

УДК 539.434: 620.172.251.226

Экспериментальное исследование характеристик ползучести алюминиевого сплава АД31

В.Г. Сукиасов¹, О.В. Шарков²¹ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

Experimental study of creep characteristics of aluminum alloy AD31

V.G. Sukiasov¹, O.V. Sharkov²¹ Kaliningrad State Technical University² Immanuel Kant Baltic Federal University

Ползучесть оказывает существенное влияние на работоспособность машиностроительных конструкций в условиях высоких термодинамических нагрузок, так как может привести к нарушению условий нормальной эксплуатации вследствие развития деформаций, превышающих допустимые значения. В связи с этим требуются достоверные данные о характеристиках конкретных материалов, полученные на основе экспериментальных кривых ползучести. Приведены результаты экспериментального определения накопленной деформации ползучести и времени разрушения сплава АД31 при температуре 230 °С и напряжении 66,2...81,5 МПа. Исследования выполнены на испытательной машине АИМА-5-2. Стандартные образцы диаметром 5 мм и рабочей длиной 50 мм вырезали из заготовки в продольном и поперечном направлениях. При наименьшем напряжении 66,2 МПа накопленная деформация образцов не превышала 0,2 %, и на базе испытаний 60 ч их разрушение не наблюдалось. Для более высоких уровней напряжения образцы после 12...20 ч переходили в стадию ускоренной ползучести с последующим разрушением. Расхождение значений деформаций для экспериментальных образцов продольной и поперечной ориентации оказалось незначительным, что позволяет считать сплав АД31 исследованной партии почти изотропным по характеристикам ползучести.

EDN: MABDDR, <https://elibrary/mabddr>

Ключевые слова: кривые ползучести, деформация ползучести, время разрушения, стандартные образцы, модельный эксперимент

Creep has a significant impact on the performance of mechanical engineering structures under conditions of high thermal and force loads, since it can lead to a violation of normal operating conditions due to the development of deformations that exceed permissible values. In this regard, reliable data on the characteristics of specific materials, obtained on the basis of experimental creep curves, are required. The results of experimental determination of accumulated creep deformation and fracture time of AD31 alloy at a temperature of 230 °C and stress values in the range from 66.2 to 81.5 MPa are presented. The studies were carried out on an AIMA-5-2 testing machine; standard samples with a diameter of 5 mm and a working length of 50 mm were cut from the workpiece in the longitudinal and transverse directions. At the lowest stress value of 66.2 MPa, the relative deformation of the samples did not exceed 0.2%, and no destruction was observed based on 60 h of testing. For higher stress levels, after 12...20 hours, the samples entered the stage of accelerated creep followed by destruction. In general, the discrepancy between the deformation values for experimental

samples of longitudinal and transverse orientation turned out to be insignificant, which allows us to consider the AD31 alloy of the studied batch to be practically isotropic in terms of creep characteristics.

EDN: MABDDR, <https://elibrary/mabddr>

Keywords: creep curve, creep deformation, failure time, standard samples, model experiment

Алюминиевые сплавы широко применяют для изготовления различных инженерных конструкций в авиа-, ракето-, судо- и автомобилестроении, а также в общем машиностроении и других отраслях. На алюминий приходится 50...90 % общей массы самолетов и космических кораблей [1–9].

В ряде случаев конструкции из алюминиевых сплавов работают в условиях продолжительного воздействия высоких температур и нагрузок. К таким конструкциям относятся поршни и блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, компоненты системы охлаждения и др. [9–12]. Для них при проведении расчетов на прочность и жесткость необходимо учитывать влияние ползучести [13].

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования [14–24] процессов ползучести алюминиевых сплавов обеспечили наличие обширного объема данных, которые можно применять и к другим материалам, в том числе с учетом их гомологической температуры. Тем не менее, существенная зависимость характеристик ползучести от марки и партии материала в сочетании с разбросом экспериментальных данных делают исследования в этой области по-прежнему актуальными и востребованными.

Цель работы — экспериментальное исследование характеристик ползучести алюминиевого сплава АД31 (или 1310) на основе системы Al–Mg–Si.

