

ШВИДКІСНА ЗНЕМІЦНЮВАЛЬНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ХОЛОДНОКАТАНОЇ ТОНКОЛИСТОВОЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Дощечкіна І.В., к.т.н., проф., Терещенко Д.С., аспірант, ХНАДУ

Анотація. Розроблена і досліджена швидкісна знеміцнювальна обробка холоднокатаної тонколистової сталі 08кп з використанням контактної нагріву та охолодження. Установлені оптимальні температурно - часові параметри процесів рекристалізаційного відпалу та подальшого перестарування для запобігання природного старіння при тривалому вилежуванні або транспортуванні сталі. Розроблена технологія термічної обробки холоднокатаного листа забезпечує комплекс властивостей, які відповідають підвищеним вимогам споживача для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок малого діаметра, які експлуатуються під великим тиском. Трубки із стрічкових заготовок, що були оброблені за рекомендованою технологією, успішно пройшли 100 % контроль якості в умовах виробництва.

Ключові слова: тонкий лист, холоднокатана сталь 08кп, швидкісний контактний нагрів, рекристалізаційний відпал, перестарування, природне старіння, структура, міцність, технологічна пластичність, холодна пластична деформація.

СКОРОСТНАЯ РАЗУПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Дощечкіна І.В., к.т.н., проф., Терещенко Д.С., аспірант, ХНАДУ

Аннотация. Исследована скоростная разупрочняющая обработка холоднокатаной тонколистовой стали 08кп с использованием контактного нагрева и охлаждения. Установлены оптимальные температурно - временные параметры процессов рекристаллизационного отжига и последующего перестарування для предотвращения деформационного старения Разработана технология термической обработки обеспечивает комплекс свойств, которые соответствуют регламентированной документации потребителя для изготовления двухслойных свернуто паяных трубок малого диаметра, которые эксплуатируются под большим давлением Трубки, обработанные по рекомендуемой технологии, успешно прошли 100% контроль качества в условиях производства.

Ключевые слова: тонкий лист, холоднокатаная сталь 08кп, скоростной контактный нагрев, рекристаллизационный отжиг, перестарување, деформационное старение, структура, прочность, технологическая пластичность

SPEED RELIABLE HEAT TREATMENT OF COLD-ROLLED THIN-SHEET LOW-CARBON STEEL

Doschekhina I.V., PhD, Associate Professor, Tereshchenko D.S., graduate student, KhNAHU

Annotation. High-speed softening treatment of cold-rolled thin sheet steel has been investigated 08kp using contact heating and cooling. Optimal temperature - temporary process parameters recrystallization annealing and subsequent re-aging to prevent strain aging The developed technology of heat treatment provides a set of properties that correspond to the regulated documentation of the consumer for the manufacture of two-layer coiled brazed small-diameter tubes that are operated under high pressure Tubes, processed according to the recommended technology, have successfully passed 100% control in production conditions.

Keywords: thin sheet, cold rolled steel 08kp, high-speed contact heating, recrystallization annealing, over-aging, strain aging, structure, strength, technological plasticity

Вступ

У виробництві різних видів металопродукції значне місце займає тонколистовий прокат, який завдяки своїм технологічним і експлуатаційним властивостям, а також економічним показникам дуже

широко використовується в різних галузях народного господарства для виготовлення металокопункцій і деталей, зварних труб і гнутих профілів методами холодного деформування.

Питання особливості виробництва і покращення якості цього виду металопродукції знаходяться під постійною увагою як виробників, так і споживачів. Вирішення цієї важливої проблеми передбачає розробку нових сталей, створення більш досконалого виду обладнання, впровадження нових прогресивних технологій обробки для підвищення як технологічних, так і службових характеристик.

В останні часи все ширше використовуються нові типи сталей (ДФМС, ІФ, TRIP-сталі, та інші) підвищеної міцності і достатньо пластичних без погіршення здатності до холодного деформування. Такі сталі, безумовно, необхідні для елементів силових каркасів машин. Для металопродукції, що потребує забезпечення високого рівня технологічності матеріалу для складних процесів холодного деформування при виготовленні, і не підлягає значним навантаженням при експлуатації, як і раніше, широко застосовують листові низьковуглецеві сталі.

