

УДК 531-034.715

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1561  
В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

*Ш.Т. Пазылов*

Исследуются структурные изменения сплава 1561, происходящие при деформировании в широком температурно-скоростном диапазоне, включая режимы сверхпластичности. Установлено, что снижение деформационной анизотропии связано с формированием равноосной мелкозернистой структурой в режимах сверхпластичности.

*Ключевые слова:* деформационная анизотропия; структурные изменения; скорость и деформирование; сверхпластичность.

---

**STRUCTURE OF AN ALUMINUM ALLOY 1561  
IN THE CONDITIONS OF TEMPERATURE-SPEED DEFORMATION**

*Sh. T. Pazylov*

It is investigated the structural changes of an alloy 1561 happening at deformation in the wide temperature and temperature-speed range including the superplasticity modes. It is established that decrease in deformation anisotropic is connected with formation by equiaxial fine-grained structure in the superplasticity modes.

*Key words:* deformation anisotropy; structural changes; speed and deformation; superplasticity.

**Введение.** Анизотропия механических свойств металлов связана, прежде всего, с особенностями их внутреннего строения и, в основном, является следствием преимущественного ориентирования кристаллов в результате пластического деформирования в процессах обработки давлением [1].

Известно, что анизотропия структурных и механических свойств, учет и целенаправленное использование таких свойств, начиная со стадии проектирования, способствует повышению надежности, долговечности деталей машин и элементов конструкций, а также эффективному применению конструкционных материалов. Наряду с этим, одним из важных аспектов является стремление различными (термическими, химико-термическими, термомеханическими) способами уменьшить анизотропию свойств применяемых в конструкциях материалов [2].

**Результаты механического эксперимента.** В качестве примера остановимся на результатах исследования листового деформированного сплава 1561 толщиной  $1 \times 10^{-2}$  м, полученного многоступенчатой прокаткой по стандартной технологии. Образцы гагаринского типа нарезались вдоль направления прокатки.

Установлено [3], что имеет место сильная зависимость степени анизотропии от термомеханических условий деформирования, которые включают и режимы сверхпластичности. Для характеристики изменчивости формы поперечного сечения в [4, 5] введен коэффициент анизотропии, представляющий собой отношение деформаций, измеренных по малой ( $\varepsilon''$ ) и большой ( $\varepsilon'$ ) осям эллипсообразного поперечного сечения

$$\psi = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}; \psi > 1. \quad (1)$$

На рисунках 1 и 2 приведены экспериментальные зависимости изменения показателя анизотропии  $\psi$  от степени поперечной деформации  $\varepsilon'$  (рисунок 1) и от температуры  $\theta$  (рисунок 2) для различных скоростей деформирования, полученные в [4, 5]. Обнаружено, что с увеличением степени пластической деформации показатель анизотропии убывает при всех скоростях деформирования. Максимальные анизотропии соответствуют низким скоростям  $V_7$  и  $V_6$  (рисунок 1) и уровню температуры  $\theta = 693\text{K}$  (рисунок 2). С увеличением скорости ( $V_3$  и  $V_2$ ) (рисунок 2) наблюдается снижение показателя деформационной анизотропии. При высоких температурах (выше 693K), в том

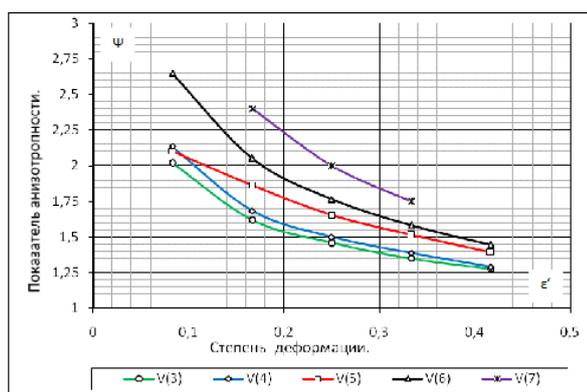


Рисунок 1 – Изменение показателя анизотропности ( $\psi$ ) от степени поперечной деформации ( $\epsilon$ ) при температуре 693К и скоростях деформирования:  $V_3 = 0,36 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_4 = 0,143 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_5 = 0,057 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_6 = 0,023 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_7 = 0,009 \cdot 10^{-3}$  м/с