Сплав АД31 и его аналоги находят широкое применение в нашей стране и за рубежом: AlMgSi0.5 — в Германии, 6063 — в Японии, AA6060 — в США, A-GS — во Франции. Помимо алюминия, магния и кремния сплав АД31 содержит легирующие компоненты. Химический состав этого сплава определяется ГОСТ 4784–2019 (Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки).

Сплав АД31 характеризуется возможностью применения всех видов механической обработки, высокой коррозионной стойкостью, легкостью и пластичностью. Среди алюминиевых сплавов прочность АД31 относительно невели-

ка. При температуре 20 °С предел текучести составляет 60...69 МПа, но с помощью различных видов термообработки его можно повысить до 147...200 МПа. Механические характеристики сплава существенно зависят от температуры эксплуатации.

Зависимости пределов прочности σ_B и текучести σ_T сплава АД31 от температуры T приведены на рис. 1. Данные получены для профилей диаметром до 20 мм из закаленного и искусственно состаренного сплава АД31 [25]. Как видно из рисунка, увеличение температуры приводит к заметному снижению прочностных свойств материала, что требует дополнительных данных о прочностных и деформационных характеристиках сплава АД31 в условиях высоких температур.

Материалы и методы. Исследование характеристик ползучести сплава АД31 заключалось в экспериментальном определении зависимости накопленной деформации от нагрузки при постоянной температуре. Методика модельного эксперимента и обработки результатов разработана с учетом рекомендаций ГОСТ 3248–81 (Металлы. Метод испытания на ползучесть) и ISO 204:2018 (Metallic materials. Uniaxial creep testing in tension. Method of test). Эксперименты выполнены на испытательной машине АИМА-5-2.

Независимым фактором являлось действующее постоянное условное напряжение σ_0 , за-

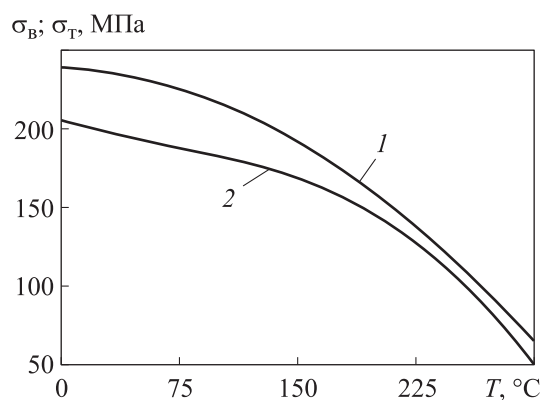


Рис. 1. Зависимости пределов прочности σ_B (1) и текучести σ_T (2) сплава АД31 от температуры T

висимым — деформация ползучести ϵ^c . Температура экспериментального образца T принята постоянной.

Испытанию подвергали стандартные образцы диаметром 5 мм с рабочей длиной 50 мм, которые вырезали в продольном и поперечном направлениях (далее продольные и поперечные образцы соответственно) из прутковой заготовки диаметром 200 мм (ГОСТ 21488-97. Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия). Такой подход используют, когда необходимо проверить изотропность материала [15].

При выборе температуры испытаний учитывали, что сплав АД31 обеспечивает сохранение несущей способности профильных инженерных конструкций в условиях действия эксплуатационных нагрузок при температуре до 150...200 °С. Температура испытаний, принятая несколько большей, чем в рабочей зоны, находилась в диапазоне $T = 230 \pm 3$ °С.

В зависимости от температуры различают три вида ползучести — низкотемпературную, промежуточную и высокотемпературную [26, 27]. Так как температура плавления сплава АД31 $T_{пл} = 580...650$ °С, ползучесть является промежуточной ($0,3T_{пл} \leq T \leq 0,6T_{пл}$) [28].

Для контроля температуры применяли термомпары, установленные на рабочей части образцов. Отсутствие градиента температуры по длине образца достигалось регулированием напряжения на каждой из трех секций нагревательной печи испытательной машины.

В процессе эксперимента образцы нагревали и выдерживали при заданной температуре в течение 1 ч, затем к образцу прикладывали постоянную осевую нагрузку, создающую условное напряжение σ_0 . Для создания и поддержания заданной нагрузки использовали рычажную систему машины при соотношении плеч 1:7.

Испытания проводили при четырех условных напряжениях: 66,2; 71,3; 76,4 и 81,5 МПа.