З листового прокату сталей 08кп, 08Ю товщиною 0,5 - 0,8 мм виготовляють двошарові згорнуто паяні трубки для гідравлічних систем дорожньо-будівельних та сільськогосподарських машин, автомобілів, приборів, а також для багатьох агрегатів побутового використання. Технологія виробництва таких трубок вимагає різних видів складної холодної пластичної деформації (розтягування, розбортовування, загинання, обтиснення, сплющування з перекриттям кромки) для здійснення процесів формозміни і тому сталь повинна мати високу пластичність [1]

В той же час до двошарових згорнуто паяних трубок ставляться вимоги вібронестійкості, надійності при знакозмінних навантаженнях, здатності витримувати значний внутрішній тиск, точності геометрії, високої якості внутрішньої і зовнішньої поверхні

З урахуванням технологічних і експлуатаційних особливостей виробів в роботі вирішувалося актуальні питання забезпечення холоднокатаній сталі 08кп високої технологічної пластичності при достатній міцності та запобігання її природного старіння.

На вітчизняних металургійних комбінатах традиційним способом термічної обробки тонколистового холоднокатаного прокату сталей 08кп і 08Ю, призначених для виготовлення виробів методами холодної деформації, є рекристалізаційний відпал рулонів в садочних ковпакових печах [2,3]. Мета відпалу - отримання однорідного зерна, відновлення пластичності, забезпечення необхідної деформованості при холодній обробці металу тиском.

Однак ковпаковий спосіб знеміцнення сталі має ряд специфічних недоліків: дуже тривалий процес, значні витрати електроенергії, нерівномірність нагріву рулонів і неоднорідність структури та властивостей по довжині і ширині листа, погана якість поверхні.

Ефективною і продуктивною є для технологія швидкісної безперервної термічної обробки в протяжних агрегатах, яка об'єднує в єдиному процесі рекристалізаційний відпал та перестарювання з метою знеміцнення холоднокатаної сталі, забезпечення стабільності властивостей і запобігання природного старіння після швидкісного відпалу. Така обробка потребує всього до 20 хвилин на різних агрегатах [4,5] і таке різке скорочення часу висуває певні вимоги. Рекомендується застосовувати низьковуглецеві сталі (0,05-0,06% С), які менше схильні до деформаційного старіння після прискореного нагріву і охолодження при відпалі. Досить неоднозначні відомості стосовно температурно-часових режимів відпалу і перестарювання різних сталей.

Треба зазначити, що відпал в ковпакових печах не забезпечує потрібний рівень властивостей згідно регламентованої документації споживача ($\sigma_b = 340-350$ МПа, $\sigma_{0,2} = 300-320$ МПа, δ не менше 33 %) для виготовлення тонколистових заготовок зі сталі 08кп для двошарових згорнуто паяних трубок гідравлічних систем, які експлуатуються в умовах значного робочого тиску від 300 до 450 кгс/см². У зв'язку з цим питання розробки нових методів обробки для вирішення питання поєднання суперечливих вимог підвищення технологічної пластичності холоднокатаної сталі при одночасному збільшенні міцності і покращенні якості листа є на часі актуальним і має безумовне практичне значення.

Мета і постановка завдання

Мета роботи – забезпечити холоднокатаній тонкій смузі зі сталі 08 кп достатню міцність при підвищенні технологічної пластичності для бездефектного виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок малого діаметра.

Для реалізації мети вирішувалися наступні завдання: дослідження і визначення оптимальних температурно-часових параметрів швидкісного контактного рекристалізаційного відпалу і наступно-

го перестарювання тонких стрічкових заготовок для отримання заданого комплексу експлуатаційних властивостей та упередження природного старіння.

Матеріал і методика досліджень

Дослідженню підлягала холоднокатана маловуглецева листовая сталь 08 кп товщиною 0,6 мм серійної плавки на металургійному комбінаті. У вихідному стані після прокатки із 60 % обтиснення сталь мала текстуровану структуру із середнім розміром феритного зерна 50-60 мкм і наступними властивостями: $\sigma_b = 810$ МПа, $\sigma_{0,2} = 640$ МПа, $\delta \sim 2$ %.

