

Научная статья

УДК 669.715

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-3-12-22

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ СЛИТКОВ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИСТОВ ИЗ СПЛАВА В950ч-Т2 НА ИХ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

А.И. Асташкин¹, В.В. Бабанов¹, А.А. Селиванов¹, Е.А. Ткаченко¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования взаимосвязи микроструктуры слитков из сплава В950ч после гомогенизационного отжига по различным (одноступенчатому и двухступенчатым) режимам и параметров технологической пластичности в интервале температур 350–450 °С. Установлена зависимость от режима гомогенизации структуры и свойств листов толщиной 6 мм из сплава В950ч, состаренных по опытному и серийному (Т2) режимам старения. Выбраны режимы гомогенизационного отжига и старения, обеспечивающие достижение наиболее высокого уровня служебных характеристик листов.

Ключевые слова: алюминиевый сплав В950ч, система Al–Zn–Mg–Cu, гомогенизационный отжиг, технологическая пластичность слитков, микроструктура, механические и коррозионные свойства листов, искусственное старение

Для цитирования: Асташкин А.И., Бабанов В.В., Селиванов А.А., Ткаченко Е.А. Влияние режимов гомогенизации слитков и термической обработки листов из сплава В950ч-Т2 на их структуру и свойства // Труды ВИАМ. 2025. № 3 (145). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-3-12-22.

Scientific article

INFLUENCE OF HOMOGENIZATION MODES OF INGOTS AND HEAT TREATMENT OF SHEETS FROM ALLOY V950ch-T2 ON THEIR STRUCTURE AND PROPERTIES

A.I. Astashkin¹, V.V. Babanov¹, A.A. Selivanov¹, E.A. Tkachenko¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the relationship between the microstructure of V950ch alloy ingots after homogenization annealing in single- and two-stage modes with the parameters of technological plasticity in the temperature range of 350–450 °C. There has been established the dependence from the homogenization mode of the structure and properties of sheets with a thickness of more than 6 mm made of V950ch alloy, aged in a new experimental mode and a serial aging mode T2. We selected the modes of homogenization annealing and aging that ensure achievement of the highest level of service characteristics of sheets.

Keywords: aluminum alloy V950ch, Al–Zn–Mg–Cu system, homogenization annealing, technological plasticity of ingots, microstructure, mechanical and corrosion properties of sheets, artificial aging

For citation: Astashkin A.I., Babanov V.V., Selivanov A.A., Tkachenko E.A. Influence of homogenization modes of ingots and heat treatment of sheets from alloy V95och-T2 on their structure and properties. *Trudy VIAM*, 2025, no. 3 (145), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-3-12-22.

Введение

Сплав В95оч/пч системы Al–Zn–Mg–Cu многие годы широко применяется в изделиях авиакосмической техники. В частности, в самолетостроении листы из сплава В95оч/пч служат одним из основных конструкционных материалов для деталей обшивок фюзеляжа и панелей крыла [1–7].

Благодаря освоению современного металлургического оборудования, оптимизации соотношения легирующих элементов в сплавах и разработке новых технологических процессов изготовления полуфабрикатов исследовательские работы по усовершенствованию структуры и свойств сплава В95оч/пч продолжают в настоящее время [8–15]. Такие подходы обеспечивают получение комплекса улучшенных служебных характеристик материала, необходимых для новых поколений изделий авиационной техники.

При изготовлении деформированных полуфабрикатов гомогенизационный отжиг слитков является первым и наиболее длительным нагревом. Параметры данного процесса существенно влияют как на технологические свойства слитков, так и на формирование зеренной структуры и комплекса эксплуатационных свойств деформированных полуфабрикатов при окончательной термической обработке (закалке и старении). Необходимо более углубленное изучение взаимосвязи температурно-временных параметров гомогенизации со структурой и свойствами материала деформированных и термически упрочненных изделий [16–21].

В данной статье приведены результаты исследования влияния серийного и опытных режимов гомогенизации и старения на структуру, технологические, механические и коррозионные свойства литых и катаных полуфабрикатов из сплава В95оч.

Материалы и методы

По серийной технологии литья в условиях металлургического производства ПАО «КУМЗ» получены слитки сечением 500×2000 мм из сплава В95оч. Исследованы темплеты, отобранные из слитков, гомогенизированных по серийному и опытным режимам в лабораторных условиях. Изучены свойства и микроструктура холоднокатаных и горячекатаных листов, полученных из опытно-промышленных слитков, гомогенизированных по серийному одноступенчатому и опытному двухступенчатому режимам.

