



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/047 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019113282, 29.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.04.2019

Дата регистрации:
22.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.04.2019

(45) Опубликовано: 22.11.2019 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, стр. НИУ "БелГУ", ОИС,
Токtareвой Т.М.

(72) Автор(ы):

Газизов Марат Разифович (RU),
Кайбышев Рустам Оскарович (RU),
Тагиров Дамир Вагизович (RU),
Жемчужникова Дарья Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 20140166161 A1, 19.06.2014. RU
2266348 C2, 20.12.2005. RU 2232828 C2,
20.07.2004. CN 101876041 A, 03.11.2010. CN
102206794 A, 05.10.2011.

(54) Способ термомеханической обработки полуфабрикатов из термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Ag сплавов

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке полуфабрикатов из термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Ag сплавов для улучшения механических свойств и показателей жаропрочности готовых изделий, применяемых в современных газотурбинных двигателях наземного и авиационного назначений. Способ термомеханической обработки полуфабрикатов из термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Ag сплавов включает гомогенизационный отжиг литого полуфабриката при температуре от 450 до 510°C в течение 10-25 часов, механическую обработку, горячую деформацию методом равноканального

углового прессования при температурах 400-425°C с суммарной истинной степенью в интервале от 1 до 2, отжиг деформированных полуфабрикатов при температуре не выше 515°C в течение не более 10 часов, закалку с температуры отжига в воду комнатной температуры с последующим искусственным старением на максимальную прочность в интервале температур 190-250°C в течение от 0,5 до 2,5 часов. Изобретение позволяет улучшить механические свойства и показатели жаропрочности готовых изделий из термоупрочняемых алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag. 1 з.п. ф-лы, 1 табл., 4 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22F 1/047 (2019.08)

(21)(22) Application: **2019113282, 29.04.2019**

(24) Effective date for property rights:
29.04.2019

Registration date:
22.11.2019

Priority:

(22) Date of filing: **29.04.2019**

(45) Date of publication: **22.11.2019** Bull. № 33

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.
Pobedy, 85, str. NIU "BelGU", OIS, Toktarevoj
T.M.**

(72) Inventor(s):

**Gazizov Marat Razifovich (RU),
Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),
Tagirov Damir Vagizovich (RU),
Zhemchuzhnikova Darya Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR THERMOMECHANICAL PROCESSING OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM HEAT-STRENGTHENED Al-Cu-Mg-Ag ALLOYS**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to thermomechanical processing of semi-finished products from heat-strengthened Al-Cu-Mg-Ag alloys to improve mechanical properties and heat resistance of finished articles used in modern gas turbine engines of ground and aircraft applications. Method of thermomechanical treatment of semi-finished products from heat-strengthened Al-Cu-Mg-Ag alloys involves homogenization annealing of cast semi-finished product at temperature from 450 to 510 °C for 10–25 hours, mechanical treatment, hot deformation by equal-channel angular pressing at temperatures of 400–425 °C with

total true degree in range from 1 to 2, deformed semi-products annealing at temperature not higher than 515 °C for not more than 10 hours, quenching from the annealing temperature into room temperature water with subsequent artificial aging for maximum strength in the temperature range of 190–250 °C for 0.5 to 2.5 hours.

EFFECT: invention improves mechanical properties and heat resistance properties of finished articles from heat-strengthened aluminum alloys of the Al-Cu-Mg-Ag system.

1 cl, 1 tbl, 4 ex

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке полуфабрикатов из термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Ag сплавов для улучшения механических свойств, в частности предела длительной прочности готовых изделий, применяемых в современных газотурбинных двигателях наземного и авиационного назначения.

Существует большое количество работ, посвященных изучению процессов, происходящих при различных режимах термической и термомеханической обработок, направленных на улучшение комплекса механических свойств материалов. Однако для термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Ag сплавов, используемых для изготовления деталей/узлов в современных газотурбинных двигателях наземного и авиационного назначения, наиболее актуальной задачей является повышение жаропрочности готовых изделий и, в частности, повышение предела длительной прочности при повышенных температурах, наряду с высокими механическими свойствами.

