

Структура и свойства массивных плит толщиной более 70 мм из алюминиевых сплавов В95пч/очТ2, АК4-1чТ1 и 1163Т

*(доклад на конференции «Перспективные высокопрочные алюминиевые сплавы для изделий авиационной, ракетной и атомной техники» (посвящается 100-летию со дня рождения к.т.н. Е.И. Кутайцевой),
Москва, ВИАМ, 6 ноября 2014 г.)*

Н.Ю. Серебренникова, А.Л. Иванов, А.О. Иванова

*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт
авиационных материалов», г. Москва*

Массивные катаные плиты являются одним из распространенных видов полуфабрикатов авиационного назначения, и в последние годы обострился интерес к использованию массивных плит из указанных сплавов толщиной свыше 70 мм. Однако при прокатке массивных плит ухудшаются механические и, в большей степени, эксплуатационные свойства (пластичность, вязкость разрушения, сопротивление усталости, коррозионные характеристики), особенно в высотном и поперечном направлениях.

Установлено, что на основании совокупности результатов исследований плит и анализа зарубежной документации целесообразно для плит толщиной более 70 мм вести контроль механических свойств и вязкости разрушения в трех направлениях.

Ключевые слова: массивные катаные плиты, прокаливаемость, примеси, микроструктура

Высокопрочные сплавы В95оч/пч в состоянии Т2 (зарубежные аналоги 7475, 7175Т76) на основе традиционной системы Al–Zn–Mg–Cu, жаропрочный сплав АК4-1ч в состоянии Т1 (зарубежный аналог 2618Т6) на основе системы Al–Cu–Mg–Fe–Ni и ресурсный сплав 1163Т (зарубежный аналог 2124-2324Т351) на основе системы Al–Cu–Mg продолжают эффективно использоваться в современной и перспективной отечественной и зарубежной авиационной технике. Сплавы В95оч/пч используются преимущественно для элементов

планера, работающих на сжатие (в том числе для верхних обшивок крыла), сплав АК4-1ч применяют для греющихся элементов, работающих при температурах до 250°C, главным образом в военной авиации (в том числе для деталей двигательной системы). Сплав 1163Т применяют для ответственных силовых деталей планера длительного ресурса, например нижней обшивки крыла, обшивки фюзеляжа.

Массивные катаные плиты являются одним из распространенных видов полуфабрикатов авиационного назначения.

В последние годы обострился интерес к использованию массивных плит из указанных сплавов толщиной свыше 70 мм.

За рубежом контроль свойств для массивных плит ведется по всему сечению при толщине >40 мм (¼ сечения) в долевым, поперечном и высотном направлениях, с контролем вязкости разрушения в направлениях ДП, ПД и ВД.

Максимальное ограничение по толщине в основном связано с прокаливаемостью сплавов. Из-за пониженной скорости охлаждения и неоднородности деформации при прокатке массивных плит ухудшаются механические и, в большей степени, эксплуатационные свойства (пластичность, вязкость разрушения, сопротивление усталости, коррозионные характеристики), особенно в высотном и поперечном направлениях. Это происходит даже в пределах толщин плит, предусмотренных стандартами.

Анализ распределения компонентов и примесей по сечению слитков и плит методом спектрального анализа показывает, что в соответствии с механизмом кристаллизации элементы могут распределяться неоднородно (рис. 1–3).

