

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ КАЛЬЦИЕМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВ СПЛАВА В-1341

О.Е. Грушко, М.А. Гуреева

В данной работе рассмотрено влияние микролегирования кальцием на текстуру алюминиевых сплавов Al-Mg-Li и Al-Mg-Si-Cu. Приведены механические свойства при статических и динамических нагрузках, усталостные характеристики, трещиностойкость и жаропрочность листов сплава В-1341 с регламентированной рекристаллизованной структурой в состоянии Т1. Свойства листов определены в том числе и после воздействия длительных нагревов до 100...150 °С с выдержками 10...1000 ч. Приведены результаты исследования свариваемости листов сплава В-1341 при аргодуговой, лазерной сварке и сварке трением с перемешиванием.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, сплавы системы Al-Mg-Si-Cu, микролегирование, кальций, технологические свойства, свариваемость.

Введение

Алюминиевые сплавы широко используются в различных областях экономики – в строительстве, самолето- и судостроении, для железнодорожной отрасли. Особый интерес представляет возможность использования алюминиевых деформированных сплавов для корпусных деталей автомобилей. В настоящее время зарубежные фирмы для корпусных деталей автомобилей используют листы сплавов серии бxxx системы Al-Mg-Si.

Однако, эти сплавы склонны к возникновению кристаллизационных трещин при литье и сварке плавлением, а также разнотекстурности листов с выраженной текстурой рекристаллизации, что не позволяет получать детали с хорошей поверхностью.

Микролегирование – введение в металл или в сплав небольшого количества легирующих добавок, общая масса которых не должна превышать 0,1 % массы исходного металла или сплава.

Роль малых добавок при микролегировании проявляется в их преимущественном воздействии на сплав в твердом состоянии (образование твердого раствора внедрения или замещения; изменение размера вторичных зерен, дисперсности, формы и распределения неметаллических включений, строение границ зерен и тонкую структур зерен; снижение вредного влияния некоторых примесей). В качестве добавок для микролегирования алюминиевых

сплавов в основном применяются скандий и цирконий.

Впервые фазы, содержащие кальций, были обнаружены в слитках сплавов 1230 (Al-Cu-Li) и 1420 (Al-Mg-Li) микрорентгеноспектральным анализом [1].

Для получения желаемого положительного эффекта содержание кальция в сплаве 1420 желательно иметь в пределах 0,005–0,05 %. В результате кальций как микролегирующий элемент в количестве 0,04 % был включен в химический состав сплава 1420 [2].

Используя опыт повышения технологичности сплава 1420 за счет микролегирования, в качестве микролегирующей добавки к сплаву АВ системы Al-Mg-Si был выбран кальций.

Обнаружено систематическое изменение интенсивности кубического компонента при варьировании содержания кальция, указывающее на возможность регулирования текстуры, и, соответственно, штампуемости изучаемых листов за счет введения в качестве легирующей добавки кальция.

Целью данной работы является исследование технологических свойств листов сплава В-1341, микролегированных кальцием в диапазоне концентраций 0,05...0,14 масс. %.

Материал и методика проведения исследований

Влияние эксплуатационных нагревов на механические и коррозионные свойства листов

сплава В-1341 определялось на полуфабрикате толщиной 3,0 мм следующего химического состава:

Si, %	Mg, %	Cu, %	Ca, %
0,83...0,95	0,60...0,68	0,30...0,35	0,12...0,14

Сплав исследовали в состоянии Т1: нагрев под закалку в селитровой ванне до 530 °С, выдержка 5 мин, охлаждение в воде и искусственное старение при 170 °С, 14 ч.

Были получены листы с рекристаллизованной структурой и размером зерна 55...100 мкм, что отвечает требованиям, гарантирующим надежную работу алюминиевых сплавов в авиационных конструкциях [3]. Механические свойства листов при нормальной, повышенной и пониженной температурах определяли в соответствии с действующими стандартами [4–12].

Исследовалось влияние эксплуатационных нагревов до 100...200 °С с выдержками в диапазоне 10...500 часов. Технологические свойства листов сплава В-1341 исследовались при холодной штамповке, гибке и сварке (аргодуговой, лазерной и трением с перемешиванием).

Результаты исследований и их обсуждение

Металлографические исследования показали, что исследуемые листы сплава В-1341 имеют структуру, которая характеризуется средним размером зерна на уровне 35...45 мкм, при этом зерна вытянуты в направлении деформации при прокатке листов (рис. 1).

Для улучшения способности сплава к холодному формообразованию необходимо, чтобы в листах не протекали процессы собирательной рекристаллизации и роста зерен. Структура материала должна быть мелкозернистая, прошедшая первичную рекристаллизацию. Изучение

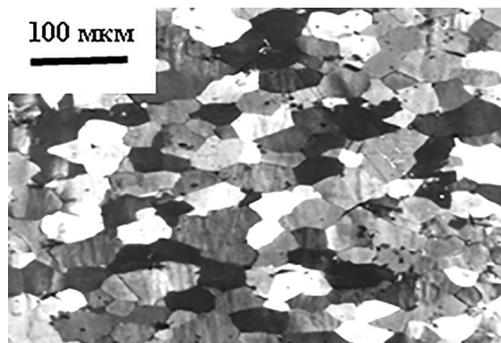


Рис. 1. Структура листов сплава В-1341 с содержанием кальция 0,12...0,14 %

степени рекристаллизации после закалки показало, что в листах прошли процессы первичной рекристаллизации.

