

УДК 669.141.24

ШВИДКІСНИЙ ВІДПАЛ ХОЛОДНОКАТАНИХ ПОЛОС ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ⁹

Даниленко О.С., ст. гр. МС - 41-19, ХНАДУ

Аннотація. Установлені оптимальні параметри скоростного режиму неперервного рекристалізаційного отжигу тонколистового холоднокатаного прокату із деформуємих алюмінієвих сплавів (АД1, АМц, АМз3) для отримання м'якого стану зі своїми властивостями, що відповідають отриманим після традиційного розупрочнюючого отжигу в садочних печах. Визначено інтервал (від 10 до 15 %) ступеня механічного наклепу отожженого сплаву АД1 з метою отримання оптимальних показників підвищеної міцності в поєднанні з достатньою пластичністю для можливості виготовлення виробів методами холодного деформування з глибокою, а іноді і складною, витяжкою листа і гладкою якісною поверхністю.

Ключові слова: деформуємі алюмінієві сплави, тонкий лист, скоростний нагрів, рекристалізаційний отжиг, наклеп, структура, технологічна пластичність, витяжка листового штампівки.

SVIDKISNIY VIDPAL OF COLD ROLLED STRIPS IZ ALUMINUM ALLOYS

Danilenko O.S., st. of gr. MC - 41-19, KHNADU

Annotation. The optimal parameters of the high-speed mode of continuous recrystallization annealing of thin-sheet cold-rolled products from wrought aluminum alloys (AD1, AMc, AMz3) to obtain a soft state with properties corresponding to those obtained after traditional softening annealing in cage furnaces. The interval (from 10 to 15%) of the degree of mechanical hardening of the annealed AD1 alloy was determined in order to obtain optimal indicators of increased strength in combination with sufficient ductility for the possibility of manufacturing products by cold deformation methods with deep, and sometimes complex, sheet drawing and a smooth high-quality surface.

Keywords: wrought aluminum alloys, thin sheet, high-speed heating, recrystallization annealing, work hardening, structure, technological plasticity, drawing sheet forging

Вступ

В сучасній промисловості алюмінієві сплави займають перше місце за обсягом виробництва серед кольорових металів і широко використовуються майже в усіх галузях народного господарства. В якості конструкційного матеріалу для виробів, які працюють в умовах значних навантажень лівова частка припадає на холоднокатаний листовий прокат, що не підлягає термічній обробці, а зміцнюється пластичним деформуванням – це сплави систем А1–Мц та А1–Мг, які також можуть містити у невеликій кількості легувальні елементи (Fe, Si, Zn, Ti) для зміцнювального ефекта за рахунок розчину у твердій основі алюмінію та виділенню надлишкових фаз.

В залежності від потреб, і головним чином, від необхідних механічних властивостей, в різних сферах промисловості алюмінієвий прокат використовують у відпаленому, напівнагартваному та нагартваному станах. Враховуючи, що з листового холоднокатаного прокату виробляються холодним деформуванням, найбільш поширеною термічною обробкою є рекристалізаційний відпал для зняття наклепу і підвищення технологічної пластичності з ме-

⁹Робота виконана під керівництвом професора Дощечкіної І.В.

тою покращення здатності до деформування. Однак традиційний відпал в садкових печах не завжди забезпечує необхідний гарантований рівень технологічних та механічних властивостей, гарну якість поверхні заготовок для виготовлення виробів різного призначення, які зазначені у технічних умовах на продукцію або у підвищених вимогах споживача. Тому вирішення цих питань є актуальним.