Известны способы термической/термомеханической обработки алюминиевых сплавов по классификации Международной ассоциации по алюминиевым сплавам (Aluminium Association): T6, включает обработку на твердый раствор, закалку и искусственное старение на максимальную прочность; T651, включает обработку на твердый раствор, закалку, деформацию растяжением менее 1% и искусственное старение на максимальную прочность; T8XX, комплекс обработок, включающих обработку на твердый раствор, закалку, холодную деформацию более 1% и искусственное старение. Данные способы обработки классифицируют термическую/термомеханическую обработку алюминиевых сплавов в общем, и, соответственно, задают лишь последовательность операций, таких как обработка на твердый раствор, закалка, холодная деформация, искусственное старение без точного указания температурно-временных интервалов для получения оптимальных механических свойств. К тому же, они не описывают режимы предварительной обработки, включающие гомогенизацию, горячую/холодную деформацию, отжиг и т.д.

Из уровня техники известны способы обработки термоупрочняемых Al-Cu-Mg-Mn сплавов. Например, термоупрочняемый Al-Cu-Mg-Mn сплав для изготовления полуфабрикатов с высокими статическими и динамическими механическими свойствами и способ его производства, включающий следующие операции: (а) отливка слитков сплава; (б) гомогенизационный отжиг; (в) горячая деформация прокаткой при 320-470°C; (г) обработка на твердый раствор при 490-505°C в течение 0,5-5 часов; (д) закалка в воду с температурой до 100°C или водно-гликолевый раствор при температуре ниже или равной 50°C; (е) холодная деформация 1-5% и (ж) искусственное старение при температуре 170-210°C в течение 5-35 часов (US7214279 B2, опубл. 08.05.2007).

Известен термоупрочняемый Al-Cu-Mg-Mn сплав для изготовления полуфабрикатов с высокими статическими и динамическими механическими свойствами, а также способ его производства (US2005/0115645, опубл. 02.06.2005). Данный способ включает следующие технологические операции: (а) литье сплава; (б) гомогенизационный отжиг; (в) горячая деформация прокаткой при температурах 370-470°C; (г) отжиг при 490-505°C в течение от 0,5 до 5 часов; (д) закалка в воду с температурой до 100°C или водно-гликолевый раствор при температуре ниже или равной 50°C; (е) искусственное старение при 170-210°C в течение 5-35 часов.

Общим недостатком указанных технических решений является то, что они не предназначены для Al-Cu-Mg-Ag сплава и, соответственно, не обеспечивают достижение максимальных механических свойств в этом сплаве.

Наиболее близкий к предложенному изобретению способ, принятый за прототип,

описан в патенте US2014/0166161A1, опубл. 19.06.2014. Производство полуфабрикатов из жаропрочного Al-Cu-Mg-Ag сплава включает следующие шаги: (а) отливка прутков; (б) гомогенизационный отжиг при температурах 485-510°C в течение 10-25 часов; (в) горячая деформация при 280-470°C (экструзия, ковка, прокатка) (г) отжиг при 480-510°C в интервале времен от 30 минут до 8 часов; (д) закалка в воду, имеющую температуру от комнатной до 100°C, или водно-гликолевый раствор с температурой до 50°C и содержанием гликоля до 60%; (е) холодная деформация 1-5%; (ж) старение при температуре, адаптированной для планируемого использования полуфабрикатов, преимущественно в интервале от 80 до 210°C в течение 5-35 часов.

Недостатком прототипа является то, что температурно-временные интервалы искусственного старения не обеспечивают достижения максимальных показателей механической прочности, а также жаропрочности, т.е. предела длительной прочности полуфабрикатов из Al-Cu-Mg-Ag сплавов.

Задачей изобретения является разработка способа термомеханической обработки алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag для улучшения их механических свойств.

Технический результат заключается в улучшении механических свойств и повышении жаропрочности, а именно увеличение предела длительной прочности при повышенных температурах, по сравнению с обработкой по прототипу. Дополнительный технический результат - сокращение времени искусственного старения.