Значения температуры и условного напряжения выбраны так, чтобы временной интервал всех трех участков кривой ползучести, соответствующих неустановившейся, установившейся и ускоренной стадиям [13, 23, 29], был достаточным для их достоверной фиксации. При этом важным аспектом является обеспечение упругого характера мгновенного деформирования, что контролировалось в ходе испытаний.

Испытано 26 образцов, распределенных на восемь экспериментальных серий, по 3–4 испытания для каждого уровня нагрузки.

При наименьшем условном напряжении $\sigma_0 = 66,2$ МПа база испытаний составляла 60 ч, для остальных трех уровней напряжений продолжительность испытаний не превышала 40 ч, при этом образцы доводились до разрушения.

Для замера удлинения образцов использовали индикаторы часового типа 1МИГ с разрешающей способностью 0,001 мм. Регистрацию данных выполняли с временным шагом от 1 до 5 ч.

Результаты и обсуждение. Полученные по итогам испытаний средние значения времени разрушения и накопленной к этому моменту деформации ползучести при соответствующем уровне напряжений для каждой серии образцов приведены в таблице.

Согласно приведенным данным, для одного и того же уровня нагрузки разброс времени разрушения поперечных и продольных образцов составляет 1,6...8,1 %, а отклонение накопленной деформации — 6,2...13,3 %. Это позволяет считать анизотропию исследуемого материала по свойствам ползучести при температуре $T = 230$ °С незначительной, однако требующей дополнительных исследований.

Экспериментальные кривые ползучести сплава АД31 при температуре $T = 230$ °С и условном напряжении $\sigma_0 = 66,2$ МПа для продольных и поперечных образцов показаны на рис. 2.

Параметры разрушения образцов при ползучести

Номер серии	Условное напряжение σ_0 , МПа	Время разрушения t , ч	Накопленная деформация ползучести ϵ^c , %
<i>Для продольных образцов</i>			
1	66,2	–	–
2	71,3	38,5	10,3
3	76,4	25,8	9,6
4	81,5	12,5	9,1
<i>Для поперечных образцов</i>			
5	66,2	–	–
6	71,3	39,2	9,6
7	76,4	27,9	10,2
8	81,5	12,7	10,5

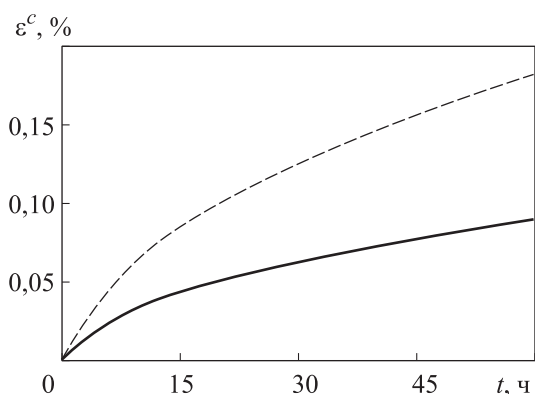


Рис. 2. Экспериментальные кривые ползучести сплава АД31 при температуре $T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$ и условном напряжении $\sigma_0 = 66,2\text{ МПа}$ для продольных (штриховые линии) и поперечных (сплошные линии) образцов

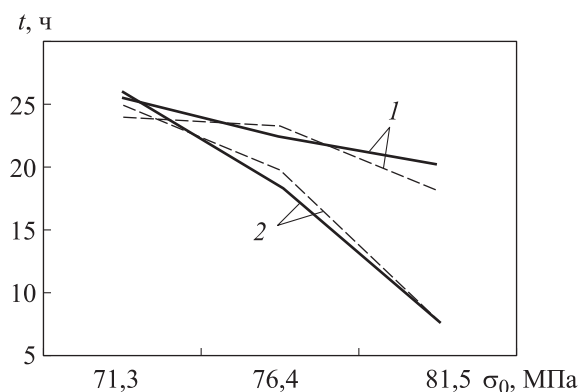


Рис. 4. Зависимости времени накопления t деформации $\epsilon^c = 1,0$ (1) и $0,5\%$ (2) сплава АД31 от условного напряжения σ_0 для продольных (штриховые линии) и поперечных (сплошные линии) образцов

Применительно к инженерным расчетам наибольший практический интерес представляют закономерности ползучести при деформации не выше 1% [13], так как более значительные деформации неприемлемы для большинства машиностроительных конструкций.

