

Результати отримані на основі розв'язування рівнянь (4), (7-11) і пакету прикладних програм ANALYSIS. Отримані результати досліджень дають змогу більш раціонально підібрати геометричні та жорсткісні параметри рамної конструкції причіпних штангових обприскувачів при проектуванні.

Література

1. Тимошенко С.П., Гудер Дж. Теория упругости. – М.: Наука. 1979. – 560 с.
2. Гапчук П., Вікович І., Дівегов Б. Застосування дискретно-континуальних дискретних схем для визначення вібронапружень у механічних конструкціях// Труды Одесского политехнического университета. – 1999, вып. 2(8). – С. 34-41.

УДК 669.715: 536.485 А.Т. Пічухін¹ к.т.н., З.О. Сірик² к.т.н., О.Г. Лук'яненко¹ к.т.н., І.П. Лаушник², к.ф.-м.н.

ВПЛИВ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ АЛЮМІНІЄВО-ЛІТІЄВИХ СПЛАВІВ

Досліджено вплив низьких температур (293 К, 143 К, 77 К) на міцнісні якості та втомну довговічність сплавів 1201 (Al – 6,2Cu – 0,3Mn), 1440 (Al – 1,6Cu – 0,9Mg – 2,3Li), 1451 (Al – 2,9Cu – 1,4Li), 1460 (Al – 3,0Cu – 2,2Li) після термообробки (загартування та старіння). Встановлено, що для усіх алюмінієво-літєвих сплавів характерно зростання міцності і відносного видовження зі зниженням температури дослідження при одночасному зростанні втомної довговічності сплавів. Згідно до отриманих результатів найбільш оптимальним комплексом механічних властивостей у діапазоні температур 143...77 К є сплав 1460, що дозволяє рекомендувати його для виготовлення виробів, котрі працюють при криогенних температурах.

A. T. Pichuhin, Z. O. Siryk, A. G. Luk'yanenko, I. P. Lausznyk

Influence of low temperatures on aluminum-lithium alloys' strength properties and fatigue life

The influence of low temperatures (293 K, 143 K, 77 K) on strength properties and low-cycle fatigue of alloys 1201 (Al – 6,2Cu – 0,3Mn), 1440 (Al – 1,6Cu – 0,9Mg – 2,3Li), 1451 (Al – 2,9Cu – 1,4Li), 1460 (Al – 3,0Cu – 2,2Li) after a temper and aging was explored. It is established, for all aluminum-lithium alloys the characteristic of strength and percent elongation with fall of tests' temperature is increasing. At the same time the low-cycle fatigue of alloys is increasing too. According to obtained results optimal by a complex of mechanical characteristics in temperature range 77...143 K has alloy 1460. That allows to recommend alloy 1460 for manufacture of articles, which are used at the cryogenic temperatures.

Успіхи, які досягнуті в останню чверть сторіччя в області дослідження та освоєння космосу, в атомній енергетиці, будівництві гігантських наземних резервуарів для зберігання скраплених газів та контейнерів для їх транспортування, у ряді інших областей техніки нерозривно пов'язані з проблемами правильного вибору та використання конструкційних матеріалів за низьких температур [1-3].

Робота виробів в умовах криогенних температур потребує вибору матеріалів, яким притаманні висока міцність, запас пластичності, опір утомі при значних переохолодженнях. З цієї точки зору алюмінієві сплави мають значні перспективи для використання за низьких температур в авіакосмічній та ракетній техніці, а та-

кож у конструкціях наземних резервуарів для зберігання та транспортування скраплених газів, що пояснюється співвідношенням міцності та пластичності цих матеріалів із мінімальною можливою масою.

Найбільші перспективи для застосування у цих галузях мають високоміцні алюмінієво-літєві сплави – новий клас алюмінієвих сплавів із підвищеною питомою міцністю. На даний час розроблені промислові сплави з літєм трьох систем: Al – Li – Mg; Al – Li – Cu – Mg та Al – Li – Cu. Цим сплавам притаманна понижена густина 2,52 g/mm³ та підвищений модуль пружності 80 000 МПа [4, 5].