Стан питання

Із тонколистового холоднокатаного прокату вироби виготовляють за допомогою технологій холодного листового штампування, яке має ряд незаперечних переваг – високий коефіцієнт використання металу, достатньо малі енерговитрати, доволі низька собівартість продукції при масовому виробництві [1,2]. Для холоднокатаних листових алюмінієвих сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, з метою підвищення пластичності і покращення штампування використовують рекристалізаційний і низький відпал рулонного прокату в садкових печах [2,3,4]. Однак такий відпал часто не забезпечує сучасних вимог до властивостей прокату, так як не враховується вплив на якість виробу тривалості нагрівання, атмосфери конструкції печі та методу управління нею. Як наслідок, у практиці підприємств, які виготовляють деталі із листових заготовок методами холодного штампування, нерідко має місце неякісне штампування заготовок, що призводить до відчутних економічних втрат, бо алюмінієві сплави мають доволі високу вартість (у порівнянні зі сплавами на основі заліза приблизно в 5 разів дорожчі). Методів покращення здатності до деформування вже готового листа не існує, бо садкові печі термічної обробки використовують рулонний прокат і для покращення якості заготовок не придатні. Також не можливо на промисловому обладнанні отримати окремі рулони прокату з підвищеними властивостями та покращеною якістю поверхні на вимогу споживачів. Як свідчить наш досвід [5] та нечисленні літературні дані [6], покращити властивості та здатність до якісного деформування і тим самим зменшити брак заготовок, призначених для холодного штампування виробів, можна шляхом застосування відпалу з безперервним швидкісним електронагрівом холоднокатаного листа контактним способом. Вирішенню цієї важливої проблеми і присвячена робота.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є розробка оптимального режиму швидкісного рекристалізаційного відпалу для підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності та покращення штампування листових холоднокатаних заготовок із деформівних алюмінієвих сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою.

Вирішувалися наступні завдання: встановити оптимальні температурно – часові параметри швидкісного безперервного відпалу готових заготовок із холоднокатаного алюмінієвого прокату для отримання необхідного рівня механічних властивостей, які б забезпечили бездефектну їх деформівність та здатність до вельми глибокого витягування при виготовленні виробів методом холодного штампування; рекомендувати раціональні енергоекономні параметри швидкісного відпалу для отримання м'якого стану та ступінь зміцнення після відпалу для забезпечення напівнагартваного на нагартваного стану заготовок для виробів в залежності від їх експлуатаційних умов та технічних вимог споживача до готової продукції.

Матеріал і методики досліджень

Як об'єкт дослідження обрані тонколистові заготовки із холоднокатаних деформівних алюмінієвих сплавів АД1, АМц, АМгЗ, що не зміцнюються термічною обробкою.

З метою знеміцнення холоднокатані стрічки товщиною 1мм, стрічки піддавали безперервному рекристалізаційному швидкісному відпалу в агрегаті з теплообмінними контактними барабанами.

Дослідження мікроструктури проводили за допомогою металографічного мікроскопа УІТ MicroMet – I-102 BD. Для виявлення мікроструктури використовували травник для протравлювання сплавів на основі алюмінію – 10 г гідроксиду натрію на 100 мл води.

Механічні властивості визначали після випробування на розтяг за стандартними методиками

Оцінку якості поверхні листа оцінювали за шорсткістю поверхні, що регламентується ГОСТ 4784-97 Шорсткість і профіль поверхні визначали за допомогою профілометра-профілографа TR 200, відповідно до стандарту ISO 4287-1997.

Здатність до витягування при холодному штампуванні листових алюмінієвих сплавів у різному стані оцінювали технологічною пробою за Еріксоном. Для випробування застосовували зразки у вигляді стрічки шириною 40 мм при товщині листа 1 мм. Довжина зразка забезпечувала видавлювання трьох лунок з відстанями між центрами не менше ширини зразка і від кінців не менше половини цього розміру.

Результати досліджень

При відпалі метал нагрівався зі швидкістю від 5 °С/с до температур від 250 до 400 °С з інтервалом в 50 °С. Видержка при температурі нагріву дорівнювала 5 хв, охолодження на повітрі.

При відпалі метал нагрівався зі швидкістю від 5 °С/с до температур від 250 до 400 °С з інтервалом в 50 °С. Видержка при температурі нагріву дорівнювала 5 хв, охолодження на повітрі.

На рис. 1 показані графіки залежності механічних властивостей досліджуваних алюмінієвих сплавів від температури нагріву під відпал. Наведені результати дозволяють виявити температури відпалу, що забезпечують поєднання властивостей міцності та пластичності, які відповідають вимогам ГОСТ 13726 – 97 (табл. 1), а саме :

- для сплаву АД1 320 °С,
- для сплаву АМц 270 °С,
- для сплаву АМг3 300 °С.