Исследование сплава с применением светопольных методик показало, что в структуре присутствуют дисперсоиды округлой формы, которые в ходе распада твердого раствора при старении создают дополнительные очаги для гетерогенного зарождения неравновесных фаз. С помощью темнопольных методик установлено, что во всех исследованных состояниях наблюдается интенсивный распад твердого раствора с образованием $Q_1'(Al_5Cu_2Mg_8Si_6)$ -фазы и $\beta'(Mg_2Si)$ -фазы.

Кальций влияет на текстуру листов – он выравнивает кубическую текстуру по толщине листа, придавая ему рекристаллизованную зеренную структуру. Это обеспечивает высокую технологичность листов в закаленном состоянии [13].

Результаты проведенных механических испытаний исследуемых листов при нормальной температуре с различным направлением вырезки образца свидетельствуют об изотропности. Механические свойства исследуемых листов при вырезке образцов шириной B в поперечном и продольном направлениях по отношению к направлению прокатки были весьма близкими (табл. 1).

Отсутствие анизотропии механических свойств листов свидетельствует о том, что деформация во время холодной листовой штамповки будет распределяться во всех направлениях равномерно.

В рамках проводимых исследований были проведены механические испытания листов сплава В-1341 при различных температурах. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

При снижении температуры испытания до -70 °С пластичность листов сплава В-1341 сохраняется, о чем свидетельствует постоянство значений относительного удлинения.

При температурах испытаний выше 100 °С кратковременные прочностные характеристики листов несколько снижаются, а относительное удлинение повышается. В целом листы в интервале температур от -70 до $+200$ °С характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности, что позволяет рекомендовать их для использования в изделиях, работающих в этой области температур.

Результаты испытаний на длительную прочность и ползучесть листов сплава В-1341 пока-

зывают, что с повышением температуры со 100 до 150 °С исследуемые характеристики снижаются, однако сохраняются при этом на достаточно высоком уровне (рис. 2).

Известно, что эксплуатационные нагревы могут существенно изменить свойства сплава,

особенно коррозионную стойкость. По изменению свойств после дополнительных нагревов уточняют допустимую температурную область возможного использования сплава. В табл. 3 и 4 приведены данные по влиянию дополнительных нагревов до 100...150 °С на механиче-

Таблица 1

Механические свойства холоднокатаных листов из сплава В-1341Т1 в зависимости от направления вырезки образца

Направление вырезки образца	Временное сопротивление σ_B , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
0°	330–335	305–310	13,5–17,5
15°	330–340	300–305	13,0–15,0
30°	335–340	300–310	12,0–15,0
45°	330–335	305–315	14,0–16,0
60°	335–340	300–310	13,0–15,0
75°	335–340	305–310	14,0–15,0
90°	330–340	300–305	13,5–17,0

Таблица 2

Механические свойства холоднокатаных листов из сплава В-1341Т1, полученные при испытаниях в различных температурных режимах

Температура испытаний, °С	Направление вырезки образцов	Предел пропорциональности $\sigma_{пр}$	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление σ_B	Относительное удлинение δ_5 , %
		МПа			
-70	90°	–	<u>301–347</u> 325	<u>360–366</u> 364	<u>14–17</u> 15
		<u>267–282</u> 275	<u>292–326</u> 309	<u>339–359</u> 348	<u>15–21</u> 18
20	0°	<u>252–278</u> 270	<u>276–322</u> 303	<u>349–370</u> 357	<u>15–18</u> 17
	90°	<u>256–272</u> 265	<u>293–313</u> 303	<u>317–331</u> 325	<u>17–23</u> 19,5
100	0°	<u>252–261</u> 256	<u>286–291</u> 288	<u>314–317</u> 315	<u>18–18</u> 18
	90°	<u>245–270</u> 261	<u>273–293</u> 288	<u>301–318</u> 313	<u>18–21</u> 19,3
125	0°	<u>245–268</u> 257	<u>289–292</u> 291	<u>305–311</u> 309	<u>17–20</u> 18
	90°	<u>233–239</u> 236	<u>268–276</u> 272	<u>303–313</u> 307	<u>20–24</u> 22
150	0°	<u>238–248</u> 242	<u>270–278</u> 273	<u>289–293</u> 291	<u>18–21</u> 19
	90°	–	<u>235–260</u> 251	<u>271–283</u> 278	<u>18–23</u> 21
175	90°	–	<u>237–264</u> 244	<u>260–277</u> 267	<u>18–20</u> 19

Примечание: в числителе приведены минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее.

