

УДК 669.295

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ВИКОРИСТАННЯ КУТОВОЇ ГІДРОЕКСТРУЗІЇ ТА ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТИСКОМ

*Показана ефективність комбінованого використання кутової гідроекструзії і традиційних методів ОМТ. Визначені маршрути і режими обробки міді із застосуванням кутової гідроекструзії, традиційної гідроекструзії і волочіння, які забезпечують більш високі показники механічних властивостей*

**О.А. Давиденко**

Кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник\*

Контактний тел.: (062) 311-11-23, (067) 505-90-84

e-mail: dav76@ukr.net

**В.З. Спусканюк**

Доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник\*

Контактний тел.: (062) 311-11-23, (066) 740-59-70

e-mail: vspusk@ukr.net

I.M. Коваленко

Провідний інженер\*

Контактний тел.: (062) 311-11-23

**Т.А. Закорецька**

Провідний інженер\*

Контактний тел.: (062) 311-11-23

**О.М. Гангало**

Аспірант\*

Контактний тел.: (062) 311-11-23, (063) 266-78-19.

**М.М. Білоусов**

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник\*

\*Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О.Галкіна НАН

України

вул. Р.Люксембург, 72, м. Донецьк, Україна, 83114

Контактний тел.: (062) 337-96-08.

e-mail: bil@hpress.fti.as.donetsk.ua

## 1. Вступ

Для формування субмікро- та наноструктурного стану матеріалів в об'ємних заготовках найбільш широке застосування одержав метод рівноканального кутового пресування (РККП) [1, 2]. Недоліком цього

методу є високі тиски пресування, які істотно обмежують його технологічні можливості. Нами запропонований і розроблений метод кутової гідроекструзії (КГЕ) прутків [3-6]. За цим методом видавлювання прутка з контейнера здійснюється через кутову матрицю за допомогою рідини високого тиску (рис. 1).

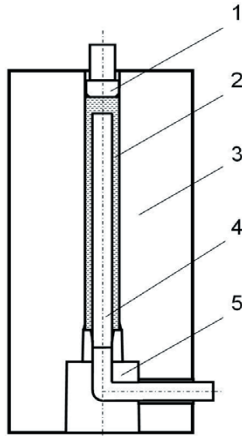


Рисунок 1. Схема установки для КГЕ довгомірних заготовок через кутову матрицю з  $\Phi=90^\circ$ : 1 – плунжер, 2 – рідина, 3 – контейнер, 4 – заготовка, 5 – кутова матриця.

Внаслідок запобігання тертя заготовки об стінки контейнера істотно знижується рівень тисків видавлювання, відкривається можливість обробки більш міцних матеріалів, пруткових заготовок необмеженої довжини, знижуються до мінімуму відходи, досягається більш висока продуктивність устаткування, чим при РККП. В Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О.Галкіна НАН України створено пристрої для КГЕ довгомірних ( $l > 10 \cdot d$ ) заготовок та відпрацьована технологія багатocyклового деформування прутків зі збереженням їх вихідних розмірів у поперечному перерізі.

## 2. Методика досліджень

Дослідження ефективності комбінованого використання кутової гідроекструзії і традиційних методів обробки металів тиском (звичайна гідроекструзія і волочіння) проводилося за схемою, представленою на рис. 2.

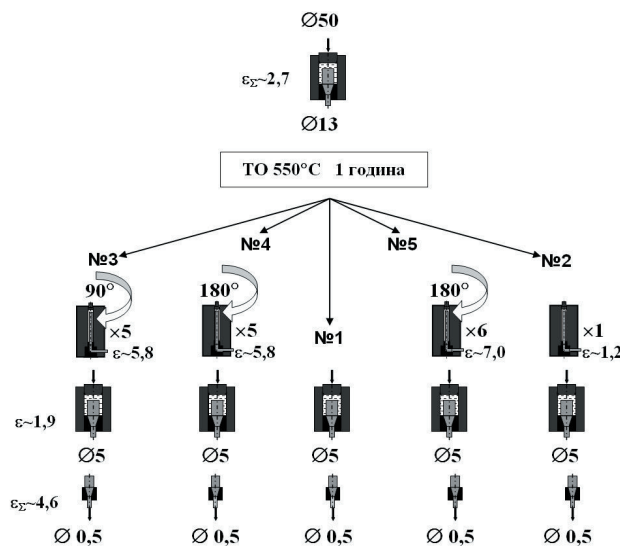


Рисунок 2. Схеми експериментальних маршрутів отримання мідного дроту

В якості вихідної заготовки було використано гарячепресований пруток з міді М1 діаметром 50 мм. Пруток був продеформований методом гідроекструзії до діаметра 13 мм після чого було здійснено його відпал при температурі 550°C тривалістю 1 година.