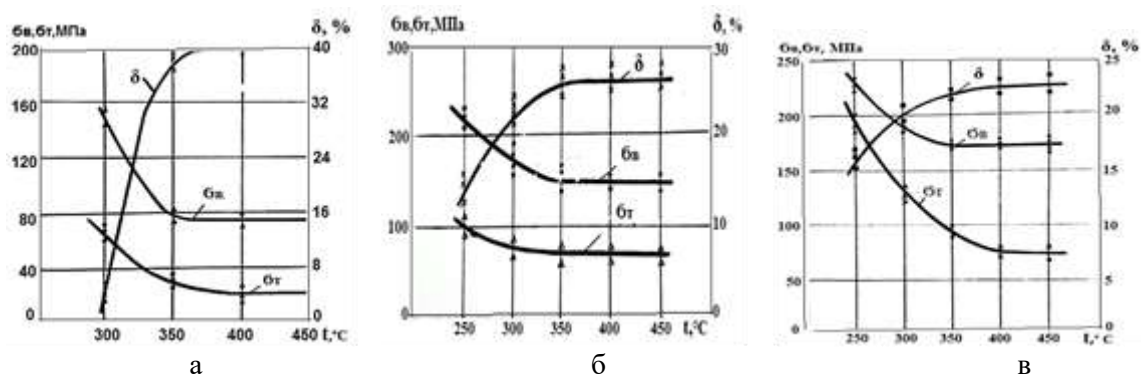


Рис. 1. Залежність механічних властивостей сплавів АД1 (а), АМц (б), АМг3(в) від температури нагріву при відпалі

Отримані після відпалу механічні властивості відповідають вимогам ГОСТ і гарантують якісне холодне штампування при виготовленні виробів.

Збільшення часу видержки від 5 до 30 хвилин при рекомендованих температурах відпалу суттєво не вплинуло на показники механічних властивостей. Металографічні дослідження також не виявили помітних змін мікроструктури сплавів, відпалених за різними режимами.

Аналіз мікроструктур показав, що у досліджуваному інтервалі видержок при рекомендованих температурах відпалу розмір зерна α – фази змінюється в межах одного номера.

Структура усіх досліджених сплавів після відпалу при визначених температурах повністю рекристалізована, дрібнозерниста, однорідна (рис. 2).

Таблиця 1 – Механічні властивості холоднокатаних алюмінієвих сплавів, що відпалені при оптимальній температурі

Сплав	Одержані після відпалу		Вимоги ГОСТ 13726 – 97	
	Бв, МПа	δ, %	Бв, МПа	δ, %
АД1	95	22	95	20
АМц	166	20	165	18
АМг3	185	18	185	15

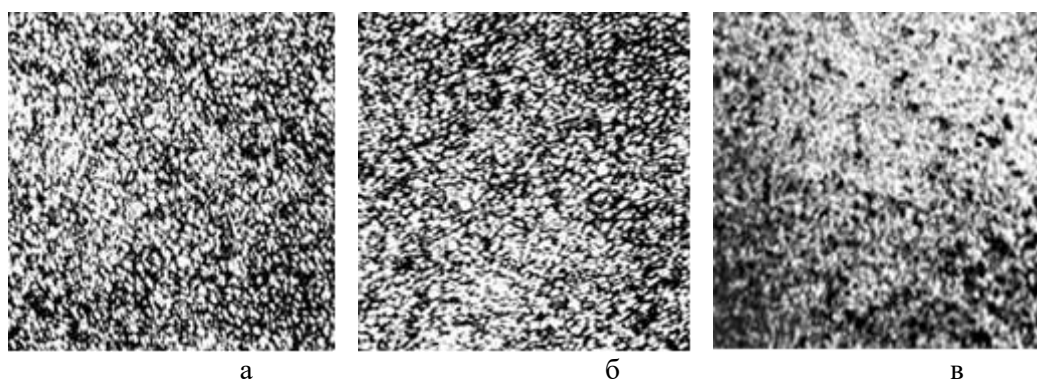


Рис. 2. Мікроструктура сплавів АД1(а), АД1 (а), АМц (б), АМг3(в) після відпалу при рекомендованих температурах з видержкою 5 хв; $\times 250$

