

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАДПРОВІДНОГО МАТЕРІАЛУ
ОБРОБКОЮ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

Мета: розробити технологічний процес виготовлення надпровідного матеріалу обробкою металів тиском прокатуванням, який дозволить збільшити інтервал температур, де електричний опір провідника падає до нуля, що відкриває можливість зробити виробництво надпровідного продукту більш масовим, простим і дешевшим.

Методи: засновані на використанні теоретичного аналізу і експериментальної перевірки прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення металознавства, механіки суцільних середовищ, теорії пластичності. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Наукова новизна полягає у виявленні способів утворення надпровідного матеріалу, що здатен працювати в умовах оточуючого природного середовища, без додаткових охолоджувачів, зосередивши зони окислів у центрі циліндричного виробу за допомогою обробки безперервно-литої заготовки поперечно-гвинтовим прокатуванням.

Практична значимість: полягає у розробці технологічного процесу з використанням валкової розливки та обробки металів тиском у прокатних валках поперечно-гвинтового прокатування, що дозволяє отримати продукт з характеристиками надпровідного матеріалу, який може працювати при температурі оточуючого середовища без додаткових охолоджувачів.

Результати: виявлено, що електричний опір провідника може падати до нуля при охолодженні його до температури нижче критичної, а також при утворенні домішок і інших дефектів структури, які виникають при пластичній деформації сталі, що зменшує її електричний опір шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металевих труб. При поперечно-гвинтовій деформації під час обтиснення сталі періодично змінними напруженнями на стиснення і розтягування, а особливо при тангенційних напруженнях на зсув, які розпушують сталь, утворюється пористість в матеріалі і формується волокниста структура, що дозволяє покращити електропровідність матеріалу.

Ключові слова: надпровідний матеріал, поперечно-гвинтове прокатування, критична температура, відсутність електроопору, дефекти кристалічної структури.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-123-127

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розвиток народного господарства і промисловості потребує більш дешевого способу виготовлення надпровідного матеріалу при створенні магнітних систем різного призначення для генерації постійних магнітних полів, наприклад, у термоядерних реакторах для утримання плазми, прискорювачах елементарних частинок, накопичувачах енергії і інших пристроях, в транспорті на магнітній подушці. Надпровідний матеріал характеризується тим, що його електричний опір зовсім зникає. Така властивість провідника спостерігається при охолодженні його до температури, нижче критичної, для чого використовують додаткові охолоджувачі, а також при утворенні домішок і інших дефектів будови, які виникають при пластичній деформації сталі, що зменшує електричний опір матеріалу шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі, яка досягається при виготовленні труб поперечно-гвинтовим прокатуванням. Тому, знайти нові, більш дешеві способи виготовлення надпровідного матеріалу та дослідити, як зменшується електричний опір в умовах обробки тиском є задача актуальна, що дозволяє застосувати більш широке використання магнітної енергії.

Аналіз досліджень і публікацій. У минулому столітті широко розповсюджувалося освоєння магнітної енергії: з'явилися автомобілі та потяги на магнітних подушках, винайдено рейкотрон – кінетична гармата – зброя майбутнього. Але широке застосування в промисловості магнітної енергії перешкоджає поки що відсутність дешевих надпровідних матеріалів, що здатні працювати при температурі оточуючого середовища. Надпровідність матеріалу – властивість багатьох провідників електричного струму, яка полягає в тому, що їх електричний опір стрімко падає до нуля при охолодженні нижче визначеної критичної температури T_k , характерної для даного матеріалу. Надпровідність знайдена в більше, ніж двадцяти п'яти металічних елементах, у великого числа сплавів і інтерметалічних сполук, а також в деяких напівпровідниках. Падіння електропровідності до нуля відбувається на протязі дуже вузького, але кінцевого інте-

рвалу температур. Ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок і інших дефектів структури. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металічних труб поперечно-гвинтовим прокатуванням. Тому, запропонувати нову технологію виготовлення надпровідного матеріалу, що дозволить спростити процес його отримання та експлуатації є задача актуальна, що потребує подальшого вивчення та удосконалення.