При наименьшем условном напряжении $\sigma_0 = 66,2\text{ МПа}$ накопленная деформация не превышала $0,2\%$.

Характер изменения деформации в более широком диапазоне в зависимости от времени нагружения показан на рис. 3. Анализ экспериментальных результатов позволяет сделать вывод, что при деформации в пределах 2% наблюдаются все три стадии ползучести — неустановившаяся, установившаяся и ускоренная [13, 23, 29], продолжительность каждой из которых зависит от условного напряжения.

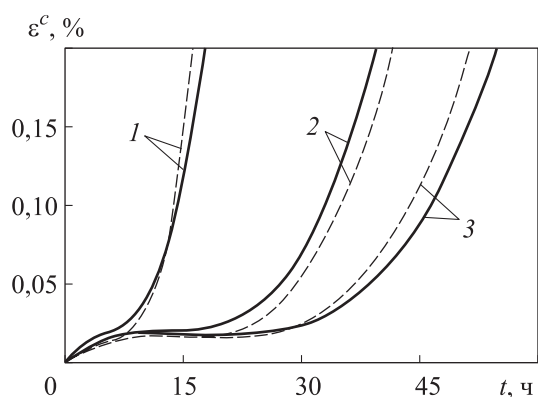


Рис. 3. Кривые ползучести сплава АД31 при условном напряжении $\sigma_0 = 81,5$ (1), $76,4$ (2) и $71,3$ (3) МПа для продольных (штриховые линии) и поперечных (сплошные линии) образцов

Первый участок кривых ползучести выражен слабо и имеет продолжительность примерно $2,5...3,0\text{ ч}$ после начала испытаний при всех значениях условного напряжения. Накопленная деформация на этой стадии составляет $0,08...0,14\%$.

Для стадии установившейся ползучести влияние условного напряжения выражено более существенно: при $\sigma_0 = 81,5\text{ МПа}$ ее продолжительность (вместе с первой стадией) составляет до 5 ч , при $\sigma_0 = 76,4\text{ МПа}$ — 12 ч , при $\sigma_0 = 71,3$ — $18...20\text{ ч}$. Накопленная деформация для всех значений условного напряжения находится в пределах $0,16...0,23\%$.

На стадии ускоренной ползучести накопленная деформация достигала $9,1...10,5\%$, что завершилось разрушением экспериментальных образцов через $12...40\text{ ч}$ от начала испытаний.

Полученные кривые ползучести в целом качественно соответствуют данным других авторов [13, 16, 23, 27].

Расхождение значений накопленной деформации продольных и поперечных образцов для одного и того же времени от начала испытания составляет $0...0,45\%$.

Результаты сравнительного анализа времени, при котором деформация экспериментальных образцов достигла $0,5$ и $1,0\%$, приведены на рис. 4. Видно, что для продольных и поперечных образцов расхождение времени накопления одного и того же значения деформации составляет $2,8...11,1\%$.

Анализ данных, приведенных на рис. 3 и 4, подтверждает ранее сделанный вывод об изотропности свойств сплава АД31 при ползучести в принятых условиях испытаний.

Выводы

1. Экспериментально подтверждено, что сплав АД31 обеспечивает сохранение работоспособности машиностроительных конструкций по критерию ползучести при температуре 230 °С и напряжениях, не превышающих 66 МПа.

2. Различие экспериментальных результатов деформации поперечных и продольных образцов не превышает разброс данных для образцов

с ориентацией одного направления, что позволяет считать анизотропию сплава АД31 по свойствам ползучести при температуре 230 °С несущественной.

3. Полученные результаты можно использовать при расчете на прочность машиностроительных конструкций из сплава АД31, работающих в условиях повышенных температур, в том числе для подтверждения адекватности теоретических моделей.

