

УДК 669.141.24

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.0.88

ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СТАЛЕВИХ ЗГОРНУТО ПАЯНИХ ТРУБОК

Дощечкіна І. В., Дуліч Д. С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розроблені оптимальні параметри швидкісних режимів розміщувального термічного оброблення заготованок із холоднокатаної листової сталі 08кп, формоутворення та індукційного паяння двошарових згорнутих трубок з наступним перестарювальним відпуском в єдиній поточній лінії, що дозволило покращити якість та підвищити продуктивність виготовлення трубок. В умовах виробництва було здійснено контроль якості за властивостями, геометричними розмірами та відсутністю непропаю трубок.

Ключові слова: сталь 08кп, холоднокатаний лист, згорнуто паяна трубка, швидкісне рекристалізаційне відпаювання, перестарювання, індукційна паяння, структура, властивості.

Вступ

Ефективним напрямом зниження металоемності є підвищення якості металопродукції, зокрема з тонколистових холоднокатаних низьковуглецевих сталей (08кп, 08пс), які використовуються в багатьох галузях промисловості для виготовлення труб у процесі холодного деформування та подальшого зварювання або паяння. В умовах багатосерійного виробництва на виготовлення труб різноманітного сортаменту та призначення витрачають майже 20 % всього об'єму листової холоднокатаної рулонної сталі, водночас частка випуску зварних та паяних труб збільшується та вже перевищує половину виробництва всіх зварних та паяних конструкцій [1].

У процесі виготовлення згорнутих двошарових трубок для їх якісного формоутворення сталь повинна мати високу технологічну пластичність, що на вітчизняних металургійних комбінатах забезпечується знеміцнювальним термічним обробленням холоднокатаного тонколистового рулонного прокату – рекристалізаційним відпаюванням у ковпакових печах. Після процесу відпаювання сталь згодом зазнає деформаційного старіння. Для отримання листа з підвищеною технологічною пластичністю зі збереженням міцності на замовлення споживача, а також для зменшення кількості браку готових листових заготованок через неякісне формоутворення виробів ковпакові печі не придатні. Для досягнення цієї мети для стрічкових заготованок із холоднокатаної сталі 08кп необхідно застосовувати технологію неперервного швидкісного рекристалізаційного відпаювання з використанням контактного на-

грівання та наступного перестарювання, що забезпечує підвищення показників міцності за одночасного збільшення характеристик пластичності, а також запобігає деформаційному старінню сталі згодом.

Під час виготовлення згорнуто паяних сталевих трубок відпаювання заготованок, їх формоутворення та паяння здійснюється на певних ділянках виробництва в різних цехах, що потребує багато часу, транспортних засобів, ручної праці та робочого персоналу. Через це, крім вирішення питання поліпшення характеристик сталі 08кп, розглядалася можливість об'єднання в єдину поточну лінію відпаювання сталі, формоутворення та паяння труб. Для цього актуальним є питання заміни паяння в муфельній печі на швидкісне індукційне паяння, що дозволить не тільки підвищити якість труб, а й суттєво збільшити продуктивність і покращити екологію під час процесу їх виготовлення.

Аналіз публікацій

Листова холоднокатана низьковуглецева сталь 08 кп застосовується в номенклатурі двошарових згорнуто-паяних труб для трубопроводів гідравлічних систем комбайнів, тракторів, автомобілів, холодильного обладнання тощо [2]. Для виготовлення трубок стрічку певної ширини (штрипе) на спеціальних станах валками згортають у трубку заготованку, а потім зводять кромки, які спаюють. Під час цих процесів холодного деформування з витягуванням використовують сталь високих показників технологічної пластичності. Для її забезпечення заготованки з холоднокатаного листового прокату піс-

ля обтиснення від 70 до 80 % для зняття наклепу піддають рекристалізаційному відпалюванню в садкових ковпакових печах періодичної дії [3, 4].