Основне явище надпровідності: стрибкоподібне зникнення електроопору при зниженні температури вперше спостерігав Х. Камерліт-Огнес (1911) на ртуті і платині. Він прийшов до висновку, що ртуть при $T_k = 4,2$ К переходить в новий стан, якій внаслідок незвичайних електричних властивостей можна назвати надпровідним. Дещо пізніше він знайшов, що електроопір ртуті відновлюється при включенні досить сильного магнітного поля (його називають критичним магнітним полем H_k). Пізніше було виявлено, що падіння електроопору до нуля відбувається протягом дуже вузького, але кінцевого інтервалу температур; ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок і інших дефектів структури [1].

Відсутність електроопору в надпровідному стані найпереконливіше демонструється дослідами, в яких у надпровідному кільці збуджується струм, практично не затухаючий з часом. В одному з варіантів досліду використовується два кільця з надпровідного матеріалу. Більше кільце нерухомо закріплюється, а менше – концентрично підвищується на пружній нитці таким чином, що коли нитка закручується, площини кілець утворюють між собою деякий кут в присутності магнітного поля. При виключенні магнітного поля в кільцях збуджується струм, взаємодія між якими намагається зменшити попередній кут між площинами кілець: нитка закручується, а постійність кута закручування, яке спостерігається, свідчить про те, що струми в кільцях не затухають. Такі досліди дозволили виявити, що електроопір металу в надпровідному стані менше, ніж 10^{-2} Ом·см при температурі рідкого гелію (електроопір зразків міді і срібла дорівнюється біля 10^9 Ом·см при температурі рідкого гелію). Але надпровідник не є просто ідеальним провідником, як це вважалось ще протягом більше 20 років після відкриття надпровідності [1]. В 1912 році було знайдено ще два метала, що переходять у надпровідний стан при низьких температурах: свинець та олово. В 1919 році було знайдено, що уран також є надпровідником [2]. Існування значно більшої різниці між нормальним і надпровідниковим станом металу стало очевидно після того, як німецькі фізики В. Мейснер і Р. Оксендфельд (1933 р.) виявили, що слабе магнітне поле не проникає в глибину надпровідника. Особливо важливо, що не існує незалежно від того чи було поле включено до чи після переходу металу в надпровідний стан. Надпровідники знайшли застосування при розробці і створенні в Європейському центрі ядерних досліджень (CERN, Швейцарія) Великого адронного колайдера, призначеного для зустрічного прискорення потужних протонних пучків [3]. Зараз існують складні технології виготовлення надпровідного матеріалу, які потребують дорогих вихідних матеріалів і забезпечують можливість отриманого матеріалу працювати тільки в середовищі охолоджувачів – рідкого гелію або азоту, та при низьких температурних інтервалах, що є доволі дорогим та складним.

У попередніх дослідженнях вимірюваннями виявили, що падіння електроопору навколо напівпровідної кулі і навколо кулі зі зникаючим електроопором поблизу однієї з поверхонь металічного зразку на трьох послідовних етапах досліду: а) зразок знаходиться в нормальному стані, зовнішнє поле вільно проникає в глибину металу; б) зразок охолоджується нижче температури T_k , метал став надпровідним і магнітне поле виштовхнуто з металу; в) зовнішнє поле виключено $H < 0$ при $T < T_k$, а магнітне поле $H_{en} = 0$, при цьому зникає і намагніченість надпровідника. У випадку ідеального провідника потік магнітної індукції через зразок зберігає свою величину і виникає магнітне поле, таке ж саме, як у постійного магніту: падіння електроопору до нуля відбувається на протязі дуже вузького, але кінцевого інтервалу температур. Ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок та інших дефектів структури [1].

До недоліків цього способу отримання надпровідного матеріалу можна віднести те, що електричний опір провідника падає до нуля на протязі дуже вузького інтервалу температур.

Постійно розробляються нові технології з виготовлення надпровідного матеріалу і удосконалюються існуючі. В кінці минулого століття було знайдено високотемпературні надпровідники, які мають критичну температуру 164 К. До них відносяться сполуки, що засновані на

оксидах міді. В 2015 році було встановлено новий рекорд температури, при якій досягається надпровідність. Для H_2S під тиском 100 ГПа було зафіксовано надпровідний перехід при температурі 203 К ($-70^\circ C$) [4]. Зараз відомо до двох десятків високотемпературних напівпровідників, які є купратами різних металів: ітрієвими, вісмутові, талієві, ртутні [5]. Їх перевага в тому, що можна отримувати охолоджуючі порівняно дешевим азотом, недолік цього способу – отримання надпровідника, що має малу міцність.