З метою визначення впливу швидкості охолодження на властивості зразки алюмінієвих сплавів нагрівалися зі швидкістю $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, видержувалися при цій температурі протягом 5 хвилин, а потім охолоджувалися на повітрі, у воді, та з піччю. Після різних варіантів термообробки визначалася мікротвердість, значення якої наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Значення мікротвердості після різних режимів охолодження з температури нагріву $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сплав	Значення мікротвердості, Нц ₅		
	середовище охолодження		
	повітря	вода	пічч
АМц	23	24	22
АМг2	43	44	49
АМг3	24	25	43

Отримані результати показали, що швидкість охолодження практично не впливає на мікротвердість холоднокатаних алюмінієвих сплавів, які зазнали повної рекристалізації у процесі відпалу.

Для отримання гарантованого комплексу властивостей, що характеризують м'який стан досліджуваних алюмінієвих сплавів згідно ГОСТ 13726 - 97, а також якісне штампування у хо-

лодному стані, швидкісний рекристалізаційний відпал належить проводити з дотриманням енергетично економних параметрів, які наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Оптимальні параметри швидкісного рекристалізаційного відпалу холоднокатаних алюмінієвих сплавів

Сплав	Швидкість нагріву, °C/c	Температура нагріву, °C (не нижче)	Видержка, хв.	Середовище охолодження
АД1	від 4 до 5	320 - 330	5	повітря
АМц	також	270 - 280	також	також
АМг3	також	300 - 310	також	також

Треба зазначити, що згідно із стандартом "Листи з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови" поверхня листів усіх груп обробки повинна бути глянцева або матова, без тріщин, рванин, розшарування, бульбашок перепалу, плям шлакових включень. Параметр шорсткості поверхні листа повинен бути не більшим за $Ra = 1,25$ мкм згідно ГОСТ 2789. Щоб переконатися про відповідність якості поверхні листа цим вимогам була визначена шорсткість поверхні після безперервного швидкісного відпалу. Отримані профілограми свідчать, що висота рельєфу поверхні досліджених сплавів в межах $Ra = 1,18 - 1,22$ мкм.

Таким чином, проведені експерименти свідчать про доцільність швидкісного безперервного рекристалізаційного відпалу холоднокатаних стрічок із алюмінієвих сплавів товщиною від 0,8 до 1,0 мм: формується однорідна структура за довжиною та шириною полоси, більш високі характеристики міцності та пластичності порівняно з відпалом в садових печах. Крім того значно покращена якість поверхні: менша шорсткість, відсутній нагар та механічні пошкодження від транспортування, що здійснюється при швидкісному відпалі на повітряній подушці.

Для отримання відпалених заготовок з підвищеною міцністю за замовленням споживача було використане холодне пластичне деформування обтиском. При холодному деформуванні відбувається руйнування міжкристалічних прошарків та запресовування таких дефектів, як усадкові пори та раковини, що забезпечує більш щільний контакт в середині кристалітів і приводить до зміцнення металу. Механічні властивості після різного ступеня деформування відпалених досліджених сплавів ілюструє рис. 3.

Як відомо, від ступеня нагартування залежить наскільки підвищується міцність сплаву, і як зменшуються його пластичні характеристики. Як видно з рис. 1.3 найкращий комплекс властивостей забезпечуються обтискуванням від 15 до 20 %. При підвищенні рівня нагартування з більшою інтенсивністю зростає тимчасовий опір, що призводить до погіршення штампування, згинання та зниження інших технологічних характеристик металу.

Найбільш антикорозійним є сплав АД1, потім йдуть сплави алюмінію з магнієм та марганцем.