До сплавів Al – Li – Mg належать сплави 1420 декількох модифікацій та сплави 1421, 1423 із скандієм. Усі сплави системи Al – Li – Mg мають питому масу на 10...12 % нижчу, ніж сплав Д16 (2024), відмінну корозійну тривкість, добру зварюваність, середню міцність, малу швидкість розвитку втомної тріщини, високий опір малоцикловим навантаженням. Після певної термопластичної обробки вони володіють надпластичністю.

До системи Al – Li – Cu – Mg належать сплави 1430 та 1441. Найбільшого застосування знайшов сплав 1441; з усіх алюмінієво-літєвих сплавів він володіє найкращою технологічністю, відмінно катається методом гарячої та холодної рулонної прокатки товщиною до 0,5...0,6 мм. До системи Al – Li – Cu належать сплави 1450 та 1460 (густина 2,63 g/mm³, модуль пружності 97 000 МПа).

З метою визначення перспективи використання Al – Li сплавів для конструкцій, які працюють за понижених температур, досліджували вплив низьких температур (293, 143, 77 К) на міцнісні властивості та втомну довговічність сплавів 1201 (Al – 6,2 Cu – 0,3 Mn), 1440 (Al – 1,6 Cu – 0,9 Mg – 2,3 Li), 1451 (Al – 2,9 Cu – 1,4 Li -), 1460 (Al – 3,0 Cu – 2,2 Li) після зміцнювальної термообробки (гартування та старіння). Сплав 1201 системи Al – Cu – Mn був обраний для порівняння як такий, що використовується для виробів криогенної техніки. Міцність сплавів визначали за умов однобічного розтягу зі швидкістю 0,08 mm/s, а втомну довговічність – методом малоциклового ($v = 0,5$ Hz) чистого згину із заданою амплітудою деформації. Досліди за температури 143 К проводили з охолодженням зразків у випарах рідкого азоту, а за температури 77 К – шляхом занурення захватів із зразками у рідкий азот. Режими термічної обробки сплавів:

- сплав 1201 – гартування у воді 808 К, 20 хвилин + старіння 463 К, 28 годин;
- сплав 1440 – гартування у воді 803 К, 10 хвилин + старіння 443 К, 10 годин;
- сплав 1451 – гартування у воді 793 К, 20 хвилин + старіння 398 К, 6 годин + 433 К, 20 годин;
- сплав 1460 – гартування у воді 783 К, 20 хвилин + старіння 433 К, 28 годин.

На рис. 1 наведена структура алюмінієвих сплавів після термообробки. Структура сплаву 1201 складається в основному з твердого розчину α – міді в алюмінії та надлишкової фази CuAl_2 . Структура алюмінієво-літєвих сплавів після термічної обробки становила твердий розчин легувальних елементів в алюмінії з виділенням сферичних зміцнювальних фаз. У процесі старіння виділяються частинки фази структури Li_2 на основі (Al_3Li) – δ' -фаза та (Al_3Zr) – β' -фаза. Окрім того спостерігається виділення метастабільних фаз типу θ' (Al_2Cu) [2, 6].

Міцнісні властивості, відносне видовження та втомна довговічність досліджуваних сплавів за низьких температур наведені у табл. 1, а їх графічна інтерпретація – на рис. 2.

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

² Львівський факультет Державного ліпнотровського технічного університету залізничного транспорту, Львів

Згідно з отриманими результатами для всіх досліджуваних алюмінієво-літєвих сплавів характерним є зростання відносного видовження із зниженням температури досліджень. Найбільш інтенсивне зростання пластичності спостерігається у діапазоні температур 143...77 К.

