів, розробка режимів волочіння та отримання експериментальних температурних залежностей впливу деформації волочінням на термо-е.р.с. термопарних сплавів [1. 9]; аналіз літературних джерел по сплавах з аномально високим значенням коефіцієнта термо-е.р.с., розрахунок і розробка режимів волочіння тонкого термопарного дроту і експериментальні дослідження температурних і концентраційних залежностей термо-е.р.с. тонких дротів сплавів системи нікель-молібден [2, 7, 8]; отримання тонких дротів та металографічні дослідження їх поверхні [3]; обґрунтування маршрутів волочіння і експериментальні дослідження впливу холодної деформації волочінням на електрофізичні властивості тонких термопарних дротів [5]; участь у складанні формули та опис патенту [6].

Апробація результатів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані, а також доповідались і обговорювались на: першій міжвузівській науковій конференції "Наука - ринковій економіці" (Вінниця, 1993), VI Міжнародній школі по термоелектриці (Чернівці, 1994), VII Міжнародній школі по термоелектриці (Пуца-Водиця, 1995), на республіканській науково-технічній конференції (Вінниця, 1988), міжнародній науково-технічній конференції "Фізико-механічні проблеми формування структури і властивостей матеріалів методами обробки тиском", (Краматорськ, 2007), а також на щорічних обласних НТК ВПП-ВДТУ-ВНТУ 1988-2009р.р.

Публікації

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 9 друкованих працях, з них 5 статей у фахових виданнях ВАК, 1 патент на винахід, 3 депоновані статті, в матеріалах і тезах конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, 4 додатків. Повний обсяг роботи складає 132 сторінки, з них 114 основної частини, 32 рисунки, 4 таблиці, список використаних літературних джерел 142 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, наукову новизну і практичне значення, наведено відомості про апробацію та впровадження результатів роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз впливу холодного деформування на властивості металів та сплавів, залежність властивостей матеріалів від історії їх деформування, визначено основні характеристики напруженого стану та критерії руйнування при монотонному і немонотонному деформуванні металів та сплавів, аналіз способів оцінки деформуємості заготовок, вимоги, які пред'являються до термоелектричних матеріалів та визначено межі області ефективного використання металів в якості основних матеріалів для термоелектричних генераторів струму (ТЕГ).

Теоретичні та розрахунково-експериментальні моделі опису процесів ОМТ неповно описують фактори, що виникають в процесі виготовлення виробів і вплив цих факторів на властивості готових виробів. Хоча методи холодної обробки металів тиском швидко розвиваються, на даний час не існує надійних комплексних методик, які дозволяють з мінімальною кількістю експериментів та досліджень скласти маршрути технологічних процесів виготовлення деталей методами ОМТ.

Розроблені на підставі теоретичних засад технології отримання виробів методами холодної ОМТ потребують обов'язкової експериментальної перевірки і подальшого уточнення.

Вплив величини використаного ресурсу пластичності на ефективність термообробок для його відновлення і на службові характеристики готових виробів вивчено недостатньо повно, а кількість робіт з методиками розрахунків напружено-деформованого стану металу для процесів, що супроводжуються знакозмінними деформаціями в осередках деформації при волочінні незначна.

Металеві термоелектричні матеріали, завдяки своїй технологічності, цінному комплексу фізико-хімічних та механічних властивостей, можуть знайти широке використання для виготовлення малопотужних джерел живлення радіоелектронної апаратури, різноманітних автономних об'єктів, особливо спеціального призначення, але їх використання стримується відсутністю надійних методик отримання тонких (70...100мкм) дротів з таких матеріалів.

Таким чином, завдання подальшого вивчення впливу холодної деформації волочінням на властивості термопарних дротів є актуальною.

У **другому розділі** визначено технологічні умови пластичного деформування та їх вплив на режими волочіння тонких дротів.

Традиційні методи розрахунку технологічних маршрутів волочіння ґрунтуються на знаходженні середньої витяжки за перехід. При цьому основним показником є коефіцієнт запасу міцності протягнутої частини заготовки.

Коефіцієнт запасу міцності знаходять, виходячи з багаторічної практики волочильного виробництва, або, для нових матеріалів, шляхом багаточисленних експериментів та проб. Такий емпіричний підхід не дозволяє раціонально використовувати пластичні властивості матеріалу та керувати процесом формування службових характеристик виробу.

Успішне вирішення задач побудови технології волочіння зв'язано з умінням прогнозувати якість виробів і управляти його формуванням в процесі пластичного деформування і відповідних термообробок. Основним фактором, який впливає на якість виробів є порушення суцільності матеріалу заготовки у вигляді субмікро- і мікропор та мікротріщин, які виникають вже на початку пластичного деформування. Це призводить до утворення поверхневих рисок, тріщин, раковин та інших дефектів. До моменту вичерпання металом властивості деформуватись мікротріщини виникають лавиноподібно і наступає руйнування заготовки. Оскільки ступінь порушення суцільності металів визначає їх міцність і пластичність, то уява про мікротріщини, що виникають і заліковуються при деформаціях і термообробках може бути покладене в основу розробки методу визначення раціональних технологічних режимів волочіння дроту.

В процесі розвитку пластичної деформації разом із зародженням дефектів проходить і їх заліковування. Для побудови маршрутів волочіння вище-перерахованими методами не

враховується інтенсивність накопичення пошкоджень, що відповідає даному напруженому стану і історії деформування заготовки. Це призводить до недостатнього використання властивості металів до пластичного деформування, що веде за собою збільшення трудомісткості процесу волочіння або до появи браку від руйнування металу (дріт розривається).

В останні десятиліття в обробці металів все більш широке використання знаходить феноменологічна теорія деформуємісті. В феноменологічній теорії деформуємісті основною характеристикою матеріалу є його пластичність. В якості міри пластичності приймають накопичену до моменту руйнування інтенсивність деформацій (граничну деформацію)

$$e_p = \sqrt{\frac{2}{3}} \int_0^{\tau_p} \sqrt{\dot{\varepsilon}_{kl} \dot{\varepsilon}_{kl}} dt, \quad (1)$$

де: $\dot{\varepsilon}_{kl}$ – компоненти тензора швидкості деформацій,

τ_p – час від початку деформації до руйнування.

Умови деформування без руйнування можна записати, виходячи з наступного: Якщо в процесі формозмінення показник напруженого стану $\eta = \text{const}$, то до того часу, поки накопи-

чена інтенсивність деформацій $e_u = \sqrt{\frac{2}{3}} \int_0^t \sqrt{\dot{\varepsilon}_{kl} \dot{\varepsilon}_{kl}} dt$ не досягне граничної величини e_p

руйнування не буде, а використаний ресурс пластичності $\psi_p = e_u/e_p < 1$. В момент руйнування $\psi_p = 1$.