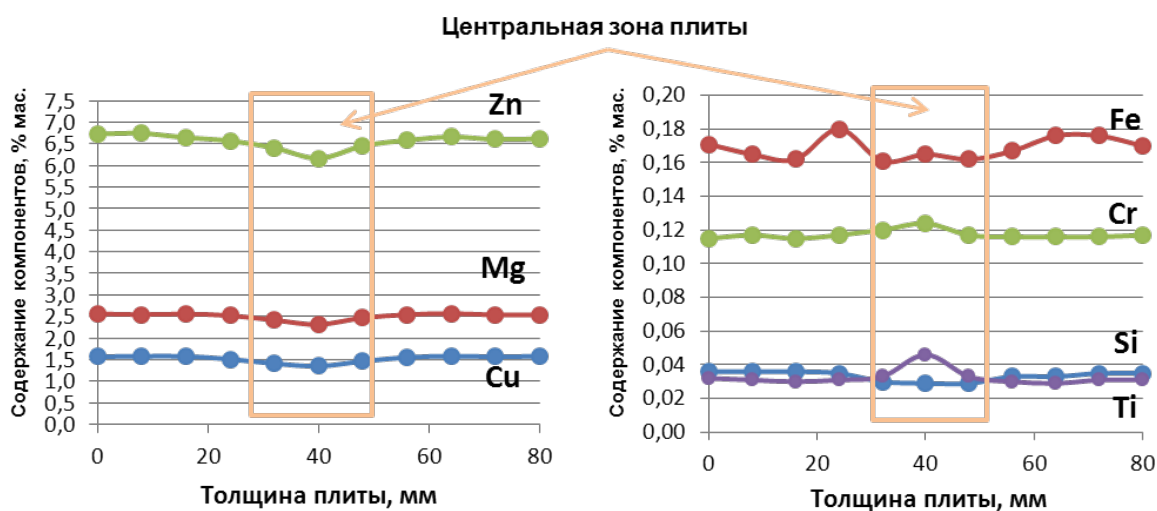


Рисунок 1. Распределение компонентов и примесей по сечению плиты

толщиной 80 мм сплава В95пчТ2

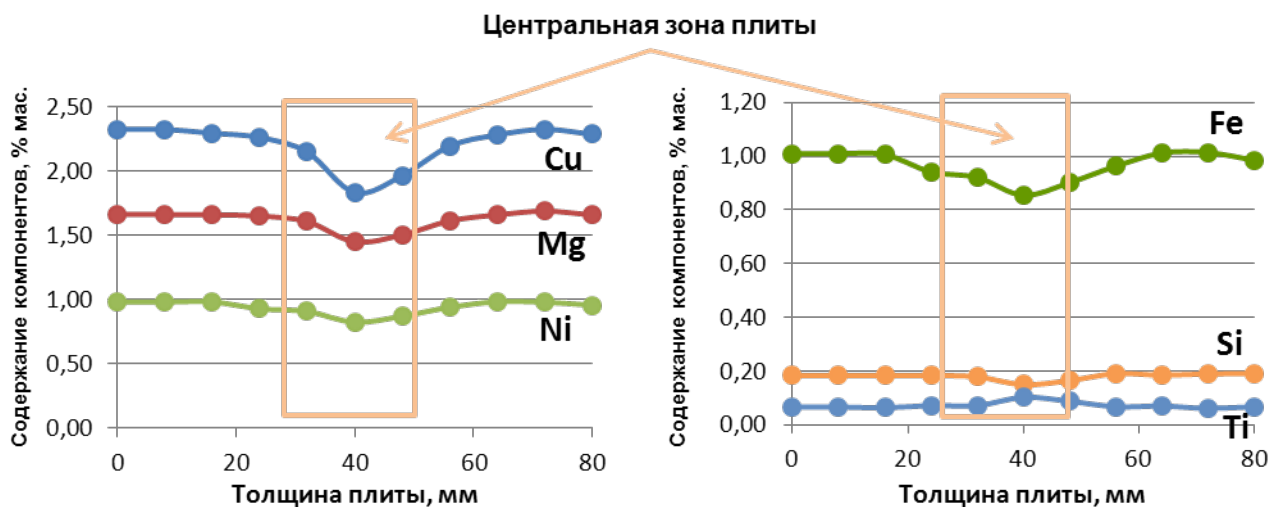


Рисунок 2. Распределение компонентов и примесей по сечению плиты
толщиной 80 мм сплава АК4-1чТ1