Химический состав исследованных полуфабрикатов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав слитка из сплава В95оч (ОСТ 1 90026–80)

| Содержание элементов, % (по массе) | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|------|------|------|
| Основные компоненты | | | | | | Примеси (не более) | | | |
| Al | Cu | Mg | Mn | Zn | Cr | Fe | Si | Ni | Ti |
| Основа | 1,6 | 2,6 | 0,3 | 6,1 | 0,1 | 0,12 | 0,03 | 0,01 | 0,03 |

В данной работе подходы к выбору режимов гомогенизации основаны на результатах, полученных ранее при исследовании закономерностей изменения структуры и свойств слитков из алюминиевых сплавов различных систем легирования в широком температурно-временном интервале [9–14]. Для двухступенчатых режимов гомогенизации

температура первой ступени выбрана в областях минимальной устойчивости твердых растворов основных легирующих элементов и антирекристаллизационных добавок марганца и хрома в алюминии.

Из центральной зоны по оси слитка отобраны поперечные темплеты толщиной 40 мм, которые подвергали гомогенизации по трем режимам в интервале температур 375–465 °С при заданной продолжительности выдержки:

- режим 1 – серийный одноступенчатый;
- режим 2 – опытный двухступенчатый (температура первой ступени соответствует температурному интервалу минимальной устойчивости твердого раствора марганца и хрома в алюминии, температура второй ступени идентична режиму 1 при меньшей продолжительности выдержки);
- режим 3 – опытный двухступенчатый (температура первой ступени соответствует температурному интервалу минимальной устойчивости твердого раствора цинка, магния и меди в алюминии, температура второй ступени идентична режиму 2 при увеличенной в 1,5 раза продолжительности выдержки).

Листы для исследования толщиной 6 мм изготовлены из опытно-промышленных слитков, гомогенизированных по серийному одноступенчатому режиму 1 и опытному двухступенчатому режиму 3.

Закалку листов из сплава В950ч проводили по серийному режиму (охлаждение с температуры выдержки 465 °С в воде при комнатной температуре) на горизонтальном закалочном агрегате ПАО «КУМЗ». В свежезакаленном состоянии листы подвергали правке со степенью деформации 2,0 %. Старение образцов, отобранных из закаленных и правленных листов, проводили в лабораторных условиях. При этом варьировали продолжительность выдержки на второй ступени старения, включая две выдержки, соответствующие границам временного интервала серийного режима Т2, и две выдержки по опытному режиму, с целью получения требуемого комплекса механических и коррозионных свойств. Образцы для испытаний отбирали с одного конца листа из центральной зоны по ширине.

Микроструктуру слитков и листов исследовали на шлифах с помощью металлографического микроскопа, оснащенного цифровой камерой. Для проведения количественного анализа применяли специальное программное обеспечение.

Исследования тонкой структуры образцов проводили на фольге при ускоряющем напряжении 200 кВ с применением просвечивающего электронного микроскопа с термополевым катодом типа Шоттки, оснащенного системой для рентгеноспектрального микроанализа.

Показатели технологической пластичности слитков (σ_b , δ) определяли на образцах, отобранных в поперечном направлении. Испытания на растяжение проводили в диапазоне температур от 20 до 450 °С в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84 на универсальной электромеханической машине, оснащенной термокабинетом для исследований в диапазоне температур от 20 до 500 °С. Механические свойства листов (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ_5), вязкость разрушения, усталостные характеристики, склонность к межкристаллитной и расслаивающей коррозии определяли по стандартным методикам и на стандартных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84, ГОСТ 9.021–74, ГОСТ 9.904–82. Испытания для определения вязкости разрушения и циклической долговечности проводили согласно ОСТ 1 90356–84 и ГОСТ 25.502–79. Вязкость разрушения определяли на образцах шириной $B = 500$ мм, циклическую долговечность – при $f = 40$ Гц, $K_t = 2,6$ и $\sigma_{max} = 157$ МПа.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

При исследовании микроструктуры слитков (рис. 1) установлено, что по сравнению со слитком в литом состоянии после гомогенизационного отжига по всем трем режимам происходит уменьшение толщины эвтектических прослоек, расположенных по границам дендритных ячеек, за счет их растворения. Как показал количественный анализ, наиболее эффективное растворение неравновесных эвтектических прослоек кристаллизационного происхождения наблюдается после гомогенизации по режиму 3 (рис. 1, ж, з). Объемная доля избыточных первичных фаз в слитке в литом состоянии составляет 6,7 % и после гомогенизации по режиму 3 уменьшается до 2,6 %, по режиму 1 – до 3,1 %, по режиму 2 – до 2,8 %.