Для змінного показника напруженого стану ($\eta \neq \text{const}$) деформуємість оцінювали використовуючи критерій Г. Д. Деля - В. А. Огороднікова

$$\psi_p = \int_0^{e_u} n \frac{e_u^{(n-1)}}{e_p^n} de_u, \quad (2)$$

де $n = 1 + 0,2 \arctg (d\eta/de_u)$.

В зв'язку з обмеженими можливостями аналітичних методів розв'язування задач осесиметричного пластичного деформування матеріалів, що зміцнюються при пластичній деформації, для визначення напружено-деформованого стану матеріалу заготовок використано метод візіопластичності.

Вихідними даними для визначення напружено-деформованого стану є: деформована координатна сітка, нанесена в меридіональному перерізі зразків, що пройшли пластичну обробку, максимально наближену до реального технологічного процесу, і механічні характеристики матеріалу що обробляється. Вважатимемо, що в циліндричній системі координат (r, z) криволінійна поверхня волоки може бути описана аналітичною функцією $R=R(z)$. Процес деформування сталій, матеріал заповнює область матриці по всьому об'єму і деформується як нестисливе жорстко-пластичне тіло з трансляційним зміцненням. Визначальне рівняння для такого тіла представлене відомим виразом

$$S_{ij} = \frac{\sqrt{2k} \dot{\varepsilon}_{ij}}{\sqrt{\dot{\varepsilon}_{kl} \dot{\varepsilon}_{kl}}} + \frac{1}{2} \mu_E (A_{ij} - \frac{1}{3} A_{ii}). \quad (3)$$

Компоненти тензорів швидкості деформацій і кінцевих деформацій Альмансі визначали з рівнянь апроксимуючих ліній току в змішаних Ейлерово-Лагранжевих координатах:

$$r = f(\psi, z), \quad (4)$$

де ψ - функції току.

Рівняння для розрахунку компонент тензора кінцевих деформацій Альмансі в змінних Ейлера в випадку, що розглядається, приймають вигляд

$$A_\psi = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\psi}{f^2(\psi, z)} \right), \quad A_r = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{4\pi f^2(\psi, z)} - \left(\frac{1}{f_\psi} \cdot \frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi} \right)^2 \right),$$

$$A_z = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{f_z}{2\psi f_z} \right)^2 - \left(\frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial z} - \frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi} \cdot \frac{f_z}{f_\psi} \right)^2 \right), \quad (5)$$

$$A_{rz} = \frac{1}{2} \left(\frac{f_z}{4\pi f_\psi^2} - \frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi} \cdot \left(\frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial z} - \frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi} \cdot \frac{f_z}{f_\psi} \right) \right).$$

Для визначення похідних $\frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial z}$ та $\frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi}$ усталений процес деформування представлено як граничний нестационарний процес для $t \rightarrow \infty$. Після диференціювання по ψ та z проміжку часу $t = \int_{z_0}^z \left(\frac{1}{v_z(\psi, z)} \right) dz$, за який часточка здійснює переміщення по осі z від свого початкового положення z_0 до граничного переходу для $t \rightarrow \infty$ і $z_0 \rightarrow \infty$, знаходимо

$$\frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial z} = 2ff_\psi, \quad \frac{\partial z_0(\psi, z)}{\partial \psi} = \int_{-\infty}^z \frac{\partial}{\partial \psi} (2ff_\psi) dz. \quad (6)$$

Часточки центральних шарів зразка деформуються розтягненням в осьовому напрямку і стисненням в радіальному напрямку. Сталість відношень головних компонентів швидкості деформації рівносильна незмінності за весь процес величини параметра Лоде

$$\mu_{\dot{\epsilon}} = \frac{2\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_3}{\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_3}. \quad (7)$$

Між компонентами тензора швидкості деформації $\dot{\epsilon}_{ij}$ і головними швидкостями деформації справедливі залежності

$$\dot{\epsilon}_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\dot{\epsilon}_r + \dot{\epsilon}_z \pm \sqrt{(\dot{\epsilon}_r - \dot{\epsilon}_z)^2 + 4\dot{\epsilon}_{zz}} \right), \quad \dot{\epsilon}_z = \dot{\epsilon}_\varphi, \quad (8)$$

де $\dot{\epsilon}_z > \dot{\epsilon}_r > \dot{\epsilon}_\varphi$ головні швидкості деформації.

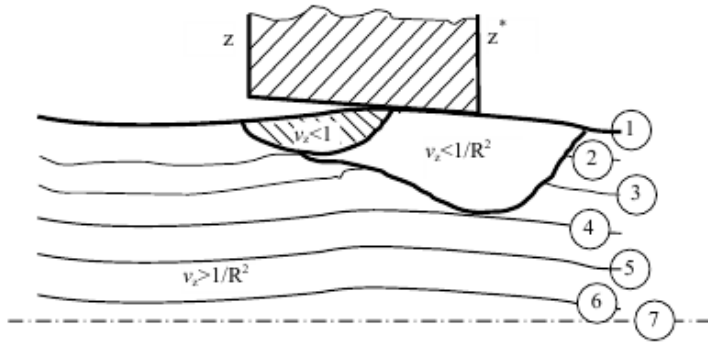


Рис. 1. Зміна швидкості v_z вздовж ліній току

Параметр Лоде $\mu_{\dot{\epsilon}}$ змінюється в межах від -1 до 1, на осі симетрії в точці $z = z^*$ проходить стрибкоподібна зміна деформації розтягнення ($\mu_{\dot{\epsilon}} = -1$) на деформацію стиснення ($\mu_{\dot{\epsilon}} = 1$).

Кут між першим головним напрямком швидкості деформації $\dot{\epsilon}_1$ і віссю r дорівнює

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \arccos \left(2 \frac{\dot{\epsilon}_r - 0,5(\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2)}{\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2} \right), \quad (9)$$

елемент ліній току складає з віссю r кут

$$\varphi_r = 90^\circ + \arctg \left| \frac{v_2}{v_z} \right|. \quad (10)$$

На рис. 2 показана зміна кута $\varphi_r = \varphi_1 - \varphi_2$, що характеризує поворот головних осей швидкості деформації відносно матеріальних волокон. Таким чином встановлено, що процеси волочіння супроводжуються немонотонністю деформування.

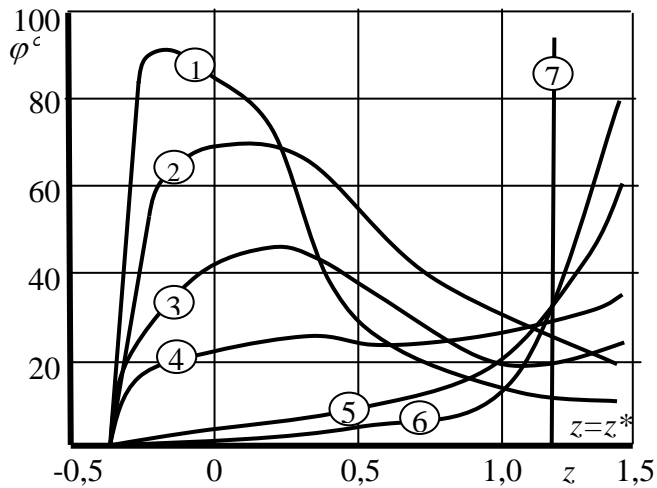


Рис. 2. Зміна кута φ вздовж ліній току 1-7

нотонної деформації при волочінні розрахунком параметра μ_σ , який змінюється вздовж ліній току в межах $-1 \leq \mu_\sigma \leq 1$.