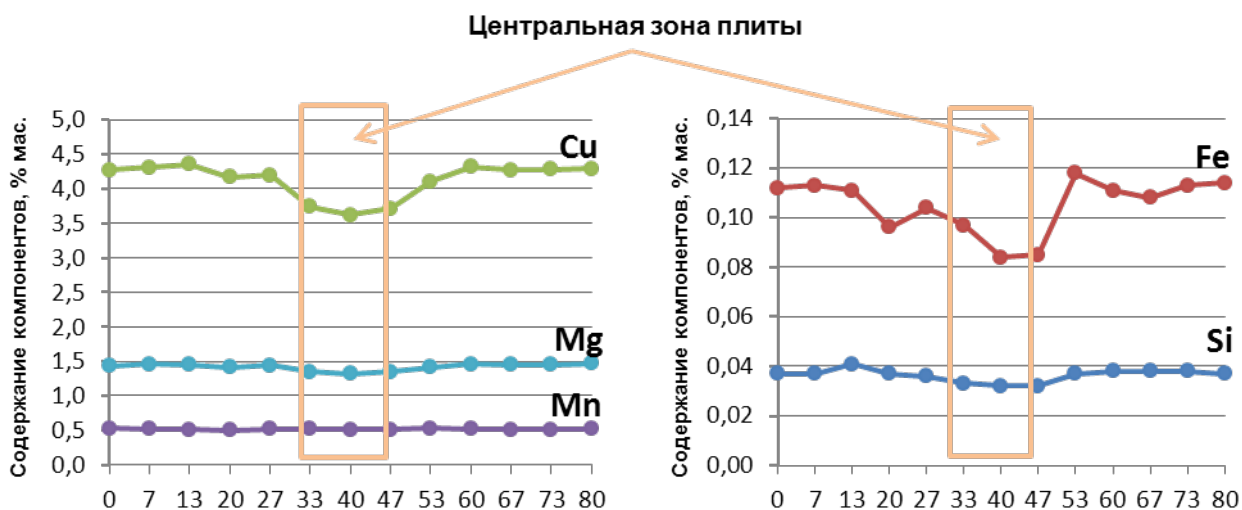


Рисунок 3. Распределение компонентов и примесей по сечению плиты
толщиной 80 мм сплава 1163Т

В центральных слоях слитков в сплавах АК4-1ч и 1163 ликвирует Cu (примерно до 0,5 мас. %, особенно в сплаве АК4-1ч); в сплаве В95пч ликвируют Zn и Mg. Наблюдается обратная анизотропия распределения добавки Ti (до 0,02 мас. %) в сплавах В95пч/оч и 1163.

Остальные компоненты и примеси распределены довольно однородно.

Отмечена высокая чистота исследованных сплавов по примесям, особенно по Si, которая сложилась на ОАО «КУМЗ» для авиационных полуфабрикатов.

Таблица.

Механические свойства при растяжении и значения вязкости разрушения
массивных плит

Сплав	Направление, (зона вырезки образцов)	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$K_{Ic}, \text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$
		МПа			
В95пчТ2	Д (1/2)	510–515	435–440	11,0–11,5	40,0–42,0 (ДП)
	Д (1/4)	510–510	435–440	11,0–12,0	–
	П (1/2)	490–500	415–445	8,0–9,0	29,0–29,0 (ПД)
	П (1/4)	520–520	435–445	9,0–10,0	–
	В	480–490	405–410	3,4–5,5	25,0–27,0 (ВД)
АК4-1чТ1	Д (1/2)	400–410	370–370	7,6–9,5	25,0–26,0 (ДП)
	Д (1/4)	430–435	400–405	9,1–9,8	–
	П (1/2)	400–400	360–360	8,4–8,6	22,0–23,0 (ПД)
	П (1/4)	420–420	380–390	6,0–6,5	–
	В	390–390	350–350	4,5–5,8	21,0–21,0 (ВД)
1163Т	Д (1/2)	420–420	315–320	21,0–24,0	$K_Q: 48,0–49,0$ (ДП)
	Д (1/4)	440–440	335–340	18,0–19,5	–
	П (1/2)	420–430	290–295	15,0–16,0	40,0–45,0 (ПД)
	П (1/4)	430–440	295–295	14,5–15,0	–
	В	380–390	285–290	6,3–7,2	$K_Q: 30,0–32,0$ (ВД)