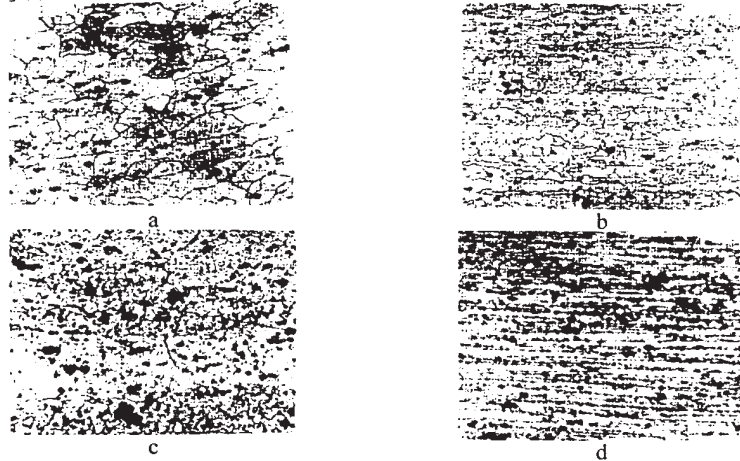


Рис. 1. Структура алюмінієвих сплавів після зміцнювальної термічної обробки: x500:3 а) сплав 1201; б) сплав 1440; в) сплав 1451; г) сплав 1460

Якщо за температури 143 К відносне видовження зростає на 10...30 %, то за 77 К – на 50...100 %. Аналогічна тенденція спостерігається й для міцнісних властивостей сплавів, які у діапазоні температур 293...143 К змінюються незначно для сплавів 1440 та 1440 і, навіть, дещо знижуються для сплаву 1451. Однак із пониженням температури досліджень до 77 К для всіх сплавів σ_b та $\sigma_{0,2}$ зростають на 18...30 %.

Табл. 1. Міцнісні властивості алюмінієвих сплавів залежно від температури випробувань

Сплав	Характеристика	Температура випробувань, К		
		77	143	293
1201	σ_b , МПа	495 ± 2	451 ± 3	392 ± 5
	$\sigma_{0,2}$, МПа	341 ± 7	335 ± 4	285 ± 9
	δ , %	$18,5 \pm 0,8$	$17,0 \pm 1,0$	$13,5 \pm 0,9$
1440	σ_b , МПа	544 ± 30	500 ± 2	461 ± 13
	$\sigma_{0,2}$, МПа	447 ± 28	415 ± 18	393 ± 35
	δ , %	$14,5 \pm 0,6$	$10,0 \pm 1,5$	$7,5 \pm 1,0$
1451	σ_b , МПа	495 ± 2	289 ± 2	377 ± 2
	$\sigma_{0,2}$, МПа	392 ± 10	218 ± 2	291 ± 6
	δ , %	$24,0 \pm 0,7$	$17,0 \pm 1,0$	$16,0 \pm 0,9$
1460	σ_b , МПа	745 ± 24	598 ± 74	603 ± 2
	$\sigma_{0,2}$, МПа	673 ± 23	564 ± 69	556 ± 2
	δ , %	$9,0 \pm 0,1$	$5,4 \pm 1,4$	$4,6 \pm 0,1$

Алюміній за кристалічною будовою належить до металів із гранецентрованою кубічною ґраткою, які не мають схильності до окрихлення за низьких темпе-

ратур, зберігають пластичність аж до температури 4 К за умов достатньої пластичності за кімнатної температури [3]. Відповідність між кристалічною структурою та схильністю до низькотемпературного окрихлення – не випадковість. Дислокаційна теорія дає цьому явищу таке пояснення. У гранецентрованих металах із достатнім числом площин ковзання, які діють таким чином, що атоми включень не є гальмом для руху дислокацій, низькотемпературного окрихлення не відбувається.

Більш значне підвищення пластичності (на 50...95 %) алюміній-літєвих сплавів з пониженням температури випробування з 293 К до 77 К порівняно із сплавом 1201 (на 35 %) пов'язано зі впливом легування літєм на умови деформування металу.