Попередніми дослідженнями виявлено, що при прокатуванні істотно змінюється внутрішня структура оброблюваного матеріалу. В роботах [6, 7] визначено, що регулюючи режими обтиснення можна отримати бажаний розмір зерен, які утворилися в металах та сплавах, і границь між ними. Тому нами продовжуються роботи з удосконалення технології отримання напівпровідника, що може працювати при температурі, яка відповідає кліматичним умовам оточуючого середовища, без додаткових охолоджувачів.

Постановка задачі. Розробити технологію отримання надпровідного матеріалу за допомогою обробки металів прокатуванням, яка дозволяє збільшити інтервал температур, де електричний опір провідника падає до нуля. Це забезпечить процес виробництва надпровідного продукту зробити більш масовим, простим і дешевшим.

Методика дослідження заснована на наукових положеннях металознавства та металографії, теорії обробки металів тиском, динаміки та кінематики процесу, використовувався теоретичний аналіз і експериментальна перевірка прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно – пластичної деформації. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Викладення матеріалу досліджень та результати. В дослідженнях було використано наукові положення металознавства та металографії, теорії обробки металів тиском, динаміки та кінематики процесу, використовувався теоретичний аналіз і експериментальна перевірка прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно – пластичної деформації. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Дослідженнями виявлено, що критична температура, яка забезпечує перехід провідника в стан надпровідності залежить не тільки від складу сплаву, а й від способу його виготовлення, концентрації компонентів, кристалічної модифікації тощо. Збільшення інтервалу температур, де електричний опір провідника падає до нуля, можливо при утворенні домішок і інших дефектів структури, які виникають при пластичній деформації сталі, яка зменшує її електричний опір шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металічних труб. Такими речовинами, що мають домішки є сталеві матеріали, до складу яких входять окисли заліза і кремнію, і вуглець. Ці домішки при затвердінні сталі під час її охолодження являються неметалічними включеннями і виконують роль створювачів дефектів в сталевих виробках. При поперечно-гвинтовому прокатуванні сталі, під впливом періодично змінних напружень на стиснення і розтягання, а особливо при дії тангенційних напружень на зсув, які розпушують сталь і призводять до утворення пористості та роблять структуру волокнистою, виникає можливість покращити електропровідність матеріалу [8, 9, 11, 12].

У результаті досліджень пропонується технологічний процес, який дозволяє масово і дешево виготовляти надпровідний матеріал. Така технологія засновується на обробці металів тиском з використанням поперечно-гвинтового прокатування і валкової розливки сталі. Технологічна схема виготовлення надпровідного матеріалу представлена на рис. 1.

Вихідний матеріал, що використовується – розкислена рідка сталь. Для забезпечення наявності неметалічних включень в центральній осевій частині циліндричних зливків даною технологією пропонується розкислену сталь розливати у валки-кристалізатори, які обертаються, застосовуючи валкову розливку сталі: завдяки обертанню в центрі зливка будуть зосереджуватися окисиди розкислювачів – Al_2O_3 , SiO_2 , MnO та інші, які мають температуру плавлення більшу, ніж температура плавлення сталі. Охолодження металу відбувається у валках-

кристалізаторах, де одночасно здійснюється і м'яке обтиснення металічних сплавів. При попереочно-гвинтовому прокатуванні труб зі сталевих циліндрів у їх центрі навколо осі утворюється розпушення сталі, заповнене дефектами структури – дислокаціями і порами, тобто створюються умови надпровідності. Для забезпечення зручності використання надпровідних трубок пропонується розкатати їх у стрічки, що не зашкодить їх надпровідності, особливо, якщо окремі трубки з'єднати матеріалами, що добре проводять електричний струм – мідним дротом перед розкатуванням. Це дозволить використовувати надпровідний матеріал в інтервалі температур природного оточуючого середовища, без використання охолоджувачів у термоядерних реакторах для утримання плазми, прискорювачах елементарних частинок, в накопичувачах енергії та інших пристроях, у транспорті на магнітних подушках [12].