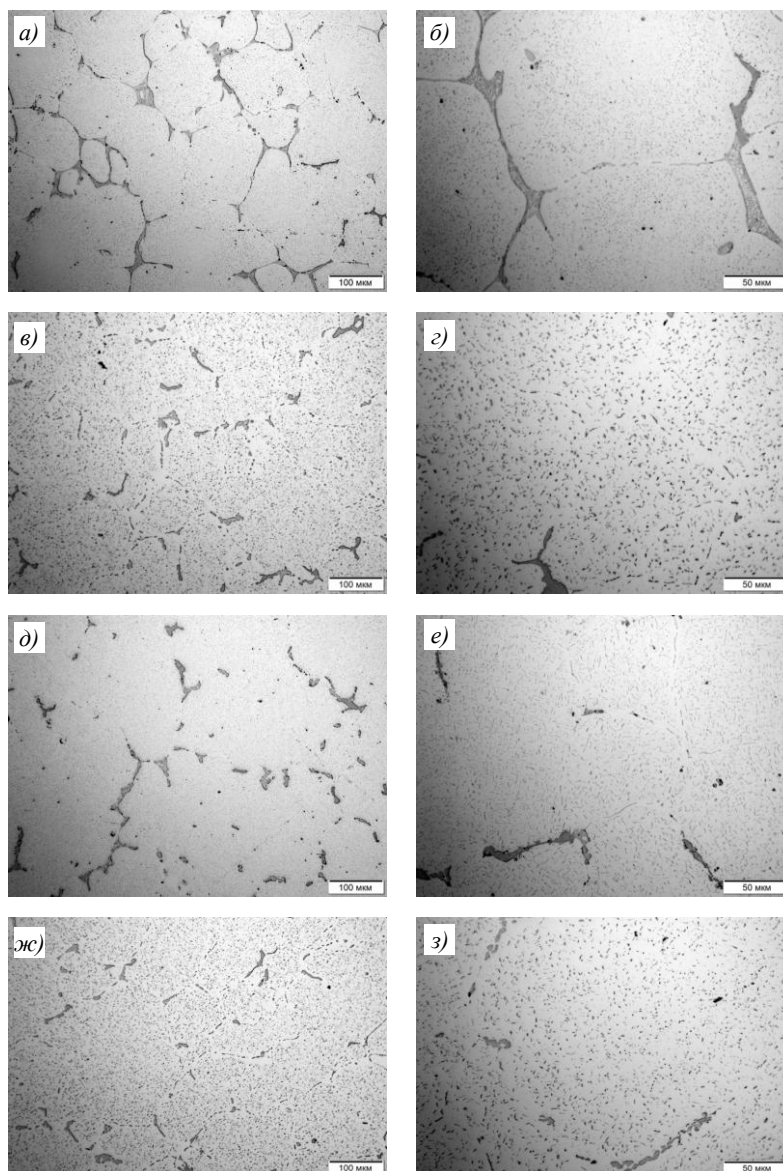


Рис. 1. Микроструктуры слитков из сплава В950с в литом состоянии (а, б) и после гомогенизации по режиму 1 (в, г), 2 (д, е), 3 (ж, з) при увеличении $\times 200$ (а, в, д, ж) и $\times 500$ (б, г, е, з)

В большей степени объемная доля неравновесных первичных эвтектик на границах дендритных ячеек уменьшается в результате гомогенизации по режиму 3 по сравнению с другими режимами. Это обусловлено увеличением градиента концентрации

основных легирующих элементов по объему зерна в связи с более интенсивным распадом твердого раствора при выдержке в температурном интервале его минимальной устойчивости за счет выделения вторичных мелких частиц $MgZn_2$.

Электронно-микроскопическое исследование (рис. 2) показало, что структура слитков из сплава В95оч характеризуется распадом твердого раствора [12–14, 16, 18] как в литом состоянии, так и в результате гомогенизации по различным режимам с образованием дисперсоидов разной морфологии и размеров:

– Т-фаза ($Al_{20}Cu_2Mn_3$), имеющая форму пластин длиной до 600 нм с поперечным сечением до 20 нм;

– вторичные выделения η -фазы ($MgZn_2$).