При исследованиях в оптическом микроскопе в центральных, поверхностных и подповерхностных слоях (рис. 4) по сечению массивных плит в сплавах также отмечается некоторое различие в микроструктуре (рис. 5–7). Количество интерметаллидов возрастает к срединным слоям плит, но расслоений не наблюдалось.

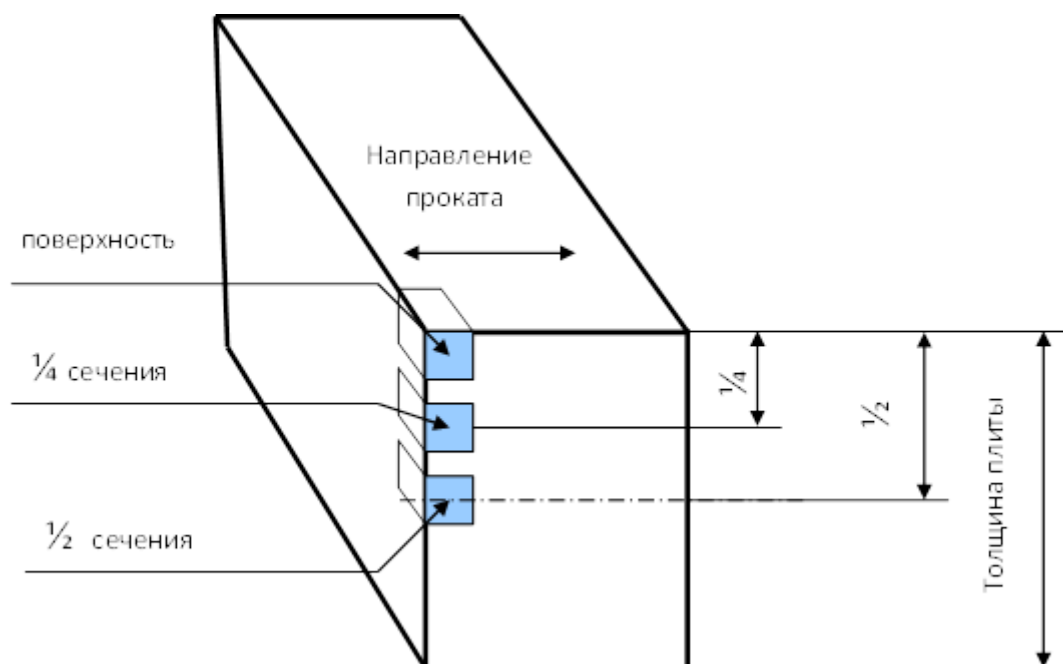


Рисунок 4. Схема вырезки шлифов для исследования микроструктуры плит из сплавов В95пчТ2, АК4-1чТ1 и 1163Т