Холоднокатані стрічки піддавали швидкісному рекристалізаційному відпалу при температурах 650 - 720 °С з видержкою 5, 10 та 15 с на установці з теплообмінними контактними барабанами. Стрічка з рулону, надходить у піч, в середині якої послідовно обгинає два нагрітих барабана і в результаті контакту з їх поверхнями відпалюється. На виході з печі стрічка надходить на водоохолоджувальні ролики, а потім змотується у рулон. Температура нагріву поверхні барабанів була в межах від 640 до 800 °С. Швидкість нагріву і охолодження (100- 80 °С/с відповідно) стрічки визначалася швидкістю протягування її в установці. Охолодження проводили до кімнатної температури.

Після відпалу проводили дресування металевих стрічок – прокатку з обтисненням 1,5%. Як відомо після дресування сталь має кращі витяжні властивості та якість поверхні стрічок.

З метою попередження деформаційного старіння відпалену сталь піддавали перестарюванню при температурі 400 °С. Час перістарювання варіювався від 2 с до 2 хв.

Наші попередні дослідження свідчать про недоцільність підвищення температури та більш тривалої видержки.

Ефективність відпалу та перестарювання оцінювали по мікроструктурі сталі і її механічним властивостям як безпосередньо після термічної обробки, так і після природного старіння протягом 30 діб.

Дослідження макроструктури проводили за допомогою металографічного мікроскопа UIT MicroMet – I-102 BD та електронного мікроскопів РЕМ-106.

Механічні властивості визначали після випробування на розтяг за стандартними методиками

Для підрахунку розміру зерен і визначення дисперсії в їх розподілі за величиною використана спеціальна комп'ютерна програма.

Основні результати досліджень

Як показали дослідження швидкісний відпал при 650 °С з видержкою 5 с майже повністю ліквідує текстуру деформованої сталі, але зерно фериту залишається великим – середній розмір 40 - 45 мкм зерен (рис. 1, а), якій відповідає 6 номеру шкали оцінювання розмірів зерен. Після видержки 10 с в поряд із зернами розміром 35 мкм з'являються дрібні зерна, що є наслідком початку рекристалізації (рис. 1, б). При збільшенні часу видержки до 15 с фіксується відчутне здрібнення зерна до 25 - 30 мкм. Однак зберігається різнозернистість - фіксуються зерна розміром до 10 мкм (рис. 1, в).

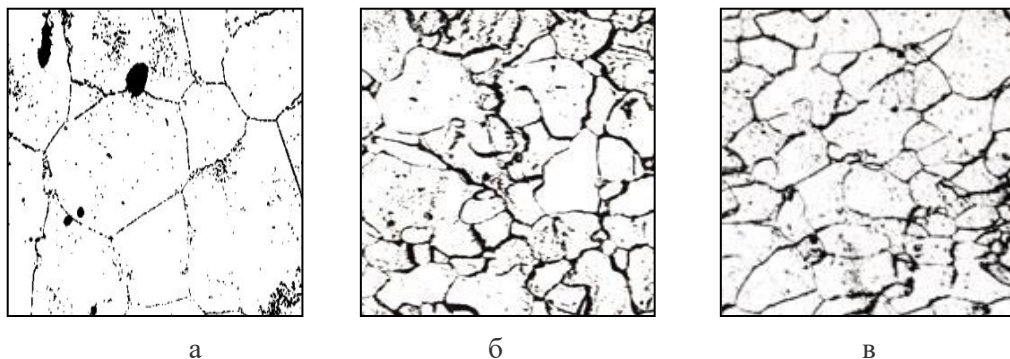
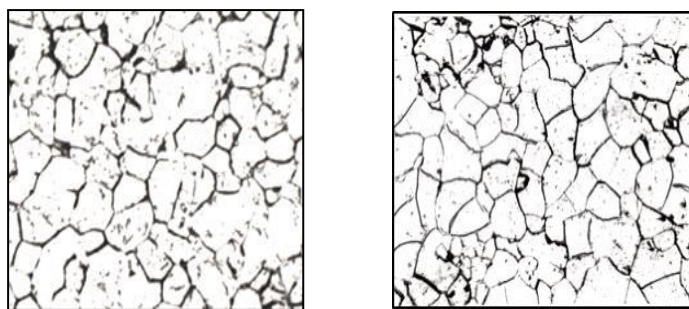


Рисунок 1 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 650 °С із видержкою:
а – 5 с; б – 10 с; в – 15 с; х 500

Відпал при температурі 700 °С з видержкою 5 с забезпечує подрібнення зерна до 23 - 25 мкм при певній неоднорідності мікроструктури за розмірами зерен (рис.2 а). Збільшення часу витримки до

15 с підвищує ступінь однорідності структури при подальшому здрібненні зерна до 18-20 мкм, що відповідає 8 номеру шкали (рис. 2, а і б).



