

УДК 621.669.14

О.В. АНІСЬКОВ, викладач, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПЛАСТИЧНОЇ ПРОКАТКИ МІДНОЇ СТРІЧКИ

В работе исследуется влияние действия электрического тока, постоянного и импульсного, на физико-механические свойства медной ленты во время ее прокатки электропластической и обычной. Исследуются изменения удельного сопротивления ленты под действием электрического тока. Рассмотрены разные способы подведения постоянного и импульсного тока в зону пластической деформации. Выяснено, что наиболее эффективным есть расположения скользящих контактов для подведения электрического тока до и после зоны деформирования.

Ключевые слова: прокатка, постоянный и импульсный ток, электро- физико-механические свойства.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У теперішній час у світовій практиці проводяться роботи з розробки енергозберігаючих технологій виробництва нового покоління струмонесучих провідників, що мають кращі фізико-механічні властивості. Ці технології базуються на застосуванні імпульсної обробки електричним струмом рухомих стрічки та дроту у поєднанні з процесами пластичної деформації. Така обробка називається електропластичною обробкою металів та сплавів (ЕПО) [1]. Стрічка та дріт після ЕПО застосовуються в атомній енергетиці, аерокосмічному приладобудуванні, швидкісному електро-транспорті, виробництві кабельно-провідникової продукції.

Аналіз досліджень та публікацій. Технологічні схеми отримання мідної стрічки з покращеними фізико-механічними властивостями для потреб електротехнічної промисловості, електротранспорту та інших галузей промисловості включають у себе застосування додаткових відпалів [2]. Дослідження російських та українських учених показали що отримати мідний дріт з підвищеною пластичністю, що особливо важливо для гнучких струмовідводів, можна за допомогою ЕПО металу [1,3]. Така обробка дозволяє вилучити із технологічного процесу проміжні відпали, що не завжди позитивно впливають на якість кінцевої продукції.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення, на основі експериментальних досліджень, оптимальних параметрів ЕПО мідної стрічки різної товщини та оптимальної схеми підведення імпульсного струму у зону деформування під час електропластичної обробки, що дозволяє отримати максимальне видовження стрічки у напрямі прокатки, провести порівняння фізико-механічних властивостей, змін у структурі після електропластичної прокатки та звичайної прокатки без струму.

Викладення матеріалу результати. На експериментальному прокатному стані були проведені такі дослідження;

1. Наводився вибір можливих схем підведення імпульсного та постійного струму у зону деформування:

підведення струму від валка до валка через стрічку що деформується з включенням в електричний ланцюг деформуючих валків прокатного стану (рис. 1);

підведення струму за допомогою ковзких контактів до та після зони деформування без включення деформуючих валків у електричний ланцюг (рис. 2);

підведення струму за мішаною схемою - один ковзкий контакт до стрічки, а інший до деформуючих валків прокатного стану (рис. 3).

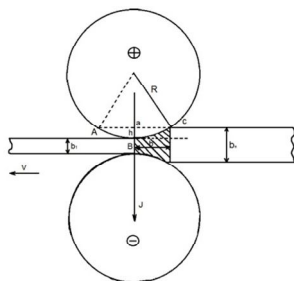


Рис. 1. Підведення електричного струму до стрічки через валки

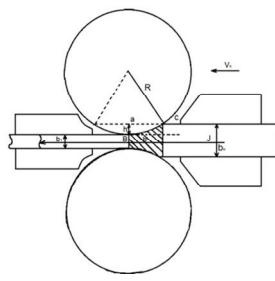


Рис. 2. Підведення електричного струму до стрічки за допомогою ковзких контактів

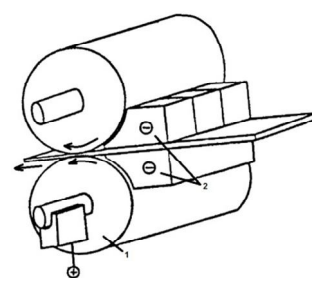


Рис. 3. Підведення електричного струму до стрічки через ковзкий контакт і деформуючий валок

2. Визначалася оптимальна довжина зони дії струму за схемами 2 та 3.

3. Проводилися дослідження питомого електричного опору зразків.

Для досліджень були взяті зразки з кількох партій мідної стрічки марки М1. Виконувалося від трьох до восьми переходів з одиничним обжимання 10-12 %. Під час прокатки стрічки з підведенням струму не змінювався напрям прокатки по переходах. Контрольні зразки стрічки без струму прокатувалися так само, як і зі струмом. Після кожного переходу вимірювалося видовження зразків та проводилися вимірювання фізико-механічних властивостей. Отримані результати зведено у табл. 1.