В третьому розділі на основі теорії деформуєності розроблено режими волочіння тонкого термопарного дроту зі сплавів хромель, копель і сплавів системи нікель-молібден діаметром 200-70 мкм, які б мали однорідні механічні властивості та якісну поверхню без карбідних та окисних включень. При цьому необхідно було забезпечити високу чутливість та лінійність термоелектричних характеристик термопар з вищеназваних сплавів в температурному інтервалі 300 - 900 К. Вихідним матеріалом для роботи був дріт зі сплавів хромель та копель, діаметром 500 та 300 мкм, який відповідав вимогам ГОСТ 1790-77, та прутки діаметром 10 мм зі сплавів системи нікель-молібден з різним вмістом молібдену в них.

В феноменологічній теорії деформуєності розроблено наступний алгоритм прогнозування руйнування металу при холодній обробці тиском:

1. Потрібно знайти траєкторії руху матеріальних часток металу в зоні деформування та виявити вздовж них деформації, швидкості деформацій та напруження.
2. Скласти базові рівняння теорії руйнування.
3. Встановити кількість етапів, на кожному з яких деформація буде монотонною.
4. Виявити ступінь пошкодження матеріальних часток металу.

З аналізу результатів розрахунку напружено-деформованого стану випливає, що при холодному волочінні в найгірших умовах знаходяться часточки на осі симетрії. В області розвинутої пластичної течії периферійні шари рухаються з меншою швидкістю ніж центральні. Відставання периферійних шарів заготовки від центральних починається до входу в робочу (контактну) зону волокни.

На осі симетрії показник напруженого стану $\eta = \sigma_{ii}/\sigma_u$, (σ_{ii} – компоненти тензора напружень, σ_u – інтенсивність деформації) досягає значень більших нуля при значеннях параметра Надаї-Лоде $\mu_\sigma = -1$. Таким чином, оцінка деформуєності при холодному волочінні прутків та дроту може бути зведена до вивчення змін пластичності центральних шарів матеріалу заготовок.

В інтервалі $1 \geq \eta \geq 0$ для $\mu_\sigma \approx -1$ для ряду матеріалів показник чутливості до зміни схеми напруженого стану $\lambda = \ln \left(\frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)} \right)$ близький до нуля. Тому для прогнозування руйнування

заготовок при волочінні діаграму пластичності допустимо будувати за дослідженнями на розтягування, апроксимуючи її прямою

Розроблено спосіб обробки експериментальних даних метода візіо-пластичності, що дозволяє дослідити механіку осесиметричної пластичної течії матеріалу заготовок з врахуванням реальних властивостей деформованого металу, розділяючого середовища на контактних поверхнях області деформації.

Вивчено закономірності зміни пластичності металу в процесі волочіння і проміжних термообробок з врахуванням направленого характеру накопичення пошкоджень, та їх вплив на властивості тонких дротів з термопарних сплавів.

Підтверджено наявність немо-

$$e_p = 2 \ln \frac{d}{d_0},$$

де: d – початковий діаметр дроту;

d_0 – діаметр шийки зруйнованого при розтягуванні зразка.

Накопичену інтенсивність деформацій по осі зразків можна розрахувати за формулами

$$e_u = \sqrt{\frac{2}{3}} \int_0^t \sqrt{\dot{\varepsilon}_{kl} \dot{\varepsilon}_{kl}} dt = \begin{cases} e_u^{(1)} = \ln v_0, z \leq z^* & \text{- на першому етапі;} \\ e_u^{(2)} = \ln \frac{v_{max}}{v_0} + e_n^{(1)}, z > z^* & \text{- на другому етапі.} \end{cases} \quad (11)$$

Якщо шляхи деформування $e_u = e_u(\eta)$ апроксимувати прямими з кутом нахилу до осі e_u : $C_\alpha = \arctg(\frac{d\eta}{de_u})$, то використання принципу суперпозиції пошкоджуваності металів для багаторазової холодної деформації дає можливість записати аналітичний вираз для розрахунку використаного ресурсу пластичності за критерієм Деля-Огороднікова для волочіння прутків та дроту в N переходів

$$\psi^{(N)} = \sum_{i=1}^{nN} (1 + 0,2C_\alpha)^{e^{(ni)}} \int_0^{e^{(ni)}} \frac{e^{0,2C_\alpha^{(ni)}} de_u}{(e_p^{(N)})^{1+0,2C_\alpha^{(ni)}}} = \sum_{i=1}^{nN} \left(\frac{e_u^{(ni)}}{e_p} \right)^{0,2C_\alpha^{(ni)}+1}, \quad (12)$$

де: n – кількість монотонних i -тих етапів деформування на N -му переході волочіння;

$e_p^{(N)}$ – пластичність при розтягуванні заготовок підготовлених до N -го переходу волочіння;

$C_\alpha^{(n,i)}$ – кут C_α на n, i - тому монотонному етапі деформування;

$e_u^{(n,i)}$ – накопичена інтенсивність деформацій на n, i - тому етапі деформування.

За N переходів компоненти тензора пошкоджуваності приймуть значення

$$\psi_{ij}^{(N)} = \sum_{i=1}^{nN} \psi_{ij}^{(n,i)}. \quad (13)$$

При наступному випробуванні на розтягування в напрямку волочіння компоненти тензора $\psi_{ij}^{(N)}$ зміняться на величину

$$\Delta \psi_{zz} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[0,5 \times \left(\frac{e_p'}{e_p} \right)^2 + \left(0,5 + \frac{e_u^{(N)}}{e_p} \right) \times \frac{e_p'}{e_p} \right], \quad (14)$$

де $e_u^{(N)}$ - деформація накопичена часточками осі заготовки за N переходів волочіння;

e_p' - пластичність дроту, протягнутого за N переходів при розтягуванні.

З умови руйнування

$$(\psi_{ij}^{(N)} + \Delta \psi_{ij})(\psi_{ij}^{(N)} + \Delta \psi_{ij}) = 1, \quad (15)$$

знаходимо, враховуючи, що $\psi_{ij} = 0$

$$e_p' = e_p \left(-0,5 - \frac{e_p^{(N)}}{e_p} + \sqrt{\left(0,5 + \frac{e_u^{(N)}}{e_p} \right)^2 + 6\psi_{zz}^{(N)} + 6\psi_{zz}^{(N)2} + 4} \right). \quad (16)$$

З порівняння розрахункових та експериментальних значень граничних деформацій e_p' при розтягуванні дроту після волочіння в N переходів (рис.3) видно, що відхилення не перебільшує 10% та практично не залежить від величини сумарних обтиснень.