а

б

Рисунок 2 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 700 °С із видержкою: а – 5 с ; б – 15 с; х 500

При підвищенні температури до 720 °С з видержкою 15 с більшість зерен мають розмір 11-12 мкм, але існують зерна значно більших розмірів (рис. 3).



Рисунок 3 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 720 °С із видержкою: а –15 с ; б – 15 с; х 500

Розмір зерна має значний вплив на деформівність сталі. Занадто дрібне зерно фериту зміцнює сталь, а велике призводить до зниження ударної в'язкості та окрихчення сталі. В обох випадках має місце утруднення деформування сталі.

Як свідчать літературні джерела [4,6,7] найкращим як з точки зору комплексу для обробки сталі тиском в холодному стані, так і якості поверхні є розмір зерна 7- 8 номеру.

Показники механічних властивостей, згідно з мікроструктурними дослідженнями, свідчать, що оптимальним режимом рекристалізаційного відпалу є нагрів при 700 °С із витримкою 15 с. При цьому дуже суттєво зростає пластичність (відносне подовження збільшується з 14 до 30%) і значно знижуються показники міцності (рис. 4). Підвищувати температуру недоцільно як з точки зору пластичності, так і міцності талі.

При відпалу в умовах дуже швидкого нагріву і охолодження α -твердий розчин пересичений надлишковою кількістю вуглецю та азоту, які не встигають виділитися, і метал знаходиться у нерівноважному стані. З часом при вилежуванні, транспортуванні до споживача або подальших переділах прокату коли процес протікає повільно, ферит буде позбуватися від зайвої кількості цих елементів за рахунок виділення карбідів та нітридів (рис. 5) . Відбувається деформаційне старіння сталі і, як наслідок, погіршується здатність її до деформування.

Як показали дослідження після вилежування на протязі 5 діб рекристалізованого при 700 °С з видержкою 15 с сталевого листа його відносне подовження δ зменшилося з 30 % до 28 %, а характеристики міцності значно підвищилися. По завершенню місяця пластичність δ впала до 14%, показники міцності збільшилися не суттєво (рис. 6).

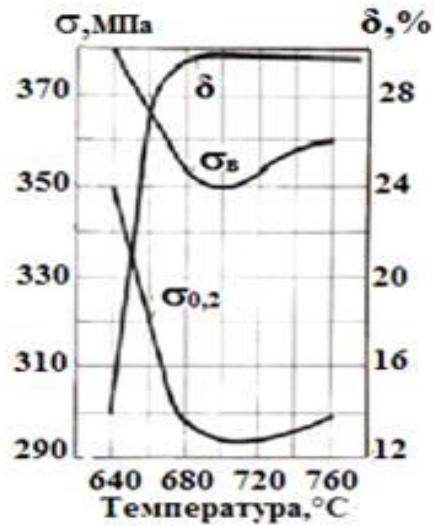


Рисунок 4 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С з видержкою 15 с та вилежування протягом доби

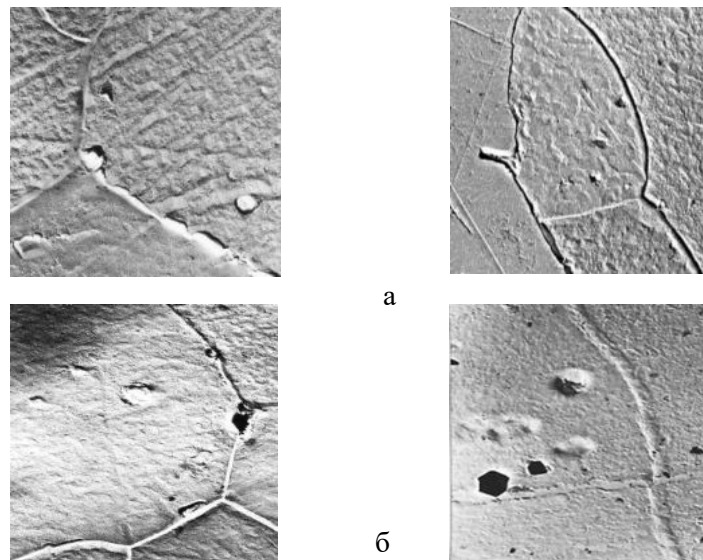


Рисунок 5 - Мікроструктура сталі 08кп після рекристалізаційного відпалу при 700 °С (видержка 15 с) та деформаційного старіння протягом 5 діб (а) і місяця (б); x10000

Як показали дослідження після вилежування на протязі 5 діб рекристалізованого при 700 °С з видержкою 15 с сталевого листа його відносне подовження δ зменшилося з 30 % до 28 %, а характеристики міцності значно підвищилися. По завершенню місяця пластичність δ впала до 14%, показники міцності збільшилися не суттєво (рис. 6).