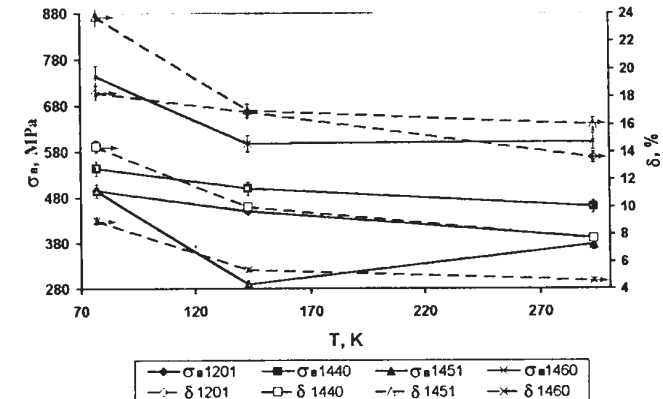


Рис. 2. Температурна залежність механічних властивостей алюмінієвих сплавів

Енергія взаємодії між літєм та міддю значно перевищує енергію взаємодії між алюмінієм та міддю. Тому у процесі старіння алюмінієво-літєвих сплавів виділення метастабільних фаз типу θ' (Al_2Cu) мають значно меншу товщину порівняно з аналогічними виділеннями у сплавах системи Al – Cu, що зумовлено утворенням навколо пластин θ' -фази оболонки з δ' -фази (Al_3Li) – "ефект змочування" – який перешкоджає росту виділень θ' -фази у товщину. Частинки фази структури $Li_2 - \delta'$, β' , композитні частинки θ'/δ' сприяють рівномірному розподілу деформаційних напружень, а відтак, і однорідному розвитку деформації, що супроводжується розблокуванням стиків зерна та заліковуванням дефектів у зонах зсуву. У результаті матеріал пластифікується [6].

Одночасно із зростанням міцності та пластичності зниження температури випробування веде до збільшення втомної довговічності сплавів (див. табл. 2).

За високої амплітуди деформації (2,2 %) зміна втомної довговічності з пониженням температури іспитів корелює з температурною залежністю міцнісних властивостей сплавів, а за середньої амплітуди деформації (1,5 %) спостерігається збільшення кількості циклів до руйнування сплавів при малоциклового чистому згині зі зниженням температури у всьому досліджуваному діапазоні (293...77 К), тобто можна стверджувати про кореляцію температурних залежностей втомної довговічності та пластичності сплавів. Найбільш суттєво (на 500 %) за температури 77 К та деформації 1,5 % (максимальна амплітуда деформації, яку допускають за умов короткочасного навантаження реальних конструкцій) зростає втомна довговічність сплаву 1460, при цьому й її абсолютні значення найбільші.

Табл. 2. Малоциклова довговічність алюмінієвих сплавів залежно від температури випробувань

Сплав	Температура випробувань, К	Кількість циклів до руйнування (N) за амплітуди деформації ϵ_d , %	
		2,2	1,5
1201	77	840 $\pm$ 60	1790 $\pm$ 290
	143	400 $\pm$ 30	1630 $\pm$ 330
	293	430 $\pm$ 15	960 $\pm$ 70
1440	77	360 $\pm$ 10	990 $\pm$ 80
	143	200 $\pm$ 30	960 $\pm$ 150
	293	100 $\pm$ 30	380 $\pm$ 10
1451	77	930 $\pm$ 110	1820 $\pm$ 120
	143	450 $\pm$ 20	1390 $\pm$ 70
	293	460 $\pm$ 110	1110 $\pm$ 60
1460	77	255 $\pm$ 30	2430 $\pm$ 500
	143	150 $\pm$ 50	810 $\pm$ 90
	293	200 $\pm$ 30	490 $\pm$ 70

Згідно отриманих результатів найбільш оптимальним комплексом міцнісних, втомних властивостей та пластичності у діапазоні температур 143...77 К володіє сплав 1460, що дозволяє рекомендувати його для виготовлення виробів, що працюють за умов криогенних температур.

Література

1. Алюминиевые сплавы при низких температурах/ Пер. с англ. под ред. И.Н. Фридляндера. – М: Металлургия, 1967. – 292 с.
2. Кишкин С.Т. Металловедение алюминевых сплавов. – М: Наука, 1985. – 238 с.
3. Механические свойства конструкционных материалов при низких температурах/ Пер. с англ. под ред. И.Н. Фридляндера. – М: Металлургия, 1983. – 429 с.
4. Фридляндер И.Н. Конструкционные алюминиево-литиевые сплавы// Металловед и терм. обраб. – 1990. – №4. – С. 2-8.
5. Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы для авиакосмической техники. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. – К.: Наук. думка, 1998. – С. 297-306.
6. Алюминий-литиевые сплавы. Структура и свойства/ И. Н. Фридляндер, К. В. Чуистов, А. Л. Березина, Н. Н. Колобнев. – К: Наук. думка, 1992. – 192 с.