Литература

- [1] Белинин Д.С., Щицын Ю.Д., Неулыбин С.Д. и др. Перспективы применения высокопроизводительной плазменной металлизации для аддитивного формирования изделий из алюминиевых сплавов. *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*, 2024, т. 26, № 4, с. 49–56.
- [2] Осокин Е.П., Барахтина Н.Н., Павлова В.И. и др. Алюминиевые материалы в судостроении и эффективность их использования в промышленности. *Технология легких сплавов*, 2022, № 3, с. 69–84, doi: <https://doi.org/10.24412/0321-4664-2022-3-69-84>
- [3] Арышенский Е.В., Арышенский В.Ю., Дриц А.М. и др. Влияние режимов термической обработки на механические свойства алюминиевых сплавов 1570, 1580 и 1590. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2022, т. 21, № 4, с. 76–87.
- [4] Дриц А.М., Овчинников В.В. Свариваемый алюминиевый сплав 1565Ч. *Машиностроение и инженерное образование*, 2014, № 4, с. 6–12.
- [5] 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: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194>
- [6] Чернышов Е.А., Романов А.Д., Романов И.Д. и др. Оценка возможности замены чугуна СЧ24 детали «диск тормозной» автомобиля на дисперсно-упрочненный композиционный материал на основе алюминия, полученный внутренним окислением. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2021, № 1, с. 43–50, doi: <https://doi.org/10.31857/S0235711921010089>
- [7] Люхтер А.Б., Шлегель А.Н. Оптимизация технологических режимов лазерной сварки внахлест листов из алюминиевого сплава АМГ2М со сталью Ст3. *Цветные металлы*, 2017, № 5, с. 89–94, doi: <https://doi.org/10.17580/tsm.2017.05.14>
- [8] Stojanovic B., Bukvic M., Epler I. Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. *Appl. Eng. Lett.*, 2018, vol. 3, no. 2, pp. 52–62, doi: <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.2.2>
- [9] Jeong C. High temperature mechanical properties of Al–Si–Mg–(Cu) alloys for automotive cylinder heads. *Mater. Trans.*, 2013, vol. 54, no. 4, pp. 588–594, doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2012285>
- [10] Захаров А.С., Багайсков Ю.С. Исследование технологических методов повышения прочности поверхности цилиндров блоков ДВС из алюминиевых сплавов. *Известия ВолгГТУ*, 2024, № 8, с. 18–20, doi: <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2024-8-291-18-20>
- [11] Цветков С.Е., Степанов В.В., Колесников В.Н. Применение конструкционных сплавов системы Al–Mg–Sc для изготовления теплообменной аппаратуры повышенной прочности. *Решетневские чтения*, 2015, т. 1, с. 491–493.
- [12] Shivsharan B.A., Magade P.B., Chavan S. et al. Experimental design, development and testing of novel aluminum mini wind turbine. *Mater. Today Proc.*, 2021, vol. 43-2, pp. 1304–1312, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.106>
- [13] Малинин Н.Н. *Расчеты на ползучесть элементов машиностроительных конструкций*. Москва, Машиностроение, 1981. 221 с.