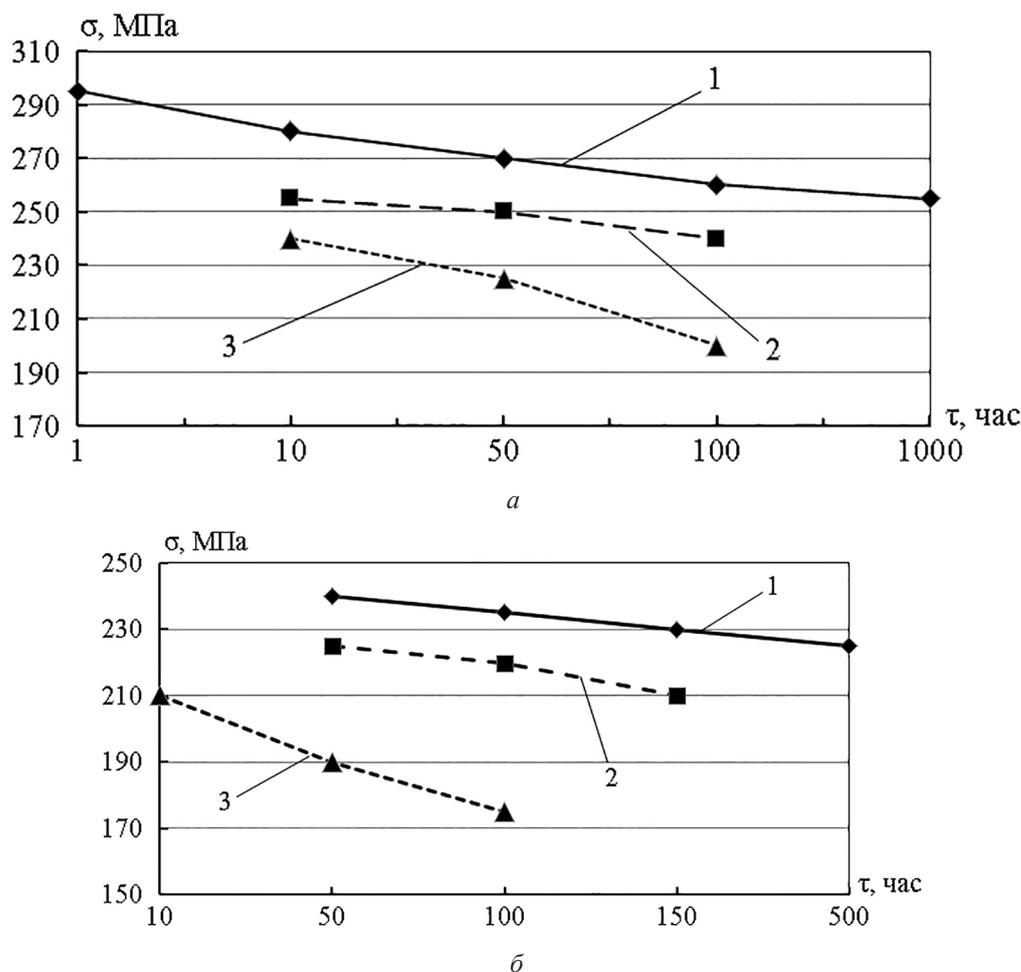


Рис. 2. Длительная прочность (а) и напряжения течения при ползучести, обеспечивающие остаточную деформацию 0,2 % (б) холоднокатаных листов толщиной 3,0 мм из сплава В-1341Т1 при различных температурах испытания: 1 – 100 °С; 2 – 125 °С; 3 – 150 °С

ские и коррозионные свойства листов сплава В-1341Т1.

Свойства листов сплава В-1341Т1 (σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , KCU и $a_{тy}$) после дополнительных нагревов практически не изменяются, что свидетельствует об их высокой стабильности.

Коррозионная стойкость листов из сплава В-1341Т1 с регламентированной структурой находится на уровне коррозионной стойкости листов стандартного сплава марки АВ. При этом критическое напряжение $\sigma_{кр}$ при постоянной нагрузке в поперечном направлении для обоих сплавов равно 245 МПа. Дополнительные нагревы не оказывают влияния на склонность листов сплава В-1341Т1 к межкристаллитной коррозии (МКК), коррозионному растрескиванию (КР), потере механических свойств при испытании на общую коррозию, но при этом на 1 балл увеличивается склонность к расслаивающей коррозии (РСК) и от-

мечается рост скорости коррозии, достигающей максимальных значений после дополнительного нагрева до 100 °С с выдержкой 500 ч (см. табл. 4).

Концентраторы напряжений K_t могут существенно снижать прочность алюминиевых сплавов, и разрушение может произойти при низких напряжениях. Критерием чувствительности материала к концентрации напряжений служит отношение временного сопротивления разрыву надрезанного и гладкого образца σ_B^H/σ_B . Коэффициент концентрации напряжений определяется геометрией надреза. Для оценки чувствительности листов сплава В-1341Т1 к концентрации напряжений были испытаны образцы с острыми боковыми надрезами ($K_t = 4,2$) и образцы с центральным круглым отверстием ($K_t = 2,6$). Приведенные в табл. 5 результаты испытаний показывают, что листы сплава В-1341Т1 практически не чувствитель-