После гомогенизации по одноступенчатому режиму 1 частицы Т-фазы имеют длину >500 нм (рис. 2, б). В слитках в литом состоянии и после гомогенизации по опытным режимам 2 и 3 наблюдается меньший размер частиц Т-фазы – до 250–300 нм (рис. 2, а, в) и 100–200 нм (рис. 2, з) соответственно. При качественной оценке в структуре слитков в литом состоянии и после гомогенизации по режиму 2 обнаружено меньшее количество выделений η -фазы ($MgZn_2$) по сравнению со слитками, гомогенизированными по режимам 1 и 3.

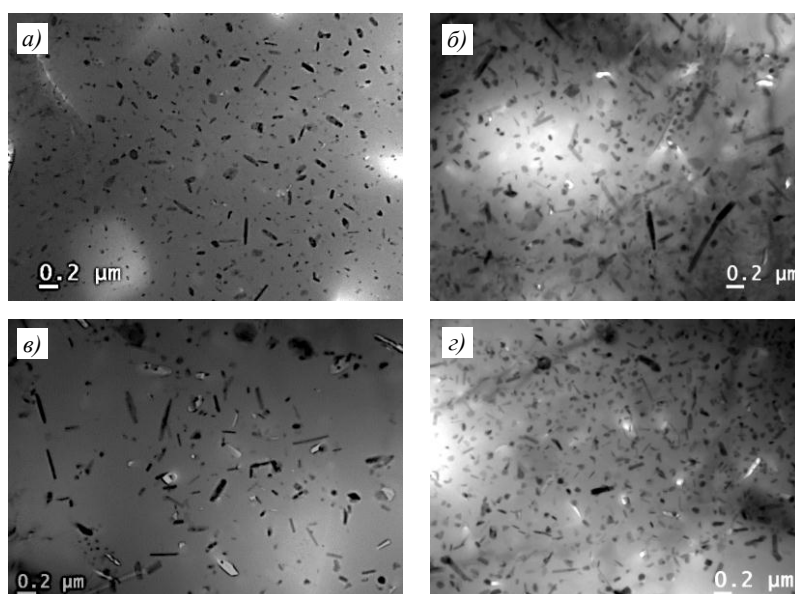


Рис. 2. Структуры слитков из сплава В95оч в литом состоянии (а) и после гомогенизации по режиму 1 (б), 2 (в), 3 (з)

Независимо от режима гомогенизации сопротивление деформации слитков из сплава В95оч в температурном интервале 350–430 °С практически одинаково и составляет 50–55 МПа при 350 °С, монотонно снижаясь до 30–40 МПа при повышении температуры испытаний до 450 °С (рис. 3, а).

Особенности структуры, обусловленные режимом гомогенизации, оказали более существенное влияние на технологические характеристики слитков при повышенных температурах (рис. 3, б). Установлено, что после гомогенизации по двухступенчатому режиму 3 наиболее высокие показатели технологической пластичности слитков из сплава В95оч (максимальные значения относительного удлинения $\delta = 90$ –100 %) получены в температурном интервале 350–430 °С. Значения технологической пластичности слитков, гомогенизированных по серийному одноступенчатому режиму 1, при этих температурах составляют 60–85 %. Максимальные показатели технологической

пластичности слитков в литом состоянии и после гомогенизации по опытному режиму 2 достигают 75–80 % в более узком интервале температур 350–380 °С и резко снижаются до 40–50 % при повышении температуры деформации до 430 °С.

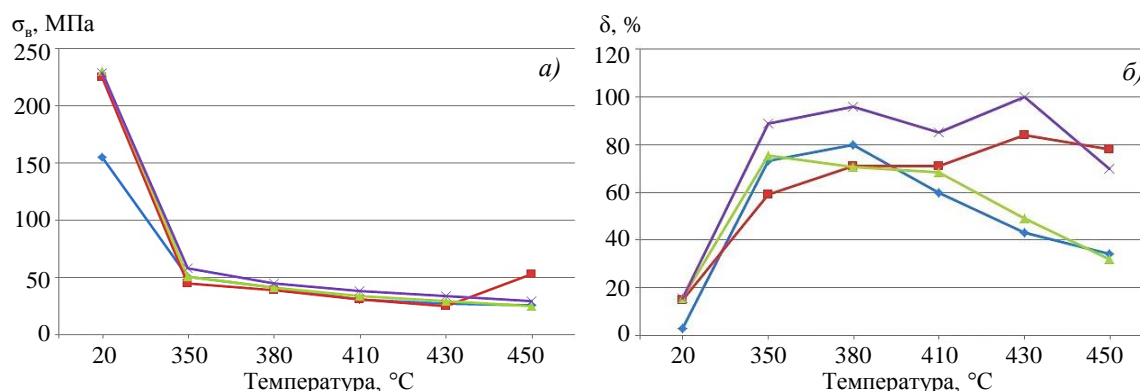


Рис. 3. Влияние температуры деформации на сопротивление деформации (а) и технологическую пластичность (б) слитка из сплава В950с в литом состоянии (♦) и после гомогенизации по режиму 1 (■), 2 (▲), 3 (×)

Следует отметить, что при увеличении температуры деформации до 450 °С технологическая пластичность слитков, гомогенизированных по режимам 1 и 3, снижается до 70–80 %, по режиму 2 и в литом состоянии – до 30–40 %.