Цей вид відпалювання гарантує для листового прокату сталі 08кп певні властивості та нескладне глибоке витягування. Споживач залежно від призначення й умов експлуатації трубок висуває свої підвищені вимоги як до міцності, так і до пластичності сталі, дотримання яких можливе лише в процесі використання швидкісного рекристалізаційного відпалювання із застосуванням неперервного контактного нагрівання металевої заготовки – стрічки [5]. Швидкісні нагрівання й охолодження призводять до того, що α -твердий розчин буде значно пересичений атомами вуглецю та іншими елементами проникнення і згодом у процесі вилежування металу або за умови, якщо процеси здійснюються повільно, відбувається його природне старіння: пластичність знижується, а міцність збільшується, що суттєво погіршує деформованість металу в холодному стані. Щоб запобігти цьому після швидкісного відпалювання необхідно здійснити додаткову операцію перестарювання (короткочасне нагрівання до ~ 400 °C) [5–7], що призведе до виділення розчинених у фериті вуглецю та азоту у вигляді карбідів, нітридів, карбонітридів.

Коагуляція цих крихких фаз у процесі перестарювання сприяє «звільненню» закріплених дислокацій, збільшенню кількості систем ковзання, підвищенню пластичності та покращенню здатності до глибокого витягування під час формування виробу. Процес перестарювання відпаленої сталі також унеможливорює старіння продукції у споживача.

Крім забезпечення підвищених технологічних та експлуатаційних властивостей сталі, призначеної для згорнуто паяних трубок, актуальним є питання можливості об'єднання в єдиний процес швидкісного відпалювання, перестарювання сталі, формоутворення та спаювання трубок, які здійснюють у різних цехах підприємства і які потребують значного збільшення фінансових витрат. Отже, у статті буде досліджено ці та інші актуальні проблеми.

Мета та постановка завдання

Мета роботи – поліпшення експлуатаційних характеристик сталі 08 кп, призначеної для виготовлення згорнутих паяних трубок, та підвищення продуктивності їх виробництва через об'єднання в єдиний процес швидкі-

сне термооброблення сталі, формоутворення та паяння виробів.

Для досягнення мети були визначені такі завдання:

1 розробити параметри швидкісного неперервного рекристалізаційного відпалювання стрічкових заготовок з холоднокатаної сталі 08кп для отримання підвищених експлуатаційних властивостей, заданих споживачем;

2 замінити процес паяння в муфельній печі на короткочасне індукційне паяння СВЧ для забезпечення високої якості паяного шва без погіршення якості сталі;

3 забезпечити запобігання процесу старіння сталі 08кп після швидкісного нагрівання під паяння;

4 дослідити можливість об'єднання в єдиний процес швидкісне термооброблення сталі, формоутворення та паяння виробів.

Вирішення цих питань є актуальним і має практичне значення.

Матеріал і методики досліджень

Матеріалом для досліджень була холоднокатана листовая сталь 08кп, товщиною 0,5 мм, серійної плавки Запорізького металургійного комбінату.

У промислових умовах рулонна сталь у холоднокатаному стані для знеміцнення підлягає тривалому відпалу в ковпаковій печі, який забезпечує властивості відповідно до ГОСТ 9045–80: $\sigma_b =$ від 260 до 300 МПа, $\sigma_t = 210$ МПа, за товщини листа від 0,4 до 1,2 мм $\delta = 28$ %, що відповідає категорії ВГ – здатності до деформування з досить глибоким витягуванням.

Оскільки такі властивості сталі для згорнуто паяних трубок нижчі за вимоги споживача (σ_b у межах від 330 до 335 МПа, σ_t від 200 до 270 МПа і δ не менше ніж 36 %), то для їх забезпечення було використано швидкісне двоступеневе термічне оброблення. Холоднокатану стрічку в рулоні піддавали рекристалізаційному відпалюванню та перестарюванню на обладнанні з контактними теплообмінними барабанами в атмосфері аргону та зі швидкістю нагріву від 80 до 100 °C/с. Після цього процесу стрічка може охолоджуватись з різною швидкістю: на повітрі, повітряно-водяним спреєром, водоохолоджувальними роликками.

Згідно з даними попередніх досліджень [5–7], температура рекристалізаційного відпалювання дорівнювала 700 °C з витримкою від 5 до 15 с, а процес наступного переста-

рування здійснювали за температури 400 °С протягом 2-х хвилин. Ефективність відпалювання й перестарювання визначали за мікроструктурою сталі та за її властивостями.

З метою поєднання в одній поточній лінії усіх технологічних процесів виготовлення згорнутих двошарових трубок з мідним покриттям низькопродуктивний процес паяння в муфельній печі був замінений швидкісним індукційним паянням. Для цього була створена експериментальне обладнання, спрощена схема якого наведена на рис. 1.