Заявляемый технический результат достигается способом термомеханической обработки литых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag, включающим следующие операции:

- гомогенизационный отжиг при температурах до 510°C в течение 10-25 часов для растворения эвтектических включений, образовавшихся в процессе литья, равномерного распределения легирующих элементов по объему слитка(ов), а также повышения технологической пластичности полуфабрикатов для последующей деформации;

- горячая деформация полуфабрикатов;

- отжиг деформированных полуфабрикатов при 485-510°C;

- закалка с температуры отжига в воду комнатной температуры с целью формирования пересыщенного твердого раствора легирующих элементов;

- искусственное старение,

в который внесены следующие новые признаки:

- гомогенизационный отжиг проводят при температурах от 450 до 510°C;

- после гомогенизации проводят механическую обработку слитков путем точения, фрезерования, скальпирования, резания, или их комбинации, для удаления поверхностных дефектов литья, что позволяет получить заготовки, имеющие требуемые геометрические размеры для дальнейшей деформации, и достигнуть равномерного комплекса механических свойств во всем объеме полуфабрикатов;

- горячую деформацию осуществляют методом равноканального углового прессования при температурах 400-425°C с суммарной истинной степенью в интервале от 1 до 2 для устранения дефектов литья, получения мелкозернистой структуры и равномерного распределения включений различных фаз эвтектического происхождения в объеме полуфабрикатов;

- отжиг деформированных полуфабрикатов осуществляют при 485-515°C в течение 1-10 часов для растворения частиц различных избыточных фаз, образовавшихся в процессе охлаждения после гомогенизационного отжига и/или горячей деформации, равномерного распределения легирующих элементов, а также завершения процессов рекристаллизации;

- искусственное старение на максимальную прочность проводят при температуре в интервале 190-250°C в интервале от 0,5 до 2,5 часов, что позволяет за такое короткое время сформировать оптимальную структуру, состоящую из мелкодисперсных частиц вторых фаз, для достижения требуемого уровня механических свойств.

5 Совокупность указанных признаков позволяет сформировать оптимальную структуру, состоящую из мелкодисперсных частиц вторых фаз, для достижения требуемого уровня механических свойств при проведении искусственного старения за такое короткое время.

10 Способ позволяет обеспечить высокий предел длительной прочности, а также повышение механических свойств при комнатной температуре и при 150°C, по сравнению с обработкой, предложенной в прототипе.

Примеры осуществления.

15 Пример 1. Термоупрочняемый Al-Cu-Mg-Ag сплав, химического состава Al-4,35Cu-0,46Mg-0,63Ag-0,36Mn-0,12Ti-0,04Fe-0,04V (в масс.%), был поставлен в виде прямоугольной (450×150×1000 мм) отливки после отжига при 300°C в течение 6 часов для снятия остаточных напряжений. Далее данную отливку подвергали термомеханической обработке по заявляемому способу:

- гомогенизационный отжиг при температуре 505±5°C в течение 24 часов с последующим охлаждением с печью;
- 20 - механическая обработка слитка после гомогенизации методом токарного точения поверхности на глубину 5±1 мм с последующей нарезкой на цилиндрические заготовки;
- деформация цилиндрических заготовок диаметром 80 мм и длиной 100 мм, полученных из обработанного слитка, методом равноканального углового прессования при температуре 420±5°C с истинной степенью деформации 1;
- 25 - отжиг деформированных полуфабрикатов при 510±5°C в течение 1 часа;
- закалка с температуры отжига в воду комнатной температуры;
- искусственное старение на максимальную прочность при температуре 192±2°C в течение 1,5 часов.

30 Пример 2. Отличающийся от примера 1 тем, что деформацию проводят методом равноканального углового прессования при температуре 400±5°C с истинной степенью 2, а искусственное старение при 192±2°C осуществляют в течение 2 часов.

Пример 3. Отличающийся от примера 1 тем, что искусственное старение осуществляют при 192±2°C в течение 2,5 часов.

35 Пример 4. Отличающийся от примера 1 тем, что искусственное старение осуществляют при 248±2°C в течение 0,5 часов.

40 Приведенная в примере механическая обработка методом токарного точения не ограничивает возможность использования любых других известных способов механической обработки, например, фрезерования, скальпирования, резания, или их комбинации, которые позволяют обеспечить удаление поверхностных дефектов литья полуфабрикатов.