Исследовано влияние режима гомогенизации слитков из сплава В950с на механические и коррозионные свойства катаных листов толщиной 6 мм в состоянии Т2. Листы изготовлены из слитков, гомогенизированных по режимам, обеспечившим наиболее высокий уровень технологической пластичности: 1 (одноступенчатый серийный) и 3 (двухступенчатый опытный). Прокатку листов в интервале температур 380–420 °С осуществляли по следующей схеме: горячая прокатка плоского слитка, обточенного до толщины 465 мм, до листа номинальной толщиной 10 мм, далее холодная прокатка до номинальной толщины 6 мм.

Зеренная структура листов из сплава В950с-Т2 приведена на рис. 4. Все исследованные листы имеют частично рекристаллизованную структуру.

Средний размер зерна в плоскости прокатки для листа толщиной 6 мм в состоянии Т2, изготовленного из слитка, гомогенизированного по опытному режиму 3, составляет 0,09 мм. По сравнению с этими листами у листов толщиной 6 мм из слитков, гомогенизированных по серийному режиму 1, средний размер зерна более чем в 2 раза крупнее (табл. 2, рис. 4).

Согласно данным работ [17, 21], увеличение среднего размера зерна в листах в плоскости прокатки >0,20 мм отрицательно влияет на прочностные свойства, характеристики сопротивления усталости и трещиностойкости. В связи с этим необходимость более детального изучения влияния технологических параметров изготовления листов на размер зерна не утратила актуальности.

Листы толщиной 6 мм, полученные из слитков, гомогенизированных по опытному двухступенчатому режиму, и состаренные по стандартному режиму Т2, отличались более высоким уровнем прочностных характеристик и более низким уровнем относительного удлинения по сравнению с листами, изготовленными по серийной технологии (табл. 2). При этом величины $\sigma_{0,2}$ соответствовали верхнему пределу значений, допустимых техническими условиями для листов из сплава В950с в состоянии Т2.

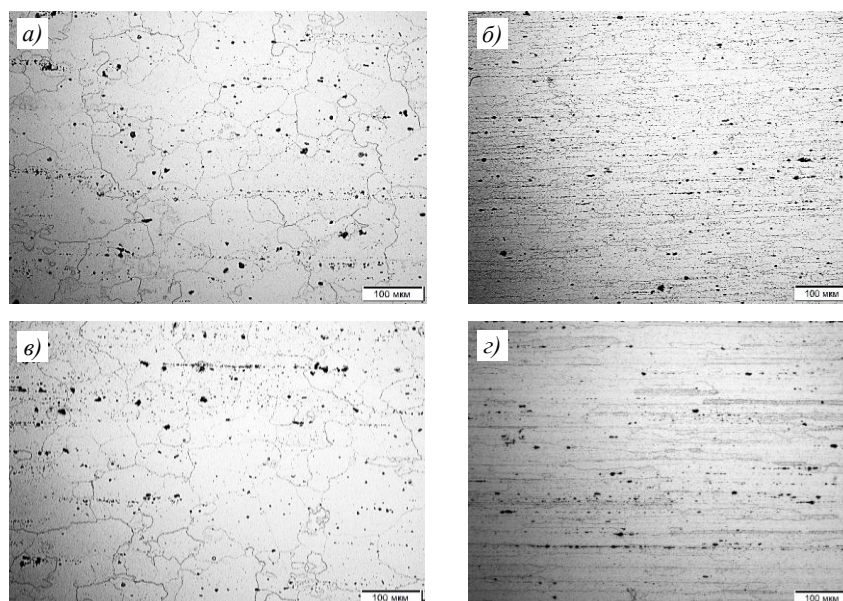


Рис. 4. Микроструктуры листов толщиной 6 мм из сплава В950ч-Т2 в плоскости прокатки (а, в) и по толщине в продольном направлении (б, г). Исходные слитки гомогенизированы по опытному режиму 3 (а, б) и серийному режиму 1 (в, г)