Проведений аналіз деформуємості дозволив запропонувати наступні способи розподілу обтиснень для холодного волочіння між термообробками.

1 Якщо припустити, що $v_b = \left(\frac{D^{(n)}}{d^{(n)}}\right)^2$ де $D^{(n)}$ і $d^{(n)}$ початковий і кінцевий діаметри заготовок на n -му переході волочіння, то діаметр калібруючої зони волоки можна розрахувати в залежності від заданого ступеню використаного ресурсу пластичності на цьому переході волочіння

$$d^{(n)} = D^{(n)} \exp\left(\frac{e_p^{(n)}}{2} (\psi_p^{(n)})^{\frac{1}{0,2C_\alpha^{(n)}+1}}\right), \quad (17)$$

де: $C_\alpha^{(n)}$ кут ліній току на n -му переході волочіння.

Коефіцієнт C_α є кутом нахилу прямих, що апроксимують шляхи деформування і визначався наступним чином:

- проводили пробне волочіння дроту в умовах максимально наближених до реальних з обтисненням $\delta < 25\%$;
- визначали граничну деформацію e_p при розтягуванні отриманого дроту;
- розраховували $C_\alpha^{(n)}$ за формулою

$$C_\alpha^{(n)} = 5 \left[\frac{\ln(1 - e_p^{(n)} / e_p^{(n)})}{\ln(-\ln(1 - \delta / 100) / e_p^{(n)})} - 1 \right], \quad (18)$$

З аналізу залежностей граничних деформацій для прутків та дроту, виготовлених за різними маршрутами волочіння, встановлено, що існує така кількість переходів N^* між термообробками (рис.3) збільшення яких не впливає на значення e_p^* виробів.

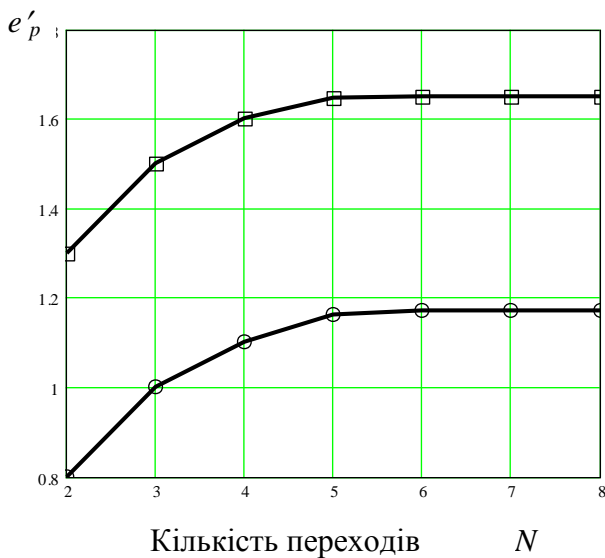


Рис. 3. Залежність пластичності дроту e_p від кількості переходів N
 □ - копель; ○ - хромель

Призначення обтиснень на кожному визначається розподілом сумарного обтиснення між N переходами з умов конкретного виробництва.

На рис. 4 представлені експериментальні результати зміни ресурсу пластичності від середньої витяжки дроту за перехід для термопарних сплавів хромель і копель при протягуванні від 260 мкм до 80 мкм без проміжних термообробок. Схема експерименту при вивченні відновлення пластичності передбачала термообробку зразків в початковому стані, деформацію, термообробку та подальше випробування до руйнування. Режими попередньої термообробки вибирались таким чином, щоб структура металу в початковому стані та після циклу деформація - термообробка були ідентичні.

Зразки з термооброблених дротів доводили до руйнування в умовах одноосного розтягування ($\eta=1$) і знаходили початкову деформацію

$$e_p = 2\ln(D/d_0) \approx \ln(l_n/l_0), \quad (19)$$

(D - початковий діаметр, d_0 - діаметр шийки, l_n та l_0 - початкова та кінцева довжини зразків відповідно).

Дроти деформували волочінням до накопиченої інтенсивності деформацій $e_n < e_p$, по-

тім зразки з цих дротів доводили до руйнування та визначали граничну деформацію e'_p . За формулою $\psi'_p = 1 - \frac{e'_p}{e_p}$ знаходили використаний ресурс пластичності на цьому етапі волочіння.

Після термообробки зразки доводили до руйнування та знаходили граничну деформацію e''_p і $\psi''_p = 1 - \frac{e''_p}{e_p}$. Величина

$\Delta\psi_p = \psi'_p - \psi''_p$ є величиною відновленого запасу пластичності.

Змінюючи температуру та час витримки, підбирали такі режими термообробок, які дають найбільшу величину відновленого запасу пластичності.

Аналогічно робили після кожного етапу волочіння. На рис.5 представлені результати визначення режимів термообробки для холодного волочіння хромелевого дроту від $D = 0,5$ мм до $d = 0,27$ мм.

Одержаний в процесі волочіння вихідний продукт має високу якість поверхні, без поверхневих дефектів та мікротріщин. Поверхня дротів показана на рис. 6.

Розроблено технологічні режими волочіння і термообробки тонких термопарних дротів із сплавів хромель та копель, які дозволяють отримати мікродріт діаметром від 300 мкм до 70 мкм і забезпечують високу якість поверхні дротів та їх однорідні термоелектричні та механічні властивості.

Розроблені маршрути забезпечують згладжування поверхневих дефектів дротів в процесі волочіння.

Якість поверхні, електрофізичні та механічні властивості тонких дротів із сплавів хромель і копель, одержаних за запропонованою технологією, задовольняють вимоги розробників термоелектричних генераторів.

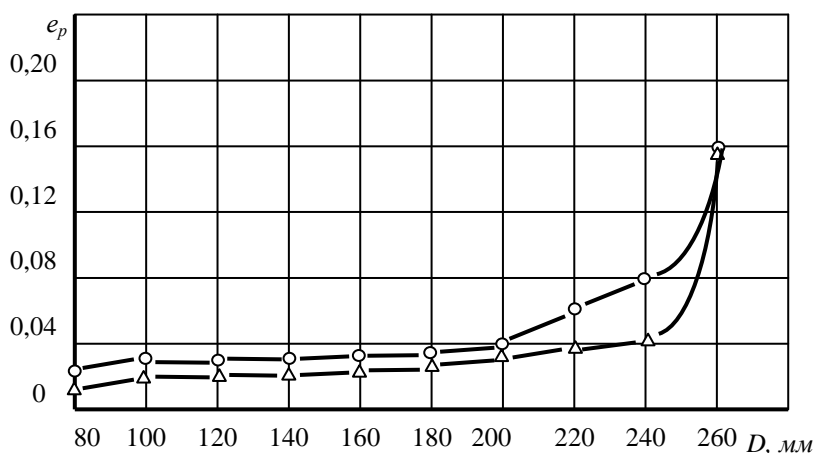


Рис. 4. Залежність ресурсу пластичності e_p від витяжки в процесі волочіння
 \circ – хромель Δ – копель