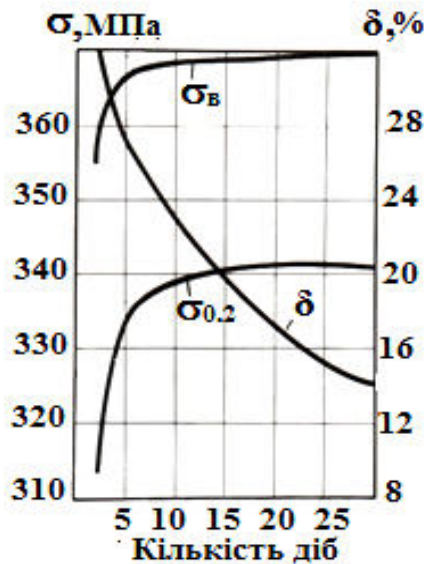


Рисунок 6 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700°C з видержкою 15 с та вилежування протягом місяця

У рекристалізованого при 750 °С з видержкою 15с листа після вилежування на протязі місяця відносне подовження δ зменшилося від 30 % до 8 %, а характеристики міцності, особливо границя текучості дуже суттєво (рис. 7)

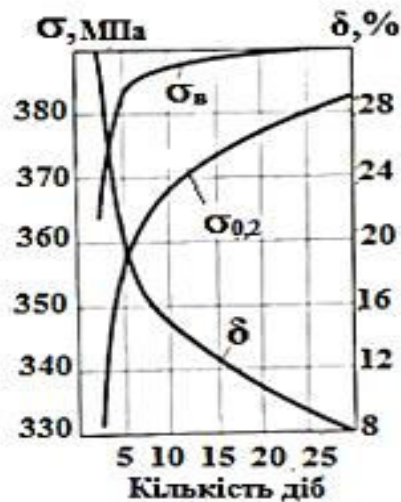


Рисунок 7 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 750 °С з видержкою 15 с вилежування протягом місяця

Як свідчать дослідження ефект старіння проявляється тим сильніше, чим більше час видержки при температурі відпалу і чим вище ця температура. Це зумовлено більш повним розчиненням вуглецю в α -фазі зі збільшенням температурно - часових параметрів відпалу.

Щоб запобігти ефекту старіння і отримати стабільні механічні властивості сталь після рекристалізаційного відпалу піддавали подальшій термообробці – перестарюванню.

Перестарювання при 400 °С з видержкою 30 с забезпечує пластичність на рівні 31%. Після п'яти діб вилежування пластичність зменшується до 30 % при незмінних показниках міцності. По закінченню 30 діб пластичність відпаленої сталі знижується до 26%, характеристики міцності мають тенденцію до підвищення (рис. 8).

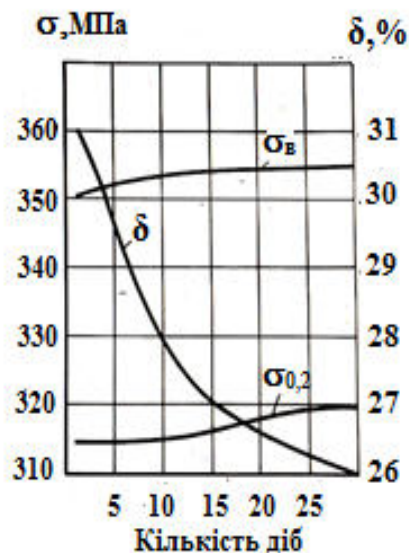


Рисунок 8 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С, (видержка 15 с), перестарювання (видержка 30 с) та природного старіння

Зі збільшенням часу видержки при перестарюванні до 2 хвилин відчутний ефект його позитивного впливу на стабілізацію процесів природного старіння (рис. 9). Так після 5 діб вилежування пластичність знизилася всього від 34,5 до 33,5 %, тимчасовий опір майже не змінився , а границя текучості збільшилася з 315 до 323 МПа. Після подальшого вилежування на протязі місяця механічні характеристики залишилися незмінними Таку стабілізацію механічних властивостей з плином часу, можна пояснити повним очищення твердого розчину від надлишкового вмісту вуглецю та шкідливих домішок і забезпеченням рівноважного стану структури.