Для определения свойств Al-Cu-Mg-Ag сплава после обработки предложенным способом использовали пропорциональные плоские образцы, имеющие размеры рабочей части 3×7×35 мм. Измерение микротвердости проводили по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» при комнатной температуре. 45 Испытание для определения механических свойств, а именно, предела текучести условного, временного сопротивления, относительного удлинения после разрушения, при 150°C проводили по ГОСТ 9651-84 «Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах». Испытания на сопротивление ползучести проводили по

ГОСТ 10145-81 «Метод испытания на длительную прочность».

В таблице 1 представлены результаты измерения механических свойств образцов Al-Cu-Mg-Ag сплава, полученных по режимам термической обработки аналогичным прототипу и в соответствии с указанными примерами. Режимы 1 и 2 обработки Al-Cu-Mg-Ag сплава по аналогии с прототипом включают прокатку с истинной степенью деформации 0,2, а также искусственное старение при $192\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 часов и при $208\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 часов, соответственно.

Таблица 1

Режим термической обработки	Микротвердость при комнатной температуре, HV 0,5	Растяжение при 150°C			Предел длительной прочности за 1000 ч. при 150°C . σ_{1000}^{150} , МПа
		Предел текучести условный $\sigma_{0,2/150}$, МПа	Временное сопротивление $\sigma_{B/150}$, МПа	Относительное удлинение после разрыва δ_{150} , %	
Режим 1, по аналогии с прототипом (старение при $192\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 часов)	147,6 \pm 1,4	380 \pm 5	400 \pm 5	12 \pm 2	217 \pm 8
Режим 2, по аналогии с прототипом (старение при $208\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 часов)	145,8 \pm 1,9	375 \pm 5	390 \pm 5	12 \pm 1	-
Пример 1	159 \pm 2	415 \pm 5	435 \pm 5	13 \pm 2	253 \pm 12
Пример 2	157 \pm 3	405 \pm 5	415 \pm 5	17 \pm 3	240 \pm 12
Пример 3	155 \pm 2	400 \pm 5	415 \pm 5	16 \pm 2	-
Пример 4	151 \pm 3	385 \pm 5	410 \pm 5	14 \pm 2	-

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что термомеханическая обработка по предлагаемому способу обеспечивает повышение показателей микротвёрдости при комнатной температуре примерно до 8%, предела текучести условного примерно до 9%, временного сопротивления примерно до 9%, относительного удлинения после разрыва примерно до 42%, предел длительной прочности выше примерно на 10-17% по сравнению со свойствами сплава, обработанного по режиму прототипа.

Таким образом, заявленное изобретение позволяет улучшить комплекс механических свойств готовых изделий из термоупрочняемых алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag при сокращении временных затрат на искусственное старение. Свойства полуфабрикатов из Al-Cu-Mg-Ag сплавов, полученные в результате предложенной термомеханической обработки, позволят повысить эксплуатационные свойства деталей и узлов, обеспечить снижение стоимости жизненного цикла газотурбинных двигателей наземного и авиационного назначений и повысить их надежность.

(57) Формула изобретения

1. Способ термомеханической обработки полуфабрикатов из термоупрочняемых

Al-Cu-Mg-Ag сплавов, включающий гомогенизационный отжиг литого полуфабриката, горячую деформацию, отжиг деформированных полуфабрикатов, закалку с температуры отжига в воду комнатной температуры с последующим искусственным старением, отличающийся тем, что после гомогенизационного отжига при температуре от 450 до 510°C в течение 10-25 часов проводят механическую обработку полуфабриката, а горячую деформацию после механической обработки осуществляют методом равноканального углового прессования при температурах 400-425°C с суммарной истинной степенью в интервале от 1 до 2, последующий отжиг деформированных полуфабрикатов проводят при температуре не выше 515°C в течение не более 10 часов, искусственное старение на максимальную прочность осуществляют в интервале температур 190-250°C в течение от 0,5 до 2,5 часов.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что механическую обработку полуфабрикатов осуществляют путем точения, фрезерования, скальпирования, резания или их комбинацией.