

УДК 531-034.715

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНОГО РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ ЛИТОГО СПЛАВА 1561

Ш.Т. Пазылов

Рассмотрена задача экспериментального установления режимов сверхпластичности сплава 1561 в литом состоянии. Для оценки сверхпластичности сплава приняты дополнительные условия.

Ключевые слова: режимы сверхпластичности; скорости деформирования; максимальное удлинение; провалы напряжения.

ABOUT REGULARITIES OF TEMPERATURE AND HIGH-SPEED STRETCHING AND COMPRESSION OF CAST ALLOY 1561

Sh. T. Pazylov

The article considers the problem of experimentally determined regimes superplastic aluminum alloy 1561-cast. For an assessment of superplasticity alloy additional conditional are accepted .

Keywords: superplasticity modes; deformation speeds; maximum lengthening; tension failures.

Введение. Экспериментальное установление закономерностей высокотемпературного деформирования металлических материалов в широком диапазоне скоростей деформирования позволяет оценить с точки зрения применимости их в качестве обрабатываемого материала в процессе обработки давлением и проектирования новых технологий с использованием методов объёмного формоизменения. При этом, согласно [1], исследуются зависимости сопротивления пластической деформации от температуры, скорости и степени деформации, а также от текущего структурного состояния материала. В работе [1] приведены результаты исследования влияния неоднородности исходного структурного состояния литого сплава 1561, на деформационные поведения при растяжении в нормальных и повышенных температурах. Установлено, что изменение механических свойств, вызванное начальной неоднородностью литой структуры сплава 1561 устраняется при деформировании его в повышенных температурах. Методами статистической обработки данных опытов показано, что при экспериментальном изучении закономерностей температурно-скоростного деформирования этого литого сплава нет необходимости принимать во внимание структурный фактор исходной заготовки [1], что повышает достоверность полученных экспериментальных результатов при растяжении и сжатии.

Постановка задачи и проведение опытов.

В работе рассмотрена экспериментальная задача оценки влияния на напряжение пластического течения σ температуры θ и кинематических характеристик (ϵ – степени деформации; $\dot{\epsilon}$ – скорости деформации) при растяжении и сжатии образцов алюминиевого сплава 1561, находящегося в исходном литом состоянии. Опыты проводили в диапазоне температур $\theta = 533...813\text{K}$ ($533...773\text{K}$ – растяжение, $573-813\text{K}$ – сжатие) с шагом 40K и скоростях деформирования (м/с): $V_7 = 0,8 \cdot 10^{-5}$; $V_6 = 2,3 \cdot 10^{-5}$; $V_5 = 5,7 \cdot 10^{-5}$; $V_4 = 1,43 \cdot 10^{-4}$; $V_3 = 3,57 \cdot 10^{-4}$; $V_2 = 8,7 \cdot 10^{-4}$; $V_1 = 2 \cdot 10^{-3}$.

По каждой программе опытов было испытано не менее трех образцов. Оценку показателей пластичности при растяжении осуществляли через относительное остаточное удлинение ($\delta\%$) при разрыве, данные о котором приведены на рисунке 1 в форме зависимостей $\delta\%$ от температуры и скорости деформирования. На рисунке 1 также показаны усредненные статистические характеристики изменений в виде доверительных интервалов для всех скоростей деформирования. Максимальное усредненное значение удлинения достигало 30% и, как видно на графиках, получалось при различных сочетаниях температуры и скорости деформирования.

На рисунке 2 приведены примеры графических зависимостей напряжения пластического

течения от степени деформации (рисунок 2, а), скорости деформации (рисунок 2, б) и температуры (рисунок 2, в) при растяжении.

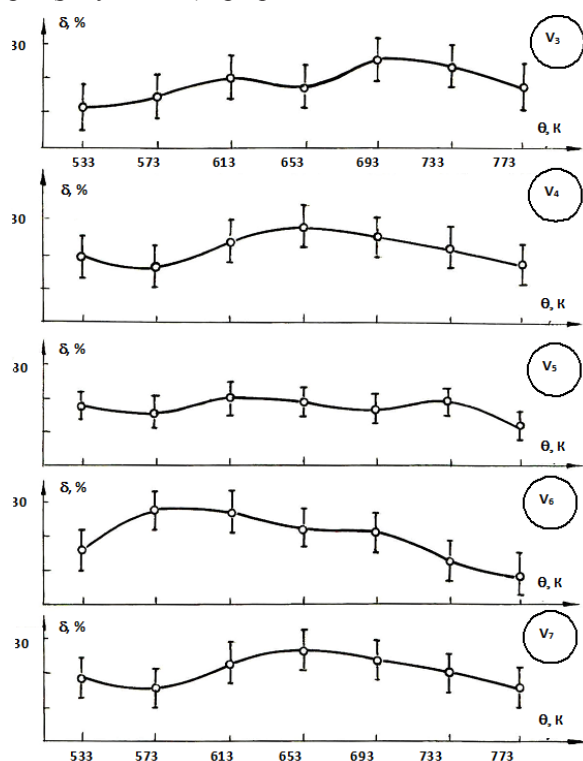


Рисунок 1 – Усредненные зависимости “ $d - \theta$ ” сплава 1561 в литом состоянии при разных скоростях деформирования