Експерименти з КГЕ здійснювали на установці з кутом матриці  $\Phi=90^\circ$  (рис.1) за схемою “заготовка за заготовкою” з обертаннями зразка навколо своєї вісі на  $90^\circ$  (маршрут В) та на  $180^\circ$  (маршрут С) [1]. Поверхню вихідних заготовок попередньо обмилювали, в якості робочої рідини використовували індустріальну олію марки І 20, швидкість переміщення пуансона була 2 мм/с. Деформація за один цикл деформування складала  $\epsilon \approx 1,16$ . Кількість циклів та рівень накопиченої еквівалентної деформації показані на схемі (рис. 2). Надалі обробку здійснювали традиційними методами ОМТ: гідроекструзією до діаметру 5 мм та волочінням до діаметру 0,5мм.

Для дослідження властивостей матеріалу після КГЕ, а також комбінованої обробки використані методи дюрометрії, рентгеноструктурного аналізу та іспити механічних властивостей (розтягування та осадка зразків). Твердість вимірялася за допомогою твердоміра моделі HV-5 у режимі для кольорових металів за стандартною методикою. Іспити механічних властивостей проводились на комп'ютеризованій розривній машині з електричним приводом 2167 Р-50 (ГОСТ 78-55-84, ТУ 25-7701). Швидкість переміщення траверси дорівнювала  $10^{-4}$  м/с, точність реєстрації переміщення –  $\pm 10^{-5}$  м.

## 3. Властивості міді після КГЕ

Іспитами на осадку зразків, виточених з прутків  $\Phi 13$  мм, отримані результати, що розкривають характер зміцнення міді при КГЕ (рис.3).

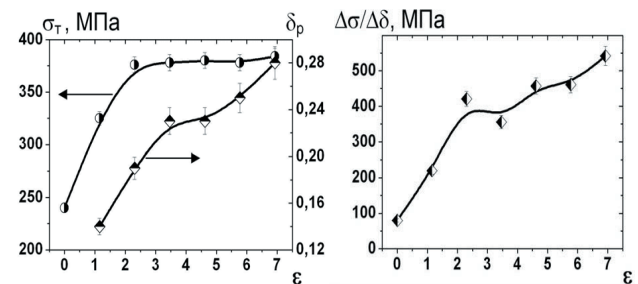


Рисунок 3. Вплив ступеня деформації методом КГЕ на властивості міді при осадці зразків.

Збільшення числа проходів КГЕ понад  $N=2$  ( $\epsilon \approx 2,3$ ) мало впливає на межу напруження плин. Зате коефіцієнт деформаційного зміцнення  $\Delta\sigma/\Delta\delta$  підвищується з ростом ступеня деформації у всій дослідженій області деформацій. Параметр  $\delta_p$  що характеризує складову рівномірної деформації зразків при осадці, також безупинно зростає з ростом ступеня деформації. Він збільшився в 2 рази при  $\epsilon \approx 7$  у порівнянні зі станом при  $\epsilon \approx 1$ , що пояснюється удосконаленням структури міді, підвищенням її однорідності.

Встановлено вплив режимів попередньої обробки вихідних заготовок (деформація та відпал) на меха-

нічні властивості зразків після КГЕ (рис. 4). Знайдено режим, який забезпечує отримання найбільш високого комплексу міцності та пластичності міді М1. Для цього після попередньої гідроекструзії прутків з  $\varnothing 50$  мм на  $\varnothing 13$  мм здійснювали їх термічну обробку при температурі  $380^\circ\text{C}$ .

З ростом ступеня деформації при КГЕ до  $\epsilon \approx 6$  підвищуються міцність та пластичність міді. Досягнутий в довгомірних прутках  $\varnothing 13$  мм комплекс властивостей (межа міцності  $\sim 480$  МПа, відносне подовження  $\sim 15\%$ ) перевищує відомі результати.