Таблица 3

**Механические свойства сплава В-1341Т1 после дополнительных нагревов
(поперечное направление)**

Режим нагрева	Временное сопротивление σ_B , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, %		Ударная вязкость, кДж/м ²	
			δ_5	δ_{10}	KCU	a_{T_y}
100 °С, 100 ч	$\frac{353-362}{357}$	$\frac{265-303}{280}$	$\frac{17-19}{18}$	$\frac{14-16}{15}$	$\frac{130-139}{134}$	–
100 °С, 500 ч	$\frac{351-363}{357}$	$\frac{270-317}{298}$	$\frac{16-20}{18}$	$\frac{13-15}{14}$	$\frac{131-134}{132}$	$\frac{64-66}{65}$
125 °С, 100 ч	$\frac{350-358}{354}$	$\frac{283-300}{291}$	$\frac{19-19}{19}$	$\frac{13-16}{15}$	$\frac{128-147}{139}$	–
150 °С, 10 ч	$\frac{353-361}{356}$	$\frac{279-283}{281}$	–	$\frac{13-16}{15}$	–	–
150 °С, 50 ч	$\frac{349-363}{354}$	$\frac{287-319}{304}$	$\frac{15-18}{17}$	$\frac{12-14}{13}$	–	$\frac{62-63}{62}$

Примечание: в числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе – среднее.

Таблица 4

**Склонность к различным видам коррозии сплава В-1341Т1
после воздействия дополнительных нагревов**

Режим нагрева	Склонность к МКК, мм	Склонность к РСК, балл	Склонность к КР		Потери механических свойств, %			Скорость коррозии, г/(м ² ·сутки)
			σ , МПа	τ , сутки	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	
–	0,2	2–3	$\frac{274}{245}$	$\frac{16}{>45}$	0	0	24	0,12
150 °С, 50 ч	0,2	2–3	–	–	–	–	–	–
100 °С, 100 ч	0,2	2	$\frac{274}{245}$	$\frac{24}{>45}$	0	0	17	0,13
125 °С, 100 ч	0,2	3–4	$\frac{274}{245}$	$\frac{20}{>45}$	0	0	25	0,21
100 °С, 500 ч	0,175	3–4	$\frac{274}{254}$	$\frac{33}{>45}$	0	0	23	0,80

Примечание: МКК – межкристаллитная коррозия; РСК – расслаивающая коррозия; КР – коррозионное растрескивание.

ны к концентратору напряжений при $K_t = 2,6...4,2$ ни в продольном, ни в поперечном направлениях.

Поскольку между характеристиками статической и конструкционной прочности не существует определенной зависимости [14], для листов из сплава В-1341 помимо статической прочности оценивалась усталостная прочность, в том числе: малоцикловая усталость (МЦУ); скорость роста трещины усталости (СРТУ); вязкость разрушения K_{c_y} , характеризующаяся критическим коэффициентом интен-

сивности напряжений при плоском напряженном состоянии. Как показывают зависимости на рис. 3, построенные для параметров: ширина образца $B = 100$ мм; коэффициент асимметрии цикла испытаний $R = 0,1$; частота нагружения $f = 40$ Гц; максимальные напряжения цикла нагружения $\sigma_{max} = 98$ МПа, разброс между максимальными и минимальными значениями СРТУ листов незначителен, что свидетельствует об их стабильности. На основании анализа кривых усталости установлено, что предел выносливости гладких образцов составляет

167 МПа, а образцов с отверстием – 118 МПа (рис. 4). МЦУ образца с отверстием равна $2 \cdot 10^5$ циклов при $\sigma_{\max} = 157$ МПа (табл. 6).

В табл. 7 приведены характеристики, обеспечивающие конструкционную прочность листов сплавов В-1341Т1 и АМг6М. Сравнение сплавов показывает, что сплав В-1341Т1 имеет практически такие же значения K_c и СРТУ, полученные на образцах шириной $B = 100$ мм, как и сплав АМг6М, однако по малоциклового усталости превосходит его в 3 раза. Кроме того, в отличие от сплава В-1341, имеющего высокую технологичность при холодной деформации, листы из сплава АМг6М при холодной

деформации за счет быстрого упрочнения утрачивают технологичность, а также в них проявляется склонность к образованию полос Чернова – Людерса, которые ухудшают качество поверхности изделия.

Для получения деталей из листов сплава В-1341 используются процессы гибки. Для отработки процесса гибки листовых заготовок сплава В-1341 толщиной 1,5 мм использовались полосы шириной $B = 150$ мм и длиной 345 мм.

Эксперименты показали, что вальцовка обечайки из листа сплава В-1341Т возможна как в свежезакаленном состоянии, так и после искусственного старения (рис. 5).