Сплав АД1 у м'якому стані має відносно високе подовження, тому його використовують для виробництва напівфабрикатів, заготовок та безлічі готових виробів (труби, резервуари, цистерни, посуд, холоднотягнуті профілі, тощо). Враховуючи, що значна кількість виробів для здійснення процесів формозміни потребують різноманітних видів складної холодної пластичної деформації (розтягування, загинання, обтиснювання, сплющування), листовий прокат в цих випадках повинен мати не тільки високу пластичність, але і здатність до глибокого витягування. Для оцінки цієї дуже важливої технологічної властивості постало питання зробити випробування на витягування за методом Еріксена.

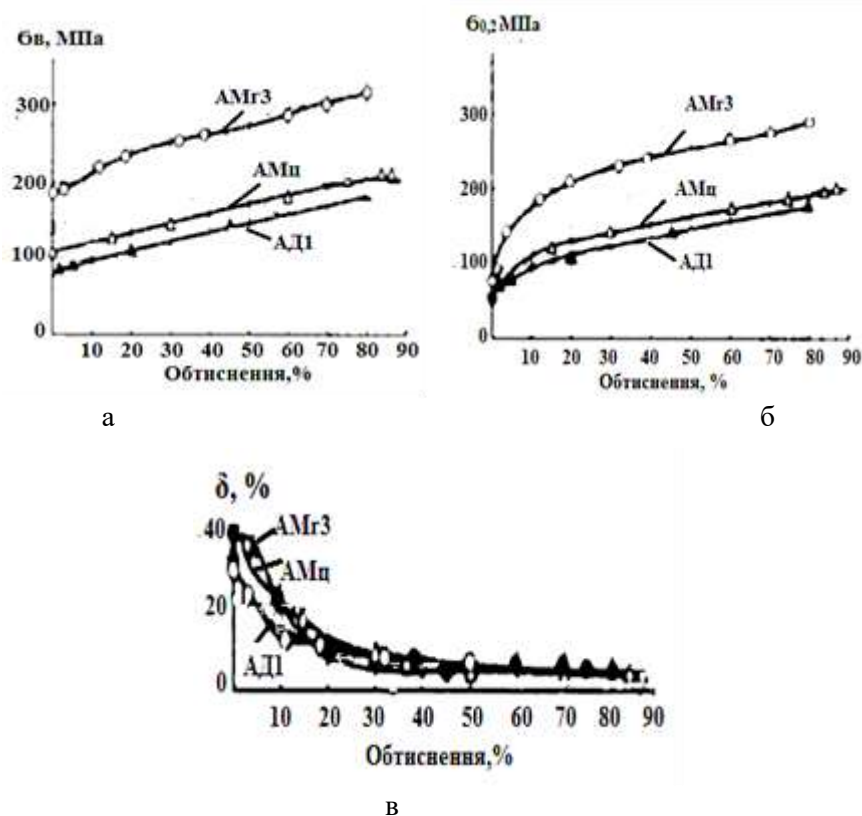


Рис. 3. Механічні властивості алюмінієвих сплавів в залежності від ступеня холодного деформування обтисненням

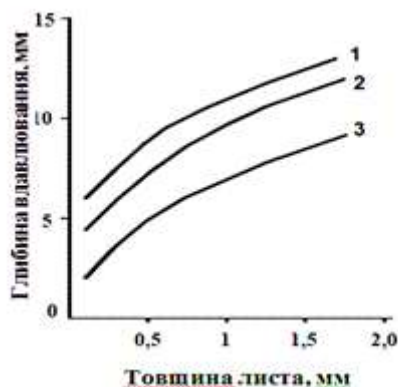
В роботі [7] наведені дані глибини видавленої за Еріксоном лунки для відпаленого алюмінієвого листа зі сплаву АД1 різної товщини, який призначений для глибокого витягування (табл. 4).

Таблиця 4 – Глибина лунки при випробуванні на видавлювання відпалених листів сплаву АД1 різної товщини

Матеріал	Глибина сферичної лунки, мм для товщини металу, мм									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Сплав листовий для глибокого витягування	7,6	8,7	9,2	9,5	9,9	10,2	10,7	11,1	11,2	12,7

Результати наших випробувань на видавлювання за Еріксоном листів із алюмінієвого сплаву АД1 у різному стані і різної товщини наведені на рис. 4.