- [14] Friha M., Пшонкин Д.Е., Скворцов П.А. и др. Влияние внешних воздействий на ползучесть алюминиевых сплавов с микроскопическими включениями при комнатных температурах. *Физика твердого тела*, 2023, т. 65, № 4, с. 525–530, doi: <https://doi.org/10.21883/FTT.2023.04.55286.549>
- [15] Банщикова И.А., Горев Б.В., Цвелодуб И.Ю. О ползучести пластин из алюминиевых сплавов при изгибе. *Прикладная механика и техническая физика*, 2007, т. 48, № 5, с. 156–159.
- [16] Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В. Процесс стационарной ползучести алюминия А85, титана ВТ1-0, свинца С2. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*, 2021, № 3, с. 27–30.
- [17] Шибков А.А., Денисов А.А., Гасанов М.Ф. и др. Электрохимическая эмиссия в ходе прерывистой ползучести алюминий-магниевого сплава. *Кристаллография*, 2019, т. 64, № 5, с. 720–725, doi: <https://doi.org/10.1134/S0023476119050187>
- [18] Шляпникова Т.А., Оглодков М.С., Блинова Н.Е. и др. Скорость ползучести штамповок из высокопрочного алюминиевого сплава 1960 (В96ц). *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2023, № 4, с. 46–50, doi: <https://doi.org/10.30906/mitom.2023.4.46-50>
- [19] Li S., Yang Y., Zhan L. et al. Heating rate effects on creep aging behavior of 7B50 aluminum alloy and deep learning enhanced constitutive modeling. *Mater. Sci. Eng. A*, 2025, vol. 948, art. 149321, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.149321>
- [20] Li Y., Gan W., Huang X. et al. A quantitative study of machining induced residual stress and its effect on subsequent creep age forming of aluminium alloy panels. *J. Mater. Process. Technol.*, 2023, vol. 321, art. 118147, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.118147>
- [21] Yasniy O., Pasternak I., Didych I. et al. Methods of jump-like creep modeling of AMg6 aluminum alloy. *Procedia Structural Integrity*, 2023, vol. 48, pp. 149–154, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.141>
- [22] Liu Y., Ma P., Chen L. et al. Enhancing the creep ageing response of largely pre-deformed 2195 aluminum lithium alloy by electric pulse. *Mater. Sci. Eng. A*, 2025, vol. 948, art. 149322, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.149322>
- [23] Зариковская Н.В., Миргородский С.К., Орлова Д.В. и др. Особенности локализации пластической деформации при ползучести поликристаллического алюминия. *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*, 2013, т. 10, № 4, с. 493–496.
- [24] Алвин А.Х., Ксиби Х., Дрисс З. и др. Механические свойства и усталостные характеристики сплава AA2024-T361 при повышенных температурах. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2025, № 4, с. 16–21, doi: <https://doi.org/10.30906/mitom.2025.4.16-21>
- [25] Арзамасов Б.Н., ред. *Конструкционные материалы*. Москва, Машиностроение, 1990. 688 с.
- [26] Pan L., Mirza F.A., Liu K. et al. Effect of Fe-rich particles and solutes on the creep behaviour of 8xxx alloys. *Mater. Sci. Technol.*, 2017, vol. 33, no. 9, pp. 1130–1137, doi: <https://doi.org/10.1080/02670836.2016.1258156>
- [27] Kassner M.E., Smith K. Low temperature creep plasticity. *J. Mater. Res. Technol.*, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 280–288, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.06.009>
- [28] Kim H. Low-temperature creep behavior of ultrafine-grained 5083 al alloy processed by equal-channel angular pressing. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2010, vol. 24, no. 10, pp. 2075–2081, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-010-0703-z>
- [29] Назаров В.В. Результаты экспериментальных исследований ползучести и длительной прочности. *Вестник Московского университета. Сер. 1. Математика. Механика*, 2025, № 1, с. 75–83, doi: <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9368-1-66-1-10>

References

- [1] Belinin D.S., Shchitsyn Yu.D., Neulybin S.D. et al. Prospects for the application of high-performance plasma metallization for the additive formation of aluminum alloy products. *Vestnik PNIPU. Mashinostroyeniye, materialovedeniye* [Bulletin PNRPU. Mechanical Engineering, Materials Science], 2024, vol. 26, no. 4, pp. 49–56. (In Russ.).