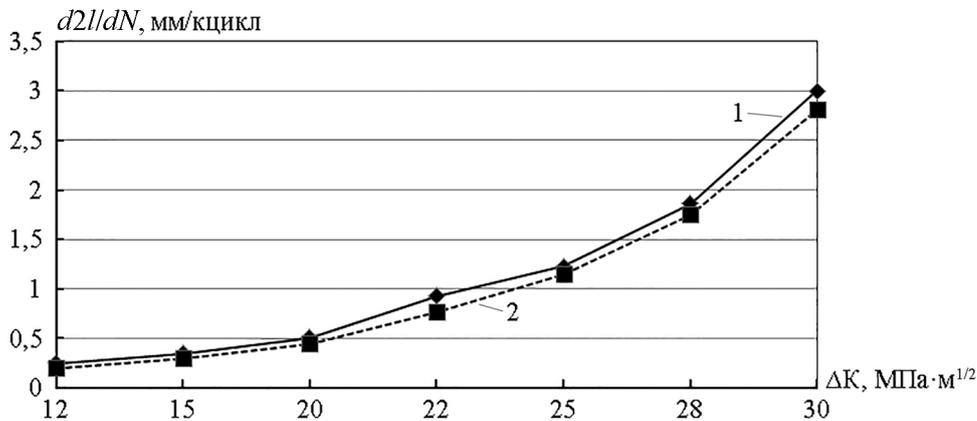


Рис. 3. Зависимость СРТУ ($d2l/dN$, мм/цикл) холоднокатаных листов толщиной 3,0 мм из сплава В-1341Т1 от коэффициента интенсивности напряжений ΔK ($B = 100$ мм; $R = 0,1$; $f = 40$ Гц; $\sigma_{\max} = 98$ МПа): 1 – максимальное значение; 2 – минимальное значение

Таблица 5

Чувствительность листов из сплава В-1341Т1 к концентрации напряжений при осевом растяжении

Форма образца и концентратор напряжений K_t	Направление вырезки образцов	σ_B^H , МПа	σ_B^H / σ_B
С центральным круглым отверстием ($K_t = 2,6$)	Продольное	357	1,02
	Поперечное	348	0,98
С боковыми острыми надрезами ($K_t = 4,2$)	Продольное	346	0,99
	Поперечное	363	1,03

Таблица 6

Чувствительность листов сплава В-1341 в состоянии Т1 к концентрации напряжений при осевом растяжении

Форма образца и K_t	Направление вырезки образцов	σ_B^H , МПа	σ_B^H / σ_B
С центральным круглым отверстием ($K_t = 2,6$)	Продольное	357	1,02
	Поперечное	348	0,98
С боковыми острыми надрезами ($K_t = 4,2$)	Продольное	346	0,99
	Поперечное	363	1,03

Механические и усталостные свойства сплавов АМг6М и В-1341Т1

Сплав	K_c^y , МПа·м ^{1/2}	МЦУ, кцикл при $\sigma_{max} = 157$ МПа	СРТУ, мм/кцикл ($\Delta K = 31,2$ МПа·м ^{1/2})	σ_B^H/σ_B при $K_t = 4,2$ (надрез)
АМг6М [15]	50	65	3,80	0,75
В-1341Т1	53	200	2,88	1,0

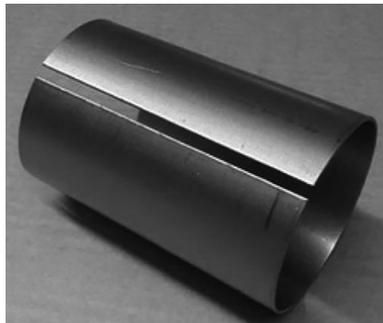


Рис. 5. Обечайки диаметром 100 мм после вальцовки из листа алюминиевого сплава В-1341Т1 толщиной 1,5 мм

Гибка профилей из листов сплава В-1341 осуществляется стесненным изгибом по традиционной схеме [4]. Указанным методом гибки получены типовые профили (рис. 6) из сплава В-1341Т1, которые после гибки практически не проявляли пружинения.

Высокая технологичность листов из сплава В-1341 при холодном формообразовании позволяют сделать вывод о перспективности изготовления из них различных деталей и узлов с применением холодной листовой штамповки.

В качестве примера для отработки технологии холодной листовой штамповки были выбраны сферические доньшки расширительных бачков диаметром 100 мм (рис. 7). Для штамповки таких доньшек используются заготовки в виде дисков диаметром 200 мм. Диаметр заготовки учитывает припуск на фиксацию детали в штампе с последующей его обрезкой на дисковых ножницах.

В результате выполненных экспериментов установлено, что из листов сплава В-1341 методом холодной штамповки могут быть получены качественные детали. Для получения панелей с гофрами, элементами жесткости, а также сложных профилей из листов алюминиевых сплавов используется метод гибки эластичным пуансоном. Используя технологическую оснастку и режимы гибки, соответствующие технологическому процессу изготовления деталей толщиной 1,5 мм из сплава Д16Т, из листов сплава В-1341 были получены панели (рис. 8).

Для оценки свариваемости листов сплава В-1341 применяли пробу «рыбий скелет», крестовую пробу и методику оценки критической скорости деформации. Сварку проб осуществляли аргонодуговой сваркой как без присадочной проволоки, так и с применением присадочной проволоки различного химического состава. Результаты испытаний приведены в табл. 8.



Рис. 6. Типовые тонколистовые профили из сплава В-1341Т1



а



б

Рис. 7. Сферические доньшки после холодной штамповки из листовой заготовки сплава В-1341Т1 до (а) и после (б) обрезки технологического припуска

Показатели склонности к трещинообразованию при сварке

Сплав	Марка присадочной проволоки	Коэффициент трещинообразования, %		Критическая скорость деформаций, мм/мин
		по крестовой пробе	по пробе «рыбий скелет»	
В-1341	Без присадки	12	13	6,7
АВ		62	45	1,8
АМг6		–	17	5,8
В-1341	СВАК5	0	2	9,3
	СВАМг63	0	0	8,8
	СВ1217	2	8	6,2

