

УДК 669.18.5

В. А. Огородніков, д. т. н., проф.;

О. Ю. Співак

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ТОНКИХ ТЕРМОПАРНИХ ДРОТІВ ТА ОПТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ПОВЕРХНІ

В теперішній час волочіння є основним способом виготовлення довгомірних металевих виробів, таких як прутки або дріт. Виробництво дроту необхідного перерізу з заданими фізико-хімічними властивостями визначається технологічним циклом волочіння, який традиційно складається з таких операцій: отримання заготовки, попередньої термічної обробки заготовки, підготовки заготовки до волочіння, одно — або багато перехідного холодного чи гарячого волочіння, проміжної термообробки, підготовки виробу до наступного етапу волочіння і т.д., отримання кінцевого продукту [1].

Режими проведення цих операцій призначаються, виходячи головним чином з багаторічної практики волочильного виробництва, а для нових матеріалів визначаються емпірично, методом проб.

Успішне вирішення задач побудови технологічного маршруту волочіння пов'язано з умінням прогнозувати якість виробів і управляти її формуванням в процесі пластичного деформування і відповідних термообробок. За останній час в обробленні металів тиском широко використовується феноменологічна теорія деформування, основною характеристикою матеріалу в якій є його пластичність. За міру пластичності приймають накопичену до моменту руйнування інтенсивність деформацій (граничну деформацію) [2—4]:

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

де ε_{kl} — компоненти тензора швидкостей деформацій, τ_p — час від початку деформації до руйнування. Умови деформування без руйнування можна записати, виходячи з міркування: якщо в процесі формозмінення показник напруженого стану [3] $\eta = \text{const}$, то до того часу, поки накопичена

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 $\psi = e_u/e_p < 1$. Якщо $\eta \neq \text{const}$, ресурс пластичності можна оцінити за критерієм Деля-Огороднікова:

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

де $n = 1 + 0,2 \arctg d\eta/de_u$.

Якщо ресурс пластичності виробляється, призначається проміжна термообробка для відновлення пластичних властивостей заготовки.

Проведення попередньої і проміжних термообробок викликане необхідністю зниження опору деформації і відновлення запасу пластичності. Оскільки на практиці важко розділити ефекти відновлення ресурсу пластичності за рахунок заліковування деформаційних дефектів і за рахунок структурних змін, пов'язаних з нагрівом металу, схема експерименту для дослідження відновлення пластичності передбачає термообробку зразків в початковому стані, деформацію $e_u < e_p$, термообробку після деформації і подальше розтягування до руйнування. Режими попередньої термообробки необхідно вибирати таким чином, щоб структура металу в початковому стані і після циклу де-

формація-термообробка була ідентичною. Якщо ідентичність структури забезпечити неможливо, проводять контроль характеристик структури і розрахунок використаного ресурсу пластичності металу під час деформування після термообробки зразка проводять з використанням діаграми пластичності, яка враховує вплив структури [2, 3].

В зв'язку з викладеним, для відновлення ресурсу пластичності матеріалу дротів використано відпалювання першого роду. Режими пічного нагріву визначали таким чином. Зразки з термообробленого дроту доводили до руйнування в умовах одноосного розтягування ($\eta = 1$) і визначали початкову деформацію $e_p = 2\ln(D/d_{ш}) \approx \ln(l_k/l_n)$, де D — початковий діаметр, $d_{ш}$ — діаметр шийки зруйнованого зразка, l_k і l_n — відповідно кінцева і початкова довжини зразка. Дріт деформували волочінням до накопиченої інтенсивності деформацій $e_u < e_p$, потім зразки з цього дроту доводили до руйнування і визначали граничну деформацію e'_p . За формулою $\psi' = 1 - e'_p/e_p$ визначали використаний ресурс пластичності на цьому етапі волочіння. Після термообробки зразки доводили до руйнування і визначали граничну деформацію e''_p і $\psi'' = 1 - e''_p/e_p$. Величина $\Delta\psi = \psi' - \psi''$ є величиною відновленого запасу пластичності.