Обсуждение результатов. На графиках (рисунок 2, б), видно, что для сплава 1561 в литом состоянии отсутствуют отклонения от монотонного характера кривых $\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$. Поэтому очевидно, что при растяжении указанный сплав не проявляет явных признаков сверхпластичности в литом состоянии [2]. Относительно невысокие степени деформации при разрушении обусловлены, по-видимому, тем, что в процессе высокотемпературного растяжения в литом сплаве не успевают пройти динамическая рекристаллизация, с которой, как известно [2], связывается сверхпластичность алюминиевых сплавов. Аналогичный вывод позволяет построить зависимости напряжений от температуры ($\sigma \sim \theta$ на рисунке 2, в), на которых видно отсутствие нарушения монотонности или “провалов” напряжений. Эксперименты показали, что переход от растяжения к сжатию качественно изменяет деформационные свойства сплава в интервале температур 733–773К. На рисунке 3, б представлены графики зависимости (изотермы) напряжения от скорости деформации при различных температу-

рах. Видно, что при температуре 773К и скоростях деформации $\dot{\epsilon} > 4,47 \cdot 10^{-3} \text{c}^{-1}$ на кривых $\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$ при температуре 773К наблюдается появление горизонтального участка по напряжениям, свойственного сверхпластичности, что имело место для таких сплавов, как АМг5 и Д18Т [3].

Очевидно, что с возрастанием степени деформации в процессе сжатия за счет изменения рабочей длины образца, увеличивается значение скорости деформации.

Результаты опытов показали, что указанный выше горизонтальный участок сохраняется и при последующих степенях деформации (в сторону высоких скоростей).

За пределами температурного диапазона 733–773К зависимости “напряжение-скорость деформации” ($\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$) сглаживаются, и носят строго монотонный характер. При температуре 813К наблюдается резкое снижение деформационной способности, связанное с пережогом сплава, вызывающего частичное оплавление по границам зерен и приводящего впоследствии к охрупчиванию материала [4].

Как следствие возникновения стационарного участка на зависимостях $\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$ появилось отклонение в интервале температур 693–773К от экспоненциального характера кривых “напряжение-температура” (рисунок 3, б) для скоростей, принадлежащих скоростному диапазону сверхпластичности. Неодинаковое поведение литого сплава 1561 при растяжении и сжатии при температурно-скоростном деформировании объясняется тем, что при растягивающих напряжениях дендритная структура разрыхляется. При сжатии же сжимающие напряжения могут привести к подавлению пористости и уплотнению дендритов с частичным формированием деформированной структуры. При этом некоторая доля объема образца может вести себя как деформированный материал, механизм деформации которой отвечает полученному структурному состоянию.

Экспериментальные зависимости напряжение-степень деформации ($\sigma \sim \epsilon$) (рисунок 3, а) показали, что при скоростях деформации, соответствующих стационарному (горизонтальному) участку кривых $\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$ и $\sigma \sim \theta$, процесс деформирования протекает без упрочнения и разупрочнения. Иными словами, материал ведет себя как идеально пластическое тело, которое также соответствует сверхпластическому поведению исследованных промышленными алюминиевыми сплавами [5].

Таким образом, приведенные экспериментальные результаты позволяют предположить, что сплав 1561 в литом состоянии проявляет при сжатии сверхпластические свойства, реализация