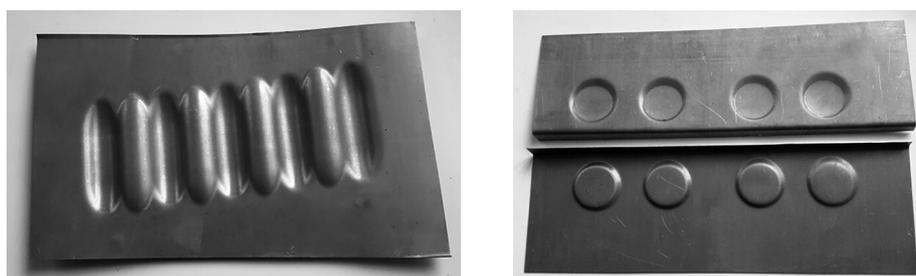


Рис. 8. Панели с элементами жесткости, полученные из листа сплава В-1341Т1 толщиной 1,5 мм методом гибки эластичным пуансоном

Как следует из табл. 8, в сравнении со сплавом АВ и АМг6 лучшей стойкостью к образованию горячих трещин при сварке обладают листы из сплава В-1341 с легирующей добавкой кальция, который благодаря измельчению структуры основного материала в зоне сварки позволяет снизить коэффициент трещинообразования и существенно повысить критическую скорость деформации, а также способствует устранению горячих трещин, обычно возникающих в сплавах системы Al–Mg–Si в металле шва.

Эксперименты также показали, что при сварке без присадки коэффициент трещинообразования возрастает с увеличением погонной энергии процесса с 45 % (ток дуги 60 А) до 65 % (ток дуги 80 А). Результаты механических испытаний сварных соединений листов, выполненных с присадочной проволокой различных марок, приведены в табл. 9.

Разрушение при испытаниях на прочность при статическом растяжении сварных соединений происходит по основному металлу на расстоянии 5...7 мм от линии сплавления как для образцов с усилением и проплавом, так и для образцов без усиления и проплава. Установленный характер разрушения образцов сварных соединений (на расстоянии 5...7 мм от линии сплавления) с большой долей вероятности можно объяснить изменением свойств

основного металла в результате воздействия термического цикла сварки.

В рамках данной работы были исследованы свойства сварных соединений листов сплава В1341 толщиной 4 мм, полученные лазерной сваркой и сваркой трением с перемешиванием (табл. 10).

Полученные результаты показывают, что применение присадочной проволоки при лазерной сварке существенно повышает прочность сварных соединений листов сплава В-1341. Зона разрушения соединения при испытаниях при этом смещается от шва в зону термического влияния (ЗТВ) или в непосредственной близости от нее. Коэффициент прочности соединения увеличивается с 0,69 до 0,80. Следует отметить, что в данной работе не производили оптимизацию состава присадочной проволоки. При проведении такой оптимизации, например, за счет дополнительного легирования проволоки скандием, возможно дополнительное повышение временного сопротивления сварных соединений.

Соединения, выполненные сваркой трением с перемешиванием (СТП), при испытаниях разрушаются по зоне термомеханического воздействия (ЗТМВ) с коэффициентом прочности 0,91. Обращает на себя внимание очень высокая пластичность соединений (угол изгиба по шву 175°).

Таблица 9

Механические свойства сварных соединений листов сплава В-1341 при автоматической аргодуговой сварке с присадочной проволокой

Марка присадочной проволоки	Термическая обработка (ТО) после сварки	Временное сопротивление σ_B , МПа		Угол изгиба α , град.
		Сварное соединение	Металл шва	
Св1217	Без ТО	$\frac{199-209}{206}$	$\frac{200-216}{207}$	$\frac{55-68}{62}$
	Искусственное старение	$\frac{244-297}{284}$	$\frac{263-293}{284}$	$\frac{25-35}{32}$
СвАК5	Без ТО	$\frac{218-229}{226}$	$\frac{211-221}{217}$	$\frac{23-39}{30}$
	Искусственное старение	$\frac{287-315}{304}$	$\frac{264-291}{282}$	$\frac{11-17}{13}$
СвАМг63	Без ТО	$\frac{201-214}{208}$	$\frac{200-215}{205}$	$\frac{60-95}{83}$
	Искусственное старение	$\frac{277-310}{288}$	$\frac{250-285}{269}$	$\frac{52-67}{62}$

Примечание: в числителе приведены минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее.

Таблица 10

Механические свойства сварных соединений листов сплава В-1341, выполненных лазерной сваркой и сваркой трением с перемешиванием

Способ сварки	Присадка	Механические свойства							Место разрушения
		σ_B , МПа		$\sigma_{Bсв} / \sigma_{Bом}$	α , град.		КСУ, кДж/м ²		
		ОМ	СС		ОМ	СС	ОМ	шов	
Лазерная	–	357	246	0,69	40	31	215	183	шов
Лазерная	СвАК5	357	285	0,80	40	66	215	142	ЗТВ
СТП	–	357	326	0,91	40	175	215	154	ЗТМВ

Примечание: $\sigma_{Bсв}$ – временное сопротивление сварного соединения; $\sigma_{Bом}$ – временное сопротивление основного металла; ЗТВ – зона термического влияния; ЗТМВ – зона термомеханического воздействия.