Таблица 2

Влияние режимов гомогенизации слитков и режимов старения на структуру, механические и коррозионные свойства листов толщиной 6 мм из сплава В950ч

| Характеристики | Значение характеристики листов | | |
|--|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | по опытному режиму гомогенизации 3 | | по серийному режиму гомогенизации 1 |
| | после старения по режиму | | |
| | экспериментальному | стандартному Т2 | |
| Предел прочности σ_b , МПа | 525–530 | 540–550 | 495–510 |
| Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | 455–460 | 495–510 | 420–465 |
| Относительное удлинение δ_5 , % | 14,0–14,5 | 9,5–11,0 | 11,5–15,0 |
| Циклическая долговечность $N_{ср}$, циклы | >250000 | >200000 | 140000 |
| Вязкость разрушения* K_c^y , МПа $\sqrt{м}$ (при ширине образца $B = 500$ мм) | 130 | 102 | 125*** |
| Склонность к межкристаллитной коррозии**, мм | 0,051 | 0,071 | 0,12 |
| Склонность к расслаивающей коррозии, балл (не более) | 3 | 4 | 3 |
| Условный средний размер зерна, мм | 0,09 | | 0,20 |
| * Минимальные значения. ** Максимальные значения. *** Значение K_c^y получено при испытании образцов шириной $B = 750$ мм. Определяемый уровень K_c^y тем выше, чем больше ширина образца. | | | |

Высокий уровень прочностных характеристик может быть причиной снижения показателей трещиностойкости и ухудшения коррозионной стойкости таких листов. В связи с этим для обеспечения сочетания оптимальных уровней прочностных характеристик, вязкости разрушения и коррозионной стойкости листы, изготовленные из слитка,

гомогенизированного по опытному режиму 3, были состарены по новому экспериментальному режиму.

Анализ результатов испытаний листов толщиной 6 мм из сплава В950ч, полученных по серийной и опытной технологиям, показывает (табл. 2), что использование опытного двухступенчатого режима гомогенизации слитков в сочетании с новым экспериментальным режимом старения листов по сравнению с серийной технологией позволяет получить более высокие значения относительного удлинения, вязкости разрушения, циклической долговечности и коррозионной стойкости.

Заключения

Установлено влияние режимов гомогенизационного отжига на структуру и параметры технологической пластичности плоских слитков из сплава В950ч, а также на зеренную структуру и комплекс служебных характеристик листов, полученных из этих слитков.

Наиболее высокие показатели технологической пластичности ($\delta = 90\text{--}100\%$) в температурном интервале деформации $350\text{--}430\text{ }^\circ\text{C}$ отмечены для слитков из сплава В950ч после гомогенизационного отжига по опытному двухступенчатому режиму 3. Такие значения относительного удлинения обусловлены уменьшением объемной доли неравновесных эвтектических первичных фаз кристаллизационного происхождения по границам дендритных ячеек с 6,7 % до 2,6 % после гомогенизационного отжига слитков. Кроме того, на этот процесс влияет формирование более мелких вторичных частиц дисперсоидов (Т-фазы) протяженностью до 200 нм. При этом в слитке, гомогенизированном по стандартному режиму 1, наблюдаются частицы протяженностью до 500 нм.

Проведенные исследования показали, что опытный двухступенчатый режим гомогенизации слитков из сплава В950ч в сочетании с новым экспериментальным режимом старения листов обеспечивает более высокие значения характеристик усталостной долговечности, трещиностойкости (вязкости разрушения) и коррозионной стойкости при сопоставимом уровне прочностных характеристик. Кроме того, уменьшается средний размер зерна по сравнению с листами, полученными по серийной технологии (гомогенизация слитков по одноступенчатому режиму и упрочняющая термическая обработка листов по режиму Т2).

Список источников

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // *Вестник Российской академии наук*. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.
3. Антипов В.В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
4. 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.
5. Дуюнова В.А., Нечайкина Т.А., Оглодков М.С., Яковлев А.Л., Леонов А.А. Перспективные разработки в области легких материалов для современной авиакосмической техники // *Технология легких сплавов*. 2018. № 4. С. 28–43.