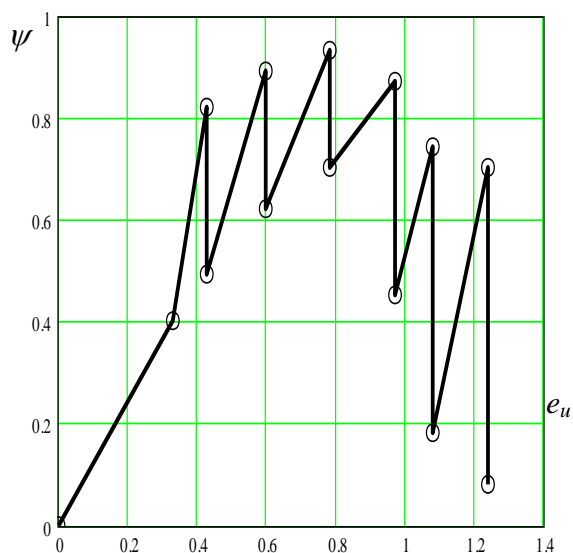


Рис. 5. Залежність зміни ресурсу пластичності від накопиченої інтенсивності деформацій для проміжних термообробок сплаву хромель

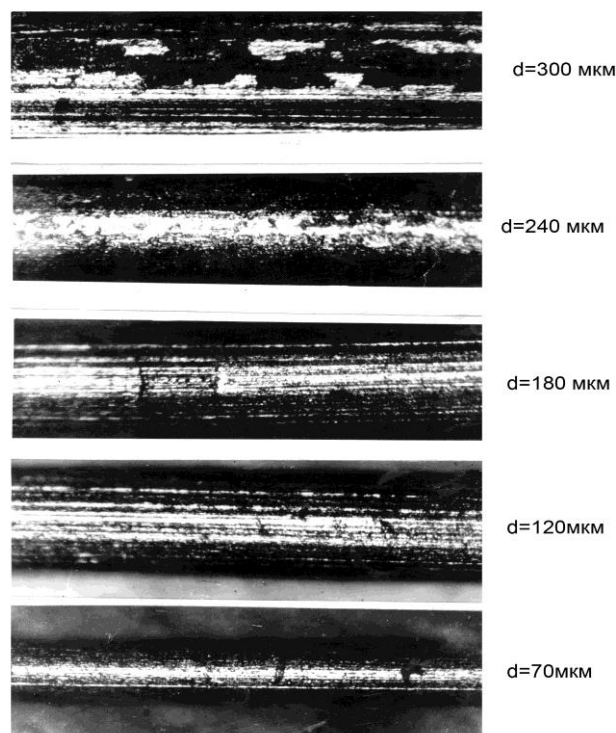


Рис. 6. Поверхня дротів та кінетика процесу згладження дефектів поверхні в процесі волочіння для сплаву хромель

В четвертому розділі викладено результати експериментальних досліджень впливу режимів волочіння на механічні та електрофізичні властивості тонких термопарних дротів зі сплавів хромель і копель і сплавів системи нікель-молібден.

Інтегральну термо-е.р.с. визначали градуванням термопар, які складались з дротів, отриманих нами в процесі волочіння, та платини. В якості електрода порівняння використовували платиновий електрод зразкової платинородій - платинової термопари II розряду, за допомогою якої контролювалась температура дослідів. Вибраний електрод порівняння може бути прийнятий як нормальний платиновий електрод. Гарячий спай зварювали на повітрі та в середовищі очищеного аргону. Електроди ізолювали алундовими трубками, які попередньо обпалювались при температурі 1200 К для видалення залишків органічних речовин. Градування проводилось в високотемпературній печі в вакуумі з залишковим тиском $2 \cdot 10^{-5}$ Па та в середовищі інертного газу (очищений аргон). Корпус високотемпературної печі виготовлений з бориду ніобію, нагрівник - вольфрам. Внутрішній діаметр печі – 4 мм, зовнішній – 15 мм, довжина – 200 мм. Для зменшення розсіювання тепла піч захищена подвійним екраном з ніобію, виготовленим з листа товщиною 0,3 мм, торці екрану закривались кришками в яких зроблено отвори для виведення кінців термопар. Холодні спаї термостатувались при температурі 273 К.

Контрольні виміри, проведені за допомогою зразкових засобів вимірювань Р-3003, ППО-1600, ТЛ-2, ТЛ-4, глибина занурення робочого кінця термопар 250 мм. Дані виміри повністю співпадають з нашими результатами.

Результати дослідження впливу режимів волочіння та термообробки на інтегральну термо-е.р.с. мікродротів з сплавів хромель та копель показані на рис. 7, 8.

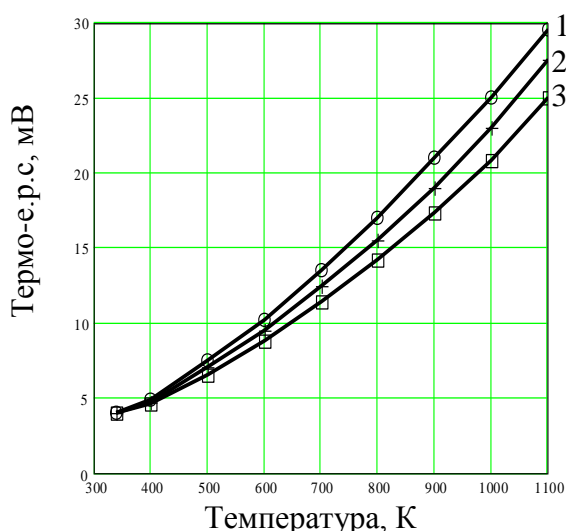


Рис. 7. Вплив холодної деформації волочинням на інтегральну термо-е.р.с хромелю відносно платини
1, 2, 3 – дроти діаметром відповідно 300, 180, 70 мкм

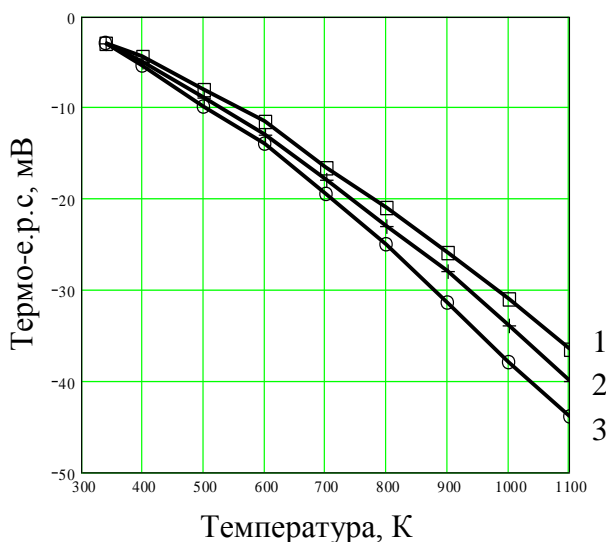


Рис. 8. Вплив холодної деформації волочинням на інтегральну термо-е.р.с копелю відносно платини
1, 2, 3 – дроти діаметром відповідно 300, 180, 70 мкм

Як видно з рисунків, термо-е.р.с. хромелю в процесі деформації знижується в середньому на 6%. Підбором режимів термообробки вдається трохи скомпенсувати це зниження, але повністю уникнути його не вдається. Для копелю вплив деформації зворотній: в процесі волочиння термо-е.р.с. копелю зростає на 7-8%. Таким чином термо-е.р.с. пари хромель-копель в процесі волочиння залишається практично постійною і не виходить за межі похибок термопар.