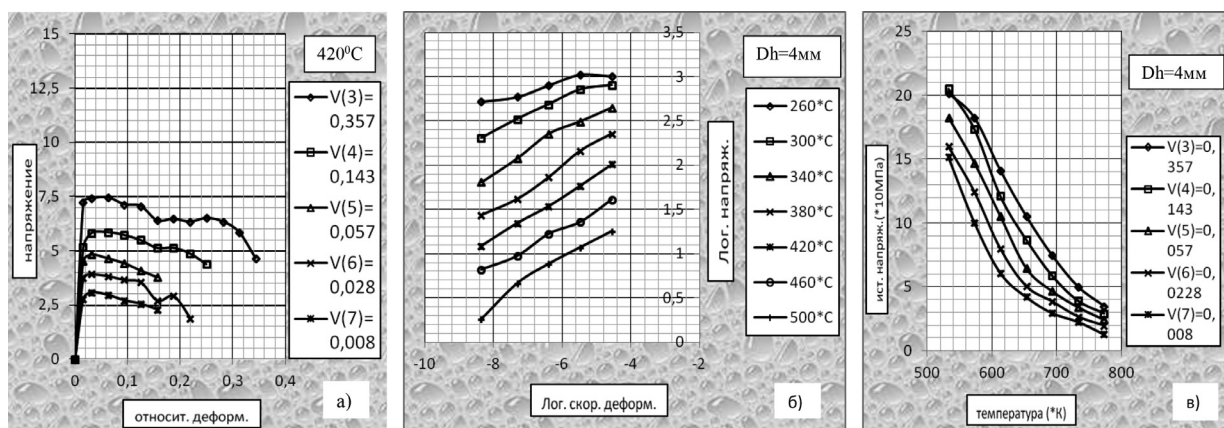


Рисунок 2 – Зависимости “напряжения–степень деформации” (а), при $\theta = 679\text{K}$, и скоростях деформирования $V_3 = 0,357 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$, $V_4 = 0,143 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$, $V_5 = 0,057 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$, $V_6 = 0,0228 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$, и $V_7 = 0,008 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$; “напряжения–скорость деформации” (б), а также “напряжения–температура” (в) при одноосном растяжении сплава 1561 в литом состоянии

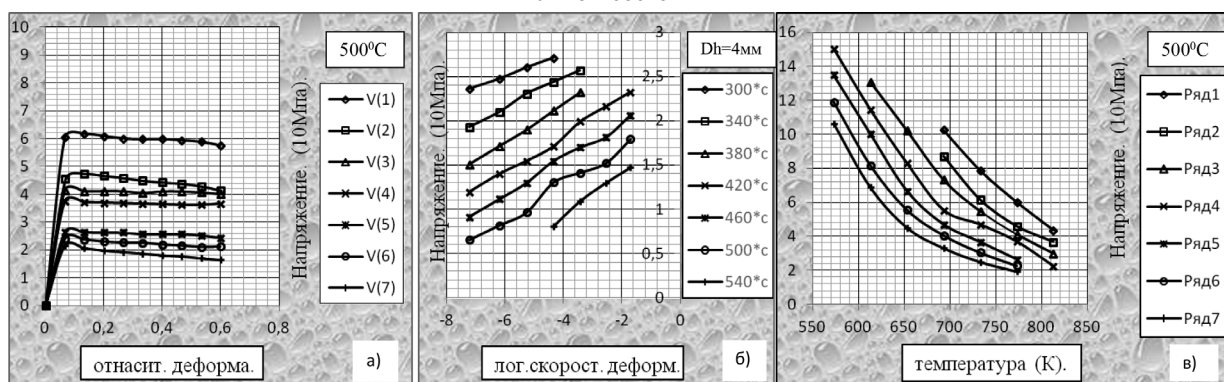


Рисунок 3 – Зависимости “напряжения–степень деформации” (а), при $\theta = 773\text{K}$, и скоростях деформирования $V_1 = 2,0 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 1), $V_2 = 0,87 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 2), $V_3 = 0,357 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 3), $V_4 = 0,143 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 4), $V_5 = 0,057 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 5), $V_6 = 0,0228 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 6), и $V_7 = 0,008 \text{ мм}\times\text{с}^{-1}$ (ряд. 7); “напряжения–скорость деформации” (3, б), а также “напряжения–температура” (3, в) при одноосном сжатии сплава 1561 в литом состоянии

которых при растяжении в температурно-скоростных режимах не осуществима.

В [6–13] приведены результаты исследования анизотропии пластической деформации текстурированного листа из сплава 1561 в зависимости от термомеханических условий деформирования. На основании этих данных предложено связать указанные изменения с режимами проявления сверхпластических свойств предварительно сильно деформированного материала. По существу предложен альтернативный известному (диапазоны неустойчивости напряжения по отношению к скорости деформации) макромеханический метод определения режимов проявления сверхпластичности для особого, а именно текстурированного структурного состояния сплава. В [8–13] принятые предположения подтверждены на структурном

уровне. При этом показано, что равноосная ультрамелкозернистая структура материала формируется при минимальных значениях, близких к единице, показателя анизотропности. Следовательно, термомеханические режимы формирования оптимальной ультрамелкозернистой структуры для проявления сверхпластичности и минимум показателя анизотропности для сплава 1561 соответствуют друг другу.