Змінюючи температуру і час витримки, підбирали такі режими термообробок, які діють на найбільшу величину відновленого запасу пластичності. Аналогічно поступали після кожного переходу волочіння. На рис. 1 показані результати визначення режимів термообробки для холодного волочіння хромелевого дроту від $D = 0,5$ мм до $d = 0,27$ мм.

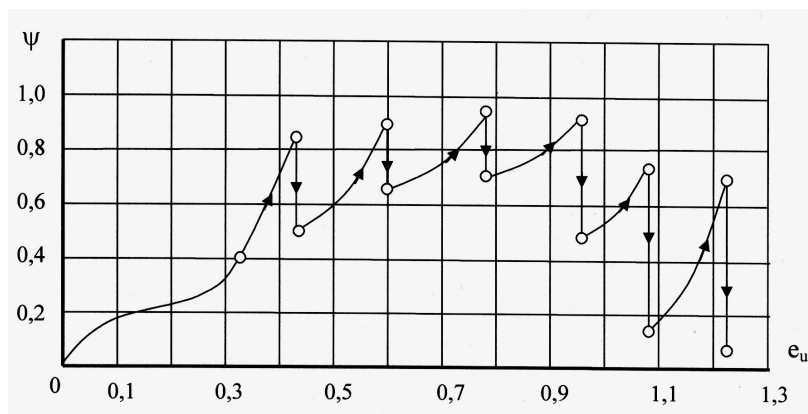


Рис. 1. Залежність ресурсу пластичності від накопиченої інтенсивності деформацій для сплаву хромель—Т

Аналогічні досліді проводили для термоелектричних сплавів копель (константан) і сплавів системи нікель—молібден. Детально технологія і маршрути волочіння тонких термопарних дротів описані в [5].

Дана технологія є широковживаною для виробництва дроту з сплавів на основі міді або сталей, але її не можна використати без доробок для термоелектричних сплавів, таких, як наприклад хромель, оскільки під час проміжного відпалювання поверхня дротів вкривається поверхневим шаром з

окислу і карбідів, який є діелектриком, має інші властивості, що основний сплав і суттєво впливає на диференційну термо-е.р.с даного сплаву, причому, чим тоншим є дріт, тим більшою є частка поверхневого шару металу в його загальній масі і тим більшим є відхилення термо-е.р.с. тонкого дроту від стандартної градуовальної кривої для даного сплаву.

Крім того, якщо використовувати для волочіння мікродротів традиційні змащувачі, такі як масло на основі колоїдного графіту, виникають інші технологічні труднощі, зумовлені тим, що графіт, проникаючи в поверхню мікродроту, погіршує його термоелектричні властивості.

Таким чином, для розроблення технології волочіння і проміжних термообробок мікродротів з термоелектричних сплавів, що містять карбیدоутворювальні елементи, виникає задача контролю і управління якістьми поверхні.

Стан поверхні в наших дослідженнях контролювався оптичними мікроскопами МИМ-8 та ВМТ-70, а розподіл домішок і включень по перерізу — на шліфах торців мікродротів. Як показують дослідження, товщина поверхневого шару, який необхідно видалити складає 2—15 мкм, в залежності від діаметра дроту і технології його волочіння.

Для забезпечення чистоти поверхні мікродротів можна використати такі способи:

- а) проміжні відпалювання дротів проводити в вакуумі або в відновлювальному середовищі, наприклад у водні;
- б) окисну плівку з поверхні виробу видаляти механічно або за допомогою хімічного чи електrolітичного травлення;

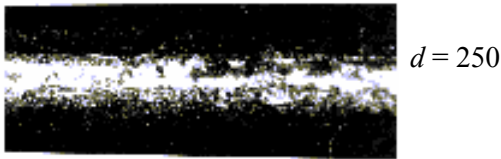
в) заготовку, з поверхні якої знята окисна плівка (одним із способів п.б), протягувати до необхідного діаметра без проміжних відпалювань, використовуючи змащувач, що не дифундує в поверхню дроту.