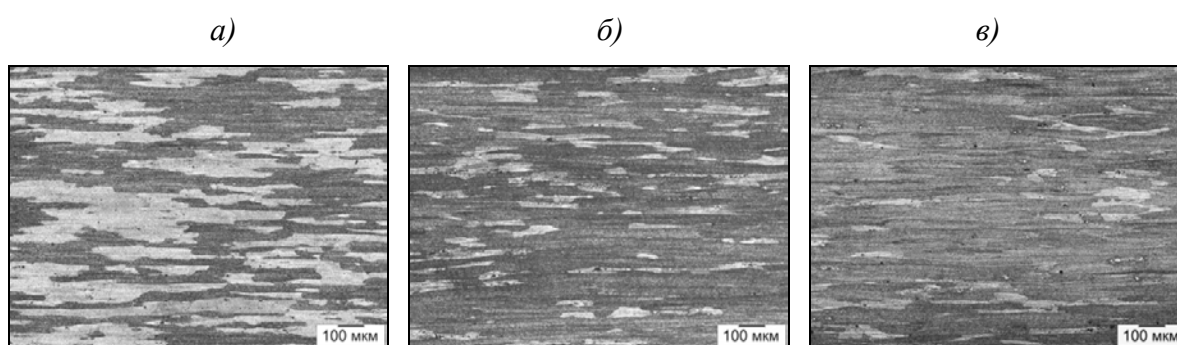


Рисунок 5. Микроструктура плиты толщиной 80 мм из сплава В95пчТ2 (п.25632):
a – поверхностная зона; *б* – $\frac{1}{4}$ толщины плиты; *в* – центральная зона ($\frac{1}{2}$ толщины плиты).

Травление конц.ННО₃. Долевое направление.

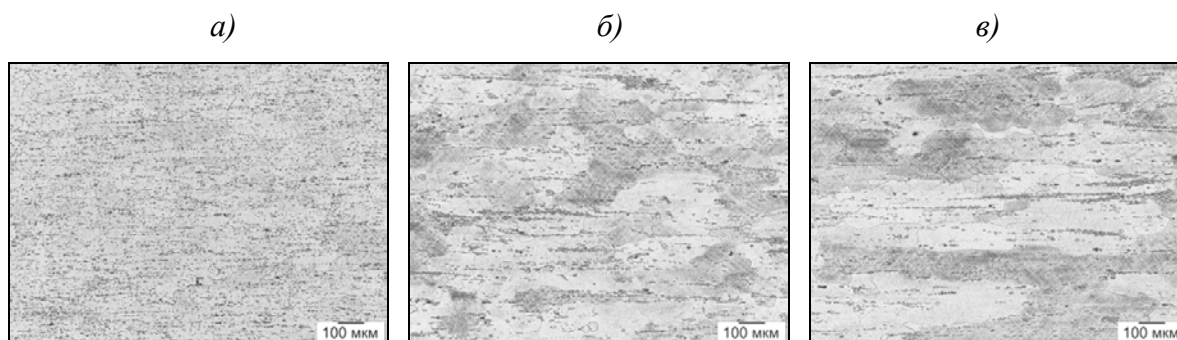


Рисунок 6. Микроструктура плиты толщиной 80 мм из сплава АК4-1чТ1 (п.25390):
a – поверхностная зона; *б* – $\frac{1}{4}$ толщины плиты; *в* – центральная зона ($\frac{1}{2}$ толщины плиты).

Травление реактивом Келлера. Долевое направление.

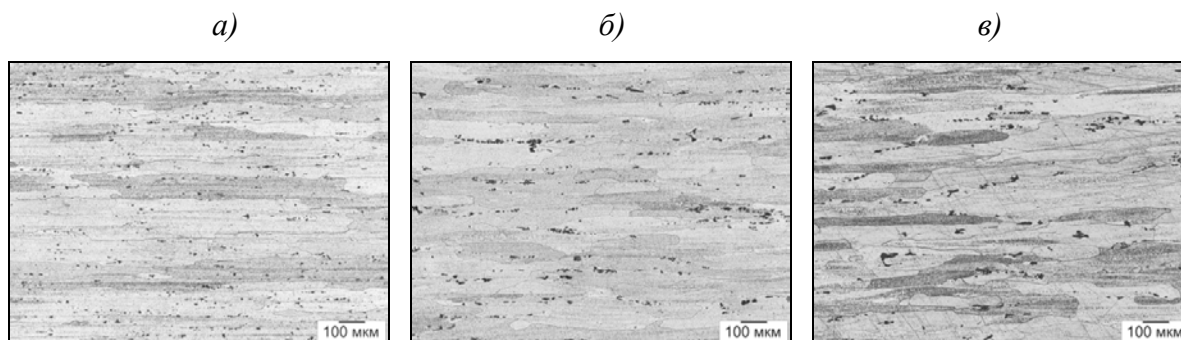


Рисунок 7. Микроструктура плиты толщиной 80 мм из сплава 1163Т (п.25390):

a – поверхностная зона; *б* – $\frac{1}{4}$ толщины плиты; *в* – центральная зона ($\frac{1}{2}$ толщины плиты).