6. Антипов В.В., Серебренникова Н.Ю., Коновалов А.Н., Нефедова Ю.Н. Перспективы применения в авиационных конструкциях слоистых металлополимерных материалов на основе алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 1 (58). С. 45–53. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-45-53.
7. Сенаторова О.Г., Антипов В.В., Бронз А.В. и др. Высокопрочные и сверхпрочные сплавы традиционной системы Al–Zn–Mg–Cu, их роль в технике и возможности развития // *Технология легких сплавов*. 2016. № 2. С. 43–49.
8. Оглодков М.С., Романенко В.А., Бенариев И., Рудченко А.С., Григорьев М.В. Исследование промышленных полуфабрикатов из перспективных алюминий-литиевых сплавов для авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 3 (72). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-62-77.
9. Сенаторова О.Г., Укусников А.Н., Легошина С.Ф., Иванов А.Л., Сидельников В.В. Влияние различных малых добавок на структуру и свойства листов из высокопрочных сплавов системы Al–Zn–Mg–Cu // *Авиационные материалы и технологии*. 2002. Вып.: Перспективные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы для авиакосмической техники. С. 91–95.
10. Никитин В.И. Технологии генной инженерии – новое направление в производстве алюминиевых сплавов // *Сб. тр. науч.-техн. конф. «Новые направления развития производства и потребления алюминия и его сплавов»*. Самара, 2000. С. 158–165.
11. *Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под ред. Е.Н. Каблова*. 7-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ, 2008. Т. 4: Алюминиевые и бериллиевые сплавы, ч. 1: Деформируемые алюминиевые сплавы, кн. 2. С. 35–66.
12. Фридляндер И.Н. *Металловедение алюминиевых сплавов*. М.: Наука, 1985. 238 с.
13. Колобнев Н.И., Бер Л.Б., Цуканов С.Л. Термическая обработка деформируемых алюминиевых сплавов. М.: НП «АПРАЛ», 2020. 552 с.
14. Wei Wang, Ralph T. Shuey. Homogenization Model for 7xxx Aluminum Alloy // *Proceedings of the 12th International Conference on Aluminium Alloys*. Yokohama, 2010. P. 264–269.
15. Нечайкина Т.А., Оглодков М.С., Иванов А.Л., Козлова О.Ю., Яковлев С.И., Шляпников М.А. Особенности закалки широких обшивочных плакированных листов из алюминиевого сплава В95п.ч. на линии непрерывной термической обработки // *Труды ВИАМ*. 2021. № 11 (105). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-25-33.
16. Асташкин А.И., Зайцев Д.В., Селиванов А.А., Ткаченко Е.А. Влияние гомогенизационного отжига на структурно-фазовое состояние и технологическую пластичность слитков из алюминиевого сплава 1163 // *Труды ВИАМ*. 2024. № 7 (137). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-12-23.
17. Фридляндер И.Н., Берстенов В.В., Ткаченко Е.А. и др. Влияние термической обработки и деформации на величину зерна и механические свойства сплавов типа дуралюмин // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2003. № 7. С. 3–6.
18. Нечайкина Т.А., Блинова Н.Е., Иванов А.Л., Козлова О.Ю., Кожекин А.Е. Исследование влияния режимов гомогенизации и закалки на структуру и механические свойства раскатных колец из сплава В95о.ч.-Т2 // *Труды ВИАМ*. 2018. № 10 (70). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-10-27-36.
19. Yu-lin Zheng, Cheng-bo Li, Sheng-dan Liu et al. Effect of homogenization time on quench sensitivity of 7085 aluminum alloy // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2014. Vol. 24. P. 2275–2281.
20. Арышенский В.Ю., Гречникова А.Ф., Дриц А.М., Соседков С.М. Выбор технологических параметров для снижения размера зерна в основе и плакировке обшивочных листов из алюминиевых сплавов // *Технология легких сплавов*. 2010. № 3. С. 21–30.
21. Ткаченко Е.А., Сенаторова О.Г., Милевская Т.В., Иванов А.Л. Влияние размера зерна на комплекс свойств обшивочных плакированных холоднокатаных листов из базовых сплавов 1163 и В95пч // *Цветные металлы*. 2014. № 13. С. 57–63.