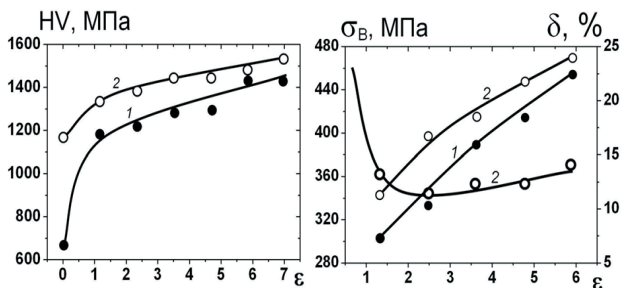


Рисунок 4. Вплив режимів попередньої обробки вихідних заготовок на механічні властивості зразків після КГЕ : 1 – попередня гідроекструзія + відпал при  $550^\circ\text{C}$  (1 година), 2 – попередня гідроекструзія + відпал при  $380^\circ\text{C}$  (1 година).

#### 4. Вплив комбінованої пластичної деформації

Ефекти комплексної обробки міді (відпаленої при  $550^\circ\text{C}$  – 1 година) методами кутової гідроекструзії та звичайної гідроекструзії (дивись рис.2) представлені на рис.5 та 6.

У випадку деформації  $\epsilon \approx 1,16$  методом КГЕ наступна гідроекструзія до  $\varnothing 5$  мм призводить до підвищення твердості міді, а у випадку  $\epsilon \approx 5,8-6,9$  при КГЕ наступна гідроекструзія до  $\varnothing 5$  мм призводить до незначного зниження досягнутого рівня твердості (рис.5). Таким чином, внаслідок комплексної обробки спостерігається стабілізація твердості міді на рівні 1300 МПа.

Зауважимо, що зразки, які після відпалу пройшли деформаційну обробку лише методом звичайної гідроекструзії (схема №1 на рис.2), теж мають твердість на рівні 1300 МПа.

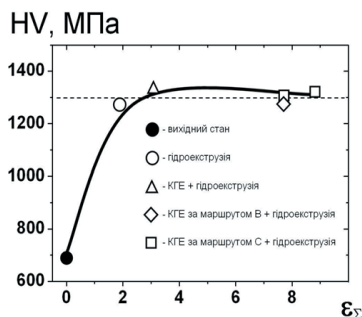


Рисунок 5. Залежність твердості мідних зразків  $\varnothing 5$  мм від ступеня накопиченої деформації (див. рис.2).

На рис.6 показано вплив різних схем комбінованого використання кутової гідроекструзії і традиційних методів ОМТ на міцність і пластичність готового дроту.

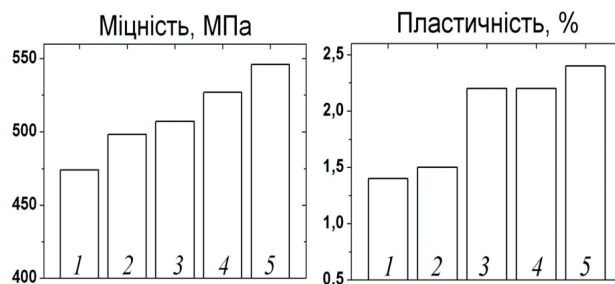


Рисунок 6. Властивості мідного дроту  $\varnothing 0,5$  мм після комбінованої обробки за різними експериментальними схемами (дивись рис.2).

Краще сполучення міцності і пластичності мідного дроту  $\varnothing 0,5$  мм досягається, якщо здійснювати комплексну обробку за схемою №5, тобто здійснювати шестикратну КГЕ за маршрутом С, звичайну гідроекструзію і волочіння. Застосування КГЕ при виготовленні дроту забезпечує більш високий рівень міцності й пластичності міді.

Після комплексного використання КГЕ, звичайної гідроекструзії і волочіння міцність міді в дроті  $d=0,5$  мм досягла 546 МПа при  $\delta = 2,4\%$ . Без застосування КГЕ при таких саме режимах деформування методами звичайної гідроекструзії і волочіння отримано відповідно  $\sigma = 474$  МПа і  $\delta = 1,4\%$ . Таким чином, застосування КГЕ забезпечує поряд з високою міцністю дроту і високу його пластичність, що майже в 2 рази вища, чим у порівнюваному дроті. Важливо також відзначити, що такий високий комплекс властивостей зберігається за нашими спостереженнями вже на протязі двох років.

#### 5. Термічна стабільність міді після комбінованої пластичної деформації

Експерименти з термічної стабільності міді проводились на зразках  $\varnothing 5$  мм з терміном відпалу 1 година. Залежність твердості міді від температури відпалу та деформаційних схем отримання зразка представлена на рис.7.