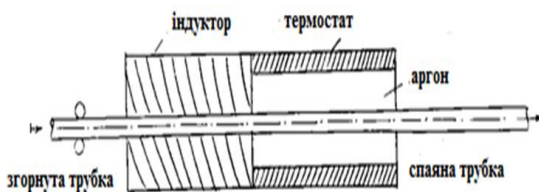


Рис. 1. Схема обладнання для індукційного паяння трубок

Багатовитковий індуктор із мідної трубки, діаметром 6 мм, у формі одношарового соленоїда під'єднувався до лампового генератора (потужність 100 кВт, частота 70 кГц). Трубка під час експериментів залишалася нерухомою. Температура її нагрівання була постійною, вона дорівнювала 1150 °С і контролювалася за допомогою оптичного пірометра. Тривалість нагрівання варіювали від 5 до 30 с, швидкість нагрівання змінювалася від 230 до 40 С/с.

Після паяння зразки трубок охолоджували в термостаті з аргонем до температури від 900 до 950 °С. Запаяну трубку піддавали процесу відпуску в інтервалі температур від 600 до 650 °С протягом 2 с.

Якість паяння визначали за еліпсністю поперечного перерізу, за видом зламу, за наявності непропаю, за оплавленням, за локальною деформацією, а також за макро- та мікроструктурою. Стан трубок після індукційного паяння порівнювали зі станом після паяння в муфельних печах за промисловою технологією.

Основні результати досліджень

Після рекристалізаційного відпалу за 700 °С з витримкою 5 с та охолодженням на повітрі фіксується зерно із середнім розміром 38 мкм, але загалом структура є різнозернистою (рис. 2, а). З підвищенням витримки до 10 с зерно α -фази внаслідок подальшого розвитку рекристалізаційних процесів здрібно-

ється до 21–23 мкм, що відповідає 7 номеру шкали оцінювання розміру зерен (ДСТУ 5639-82), а структура стає однорідною (рис. 2, б). Ці результати підтверджують ті, що були наведені в роботі [6]

Отриманий комплекс властивостей після швидкісного відпалу, зокрема $\sigma_B = 350$ МПа, $\sigma_T = 290$ МПа, $\delta = 33,5$ %, вищий за комплекс властивостей відпалу в ковпаковій печі і забезпечить бездефектне формоутворення трубок, але він нижчий за той, що має бути відповідно до вимог споживача. Крім того, за швидкісного режимі відпалу в α -твердому знаходиться надлишкова кількість вуглецю та інших домішок (азоту, кисню), сталь знаходиться не в статичному стані. Згодом під час вилежування або транспортування до споживача, метал буде прагнути перейти в статичний стан завдяки виділенню зайвих елементів, тобто твердих і крихких частинок другої фази (карбідів, нітридів).

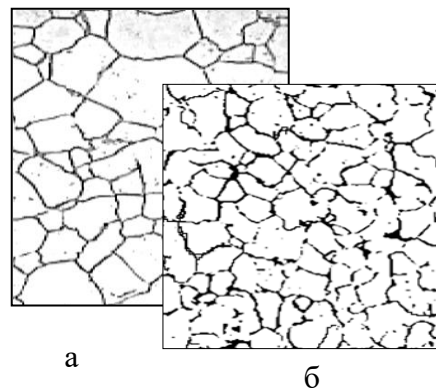


Рис. 2. Мікроструктура сталі 08 кп після швидкісного відпалу за 700 °С: а – витримка 5 с; б – 10 с; $\times 500$

Наслідком очищення твердого розчину буде підвищення характеристик міцності та значне зниження пластичності – здійснюється процес природнього деформаційного старіння. Так, після 5 діб вилежування пластичність знижується з 30 до 26 %, а після 30 діб вона дорівнюватиме 12 %, що призведе до унеможливлення формування виробів без дефектів і значної кількості бракованих заготовок для трубок.

Щоб припинити процес природнього старіння сталі, яка після швидкісного відпалу знаходиться в нерівноважному стані, її піддавали своєрідному додатковому штучному старінню – перестарюванню за 400 °С з витримкою до 2 хв згідно з попереднім дослідженням. В інтервалі витримки до 2 хв помітної зміни властивостей не відбулося, і вони

знаходяться на такому рівні: $\sigma_B = 328$ МПа, $\sigma_T = 295$ МПа, $\delta = 35$ %. Протягом наступних 5 діб пластичність знизилася з 35 до 33,8 %, тимчасовий опір залишився на тому самому рівні, а границя також майже не змінилася – збільшилась з 295 МПа до 300 МПа. Після подальшого вилежування протягом місяця механічні характеристики змінилися несуттєво: $\sigma_B = 332$ МПа, $\sigma_T = 303$ МПа, $\delta = 33,5$ %.