Для дослідження дії струму за схемою 1 на пластичні та інші властивості мідної стрічки товщиною 200 мкм використовувався постійний та випрямлений змінний імпульсний струм різної частоти слідування імпульсів. Після кожного переходу досліджувалися фізико-механічні властивості зразків. Результати досліджень зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідів									
Режим	Парам. зразка	1-й пере- хід	2-й пере- хід	3-й пере- хід	4-й пере- хід	5-й пере- хід	6-й пере- хід	7-й пере- хід	Ефект дії стру- му
Схема 1									
Без струму	Довжина, мм Товщина, мм	$l_1=200$ $h_1=0,18$	$l_2=241$ $h_2=0,13$	$l_3=275$ $h_3=0,1$	$l_4=321$ $h_4=0,08$	$l_5=368$ $h_5=0,06$	$l_6=435$ мм $h_6=0,05$	$l_7=520$ $h_7=0,04$	$\frac{l_7-l_1}{l_1} \times 100\%$
Пост. струм	$I = 12 A$	$l_1=200$ $h_1=0,15$	$l_2=250$ $h_2=0,11$	$l_3=304$ $h_3=0,09$	$l_4=347$ $h_4=0,07$	$l_5=410$ $h_5=0,06$	$l_6=475$ $h_6=0,05$	$l_7=580$ $h_7=0,04$	12%
Імп. струм	$I_m = 330 A$ $\tau = 10^{-2} c$	$l_1=220$ $h_1=0,13$	$l_2=240$ $h_2=0,1$	$l_3=280$ $h_3=0,085$	$l_4=320$ $h_4=0,07$	$l_5=382$ $h_5=0,06$	$l_6=460$ $h_6=0,05$	$l_7=590$ $h_7=0,04$	13%
Схема 2									
Без струму	Довжина, мм Товщина, мм	$l_1=175$ $h_1=0,15$	$l_2=192$ $h_2=0,13$	$l_2=220$ $h_2=0,11$	$l_2=245$ $h_2=0,09$	$l_2=300$ $h_2=0,07$	$l_2=425$ $h_2=0,06$	$l_7=510$ $h_7=0,045$	$\frac{l_7-l_1}{l_1} \times 100\%$
Пост. струм	$I = 20 A$	$l_1=175$ $h_1=0,15$	$l_2=195$ $h_2=0,13$	$l_2=222$ $h_2=0,11$	$l_2=255$ $h_2=0,09$	$l_2=325$ $h_2=0,07$	$l_2=462$ $h_2=0,06$	$l_7=550$ $h_7=0,045$	8%
Імп. струм	$I_m = 500 A$ $\tau = 3 \cdot 10^{-4}$	$l_1=175$ $h_1=0,15$	$l_2=195$ $h_2=0,13$	$l_2=230$ $h_2=0,11$	$l_2=260$ $h_2=0,09$	$l_2=347$ $h_2=0,07$	$l_2=475$ $h_2=0,06$	$l_7=570$ $h_7=0,045$	12%
Схема 3									
Без струму	Довжина, мм Товщина, мм	$l_1=100$ $h_1=0,15$	$l_1=110$ $h_1=0,12$	$l_1=140$ $h_1=0,08$	$l_1=170$ $h_1=0,05$	$l_1=216$ $h_1=0,04$	-	-	$\frac{l_1-l}{l} \times 100\%$
Пост. струм	$I = 25 A$	$l_1=100$ $h_1=0,15$	$l_1=110$ $h_1=0,12$	$l_1=140$ $h_1=0,08$	$l_1=187$ $h_1=0,05$	$l_1=230$ $h_1=0,04$	-	-	6%
Імп. струм	$I_m = 600 A$ $\tau = 10^{-4} c$	$l_1=100$ $h_1=0,15$	$l_1=115$ $h_1=0,12$	$l_1=150$ $h_1=0,08$	$l_1=195$ $h_1=0,05$	$l_1=236$ $h_1=0,04$	-	-	9%

З табл. 1 видно, що під дією постійного струму за схемою а збільшується деформація у напрямі прокатки на 12% а під дією імпульсного на 13 %. Збільшення числа переходів до 20 при тих же одиничних обжиманнях під дією як імпульсного, так і постійного струму показало, що збільшення довжини стрічки в результаті прокатки з постійним струмом склало 5-6% та 8-10% під дією імпульсного струму.