Выводы

По результатам исследований можно констатировать, что:

1. Микролегирование кальцием сплава В-1341 способствует регулированию текстуры в листах, выравнивая кубическую текстуру по толщине и обеспечивая однородную равноосную, равномерную зеренную структуру. Легирующие добавки кальция приводят к образованию дисперсных частиц, способствующих зарождению новых зерен.

2. Кальций практически не влияет на уровень механических свойств листов вне зависимости от ориентации образцов относительно оси прокатки. Однако при максимальном содержании кальция (0,14 %) в состоянии полной

термической обработки наблюдается повышение прочностных характеристик при сохранении высокой пластичности.

3. Наиболее высокие значения прочности и условного предела текучести листов сплава В-1341 достигаются после искусственного старения, выполняемого по режиму: температура нагрева 170 °С с выдержкой 10...14 часов.

4. Листы из сплава В-1341 обладают повышенной технологической пластичностью при холодной листовой штамповке по сравнению с листами сплавов серии 5000, при этом не нагартовываются при деформации, в то время как при изготовлении деталей из сплавов АМг2, АМг4 и АМг6 требуется проводить межоперационные отжиги из-за наклепа материала.

5. Применение лазерной сварки с присадочной проволокой и сварки трением с перемешиванием позволяет получить сварные соединения листов сплава В-1341 с высоким значением коэффициента прочности на уровне 0,80 и 0,91 соответственно.

Заключение

Показано, что кальций практически не оказывает влияния на механические свойства листов при максимальном содержании кальция (0,14 %) в состоянии полной термической обработки наблюдается повышение прочностных характеристик при сохранении высокой пластичности. В условиях сварки кальций сдерживает рост зерна в зоне термического влияния в непосредственной близости от линии сплавления при сварке плавлением. В дальнейшем следует провести дополнительные исследования по оптимизации режимов сварки трением с перемешиванием листов сплава В-1341 и влиянию термической обработки после сварки на свойства соединений.

Список литературы

1. Грушко О.Е., Овсянников Б.В., Овчинников В.В. Алюминиево-литиевые сплавы: металлургия, сварка, материаловедение. М.: Издательство «Наука», 2014. – 295 с.
2. Влияние примесей щелочных и щелочно-земельных металлов на структуру и свойства сплава 1420 / О.Е. Грушко, Л.М. Шевелева, И.П. Жегина, С.Т. Басюк // Вопросы авиационной науки и техники. 1988. Вып. 2. С. 10–19.
3. Влияние термической обработки и деформации на величину зерна и механические свойства сплавов типа дуралюмин / И.Н. Фридляндер, В.В. Берстенов, Е.А. Ткаченко и др. // МИТОМ. 2003. № 7. С. 3–6.
4. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
5. ГОСТ 11150–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение при пониженных температурах.
6. ГОСТ 9651–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах.
7. ГОСТ 9.021-74. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию.
8. ГОСТ 9.904-82 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Сплавы алюминиевые. Метод ускоренных испытаний на расслаивающую коррозию
9. ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
10. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.
11. ГОСТ 25.506-85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
12. ГОСТ 3248-81. Металлы. Методы испытаний на ползучесть.
13. Повышение штампуемости листов из сплава системы Al–Mg–Si, применяемых при холодной штамповке / М.А. Гуреева, О.Е. Грушко, В.В. Овчинников, В.Ф. Шамрай // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2007. № 4. С. 20–27.
14. Свойства листов из высокотехнологичного сплава В-1341 / И.Н. Фридляндер, О.Е. Грушко, Л.М. Шевелева, С.Ф. Данилов // МИТОМ. 2004. № 12. С. 3–6.
15. Структура, способность к выдавке и свариваемость листов из сплава типа «Авиаль», легированного кальцием / О.Е. Грушко, В.В. Овчинников, В.В. Алексеев, М.А. Гуреева, В.Ф. Шамрай, Г.Г. Клочков // МИТОМ. 2007. № 7. С. 15–22.

ГРУШКО
Ольга Евгеньевна
E-mail: vogozor@mail.ru
Тел.: (962) 945-19-35

Доктор технических наук, лауреат Государственной премии Российской Федерации, Заслуженный авиационный инженер Российской Федерации. Сфера научных интересов: разработка новых алюминиевых сплавов, оптимизация химического состава, разработка режимов термической обработки сплавов. Автор 286 работ.

ГУРЕЕВА
Марина Алексеевна
ООО «Инновационные технологии»
E-mail: mag1706@mail.ru
Тел.: (916) 163-40-42

Кандидат технических наук, ведущий специалист по научно-исследовательской работе. Сфера научных интересов: разработка технологии получения деталей из алюминиевых сплавов методами холодной деформации и сварки. Автор 146 работ.

EFFECT OF CALCIUM MICRO-EMULATION ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF B-1341 ALLOY SHEETS

Olga E. Grushko, Marina A. Gureeva

The paper stresses on calcium micro-legation effect on the texture of aluminium alloys Al-Mg-Li and Al-Mg-Si-Cu. The mechanical properties of static and dynamic loads, fatigue characteristics, crack resistance and heat resistance of B-1341 alloy sheets with a regulated recrystallized structure in the T1 state are presented. The properties of the sheets are defined also after exposure to long-term heating 100...150 degrees Celsius with exposures of 10...1000 hours.