Згідно з ГОСТ 11249-80 труби для холодильного устаткування (застосування їх у замовника) виготовляються способом двошарового згортання сталевий відпаленої стрічки з мідним покриттям, яке надійно захищає поверхню труби від впливу зовнішнього середовища. Під час експериментів після термічного оброблення й забезпечення достатньої технологічної пластичності заготовки (штрипси трубок) згортали валками на спеціальному обладнанні в двошарову трубу, зводили кромки, які піддавали пропаяванню міддю вздовж всієї поверхні зіткнення шарів.

Мідне покриття поверхні трубок витримало всі операції формоутворювального оброблення без тріщин або відшарувань, що дозволило високоефективно здійснювати операції з паяння мідним припоєм. З метою можливості застосування швидкого індукційного паяння були здійснені необхідні дослідження.

У табл. 1 наведені дані щодо впливу тривалості та швидкості нагрівання зразків згорнутих трубок до 1150°C на якість індукційного паяння.

Таблиця 1 – Вплив параметрів високочастотного паяння на якість спаяних трубок

Час нагрівання, с	V_H , °C/c	Якість спаю, вид браку	Трубки із задовільною якістю паяння, %
5	230	термічне короблення, розшарування в зламі	0
8	144	розшарування в зламі	40
10	115	розшарування в зламі	50
12	95	задовільна	100
15	77	задовільна	100
20	60	задовільна	100
25	46	задовільна	100
30	78	задовільна	100

Згідно з таблицею, мінімальний час задовільного індукційного паяння (рис. 3, а) дорівнює 12 с (нагрівання зі швидкістю $95^\circ\text{C}/\text{c}$). Паяння протягом 12–30 с забезпечує задовільну якість паяння.

Зменшення часу нагрівання за зазначеної температури призводить до локального перегрівання зовнішнього шару трубки, локальних випарів мідного покриття, підвищення термічної деформації, а також до збільшення відстані між зовнішнім і внутрішнім шарами трубки, що унеможливує їх щільне з'єднання для паяння та призводить до непропаявання (рис. 3, б). На рисунку подані значні за довжиною ділянки, які зовсім не пропаялися.

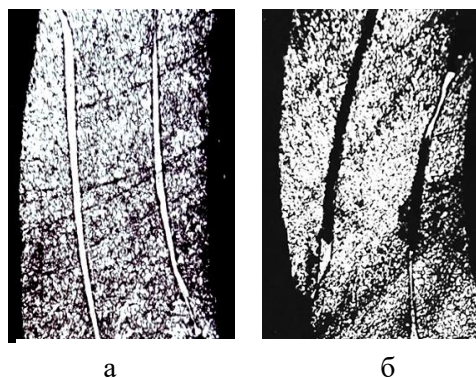


Рис. 3 Трубки після паяння СВЧ з тривалістю нагрівання до 1150°C протягом 15 с (а), та 8 с (б)

Найкращу якість паяння забезпечує високочастотне нагрівання в індукторі протягом 7–8 с з наступною витримкою в термостаті протягом 5–10 с. Після паяння трубки охолоджували на спокійному повітрі ($v_{\text{охол}} = 10^\circ\text{C}/\text{c}$) повітряним ($v_{\text{охол}} = 150^\circ\text{C}/\text{c}$) та водоповітряним спреєром ($v_{\text{охол}} = 250^\circ\text{C}/\text{c}$).

Експерименти демонструють що швидкість охолодження істотно впливає на структуру та властивості сталевих трубок. Якщо після охолодження на спокійному повітрі фіксується структура великозернистого фериту, то охолодження повітряним та водноповітряним спреєром призводить до формування бейніту.

Швидкість охолодження впливає і на розвиток процесів старіння. Найменш схильні до природного старіння трубки, що були охолоджені на спокійному повітрі.

З огляду на те, що й дуже повільне охолодження на повітрі не запобігає старінню сталі 08кп після швидкісного нагрівання, необхідним процесом завершального термічного оброблення для неприпустимості старіння

має бути відпуск. Для визначення найбільшої ефективності його здійснювали за температури 400 °С протягом 5, 10 і 20 с.