References

1. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N., Antipov V.V. The Role of New Generation Materials in Ensuring the Technological Sovereignty of the Russian Federation. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2023, vol. 93, no. 10, pp. 907–916.
3. Antipov V.V. Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
4. Tarasov Yu.M., Antipov V.V. The VIAM new materials – for perspective aviation engineering of production of JSC «OAK». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 2, pp. 5–6.
5. Duyunova V.A., Nechaikina T.A., Oglodkov M.S., Yakovlev A.L., Leonov A.A. Promising developments in the field of lightweight materials for modern aerospace technology. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2018, no. 4, pp. 28–43.
6. Antipov V.V., Serebrennikova N.Yu., Konovalov A.N., Nefedova Yu.N. Perspectives of application of fiber metal laminate materials based on aluminum alloys in aircraft design. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 1 (58), pp. 45–53. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-45-53.
7. Senatorova O.G., Antipov V.V., Bronz A.V. et al. High-strength and super-strong alloys of the traditional Al–Zn–Mg–Cu system, their role in technology and development possibilities. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2016, no. 2, pp. 43–49.
8. Oglodkov M.S., Romanenko V.A., Benarieb I., Rudchenko A.S., Grigoryev M.V. Study of industrial semi-finished products from advanced aluminum-lithium alloys for aircraft products. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 20, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-62-77.
9. Senatorova O.G., Uksusnikov A.N., Legoshina S.F., Ivanov A.L., Sidelnikov V.V. Effect of various small additives on the structure and properties of sheets made of high-strength alloys of the Al–Zn–Mg–Cu system. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2002, is.: Promising aluminum, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering, pp. 91–95.
10. Nikitin V.I. Genetic engineering technologies – a new direction in the production of aluminum alloys. *Proc. scientific-technical. conf. «New directions of development of production and consumption of aluminum and its alloys»*. Samara, 2000, pp. 158–165.
11. *Aviation materials: handbook in 13 vols*. Ed. E.N. Kablov. 7th ed., rev. and add. Moscow: VIAM, 2008, vol. 4: Aluminum and Beryllium Alloys, Part 1: Wrought Aluminum Alloys, book 2, pp. 35–66.
12. Fridlyander I.N. *Metallurgy of Aluminum Alloys*. Moscow: Nauka, 1985, 238 p.
13. Kolobnev N.I., Ber L.B., Tsukanov S.L. *Heat Treatment of Wrought Aluminum Alloys*. Moscow: NP «APRAL», 2020, 552 p.
14. Wei Wang, Ralph T. Shuey. Homogenization Model for 7xxx Aluminum Alloy. *Proceedings of the 12th International Conference on Aluminium Alloys*. Yokohama, 2010, pp. 264–269.
15. Nechaykina T.A., Oglodkov M.S., Ivanov A.L., Kozlova O.Yu., Yakovlev S.I., Shlyapnikov M.A. Features of hardening of wide cladding sheets from V95p.ch. aluminum alloy on a continuous heat treatment line. *Trudy VIAM*, 2021, no. 11 (105), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 20, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-25-33.
16. Astashkin A.I., Zaitsev D.V., Selivanov A.A., Tkachenko E.A. The influence of homogenization annealing on the structural phase evolution and technological plasticity of aluminum alloy 1163 ingots. *Trudy VIAM*, 2024, no. 7 (137), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 20, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-12-23.

17. Fridlyander I.N., Berstenev V.V., Tkachenko E.A. et al. Effect of heat treatment and deformation on grain size and mechanical properties of duralumin alloys. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2003, no. 7, pp. 3–6.
18. Nechaikina T.A., Blinova N.E., Ivanov A.L., Kozlova O.Yu., Kozhekin A.E. Research of the effect of homogenization and quench hardening modes on the structure and mechanical properties of retail rings from alloy B95o.ch.-T2. *Trudy VIAM*, 2018, no. 10 (70), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 20, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-10-27-36.
19. Yu-lin Zheng, Cheng-bo Li, Shengdan Liu et al. Effect of homogenization time on quench sensitivity of 7085 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, vol. 24, pp. 2275–2281.
20. Aryshenskiy V.Yu., Grechnikova A.F., Drits A.M., Sosedkov S.M. Selection of technological parameters for reducing the grain size in the base and cladding of cladding sheets made of aluminum alloys. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2010, no. 3, pp. 21–30.
21. Tkachenko E.A., Senatorova O.G., Milevskaya T.V., Ivanov A.L. Influence of grain size on the complex of properties of clad cladding cold-rolled sheets made of base alloys 1163 and B95pch. *Tsvetnye metally*, 2014, no. 13, pp. 57–63.

Информация об авторах

Асташкин Александр Игоревич, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Бабанов Виталий Викторович, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Селиванов Андрей Аркадьевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Ткаченко Евгения Анатольевна, старший научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexander I. Astashkin, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vitaly V. Babanov, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Andrey A. Selivanov, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Evgenia A. Tkachenko, Senior Researcher, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 18.10.2024.
The article was submitted 14.10.2024; approved and accepted for publication after reviewing 18.10.2024.