Травление реактивом Келлера. Долевое направление.

Плиты из высокопрочного алюминиевого сплава В95пчТ2 имеют преимущественно нерекристаллизованную волокнистую структуру, ориентированную вдоль направления проката, и отличающуюся относительно тонким строением. К поверхности структура становится более рекристаллизованной, с укрупнением зерна. Количество избыточных интерметаллидов (включений) сравнительно небольшое ~1,5 об. %.

Плиты из жаропрочного сплава АК4-1чТ1 имеют полностью рекристаллизованную зеренную структуру, несколько вытянутую в направлении проката. Наблюдается заметное количество избыточных интерметаллидов (~12–15%), свойственное сплаву АК4-1ч. В центральной зоне плиты интерметаллиды расположены в виде строчек. В поверхностных объемах строчечная структура выражена слабее, зеренная структура более мелкая и равноосная с относительно равномерным распределением интерметаллидов.

Плиты из ресурсного алюминиевого сплава 1163Т имеют преимущественно рекристаллизованную зеренную структуру, вытянутую в направлении проката. Избыточных интерметаллидов, распределенных вдоль направления проката плиты в структуре сплава 1163Т, больше, чем в плитах В95пчТ2. Их количество оценивается в ~5–7 об. %.

Выводы

Прочностные свойства в долевом и поперечном направлениях во всех сплавах практически одинаковы.

Наблюдается снижение относительного удлинения в поперечном направлении на ~2%, а в высотном направлении – более чем в 2 раза.

Также отмечено сильное снижение коэффициента вязкости разрушения в поперечном и высотном направлениях, особенно для высокопрочного сплава В95пчТ2.

На основании совокупности результатов исследований плит и анализа зарубежной документации целесообразно для плит толщиной более 70 мм вести контроль механических свойств и вязкости разрушения в трех направлениях.

Список литературы

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012, №5, с. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы: Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
3. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
4. Скорняков В.И., Антипов В.В., Семовских Е.В. Развитие металлургического производства Каменск-Уральского металлургического завода для полуфабрикатов из новых алюминиевых сплавов // Цветные металлы. 2013. №9. С. 30–33.
5. Тарасов Ю.М., Антипов В.В. Новые материалы ВИАМ - для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 5-6.
6. Скорняков В.И., Антипов В.В. Инновационный характер сотрудничества ОАО «КУМЗ» и ФГУП «ВИАМ» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 11-14.
7. Ovsyannikov V.V. Beware of Grain Refinement //Aluminium Alloys. 2014. ICAA – 14, Trondheim, Norway, 2014. p. 143–149.
8. Алюминиевые сплавы //Справочник в 6-ти томах, М. Металлургия, 1984–1985 гг. под ред. И.Н. Фридляндера, Ф.И. Квасова, В.И. Добаткина, В.А. Ливанова, А.Ф. Белова, Р.Е. Шалина.
9. Цветные металлы и сплавы //Энциклопедия «Машиностроение», Алюминий и алюминиевые сплавы. 2001. с. 10–204. Под ред. И.Н. Фридляндера, Е.Н. Каблова.
10. В.В. Телешов, Л.Г. Березин, Л.С. Осокин, А.П. Суббота, И.П. Цыплухин. Микроструктура слитка сплава АК4-1ч и ее наследственное влияние на структуру катаной плиты // Цветные металлы и сплавы. 1997. №11–12. С. 93–98.
11. Aluminum Standards and Data. The Aluminum Association. USA. 2006, p. 6–15.

12. MIL HDBK 5H. Chance Notic 1. 1 October 2001. p. 3.11–3.13.