Тривалість цього процесу суттєво впливає на властивості сталі. Так, після швидкісного відпуску протягом 10 с після 30 діб вилежування характеристики міцності підвищуються до 20 МПа, а відносно подовження зменшується з 41 % до 37 %. Зі збільшенням до 30 с часу відпуску фіксується вплив на властивості сталі, зміни в межах похибки вимірювання (рис. 4).

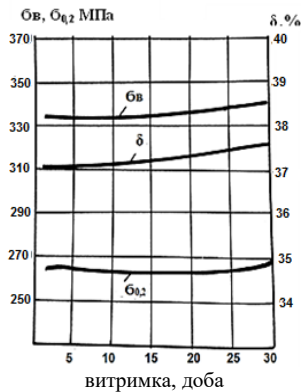


Рис. 4. Механічні властивості спаяних трубок після перестарювального відпуску (400 °С, витримка 30 с) та природного старіння протягом 30 діб

Комплекс механічних властивостей трубок після індукційного паяння та відпуску за 400 °С протягом 30 с становить $\sigma_v = 322$ МПа, $\sigma_t = 268$ МПа, $\delta = 37$ % і відповідає вимогам споживача-замовника. Крім того, таке оброблення гарантує відсутність природного старіння трубок.

Усі зразки трубок, виготовлених за цією технологією, були випробувані на сплющування та якість паяння.

Висновки

1 розроблене двостадійне безперервне швидкісне термічне оброблення (рекристалізаційне відпалювання та перестарювання) забезпечило у заготованок із холоднокатаної сталі 08кп підвищений рівень міцності в поєднанні з високими показниками пластичності ($\sigma_v = 322$ МПа, $\sigma_t = 303$ МПа, $\delta = 33,5$ %) та якісне бездефектне формоутворення двохшарових згорнутих трубок, відсутність браку та економію металу. Іншого способу покращення здатності до деформування заготованок із вже готового листа не існує.

2 рекомендований замість пічного паяння раціональний режим швидкого короткочас-

ного високочастотного паяння (температура 1150 °С, загальний час паяння 7,5 с) згорнутої трубки малого діаметра;

3 відпуск (400 °С з витримкою 30 с) після індукційного паяння забезпечує комплекс властивостей сталі, який відповідає вимогам споживача ($\sigma_v = 322$ МПа, $\sigma_t = 268$ МПа, $\delta = 37$ %) і запобігає природному старінню трубок;

4 об'єднання в одну поточну лінію швидкісного рекристалізаційного відпалу, формоутворення та індукційного паяння дозволяє суттєво підвищити експлуатаційні характеристики трубок та якість поверхні, продуктивність їх виробництва, зменшити кількість браку та втрати металу, знизити енергозатратність, скоротити транспортні витрати, обсяг ручної праці та кількість робочого персоналу.

Література

1. Мароченко С. В., Будник А. Ф., Юскаєв В. Б. Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2013. 232 с.
2. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. Київ: Основа, 2021. 400 с.
3. Сігова В. І., Юскаєв В. Б., Будник А. Ф. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2010. 318 с.
4. Проценко В. М., Бондаренко Ю. В., Явтушенко А. В. Технологія нагріву та нагрівальне обладнання в обробці металів тиском: навчально-методичний посібник Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 126 с.
5. Дощечкіна І. В., Терещенко Д. С. Поєднання в єдиному технологічному процесі швидкісного знеміцнювального термічного оброблення та алітування заготовок із листової сталі для виготовлення трубок паронагрівачів. *Вісник ХНАДУ*. 2023. Вип. 97. С. 48–57.
6. Дощечкіна І. В. Підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності холоднокатаної тонколистової низьковуглецевої сталі. *Вісник ХНАДУ*. 2020. Вип. 91. С. 165–171.
7. Дощечкіна І. В. Зменшення браку листових заготовок зі сталі 08Ю, призначених для холодного штампування виробів. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 94. С. 47–54.

References

1. Marchenko S. V., Budnyk A. F., Yuskayev V. B. Osnovy vyrobnytstva materialiv ta formoutvorennya ob'ektiv tekhnolohiy: navch. posib. Sumy: Sums'kyu derzhavnyy universytet, 2013. 232 s.