Выводы. Таким образом, исследованную структурную ситуацию сплава, при которой реализовано установление закономерностей температурно-скоростного деформирования с определением режимов проявления эффекта сверхпластичности, необходимо рассматривать как особое структурное состояние материала, при котором литая крупнозернистая структура не позволяет

явно обнаружить традиционные признаки динамической сверхпластичности, принятые в [2, 5] для промышленных алюминиевых сплавов. Здесь представляется невозможным получить ярко выраженные условия нарушения монотонной зависимости напряжения от скорости деформации. Графики $\ln\sigma \sim \ln\dot{\epsilon}$ (рисунок 2, а) показали, что при растяжении для всех температур имеет место практически монотонный характер при отсутствии “провалов” напряжений на кривых $\sigma \sim \theta$ (рисунок 2, б). В этом случае для оценки способности проявлять сверхпластические свойства в данной структурной ситуации можно принять наличие стационарных участков на кривых “напряжение-скорость деформации”, а также появление горизонтальных участков на кривых “напряжение-температура” с отклонением от экспоненциального характера. Для строгой окончательной оценки и обоснованности суждения о сверхпластичности данного сплава, полученные закономерности должны быть дополнены микроструктурными исследованиями физических процессов в материале, коррелируемых с механизмом сверхпластической деформации динамического типа.

Литература

1. Пазылов Ш.Т. Изучение деформационных свойств алюминиевого сплава 1561 в литом состоянии / Ш.Т. Пазылов, Н.А. Оморов, Я.И. Рудаев // Вестник КРСУ. 2010. Том 10. № 4. С. 143–150.
2. Рудаев Я.И. О фазовых переходах в сверхпластичности / Я.И. Рудаев // Проблемы прочности. 1990. № 10. С. 50–54.
3. Паняев В.А. Особенности деформирования сплава АМг5 и Д18Т при растяжении и сжатии в режимах сверхпластичности / В.А. Паняев, Ш.Т. Пазылов // В сб. Прочность и деформации материалов и конструкций. Фрунзе: ФПИ, 1989. С. 19–29.
4. Золотаревский В.С. Структура и прочность литых алюминиевых сплавов / В.С. Золотаревский. М.: Металлургия, 1981. 351 с.
5. Паняев В.А. Особенности деформации алюминиевых сплавов в состоянии рекристаллизационной сверхпластичности / В.А. Паняев, Ш.Т. Пазылов // В сб. Прочность материалов и конструкции энергетического оборудования. Фрунзе: ФПИ, 1987. С. 86–97.
6. Пазылов Ш.Т. Деформационная анизотропия и сверхпластичность алюминиевых сплавов / Пазылов Ш.Т., Оморов Н.А., Арзыматов А.К. // Вестник КРСУ. 2010. Том 10. № 10. С. 144–149.
7. Арзыматов А.К. Формирование структуры алюминиевого сплава 1561 в режимах сверхпластичности / А.К. Арзыматов, Н.А. Оморов, Ш.Т. Пазылов // Сб. трудов V межд. школы “Физическое материаловедение” (Тольятти, 26.09–1.10.2011). С. 157–159.
8. Пазылов Ш.Т. О деформационной анизотропии алюминиевых сплавов / Ш.Т. Пазылов, Н.А. Оморов, Я.И. Рудаев // Вестник Тамбовского ун-та. 2010. Том 15. Вып. 3. С. 974–975.
9. Бакиров Ж.Т. Структура алюминиевого сплава 1561 в условиях температурно-скоростного деформирования / Ж.Т. Бакиров, Н.А. Оморов, Ш.Т. Пазылов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2011. № 24: матер. межд. конф. “Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании”, посв. 70-летию акад. А. Жайнакова. Бишкек, 2011. С. 467–472.
10. Арзыматов А.К. Структурирование алюминиевого сплава 1561 в режимах сверхпластичности / А.К. Арзыматов, Н.А. Оморов, Ш.Т. Пазылов // Динамика сплошной среды. (Механика неоднородных сред и конструкций). Новосибирск, 2012. Вып. 127. С. 12–14.
11. Пазылов Ш.Т. Структурные изменения алюминиевого сплава 1561 в условиях температурно-скоростного деформирования / Ш.Т. Пазылов // Вестник КРСУ. 2015. Том 15. № 5. С. 116–119.
12. Китаева Д.А. Температурно-скоростное деформирование алюминиевых сплавов / Д.А. Китаева, Ш.Т. Пазылов, Я.И. Рудаев // Прикладная механика и техническая физика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. Т. 57. № 2. С. 182–189.
13. Пазылов Ш.Т. Об оценке параметра анизотропии / Ш.Т. Пазылов // Вестник Тамбовского ун-та. 2016. Том 21. Вып. 3. С. 1216–1218.