Keywords: aluminum alloys, alloys of the Al-Mg-Si-Cu system, micro-emulsion, calcium, technological properties, welding.

References

1. Grushko O.E., Ovsyannikov B.V., Ovchinnikov V.V. Aluminum-lithium alloys: metallurgy, welding, metal science [Aluminiyevo-litievye splavy: metallurgia, svarka, metallovedenie]. M.: Nauka Publishing House, 2014. – 295 p.
2. Influence of the alkaline and alkaline earth metals impurities on the structure and properties of alloy 1420 [Vliyaniye primesey shelochnykh i shelochnozemelnykh metallov na strukturu i svoystva splava 1420] / O.E. Grushko, L.M. Sheveleva, I.P. Zhegina, S.T. Basyuk // Issues of aviation science and technology [Voprosy aviatsionnoy nauki i tekhniki]. 1988. Vol. 2. P. 10–19.
3. Influence of heat treatment and deformation on the grain size and mechanical properties of duralumin-type alloys [Vliyaniye termicheskoy obrabotki i deformatsii na velichinu zerna i mekhanicheskiye svoystva splavov tipa duralumin] / I.N. Friedlander, V.V. Bersenev, E.A. Tkachenko et al. // MiTOM [Mitom]. 2003. No. 7. P. 3–6.
4. GOST 1497-84. Metals. Tensile testing methods [Metally. Metody ispytaniy na rastiasheniye].
5. GOST 11150-84. Metals. Methods of tensile testing at low temperatures [Metally. Metody ispytaniy na rastiasheniye pri ponizhennykh temperaturakh].
6. GOST 9651-84. Metals. Methods of tensile testing at elevated temperatures [Metally. Metody ispytaniy na rastiasheniye pri povyshennykh temperaturakh].
7. GOST 9.021-74. Unified system of protection against corrosion and aging (ESZKS). Aluminum and aluminum alloys. Methods of accelerated tests for intercrystalline corrosion [Edinaya sistema zaschity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Aluminiy i splavy aluminiyevye. Metody uskorennykh ispytaniy na mezhkristallitnyuyu korroziyu].
8. GOST 9.904-82. Unified system of protection against corrosion and aging (ESZKS). Aluminum-based alloys. Method of accelerated tests for delaminating corrosion [Edinaya sistema zaschity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Aluminiy i splavy aluminiyevye. Metody uskorennykh ispytaniy na rasslaivayuschuyu korroziyu].
9. GOST 9454-78. Metals. Test method for impact bending at low, room and elevated temperatures [Metally. Metod ispytaniya na udarny izgib pri ponizhennykh, komnatnoy i povyshennykh temperturakh].
10. GOST 25.502-79. Calculations and strength tests in mechanical engineering. Methods of mechanical testing of metals. Fatigue testing methods [Raschety i ispytania na prochnost v mashinostroenii. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metody ispytaniy na ustalost].
11. GOST 25.506-85. Calculations and strength tests. Methods of mechanical testing of metals. Determination of crack resistance characteristics (fracture toughness) under static loading [Raschety i ispytaniya na prochnost. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Opredelenie kharakteristik treschinostoykosti (vyazkosti razrushe-nia) pri staticheskom nagruzhении].
12. GOST 3248-81. Metals. Creep test methods [Metally. Metody ispytaniy na polzuchesc].
13. Increasing the stampability of sheets made of Al-Mg-Si alloy used for cold stamping [Povysheniye shtampuemosti listov iz splava sistemy Al-Mg-Si, primeniaemykh pri kholodnoy shtampovke] / M.A. Gureeva, O.E. Grushko, V.V. Ovchinnikov, V.F. Shamray // Forging and stamping production. Processing of metals by pressure [Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo]. 2007. No. 4. P. 20–27.
14. Properties of sheets made of high-tech alloy B-1341 [Svoystva listov iz vysokokachestvennogo splava B-1341] / I.N. Friedlander, O.E. Grushko, L.M. Sheveleva, S.F. Danilov // MITOM [MITOM]. 2004. No. 12. P. 3–6.
15. Structure, exhibition ability and weldability of sheets made of an alloy of the “Avial” type doped with calcium [Struktura, sposobnost k vydavke i svarivaemost listov iz splava tipa “Avial”, legirovannogo kaltsiyem] / O.E. Grushko, V.V. Ovchinnikov, V.V. Alekseev, M.A. Gureeva, V.F. Shamrai, G.G. Klochkov // MITOM. 2007. No. 7. P. 15–22.

Olga E. GRUSHKO

E-mail: vogozor@mail.ru
Phone: **8 (962) 945-19-35**

Doctor of Technical Science (habil.), State prize laureate of the Russian Federation, Honoured Aviation Worker of the Russian Federation. Areas of expertise: development of new Aluminum alloys, chemical composition optimization, mode development for alloys thermal processing. She authored a total 286 publications.

Marina A. GUREEVA

Innovatsyonnye tekhnologii
[Innovative Technologies], OJSC
E-mail: mag1706@mail.ru
Phone: **8 (916) 163-40-42**

Ph.D. in Technical Science, Leading Researcher. Areas of expertise: technology development for details production from Aluminum alloys by cold deformation and welding techniques. She authored a total 146 publications.