УДК 674.047

Аспір. А.В. Полоз, І.А. Соколовський – УкрДЛТУ

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ ВИДІВ КОНВЕКТИВНОГО СПОСОБУ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Дана характеристика різних видів конвективного способу сушіння пиломатеріалів. Запропоновано критерії ефективності проведення процесу сушіння і дано математичний опис основним критеріям.

А.В. Полоз, І.А. Sokolovsky – USUFWT

Effectiveness of different methods of sawn timbers drying analyses

Given description of different appearances convective of saw timbers drying method. Offered the drying process taking effectiveness criterions and given mathematical description to basic criterions.

Конвективний спосіб сушіння деревини поділяють на два основні види: конвективно-атмосферний та конвективно-тепловий. Конвективно-атмосферне су-

шіння проводиться на відкритих складах або закритих приміщеннях з використанням теплоти атмосферного повітря. Конвективно-теплове сушіння можна поділити на такі підвиди: пароповітряне, при якому тепло передається до матеріалу конвективним способом від нагрітого атмосферного повітря (пароповітряної суміші); газове, з використанням як агента обробки топкових газів; парове, з використанням як агента обробки перегрітої пари або пари органічних речовин; рідинне, з використанням як агента обробки розчинів гідрофільних рідин або розплавів гідрофобних речовин; ротаційне, при якому додатково використовується відцентрова сила обертового руху; вакуумне, зі застосуванням різних способів нагрівання деревини; адсорбційне, з використанням для висушування агента обробки різних адсорбентів (солей, спиртів); конденсаційне, з використанням різних типів кондиціонерів, які висушують агент обробки.

Атмосферне сушіння пиломатеріалів відносять до конвективних процесів. Сам процес вологовіддачі є нестационарним і характеризується складними явищами перенесення тепла і вологи. Головна особливість атмосферного сушіння полягає у тому, що його технологія базується на максимальному використанні сушильного потенціалу атмосферного повітря. Поверхня матеріалу, яка омивається ненасиченим повітрям, втрачає вологу. Кількість випаровуваної вологи прямопропорційна площі поверхні випаровування та ступеню сухості повітря і обернено пропорційна тиску повітря (закон Дальтона). Другою особливістю атмосферного сушіння є сезонність процесу. Чим тривалішим і активнішим є сушильний сезон, тим ефективнішим є застосування атмосферного сушіння. Третя особливість атмосферного сушіння – низька температура сушильного агента ($t_c=5...30$ °C). При малій інтенсивності атмосферного сушіння існує ймовірність пошкодження деревини грибами. З цією метою процес сушіння необхідно інтенсифікувати за рахунок розрідженого укладання матеріалу або за рахунок продування штабелів матеріалу вентиляторними установками. Процес атмосферного сушіння є малокерованим, тому потрібно звернути увагу на розміщення штабелів відносно напрямку пануючих вітрів, їх кількості для створення своєрідного мікроклімату, щільності укладання штабелів залежно від породи деревини, товщини пиломатеріалів, клімату даної місцевості і сезону. Атмосферне сушіння пиломатеріалів, як правило, поєднують з тепловим для досягнення заданої кінцевої вологості матеріалу.

Промисловість України використовує, в основному, пароповітряні сушильні камери періодичної дії. Їх кількість становить близько 90...95 % від загальної кількості сушарок. Решта припадає на інші типи сушарок: вакуумні, різних модифікацій та комбінаціями способів нагрівання деревини; конденсаційні; аеродинамічні; сушарки з використанням високо- та надвисокочастотного електромагнітного поля.

Як відомо, вакуумний спосіб сушіння базується на створенні градієнту тиску у деревині (dp/dx). Другим важливим фактором є те, що при пониженні тиску зменшується температура кипіння води. Однак, вакуумпроникність деревини є не вивченим аспектом будови деревини; товщини і вологості пиломатеріалів; періоду процесу сушіння та її залежності від інших факторів. За даними досліджень А.О. Горяєва [1], вакуумпроникність деревини становить близько 1мм за годину. Зворотна величина – проникливість деревини газами та рідинами (під тиском до 1МПа) є ще меншою у декілька разів. Таким чином, рух вологи за рахунок моляр-