- [2] Osokin E.P., Barakhtina N.N., Pavlova V.I. et al. Aluminum materials in shipbuilding and the efficiency of their use in industry. *Tekhnologiya legkikh splavov* [Technology of Light Alloys], 2022, no. 3, pp. 69–84, doi: <https://doi.org/10.24412/0321-4664-2022-3-69-84> (in Russ.).
- [3] Aryshenskiy E.V., Aryshenskiy V.Yu., Drits A.M. et al. Thermal treatment effect on the mechanical properties of 1570, 1580 and 1590 aluminum alloys. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroyeniye* [Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering], 2022, vol. 21, no. 4, pp. 76–87. (In Russ.).
- [4] Drits A.M., Ovchinnikov V.V. 1565 aluminum alloy to be welded. *Mashinostroyeniye i inzhenernoye obrazovaniye* [Mechanical Engineering and Engineering Education], 2014, no. 4, pp. 6–12. (In Russ.).
- [5] Antipov V.V. Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2017, no. 5, pp. 186–194, doi: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2017-0-5-186-194> (in Russ.).
- [6] Chernyshov E.A., Romanov A.D., Romanov I.D. et al. Evaluation of the possibility of replacement of an SCh24 cast iron of detail of a “brake disc” of a car by an aluminum-based dispersion-strengthened composition material prepared by internal oxidation. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin*, 2021, no. 1, pp. 43–50, doi: <https://doi.org/10.31857/S0235711921010089> (in Russ.). (Eng. version: *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2021, vol. 50, no. 1, pp. 34–40, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618821010088>)
- [7] Lyukhter A.B., Shlegel A.N. Optimization of technological modes of laser welding overlapping the sheets made of aluminum alloy AMg2M with steel St3. *Tsvetnye metally*, 2017, no. 5, pp. 89–94, doi: <https://doi.org/10.17580/tsm.2017.05.14> (in Russ.).
- [8] Stojanovic B., Bukvic M., Epler I. Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. *Appl. Eng. Lett.*, 2018, vol. 3, no. 2, pp. 52–62, doi: <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.2.2>
- [9] Jeong C. High temperature mechanical properties of Al–Si–Mg–(Cu) alloys for automotive cylinder heads. *Mater. Trans.*, 2013, vol. 54, no. 4, pp. 588–594, doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2012285>
- [10] Zakharov A.S., Bagayskov Yu.S. Research of technological methods of increase of strength of surface of cylinders of internal combustion engine blocks from aluminum alloys. *Izvestiya VolgGTU* [Izvestia Volgograd State Technical University], 2024, no. 8, pp. 18–20, doi: <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2024-8-291-18-20> (in Russ.).
- [11] Tsvetkov S.E., Stepanov V.V., Kolesnikov V.N. Applying constructional alloys Al–Mg–Sc system to manufacture hard strength heat exchanger. *Reshetnevskie chteniya*, 2015, vol. 1, pp. 491–493. (In Russ.).
- [12] Shivsharan B.A., Magade P.B., Chavan S. et al. Experimental design, development and testing of novel aluminum mini wind turbine. *Mater. Today Proc.*, 2021, vol. 43-2, pp. 1304–1312, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.106>
- [13] Malinin N.N. *Raschety na polzuchest elementov mashinostroyitelnykh konstruksiy* [Creep calculations for elements of mechanical engineering structures]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 221 p. (In Russ.).
- [14] Friha M., Pshonkin D.E., Skvortsov P.A. et al. Influence of external influences on the creep of aluminum alloys with microscopic inclusions at room temperatures. *Fizika tverdogo tela*, 2023, vol. 65, no. 4, pp. 525–530, doi: <https://doi.org/10.21883/FTT.2023.04.55286.549> (in Russ.). (Eng. version: *Phys. Solid State*, 2023, vol. 65, no. 4, art. 511.)
- [15] Bانشchikova I.A., Gorev B.V., Tselodub I.Yu. Creep of plates made of aluminum alloys under bending. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, 2007, vol. 48, no. 5, pp. 156–159. (In Russ.). (Eng. version: *J. Appl. Mech. Tech. Phys.*, 2007, vol. 48, no. 5, pp. 751–754, doi: <https://doi.org/10.1007/s10808-007-0097-5>)
- [16] Serebryakova A.A., Zagulyaev D.V., Shlyarov V.V. The process of stationary creep flow of A85 aluminum, VT1-0 titanium, C2 lead. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2021, no. 3, pp. 27–30. (In Russ.).