Мінімальна термічна стабільність спостерігається в міді, підданій найбільшій пластичній деформації для формування СМК структури (схема №5). Після 6 циклів КГЕ відпаленої міді за маршрутом С та наступної гідроекструзії деформація становила  $\epsilon \approx 8,8$ , а за даними рентгеноструктурного аналізу  $D_{\text{окр}} = 285$  нм,  $\Delta a/a = 0,33 \cdot 10^{-2}$ .

Найвища термічна стабільність міді спостерігається в зразках, отриманих за схемою №1 (деформація після відпалу дорівнювала  $\epsilon \approx 1,9$ , а  $D_{\text{окр}} = 387$  нм,  $\Delta a/a = 0,39 \cdot 10^{-2}$ ).

Проміжні значення спостерігаються у мідних зразках, отриманих за схемою №3 ( $\epsilon \approx 7,7$ ). Результати дослідження термічної стабільності міді, нагартують до різних режимів, відповідають відомим закономірностям.

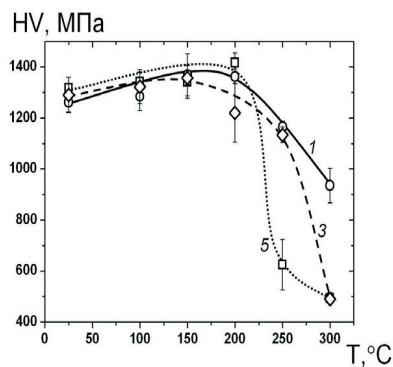


Рисунок 7. Термічна стабільність міді після комбінованої обробки за різними експериментальними схемами (дивись рис.2).

### Висновки

Коефіцієнт зміцнення матеріалу  $\Delta\sigma/\Delta\delta$  при осадці зразків безупинно підвищується зі збільшенням накопиченої в процесі кутової гідроекструзії деформації до  $\varepsilon \approx 7$ . При  $\varepsilon \approx 7$  параметр  $\delta_p$ , що характеризує долю рівномірної деформації при осадці зразків, у 2 рази більше, ніж при  $\varepsilon \approx 1$ , що пояснюється удосконалюванням структури міді при кутовій гідроекструзії в міру збільшення накопиченої деформації.

Знайдено режим попередньої обробки вихідних заготовок (деформація та відпал), який забезпечує отримання найбільш високого комплексу міцності та пластичності міді М1 після КГЕ. Досягнутий в довгомірних прутках  $\varnothing 13$  мм комплекс властивостей (межа міцності  $\sim 480$  МПа, відносне подовження  $\sim 15\%$ ) перевищує відомі результати.

Уведення кутової гідроекструзії в технологію виготовлення дроту діаметром 0,5 мм забезпечило більш високий рівень міцності міді  $\sigma = 545$  МПа і відносного подовження  $\delta = 2,6\%$ , ніж при таких саме режимах деформування (методами звичайної гідроекструзії і волочіння), але без застосування кутової гідроекструзії, коли отримано відповідно  $\sigma = 474$  МПа і  $\delta = 1,4\%$ .

### Література

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М: Логос, 2000.- 272 с.
2. Segal V.M. Materials processing by simple shear // Mater. Sci. Eng. - 1995. - 197. - P. 157-164.
3. В.З.Спусканюк, А.А.Давиденко, И.М.Коваленко. Новая технология получения прутков с наноструктурой. // Материалы Международной конференции «Современное материаловедение: достижения и проблемы» / Украина, Киев, 2005. С. 226.
4. В.З.Спусканюк, А.А.Давиденко, И.М.Коваленко. Равноканальная угловая гидроэкструзия – эффективный метод интенсивной пластической деформации // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії №1 (7), 2007. С.179-182.
5. Спусканюк В.З., Константинова Т.Е., Давиденко А.А., Коваленко И.М., Закорецкая Т.А., Сенникова Л.Ф., Белоусов Н.Н., Лоладзе Л.В., Завдоев А.В. Равноканальная угловая гидроэкструзия – эффективный метод формирования субмикроструктурного состояния материалов. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні / Краматорськ, 2007.- С.37-42.
6. Spuskanyuk V., Spuskanyuk A., Varyukhin V.: Development of the equal-channel angular hydroextrusion. // J. Mater. Process. Tech. 203 (2008) 305-309.