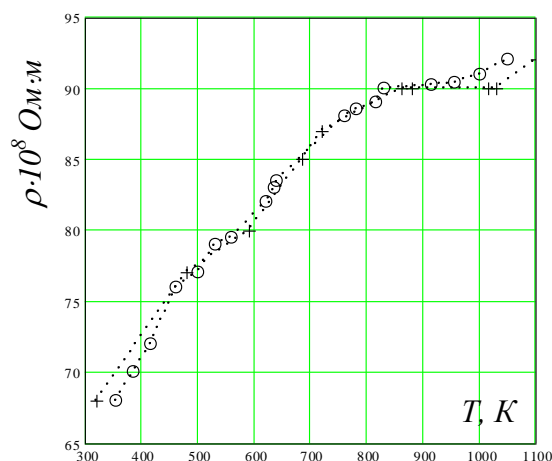


Рис. 9. Зміна питомого опору термопарного сплаву хромель в результаті волочиння до $d=100$ мкм
+ - літературні дані,
o - результати експерименту

Зміна питомого опору в процесі волочиння, за нашими даними, значно менша ніж зміна термо-е.р.с., як для хромелю так і для копелю. Цей висновок підтверджують також і літературні дані.

Результати дослідження інтегральної термо-е.р.с. та впливу режимів волочиння на неї для тонких дротів з сплавів системи нікель-молібден показані на рис. 10.

Результати дослідження впливу режимів волочиння на питомий опір мікродротів зі сплаву хромель показані на рис. 9.

Питомий опір вимірювали двозондовим методом. У двох точках до зразка приварювались термопари платинородій-платина II розряду, платинові вітки яких використовувались як зонди, а самі термопари - для контролю температури зразка. Для виключення впливу електричної асиметрії зондів та впливу ефекту Пельтьє виміри проводились при двох напрямках струму через зразок. Вплив пластичної деформації волочинням на питомий опір (і електропровідність) термопарних сплавів хромель копелю (досліджувались дроти діаметром 100 мкм, отримані волочинням із передільного дроту діаметром 500 мкм, виготовленого у ЦНІИ «Гипроцветметобработка» незначний.

Як видно з наведених графіків, рис. 9 та рис. 10, інтегральні залежності $E(T)$ системи нікель-молібден близькі до лінійної, з невеликим перегином в інтервалі температур 700-900 К. При температурі $T=1100$ К значення $E(T)$ для сплавів Ni+16,6%Mo сягають 35 мВ, (в хромелю 27 мВ). Термо-е.р.с. сплавів Ni - Мо в процесі деформації знижується в залежності від складу сплаву (рис.11) від 1-1,5% для сплаву Ni+6%Mo до 8-10% для сплаву Ni+16,6%Mo. Підбором режимів волочіння і термообробок його можна дещо скомпенсувати, але повністю уникнути його не вдається. Для сплавів з вмістом молібдену менше 6% вплив деформації знаходиться в межах похибки експериментів.

Диференційна термо-е.р.с. вимірювалась за допомогою стаціонарного зондового методу. Довжина зразка 500 мм, діаметр дротів 500, 250, 100 мкм. Результати показані на рис. 12.

З наведених графіків залежності $\alpha(T)$ сплавів нікель-молібден видно, що вона має монотонний характер з чітко вираженим максимумом, який із підвищенням концентрації Мо зміщується в область більш високих температур. Значення $\alpha(T)$ для сплавів 12,5-16,6%Mo сягають 38-42 мкВ/К в температурному інтервалі 500-1000 К.

Технологічні режими виготовлення тонких дротів (300-70)мкм із сплавів системи Ni-Mo забезпечують високу якість їх поверхні та однорідні механічні і електрофізичні властивості.

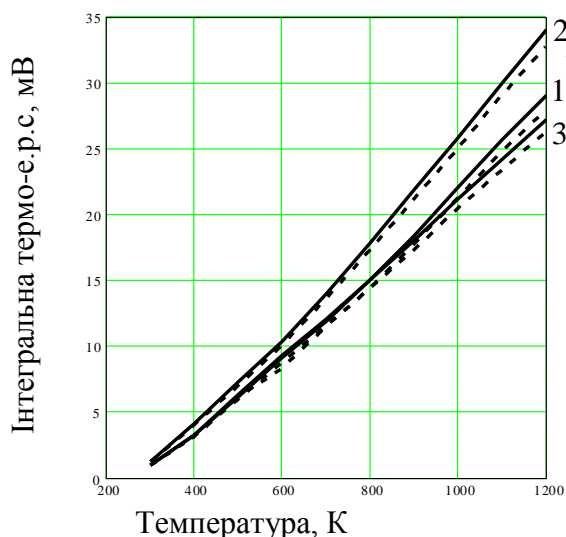


Рис. 11. Вплив деформації волочінням на інтегральну термо-е.р.с. дротів зі сплавів нікель-молібден

- 1 – 94%Ni+6%Mo; 2 – 83,4%Ni+16,6%Mo;
3 – хромель
1,2,3 – дроти діаметром 500 мкм;
1*,2*,3* – дроти діаметром 100 мкм;

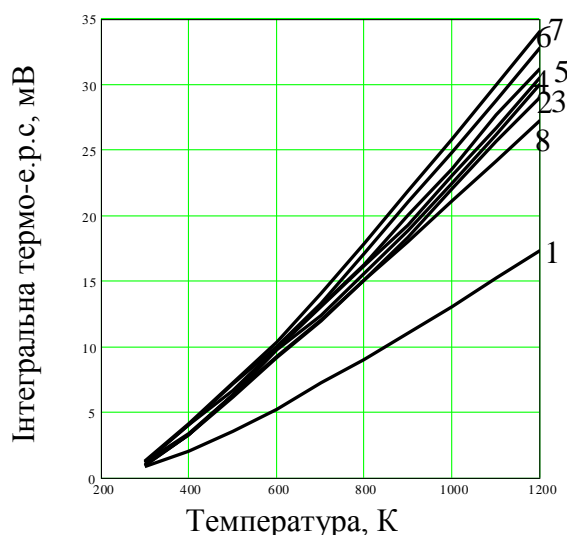


Рис. 10. Температурні залежності інтегральної термо-е.р.с. дротів зі сплавів нікель-молібден відносно платини (ізоконцентрати)