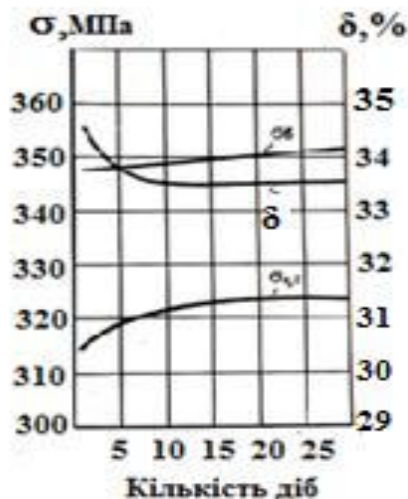


Рисунок 9 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С, (видержка 15 с), перестарювання (видержка 2 хв) та природного старіння

Стрічки, оброблені за двостадійним режимом термічної обробки, були порізані на смуги шириною для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок діаметром 8 мм, із перекриттям від 1,0 до 1,2 мм для спаювання.

При проходженні 100 % контролю спаяних трубок відзначена їх задовільна якість як за властивостями, так і за станом поверхні.

Висновки

1. Найкращим режимом контактного швидкісного ($100\text{ }^{\circ}\text{C/s}$) рекристалізаційного відпалу є нагрів до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ з видержкою 12 с, який забезпечує холоднокатаній тонколистовій сталі 08кп комплекс властивостей ($\sigma_B = 350\text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 295\text{ МПа}$, $\delta = 30\%$), що відповідає згідно ГОСТ 9045-93 категорії ВГ, тобто здатності сталі до холодного складного деформування.

2. Подальше деформаційне старіння протягом місяця відпаленої за швидкісним режимом сталі 08 кп призводить до різкого падіння пластичності (δ в 2,5 рази) і підвищення міцності. .

3. Двоступенева знеміцнювальна швидкісна термічна обробка, що складається з рекристалізаційного відпалу при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ з видержкою 12 с і подальшого перестарювання при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2 хв, підвищує як міцність, так і пластичність ($\sigma_B = \sim 350\text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 310\text{-}320\text{ МПа}$, $\delta = 33,5\%$) холоднокатаної сталі 08кп і запобігає її старінню при вилежуванні протягом одного місяця. Отримані властивості відповідають регламентованим вимогам споживача до заготовок, призначених для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок, що експлуатуються в умовах підвищеного тиску.

4. Згорнуто паяні двошарові трубки малого діаметру, що були виготовлені із сталевих смуг, оброблених за розробленими режимами, успішно пройшли контроль якості в умовах виробництва як за показниками властивостей, тмк і за якістю поверхні.

Література

1. Прудникова О. Р., Щербаков Э. Д., Лапин В.П. Выбор стали и технологии производства при изготовлении тонкостенных электросварных труб и изделий из них. Литьё и металлургия. 2011. № 3 (51). С. 216 – 221.

2. Конспект лекцій з дисципліни "Вступ до спеціальності. Розділ «Обробка металів тиском»" / С.В. Єршов. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 92 с

3. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учебное пособие, – Москва: Наука. СПб: Наука, 2005, 540 с.

4. Гладченкова Ю. С. Управление структурой и свойствами проката из низкоуглеродистых и низколегированных сталей для получения изделий методами штамповки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.01. Москва, 2016. 147 с.

5. Гусева С. С., Гурено В. Д, Зварковский Ю. Д. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. Москва: Металлургия, 1979. 224 с.

6. Матюк В. Ф. Влияние технологии производства листового проката низкоуглеродистых качественных сталей на их структурное состояние и взаимосвязь между механическими и магнитными свойствами (обзор) Неразрушающий контроль и диагностика. 2011, № 1. С. 3 – 31.

7. Уваров В. В., Носова Е. А. Структура и свойства листовых сталей для холодной штамповки: Учебное пособие. Под общ. ред. Гречникова Ф. В. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2003. 74 с.