З рис. 4 витікає, що для відпаленого листа товщиною 1 мм після швидкісного відпалу за рекомендованою технологією глибина видавленої лунки дорівнює 1,15 мм (крива 1), що перевищує показники в табл. 4 [7] і свідчить про можливість якісного холодного штампування з глибоким, і навіть складним, витягуванням.



1 – відпалений; 2 – напівнагартований (15 %);
3 – нагартований (40 %)

Рис. 4. Випробування за Еріксоном листів зі сплаву АД1 в різному стані

Для напівнагартованого на 15 % листа глибина лунки 9,8 мм (крива 2), що майже відповідає відпаленому стану металу у табл. 4 і гарантує можливість глибокого витягування при виготовленні із заготовок готових виробів методами холодної обробки тиском. Що стосується нагартованого на 40% листа, то він до такої обробки не придатний, бо глибина лунки дорівнює 6,2 мм (крива 3) і на її поверхні фіксується округла тріщина, бо так нагартований метал є крупнозернистим, тож певною мірою є більш крихким.

Висновки

1. Встановлено можливість та доцільність безперервного швидкісного рекристалізаційного відпалу холоднокатаних смугових та стрічкових заготовок зі сплавів АД1, АМг3, АМц товщиною від 0,5 до 1,2 мм з метою підвищення технологічної пластичності без втрати міцності та поліпшення холодної обробки тиском при отриманні готових виробів.

2. Розроблені раціональні енергоекономічні режими відпалу, які забезпечують холоднокатаним листовим сплавам повністю рекристалізовану дрібнозернисту структуру з найкращим поєднанням характеристик міцності і пластичності та високої якості поверхні.

3. Для відпаленого сплаву АД1, який в найбільших об'ємах використовується для напівфабрикатів у м'якому стані, встановлено інтервал ступеню (від 10 до 15 %) подальшого механічного нагартування з метою одержання показників підвищеної міцності в поєднанні з достатньою пластичністю, чого вимагає якісне виготовлення виробів методами холодної деформації з глибоким, а іноді і складним витягуванням.

4. Можливість легкого регулювання температурного режиму безперервного відпалу, а також рівномірний прогрів листа (полоси) дозволяють отримати метал із різним ступенем нагартування (наклепу) шляхом часткового знеміцнення холоднокатаного металу за рахунок неповної рекристалізації, чого не можливо досягти відпалом у садових печах.

5. Швидкісний безперервний рекристалізаційний відпал за розробленими температурно - часовими параметрами можна рекомендувати для покращення штампування заготовок із вже готового листа деформівних алюмінієвих сплавів, що приведе до зменшення браку, економії металу і зниження економічних витрат при виготовленні тонколистової продукції холодної деформацією із глибоким і складним витягуванням.

Література

1. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецкий, О.І. Некоз та ін.. 2-ге вид. – К.: Вища шк. 2002. – 374 с.

2. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій. Ч.ІІ, Металознавство / Є.Г. Афтандіянц, О. В. Зазимко, К.Г. Лопатько, А.В. Поліщук. – Київ: НУБіП, 2017. – 322 с
3. Куцова В.З. Алюміній та сплави на його основі: Навчальний посібник. для студ. техн. вузів / В. З. Куцова, Н. Е. Погребна, Т. С. Хохлова, Т.М. Миронова, О.А. Носко; Нац. металург. акад. України. – Дніпропетровськ: Вид-ство «Пороги», 2004. – 135 с.
4. Кольорові метали та сплави : підручник для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підготовки «Інженерне матеріалознавство» / В.П. Горбатенко, ДонНТУ, Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 300 с.
5. Дощечкіна І.В. Зменшення браку листових заготовок зі сталі 08ю призначених для холодного штампування виробів // Вісник ХНАДУ. - 2021.-№94.- С. 47-54.
6. Jones W. Investigation of the effect of recrystallization annealing on the structure and mechanical properties of cold-rolled sheets of aluminum and its alloys.– 2000.
7. Vilitok Y.A.Statistical processing of the results of drawing studies by the Eriksen metho. Technical sciences, issue 2, 2019