- [17] Shibkov A.A., Denisov A.A., Gasanov M.F. et al. Electrochemical emission during discontinuous creep of aluminum-magnesium. *Kristallografiya*, 2019, vol. 64, no. 5, pp. 720–725, doi: <https://doi.org/10.1134/S0023476119050187> (in Russ.). (Eng. version: *Alloy. Crystallogr. Rep.*, 2019, vol. 64, no. 5, pp. 731–736, doi: <https://doi.org/10.1134/S1063774519050171>)
- [18] Shlyapnikova T.A., Oglodkov M.S., Blinova N.E. et al. Creep rate of pressings from high-strength aluminum alloy 1960 (V96ts). *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment], 2023, no. 4, pp. 46–50, doi: <https://doi.org/10.30906/mitom.2023.4.46-50> (in Russ.).
- [19] Li S., Yang Y., Zhan L. et al. Heating rate effects on creep aging behavior of 7B50 aluminum alloy and deep learning enhanced constitutive modeling. *Mater. Sci. Eng. A*, 2025, vol. 948, art. 149321, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.149321>
- [20] Li Y., Gan W., Huang X. et al. A quantitative study of machining induced residual stress and its effect on subsequent creep age forming of aluminium alloy panels. *J. Mater. Process. Technol.*, 2023, vol. 321, art. 118147, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.118147>
- [21] Yasniy O., Pasternak I., Didych I. et al. Methods of jump-like creep modeling of AMg6 aluminum alloy. *Procedia Structural Integrity*, 2023, vol. 48, pp. 149–154, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.141>
- [22] Liu Y., Ma P., Chen L. et al. Enhancing the creep ageing response of largely pre-deformed 2195 aluminum lithium alloy by electric pulse. *Mater. Sci. Eng. A*, 2025, vol. 948, art. 149322, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.149322>
- [23] Zarikovskaya N.V., Mirgorodskiy S.K., Orlova D.V. et al. Localization features of plastic deformation during creep of polycrystalline aluminum. *Fundamentalnye problemy sovremenogo materialovedeniya* [Basic Problems of Material Science], 2013, vol. 10, no. 4, pp. 493–496. (In Russ.).
- [24] Alvin A.Kh., Ksibi Kh., Driss Z. et al. Mechanical properties and fatigue performance of AA2024-T361 alloy under elevated temperatures. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment], 2025, no. 4, pp. 16–21, doi: <https://doi.org/10.30906/mitom.2025.4.16-21> (in Russ.).
- [25] Arzamasov B.N., ed. *Konstruktsionnye materialy* [Construction materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 688 p. (In Russ.).
- [26] Pan L., Mirza F.A., Liu K. et al. Effect of Fe-rich particles and solutes on the creep behaviour of 8xxx alloys. *Mater. Sci. Technol.*, 2017, vol. 33, no. 9, pp. 1130–1137, doi: <https://doi.org/10.1080/02670836.2016.1258156>
- [27] Kassner M.E., Smith K. Low temperature creep plasticity. *J. Mater. Res. Technol.*, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 280–288, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.06.009>
- [28] Kim H. Low-temperature creep behavior of ultrafine-grained 5083 al alloy processed by equal-channel angular pressing. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2010, vol. 24, no. 10, pp. 2075–2081, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-010-0703-z>
- [29] Nazarov V.V. Results of experimental studies of creep and creep rupture strength. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 1. Matematika. Mekhanika*, 2025, no. 1, pp. 75–83, doi: <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9368-1-66-1-10> (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 24.12.2025

Информация об авторах

СУКИАСОВ Владимир Георгиевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теория механизмов и машин и детали машин». ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (236022, Калининград, Российская Федерация, Советский пр-т, д. 1, e-mail: vladimir.sukiasov@klgtu.ru).

ШАРКОВ Олег Васильевич — доктор технических наук, доцент, профессор Высшей школы киберфизических систем. ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (236016, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сукиасов В.Г., Шарков О.В. Экспериментальное исследование характеристик ползучести алюминиевого сплава АД31. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 10, с. 137–145.

Please cite this article in English as:

Sukiasov V.G., Sharkov O.V. Experimental study of creep characteristics of aluminum alloy AD31. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 10, pp. 137–145.

Information about the authors

SUKIASOV Vladimir Georgievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts. Kaliningrad State Technical University (236022, Kaliningrad, Russian Federation, Sovetsky Ave., Bldg. 1, e-mail: vladimir.sukiasov@klgtu.ru).

SHARKOV Oleg Vasil'yevich — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Professor of Higher School of Cyber-Physical Systems. Immanuel Kant Baltic Federal University (236016, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskogo, St., Bldg. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебное пособие**

«Физические основы материаловедения. Курс лекций»

**Авторы: Ю.А. Курганова, Р.С. Фахуртдинов,
Л.П. Фомина**

Рассмотрены теоретические основы и прикладные аспекты материаловедения, предусмотренные образовательным стандартом, представлен широкий спектр конструкционных материалов. В конце каждого модуля приведены контрольные вопросы и задания для самоконтроля.

Учебное пособие разработано в соответствии с учебными планами и программой дисциплины «Физические основы материаловедения» МГТУ им. Н.Э. Баумана для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки: 16.03.01 «Техническая физика», а также может представлять интерес для студентов всех специальностей, изучающих дисциплину «Материаловедение».

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>