2. Bikovsky O. G. Zvaryuvannya, rizannya yakosti control pid hour virobnyctva metalokonstruktsiy: pidruchnik. Kiiv: Basis, 2021. 400 s.
3. Sigova V. I., Yuskaev V. B., Budnik A. F. Technology and design solution of thermal workshops and sites: tutorials. Sumy: SumySU, 2010. 318 s.
4. Protsenko V. M., Bondarenko Yu. V., Yavtushenko A. V. Tekhnologiya nagrivu that nagrivalne possessing in the obrobtsti metaliv a tisk: educational posibnik. Zaporizhzhya: ZNU, 2021. 126 s
5. Doshchekina I. V., Tereshchenko D. S. Soyedineniye v odnom tekhnologicheskoy protsesse uprochnyayushey termicheskoy obabotki i alitirovaniya zagotovok iz listovoy staly dlya vykhopnykh trub paronagrevateley. Vestnik KHNADU. 2023. Vyp. 97. S. 48–57.
6. Doshchekina I. V. Pidvyshchennya tekhnolohichnoyi plastychnosti pryzberezhenni mitsnosti kholodnokatanoyi tonkolystovoyinyz'kovuhletsevoyi stali. Visnyk KHNADU. 2020. Vyp. 91. S. 165–171.
7. Doshchekina I. V. Zmenschennya braku lystovyykh zahotovok zi stali 08yu pryznachenykh dlya kholodnoho shtampuvannya vyrobiv. Visnyk KHNADU. 2021. Vyp. 94. S. 47–54.

Дощечкіна Ірина Василівна, к.т.н., проф. кафедри технології металів та матеріалознавства, ХНАДУ, тел. +38 095-162-82-50, divkhadi@ukr.net,

Дуліч Дарина Владиславівна, студентка групи МС-51-23 кафедри технології металів та матеріалознавства, ХНАДУ, тел. +38 066-475-01-19, dara2001200219@gmail.com.

Improvement of performance characteristics and increase of productivity in the production of rolled-welded steel pipes

Abstract. Thin-sheet cold-rolled 08kp steel is widely used in the production of two-layer copper-plated rolled-soldered tubes by complex processes of cold deformation with metal extraction and subsequent soldering. **Problem.** For high-quality molding, steel must have high technological plasticity, which is ensured by recrystallization annealing of rolls of rolled steel in periodic garden hood furnaces. It is impossible to obtain a sheet with increased properties, to correct the lack of sheet blanks due to poor-quality

deformation, to prevent the subsequent aging of steel over time by processing in hood furnaces. During the manufacture of tubes, annealing of blanks, forming and soldering are carried out in different workshops of the enterprise, which is definitely not economical. **Goal.** The aim of the work is to improve both the technological and service characteristics of 08kp steel, intended for the manufacture of rolled soldered tubes, and to ensure the possibility of combining all processes of their production in a single line. To achieve the goal, it is necessary to develop an optimal mode of high-speed weakening heat treatment of riveted rolled steel and to study the possibility of replacing soldering in a muffle furnace with high-speed induction soldering. **Methodology.** The cold-rolled strip was subjected to continuous annealing at 700 °C and subsequent aging at 400 °C for 2 minutes using contact heating (~100 °C/s) in an argon atmosphere. Inductive soldering rolled up copper tubes were made at 1150°C and duration of heating up to 30 seconds. After soldering, the tube was cooled in a thermostat with argon to a temperature of 900–950 °C and subjected to tempering at 600–650 °C lasting up to 2 s to prevent deformation aging. **Result.** Two-stage high-speed heat treatment (recrystallization tempering and aging) guarantees 08kp steel a high level of properties for defect-free forming of small-diameter tubes. High-speed induction soldering allows you to combine all processes in one current line. **Practical value.** The unification of all tube manufacturing processes in one current line ensures the improvement of their quality, surface cleanliness, absence of aging, reduction of defects and increase of production productivity, reduction of transport costs of manual labor and the number of working personnel. Tubes manufactured using the developed technology passed 100 % incoming inspection under production conditions.

Keywords: steel 08kp, cold-rolled sheet, coiled-brazed tube, high-speed recrystallization annealing, aging, induction soldering, structure, properties.

Doshchekina I. Ph.D., Associate professor of Metal Technology and Material Science Department, KHNADU, tel. +38 095-162-22-50, divkhadi@ukr.net

Dulich D., MS-51-23 group student of Metal Technology and Materials Science Department, KHNADU, tel. +38066-475-01-19, dara2001200219@gmail.com.