Ми зупинилися на останніх двох способах. Для попередньої очистки поверхні від забруднень і окислів був підібраний травник такого складу:

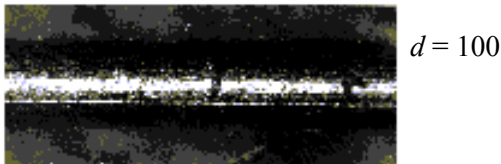
- концентрована соляна кислота — 50 мл.; — концентрована сірчана кислота — 5 мл.;
- азотна кислота — 5 мл.; — перекис водню — 10 мл.;
- вода дистильована — 50 мл.



$d = 500$



$d = 250$



$d = 100$

Рис. 2. Поверхня дротів та кінетика заліковування поверхні в процесі волочіння для сплаву копель

Даний склад травника знімає плівку окислів за 40—50 секунд. Подальша витримка дротів в травнику небажана, тому що починається травлення міжзеренних границь, а це призводить до погіршення механічних властивостей матеріалу. Після оброблення поверхні в травнику дроти необхідно промити слабким розчином поташу і водою.

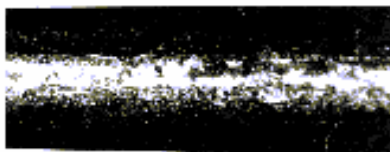
Для механічного способу зняття плівки оптичні методи дослідження показують наявність великої кількості поверхневих механічних дефектів та подряпин на поверхні зразків, поступове заліковування яких відбувається в процесі подальшої витяжки матеріалу заготовок.

Як змащувач для волочіння застосовувалось вакуумне масло ВМ-1 та суміш рівних частин кістяної муки і мильного порошку.

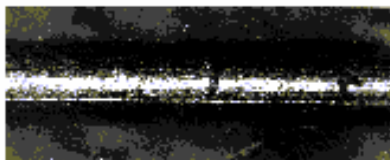
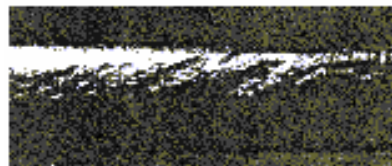
Поверхня заготовок і готових мікродротів з різних термоелектричних сплавів та кінетика заліковування дефектів в процесі волочіння за розробленими нами технологічними маршрутами показані на рис. 2—4.



$d = 500$



$d = 250$



$d = 100$



Рис. 3. Поверхня дротів та кінетика заліковування поверхні в процесі волочіння для сплаву хромель

Рис. 4. Кінетика заліковування поверхневих дефектів в процесі волочіння для сплавів системи нікель-молібден

Висновки

1. Феноменологічна теорія деформування дозволяє на основі ступеня використання ресурсу пластичності з високою точністю прогнозувати якість виробів і управляти їх властивостями в процесі виготовлення цих виробів методами пластичного деформування.

2. Розроблена технологія волочіння тонких термопарних дротів дозволяє отримати мікродроти з термоелектричних сплавів діаметром 90—100 мкм з високою якістю поверхні.

3. За допомогою оптичного методу досліджень можна з достатньо високою надійністю контролювати стан поверхні і однорідність об'єму мікродротів. Оптичний метод забезпечує простоту і високу оперативність контролю поверхні мікродротів, що є важливим фактором для розроблення технологічних маршрутів їх отримання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перлин И. Л., Ермонок Н. З. Теория волочения. — М.: Металлургия, 1971. — 448 с.
2. Колмогоров В. Л. Механика обработки металлов давлением. — М.: Металлургия, 1986. — 688 с.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. — К.: Вища школа, 1983. — 176 с.
4. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. — М.: Машиностроение, 1978. — 368 с.
5. Співак О. Ю., Мельник І. Г., Гуменюк В. С. Тонкі термопарні дроти: розробка технологічних режимів волочіння та дослідження їх впливу на термоелектричні властивості сплавів хромель та копель. Деп. в ДНТБ України 17.10.94, № 2036 — Ук94. — 20 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 9.12.03
Рекомендована до друку 13.01.04

Огородніков Віталій Антонович — завідувач кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, **Снівак Олександр Юрійович** — асистент кафедри теплоенергетики.

Вінницький національний технічний університет