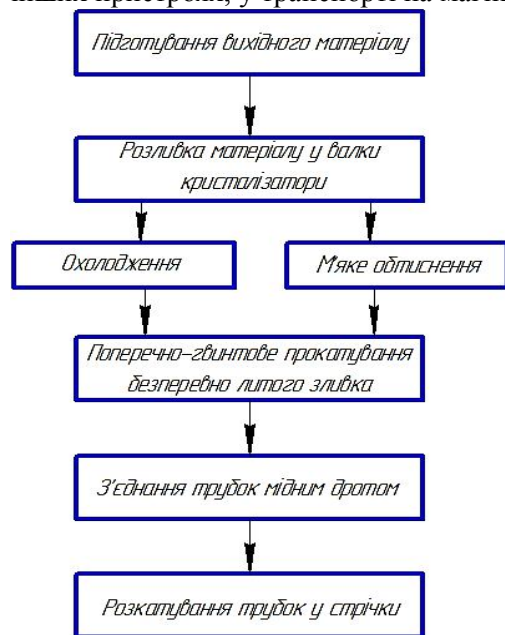


Рис. 1. Технологічна схема отримання надпровідного матеріалу

У результаті освоєння нової технології відкривається можливість отримати більш дешевий надпровідний матеріал, який можна використовувати в умовах природного навколишнього середовища. Експериментальні дослідження дозволяють визначити закономірності впливу режимів обтиснення на структуру, на зміну електропровідності матеріалу, що впливає на якість матеріалу.

Перевага такої технології в тому, що при виробництві надпровідного матеріалу використовують широко розповсюдженні недорогі матеріали, процес виробництва надпровідників порівняно простий, який виконується стандартним обладнанням, не потребує чисельних складних операцій з формування та термообробки, не має потреби в особливих умовах експлуатації. Пропонуємо спосіб дозволить отримати якісний надпровідний матеріал і збільшити його критичну температуру охолодження, не використовуючи ні які додаткові охолоджувачі, що суттєво зменшує вартість виробництва такого продукту.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

Висновки та напрямок подальших досліджень:

виконаний аналіз методологічних підходів до вивчення і удосконалення процесів утворення надпровідного матеріалу, який здатен працювати при температурі оточуючого середовища показав, що утворити такий матеріал можна зосередивши у центрі заготовки зони окислів за допомогою обробки металів прокатуванням;

визначено послідовність операції з використанням валкової розливки та обробки металів тиском у прокатних валках попереочно-гвинтового прокатування, що дозволить отримати продукт з характеристиками надпровідного матеріалу, який може працювати при температурі оточуючого середовища без додаткових охолоджувачів.

Список літератури

1. Мічіо Кайсу. Фізика майбутнього/ Переклала з англ. Анжела Кам'янець. – Львів: Літопис, 2013. – 432 с.
2. Dirk van Delft and Peter Kes [The discovery of superconductivity//Physics Today](#). – 2010. – Vol.63. – P. 38-43.
3. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 8: Создание ускорителей заряженных частиц // Электротехника і електромеханіка. – 2012. – №3. – С. 3-10.
4. А. Р. Drozdov, М. І. Eremets, І. А. Troyan, V. Ksenofontov, S. I. Shylin [Conventional super conductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system//Nature](#). – 2015. – DOI:10.1038/nature14964.
5. Транковский С. Сверхпроводимость и сверхтекучесть. – Наука и жизнь. – № 2, 2004. – С. 155.
6. Визначення впливу режиму обтиснення при прокатуванні на внутрішню будову металу/ Чубенко В.А., Хіноцька А.А. //Качество минерального сырья. Сборник научных трудов, Т. 2, Кривой Рог: Изд. центр ГВУЗ «КНУ», 2018. – С. 151-159.
7. Аморфність та міцність сталі / Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Мацшин С. //Вісник Криворізького технічного університету. –Кривий Ріг: КТУ, 2013. – Вип. 34. – С.242 – 245.
8. Г.М.Эмлашберг. Сверхпроводимость. БСЭ. – III изд.-е, 1976. – С. 55.

9. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. Пер. с английского. М.: 1971.
10. Чекмарев А.П., Дрян В.М. Теория прокатного производства. М.: Металлургия, 1978. – 255 с.
11. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Основы металлографии и пластической деформации стали/ Киев: Выща школа, 1987. – 240 с.
12. Патент України № 106236 Спосіб виготовлення надпровідного матеріалу/ М.М.Бережний, В.А. Чубенко, Ю.П. Калініченко, А.А. Хіноцька, С.О. Мацішин, А.О. Шепель, В.А. Чубенко. Заяв. 14.09.2015, опубл. 25.04.2016, бюл. №8.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК 694

С.І. САХНО, Л.О. ЯНОВА, О.В. ПИЩИКОВА, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

СУТТЄВІ ПОМИЛКИ В ДБН В.2.6-161:2017 «ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ» ТА ЇХ МОЖЛИВІ НАСЛІДКИ

Мета. Знаходження суттєвих помилок в державних будівельних нормах, що можуть призвести до небажаних наслідків при розрахунках і експлуатації конструкцій з деревини виникненню аварійних ситуацій і можливих матеріальних і людських втрат.

Методи досліджень. Дослідження велись шляхом порівняння суб'єкту дослідження ДБН В.2.6-161:2017 «ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ» з першоджерелом EN 1995-1-1 :2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings. English version».

Результати. Виявлено чисельні помилки, що значно ускладнюють, а в деяких випадках і унеможливають розрахунок конструкцій з деревини. Ситуація з використанням державного нормативу з існуючими на даний момент помилками, здатна призвести до суттєвих порушень в стійкості і безпечній експлуатації дерев'яних конструкцій і як наслідок, до виникнення аварій, пожеж, втрат.

Наукова новизна. В результаті досліджень розглянуто можливий вплив помилок ДБН В.2.6-161:2017 на надійність конструкцій, розрахованих згідно означених будівельних норм. Виявлено, що в вітчизняних нормативних документах що стосуються міцності листових матеріалів з деревини відсутні терміни, що відповідають вживаним в європейських нормативних документах термінам planar (rolling) shear та panel shear.

Практична значимість. Дослідження дозволяють привести будівельні норми ДБН В.2.6-161 у відповідність з Єврокодами, що допоможе зменшити відставання у проектуванні за Єврокодами в Україні, дозволить залучити більше міжнародних інвестицій, та зменшити складності з виходом вітчизняних виробників на ринок ЄС, запобігти руйнуванню дерев'яних будівель, споруд, конструкцій, виникненню аварійних ситуацій і людським втратам. Запобігання негативним наслідкам можливо за умов перегляду, переробки нещодавно прийнятих державних будівельних норм ДБН В.2.6-161:2017. Основним напрямком забезпечення безпеки на виробництві - є розробка на рівні державного регулювання ретельно перевіреної та безпомилкової нормативної бази.

Ключові слова: державні будівельні норми, деревина, матеріали з деревини, проектування, помилки, наслідки, руйнування споруд, травматизм, людські і матеріальні втрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-127-132

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Глобальне переосмислення навколишнього середовища і здоров'я в широкому сенсі призводить до великих змін практично в кожній галузі. Зростаюча потреба в індивідуальності та автентичності, а також пошук стабільних, екологічно сумісних, кліматично нейтральних методів життя та будівництва допомагають надати нову популярність матеріалу: дереву. Його характеристики як відновлюваної сировини, як здорового, універсального і здатного до комбінування з іншими будівельними матеріалами, гарантують, що будівництво і життя з деревом стануть набагато більш поширеними. Не в останню роль в цьому грає те, що деревина також набирає популярність завдяки своїм естетичним якостям. Як матеріал, дерево має всі переваги, які сьогодні цінуються і будуть цінуватися в майбутньому: здоровий внутрішній клімат, високий фактор хорошого відчуття, сучасний дизайн і енергетично свідомий спосіб будівництва. Все це - показник високої якості життя в очах все більшої кількості людей. Саме це веде до все ширшого застосування деревини, в якості будівельного матеріалу. На жаль в Україні будівництво з деревини стримується відсутністю сучасних нормативних документів, які можна було б використовувати для розрахунку дерев'яних конструкцій. В лютому 2018 року набули чинність [1]. Однак це не при-