- 1 – 97,2%Ni+2,8%Mo; 2 – 94%Ni+6%Mo;
3 – 92%Ni+8%Mo; 4 – 90,5%Ni+9,5%Mo;
5 – 89%Ni+11%Mo; 6 – 87,4%Ni+12%Mo;
7 – 83,4%Ni+16,6%Mo; 8 - хромель

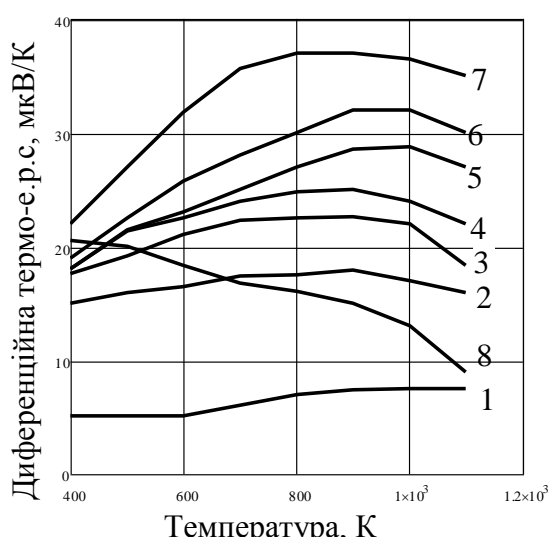


Рис. 12. Температурні залежності абсолютної диференційної термо-е.р.с. дротів зі сплавів нікель-молібден (ізоконцентрати)

- 1 – 97,2%Ni+2,8%Mo; 2 – 94%Ni+6%Mo;
3 – 92%Ni+8%Mo; 4 – 90,5%Ni+9,5%Mo;
5 – 89%Ni+11%Mo; 6 – 87,4%Ni+12%Mo;
7 – 83,4%Ni+16,6%Mo; 8 - хромель

Інтегральна термо-е.р.с. сплавів Ni+9-17% Мо відносно платини має характеристику близьку до лінійної і перевищує термо-е.р.с. сплаву хромель на 20-40 % (в залежності від хімічного складу) в температурному інтервалі 500-1200 К.

Диференційна абсолютна термо-е.р.с. сплавів Ni+13-17%Мо в інтервалі температур 600-1200 К має значення 35-38 мкВ/К і в парі з від'ємним електродом константан досягає в цьому температурному інтервалі значень 110-120 мкВ/К.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розвитку процесів холодного волочіння тонких термопарних дротів. Робота спрямована на вирішення важливої наукової задачі – підвищення якості виробництва за рахунок вдосконалення процесів і раціональної послідовності технологічних операцій на основі оцінки деформуємості заготовок за умов пластичної деформації, близької до вичерпання ресурсу пластичності. Досліджувався вплив режимів волочіння на властивості та якість поверхні термопарних дротів за умов їх значного стоншення. В результаті проведених досліджень досягнута поставлена мета роботи - забезпечення якості тонких термопарних дротів, отриманих холодним волочінням, визначено якісний та кількісний вплив технологічних умов процесу волочіння на властивості готових виробів.

1. На основі аналізу технологій холодного пластичного деформування показана недостатність експериментальних даних про вплив об'ємної схеми напруженого стану на пластичність деформованих металів. Тому необхідне удосконалення методів досліджень і проектування технологічних процесів, для яких характерна однотипність схеми напруженого стану, а також обґрунтування вибору показників, що безпосередньо описують вплив історії деформування на пластичність при об'ємному напруженому стані.
2. Встановлено основні закономірності накопичення пошкоджень при холодній деформації волочінням.
3. Розроблено методику оцінки використаного ресурсу пластичності при деформації циліндричних заготовок волочінням.
4. На підставі феноменологічної теорії деформуємості розроблено технологічні маршрути волочіння для тонких (70–100 мкм) дротів з термопарних сплавів і отримано такі дроти. Дані маршрути волочіння тонких термопарних дротів (70-100мкм) забезпечують високу якість поверхні та однорідні електрофізичні властивості.
5. Вплив розробленої нами на підставі феноменологічної теорії деформуємості технології волочіння тонких дротів на електрофізичні властивості термопарних сплавів незначний і складає 2-3% для термоелектричної пари.
6. Співставлення електрофізичних характеристик (абсолютної диференційної термо-е.р.с. і питомого електричного опору) для масивних зразків і тонких (70-100 мкм) дротів бінарної системи нікель-молібден показало, що ці характеристики для тонких дротів, виготовлених за запропонованою технологією, практично не змінюються, що дозволяє застосувати дану технологію для виробництва якісних дротів зі сплавів цієї системи.
7. Управляючи кількістю переходів волочіння і ступенем обтиснення в переході, інтегральну і диференційну термо-е.р.с. сплавів Ni+(9...17)%Мо можна змінювати в межах 10-12%, при цьому вони мають температурну характеристику близьку до лінійної, величина її зростає з ростом концентрації молібдену і при температурах 1100-1200 К, для сплаву Ni+17%Мо, значення її сягають 40...42 мВ.
8. Сплави Ni + (9...17)%Мо можна рекомендувати для використання в термоелектричних генераторах струму на металічній основі в якості позитивної вітки термоелемента.
9. Результати дисертаційної роботи передано для використання фірмою "Технопром-Україна" для виготовлення термопар з тонких термопарних дротів із сплавів хромель і копель, які використовуються як швидкодіючі температурні датчики в сушильних шафах "С-250" і "С-1000", виробничо-комерційному підприємству "Віконт К" ТОВ для проектних робіт з виготовлення високошвидкісних сенсорів температури, впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті та Вінницькому національному аграрному університеті.

ПУБЛІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Співак О. Ю. Про можливість використання металевих сплавів як матеріалів для термоелектричних генераторів струму / О. Ю. Співак, І. Г. Мельник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – №5. – С. 133–117.
2. Співак О. Ю. Сплави перехідних металів як матеріал для термоелектричних генераторів / О. Ю. Співак, І. Г. Мельник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – №2. – С. 77–81.
3. Співак О. Ю. Технологія отримання тонких термопарних дротів і оптичні дослідження їх поверхні / В. А. Огородніков, О. Ю. Співак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – №4. – С. 89–92.
4. Співак О. Ю. Дослідження електрофізичних властивостей сплавів системи нікель-молібден / О. Ю. Співак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – №6. – С. 94–97.
5. Співак О. Ю. Вплив маршрутів волочіння термопарних дротів на їх електрофізичні властивості // В. А. Огородніков, О. Ю. Співак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ, 2007. – С.14–18.
6. Пат. 26810 UA, МПК (2006) B21C 1/00 Спосіб виготовлення холоднотягнутого дроту / В. А. Огородніков, О. Ю. Співак; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200704952; заявл. 03.05.2007; опубл. 10.10.2007. – Бюл. №16.
7. Співак О. Ю. Метали і сплави як матеріали для термоелектричних генераторів / І. Г. Мельник, О. Ю. Співак. – Вінниця, 1994. – 18с. – Деп. в ДНТБ України, 15.08.94, № 1613-Ук94.
8. Співак О. Ю. Тонкі термопарні дроти із сплавів нікель-молібден як матеріали для термоелектричних генераторів / І. Г. Мельник, О. Ю. Співак, А. О. Жуков. – Вінниця, 1994. – 17с. – Деп. в ДНТБ України, 28.09.94, № 1903-Ук94.
9. Співак О. Ю. Тонкі термопарні дроти, розробка режимів волочіння та вивчення їх впливу на термоелектричні властивості сплавів хромель і копель / О. Ю. Співак, І. Г. Мельник, В. С. Гуменюк. – Вінниця, 1994. – 16с. – Деп. в ДНТБ України, 17.10.94, № 2036-Ук94.