Дослідження дії струму за схемою 2 відбувалося так. Оскільки на початковій та кінцевій стадіях процесу під час виходу стрічки із зони дії струму електричний ланцюг розривався то кінці зразків відкидалися і досліджувалася лише центральна частина зразка. Ефект видовження зразків стрічки після семи переходів склав від 8 % при дії постійного струму до 12% при дії імпульсного струму. Крім того при підведенні постійного струму важливе значення мала полярність підведення струму (мінус до зони деформування і плюс після неї). Після 25 переходів при таких же одиничних обжиманнях ефект збільшення довжини складав вже 15-20 % при постійному струмі і 20-25 % при імпульсному. Параметри обробки складали $I=20A$ для постійного струму і $I=700A$, $F=80Гц$, $\tau \approx 1 \cdot 5 \cdot 10^{-4} c$ для імпульсного.

Дослідження дії струму підведеного за схемою в) показали, що видовження стрічки склало

6-9%, що порівняно менше ніж за схемами 1 та 2.

Механічні властивості стрічки перевірялися на розривній машині Р-05 та мікротвердомірі ПМТ-3. Розривна машина була оснащена додатковими пристроями для проведення випробувань стрічки силвимірювальним пристроєм 500N, стійкою приладів з блоком керування. Відносна похибка вимірювань складала 5-7%.

Вимірювання електричного опору відбувалося чоирьохконтактним способом. Для цього через зразок вирізаний зі стрічки пропускався постійний струм силою $I=1\mu A$ та вимірювалося падіння напруги на ньому за допомогою цифрового вольтметра. За законом Ома розраховувався опір зразка стрічки та питомий опір за формулою $\rho=US/Il$, де U, S, l - напруга, площа поперечно-го перетину стрічки та її довжина. У вимірюваннях температурним коефіцієнтом опору знехтувано. Основним джерелом похибки була термоелектрична ЕРС, що складала не більше 5%.

У табл. 2 наведено результати вимірювань електрофізичних властивостей зразків з мідної стрічки міцності та питомого опору при різних режимах обробки. Похибка вимірювань фізико-механічних властивостей у всіх випадках складала близько 5%.

Таблиця 2

Режим	Питомий опір, $\rho \cdot 10^{-8}$ Ом·м	σ_m [кг/мм ²]	$\sigma_{\text{м}}$ [кг/мм ²]	Відносне видовження, $\Delta l/l \cdot 100\%$
Без прокатки	1,85	20	33	120
Після звичайної прокатки	3,6	35	44	170
Прокатка з постійним струмом	2,9	30	45	122
Прокатка з імпульсним струмом	2,00	29	44	110

З табл. 2 видно, що найбільші зміни у властивостях зразків відбувалися після звичайної прокатки. Тут різко зросла твердість, питомий опір, характеристики міцності. Це добре відомий, зазвичай пов'язане зі значним збільшенням числа дислокацій та зменшенням їх рухливості. Як свідчать дані табл. 2 протікання електричного струму як постійного, так і імпульсного під час прокатки стрічки суттєво впливає на їх кінечні фізичні властивості. Зменшується твердість, межа течії, збільшується відносне видовження порівняно зі звичайною прокаткою (рис. 4).

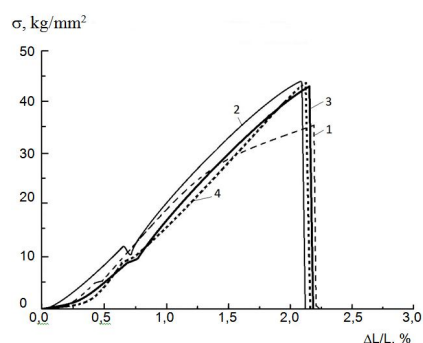


Рис. 4. 1 - вихідний зразок міді; 2 - прокатка міді без струму; 3 - прокатка міді з постійним струмом; 4 - прокатка міді з імпульсним струмом

Результати вимірювань електрофізичних властивостей зразків із мідної стрічки міцності та питомого опору.

Тут σ_m - межа течії, $\sigma_{\text{м}}$ - межа міцності.

У табл. 3-5 наведено дані вимірювань фізико-механічних властивостей різних партій мідної стрічки та різних схемах підведення струму.

Результати вимірювань електрофізичних властивостей зразків після підведення струму за схемою від валка до валка.

З табл. 3 видно, що в результаті підведення струму від валка до валка межа течії зменшується у середньому на 10 %, а межа міцності на 18% при постійному струмі та на 12 % і 23 % - при імпульсному. Питомий опір зменшується на 21% та 34% при постійному та імпульсному струмі відповідно.

Таблиця 3

Режим	Питомий опір, $\rho \cdot 10^{-8}$ Ом·м	σ_m [кг/мм ²]	$\sigma_{\text{м}}$ [кг/мм ²]	Відносне видовження, $\Delta l/l \cdot 100\%$
Без прокатки	1,85	20	33	0,5
Після звичайної прокатки	3,64	33	44	0,1
Прокатка з постійним струмом	2,88	30	36	0,6
Прокатка з імпульсним струмом	2,4	29	34	0,59

У табл. 4 зображено дані електропластичної прокатки після підведення струму за схемою 2 - до та після прокатних валків.

Таблиця 4

Режим	Питомий опір, $\rho \cdot 10^{-8}$ Ом·м	σ_m [кг/мм ²]	$\sigma_{\text{м}}$ [кг/мм ²]	Відносне видовження, $\Delta l/l \cdot 100\%$
Без прокатки	1,85	20	33	0,5
Після звичайної прокатки	1,22	38	50	0,4
Прокатка з постійним струмом	1,15	30	42	0,7
Прокатка з імпульсним струмом	1,11	29	43	0,63

З табл. 4 видно, що в результаті підведення струму до та після прокатних валків межа течії зменшується у середньому на 21%, а межа міцності на 16% за постійного струму та на 16% і 14% - імпульсного. Питомий опір зменшується на 6% та 10% при постійному та імпульсному струмі відповідно.

Після 20 переходів межа течії зменшилася на 12-14%. Результати вимірювань електрофізичних властивостей зразків після підведення струму за схемою підведення струму до та після прокатних валків.

Це свідчить про те, що пропускання електричного струму під час прокатки значно полегшує сам процес прокатки, знижуючи енерговитрати на нього. Такий ефект можна пояснити взаємодією дислокацій з електронами провідності і як наслідок збільшенням їх рухливості, зменшенням їх енергії зв'язку.

У результаті проведення дослідів на різних партіях зразків мідної стрічки було з'ясовано, що під час підведення електричного струму від валка до валка за схемою 1 в результаті електропластичної прокатки границя течії зменшується у середньому на 10-15%, а границя міцності при цьому на 15 % при постійному струмі і на 20 % при імпульсному. Було відмічено суттєве зниження питомого електричного опору стрічки. В окремих випадках питомий опір зменшувався на 25-30 %. Товщина мідної стрічки становила 30 мкм після 20 переходів.

При підведенні у зону деформування струму ковзкими контактами за схемою 2 границя течії зменшувалася на 30-50 % при постійному струмі і на 20-25 % при імпульсному. Після 20 переходів границя течії зменшувалася на 10-15 %.

Аналогічні результати поліпшення фізико-механічних властивостей були отримані у дослідах з комбінованим підведенням як постійного так і імпульсного струму за схемою 3.

Отже електропластична прокатка суттєво впливає на покращення фізико-механічних властивостей по відношенню до звичайної. При цьому зменшуються енерговитрати на процес прокатки стрічки. Найбільші зміни механічних властивостей мідної стрічки в сторону зменшення міцності та підвищення пластичності відбуваються при підведенні струму схемою 2 та 3.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведені дослідження визначення дії постійного та імпульсного електричного струму на фізико-механічні властивості мідної стрічки.

З'ясована оптимальна схема підведення постійного та імпульсного струму у зону деформації.

Показано, що під дією імпульсного струму збільшується відносне видовження зразків, збільшується границя течії та зменшується границя міцності на 15-20%.

Доцільним є розробка промислового стану ЕПО мідної стрічки та впровадження його на одному із спеціалізованих підприємств.

Список літератури

1. Спицын В.И., Троицкий О.А. Электропластическая деформация металлов. - М.: Наука, 1985. - 160 с.
2. Днестровский Н.З. Волочение цветных металлов/Н. З. Днестровский. - М.: Металлургиздат, 1954. - 268 с.
3. Громов В.Е., Зуев Л.Б., Конов Э.В., Цемермаер В.Я. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов. М.: Недра, 1996. 270 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.12

УДК 622.647

І. САЛОЇД, студент, ДВНЗ Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОВ WEB-ПРОГРАМУВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ САЙТІВ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

У даній роботі розглядаються найбільш популярні мови web-програмування, вказуються напрями їх застосування. Аналіз функціоналу мов показав, що для побудови зручного, гарно оформленого та інтерактивного сайту варто використовувати одночасно декілька мов web-програмування, кожна з яких орієнтована на певний круг вирішуваних задач.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний розвиток web-технологій вимагає від розробників сайтів створення максимально зручних та зрозумілих інтерфейсів, широкого функціоналу та гарного дизайну. Кожен відвідувач сайту прагне бачити приємний для ока сайт, де йому було б приємно знаходитися протягом певного часу і легко орієнтуватися в усіх розділах. Швидкодія також дуже важлива. Користувач бажає спілкуватися з сайтом без будь-яких затримок, щоб на кожному його дію була миттєва відповідь, тобто сайт був високо-