АНОТАЦІЯ

Співак О. Ю. Вплив холодної деформації волочінням на властивості тонких термопарних дротів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2010 р.

Дисертацію присвячено забезпеченню якості тонких термопарних дротів, отриманих холодним волочінням, якісному та кількісному визначенню впливу технологічних умов процесу волочіння на властивості готових виробів. Отримані результати вирішують важливу проблему створення надійних швидкісних термоелектричних сенсорів температури на базі металевих термопарних сплавів.

В дисертації проведено аналіз впливу холодного деформування на властивості металів та сплавів, залежність властивостей матеріалів від історії їх деформування, визначено основні характеристики напруженого стану та критерії руйнування при монотонному і немонотонному деформуванні металів та сплавів, аналіз способів оцінки деформуємості заготовок, вимоги, які пред'являються до термоелектричних матеріалів та визначено межі області ефективного використання металів в якості основних матеріалів для термоелектричних генераторів струму (ТЕГ).

Визначено технологічні умови пластичного деформування та їх вплив на режими волочіння тонких дротів, закономірності зміни пластичності металу в процесі волочіння і проміжних термообробок, з врахуванням направленої характеру накопичення пошкоджень, та їх вплив на властивості тонких дротів з термопарних сплавів.

На основі феноменологічної теорії деформуємості розроблено режими волочіння тон-

кого термопарного дроту з сплавів хромель, копель і сплавів системи нікель-молібден діаметром 200-70мкм, які б мали однорідні механічні властивості та якісну поверхню без карбідних та окисних включень і забезпечували високу чутливість та лінійність термоелектричних характеристик термопар з вищеназваних сплавів в температурному інтервалі 300 - 900 К.

Виконано експериментальні дослідження впливу режимів волочіння на властивості тонких термопарних дротів із сплавів хромель і копель та сплавів системи нікель-молібден.

Ключові слова: немонотонна пластична деформація, ресурс пластичності, холодне волочіння, теорія деформуємості, термоелектричні сплави.

АННОТАЦІЯ

Спивак А. Ю. Влияние холодной деформации волочением на свойства тонких термопарных проводов. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 - процессы и машины обработки давлением. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2010 г.

Диссертация посвящена обеспечению качества тонких термопарных проводов, полученных холодным волочением, качественному и количественному определению влияния технологических условий процесса волочения на свойства готовых изделий.

Работа направлена на решение актуальных задач машиностроительного производства – обеспечения качества готовых изделий и повышения коэффициента использования металла, возможности эффективно управлять свойствами готовых изделий.

Полученные результаты решают важную проблему создания надежных скоростных термоэлектрических сенсоров температуры на базе металлических термопарных сплавов.

В диссертации проведен анализ влияния холодного деформирования на свойства металлов и сплавов, зависимость свойств материалов от истории их деформирования, определены основные характеристики напряженного состояния и критерии разрушения при монотонном и немонотонном деформировании металлов и сплавов, анализ способов оценки деформируемости заготовок, требования, которые предъявляются к термоэлектрическим материалам и определены границы области эффективного использования металлов в качестве основных материалов для термоэлектрических генераторов тока (ТЭГ).

Определены технологические условия пластического деформирования и их влияние на режимы волочения тонких проводов, закономерности изменения пластичности металла в процессе волочения и промежуточных термообработок, с учетом направленного характера накопления повреждений, и их влияние на свойства тонких проводов из термопарных сплавов.

Разработана методика оценки использованного ресурса пластичности при деформации цилиндрических заготовок волочением.

На основе феноменологической теории деформируемости разработаны режимы волочения тонких термопарных проводов из сплавов хромель, копель и сплавов системы никель-молибден диаметром 200-70мкм, которые имели бы однородные механические свойства и качественную поверхность без карбидных и окисных включений, и обеспечивали высокую чувствительность и линейность термоэлектрических характеристик термопар из вышеназванных сплавов в температурном интервале 300 – 900 К.

Экспериментально определены закономерности возобновления запаса пластичности для пластического деформирования с промежуточными отжигами в тонких термопарных проводах. Установлено, что эффективность промежуточных отжигов уменьшается с ростом величины использованного запаса пластичности перед отжигом, а для термоэлектрических проводов сечением менее 120 мкм отжиг приводит к изменению термоэлектрических свойств в результате изменения свойств поверхности.

Проведены экспериментальные исследования влияния режимов волочения на свойстваи качество поверхности тонких термопарных проводов из сплавов хромель, копель и сплавов системы никель-молибден, с содержанием молибдена в них (2...17)%.

Ключевые слова: немонотонная пластическая деформация, ресурс пластичности, холодное волочение, теория деформируемости, термоэлектрические сплавы.

SUMMARY

Spivak O. Yu. Influence of cold deformation on the properties of thin thermocouple wires by means of dragging. – A manuscript.

Dissertation on the competition for a degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.03.05 – processes and machines of treatment by pressure. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2010.

Dissertation is devoted to providing of quality of thin thermocouple wires, obtained by cold dragging, as well to qualitative and quantitative determination of influence of technological conditions of the dragging properties on the properties of standard products. The results achieved can solve an important problem of making reliable high performance thermoelectric temperature sensors on the basic on metallic thermocouple alloys.

The dissertation presents the analysis of cold deformation influence on properties of metals and alloys, dependence of materials properties on history of their deformation.

The technological conditions of plastic deformation and their influence on modes of thin wires dragging and their properties have been determined.

The modes of dragging thin thermocouple wires made of chromel, constantan and nickel-molybdenum alloys with diameter of 200-70 mkm, have been developed, they would have homogeneous mechanical properties and high-quality surface without the carbide and oxide phases, and they would provide high sensitivity and linearity of thermoelectric characteristics of thermocouples made of the alloys mentioned above in the temperature range within 300 – 900 K.

Experimental research of influence the dragging modes on the properties of thin ther wires made of chromel, constantan and nickel-molybdenum alloys with diameter of 200-70 mkm.

Key words: nonmonotonous plastic deformation, resource of plasticity, cold dragging, theory of deformability, thermo-electric alloys.

Підписано до друку 12.10.10 Формат 29,7x42
Наклад 100 прим. Зам № 2010-165
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел 59-81-59