числе в режимах сверхпластичности, установлена тенденция резкого снижения деформационной анизотропности (рисунок 2). Особенно выделяется температурный интервал (753...773)К, а точнее, режим 753К, при котором реализуется сверхпластичность сплава. При этой температуре показатели анизотропности минимальны, их значения для различных скоростей деформирования близки между собой, а при развитых степенях деформации анизотропность почти не зависит от скоростей деформирования (кривые б – при 753К на рисунке 2 сходятся в одной точке). Это обстоятельство, безусловно, позволяет предположить, что проявление минимальной деформационной анизотропности связано с протекающей в этом режиме сверхпластической деформацией [4, 5]. Кроме того, известны исследования, в которых снижение анизотропности механических свойств алюминиевых сплавов рассматривается как следствие сверхпластической деформации [6].

**Структурные показатели.** Изучение влияния термомеханических условий деформирования на закономерности изменения анизотропности, а также фиксацию изменяющихся при этом структурных состояний сплава, можно считать одной из перспективных задач, имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение. Механические эксперименты сопоставлялись с исследованиями структуры сплава 1561, находящегося как в исходном состоянии (многократная прокатка в виде листа толщиной 10 мм), так и после испытаний методами термомеханической обработки в виде температурно-скоростного растяжения образцов из исходного листа при различных значениях температуры, степени и скорости деформации.

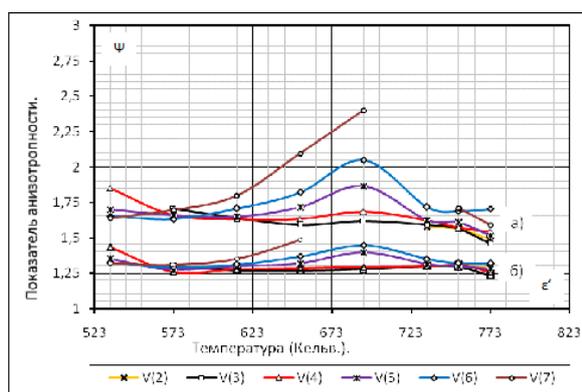


Рисунок 2 – Изменение показателя анизотропности от температуры ( $\psi$ ) при скоростях деформирования:  $V_2 = 0,877 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_3 = 0,36 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_4 = 0,143 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_5 = 0,057 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_6 = 0,023 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $V_7 = 0,009 \cdot 10^{-3}$  м/с

В исходной структуре сплава для образца, вырезанного из листа в продольном перпендикулярно к плоскости листа направлении, видны очень сильно вытянутые вдоль прокатки зерна, которые имеют более плоскую форму (рисунок 3, а). Во время как в образце, вырезанном в плоскости листа, почти отсутствует явная вытянутость зерен вдоль направления прокатки. В образце, вырезанном в поперечном направлении, наблюдается также явная вытянутость зерен (рисунок 3, б), где они, как и в первом случае (рисунок 3, а) принимают практически одинаковую плоскопараллельную “блинчатую” форму, образуя полосчатую структуру.

Максимальные значения степени анизотропности наблюдались при начальных степенях деформации (рисунок 1). Причиной этого является сильная ориентированная текстура материала (рисунок 3 а, б), образованная в процессе многократной прокатки во время его изготовления по стандартной технологии.

Исследование структуры сплава 1561 после проведения высокотемпературных испытаний на растяжение при различных степенях и скоростях деформации показало, что максимальные значения показателя анизотропии при 693К (рисунок 2), наблюдаемые при низких скоростях деформации ( $V_7 \dots V_4$ ) в широком диапазоне степеней деформации (8,3...41,6 %), связаны с сохранением при этих режимах полосчатости структуры (рисунок 3 в, г) или сильной вытянутостью зерен вдоль определенного направления.

Следует отметить, что вытянутость зерен уменьшается с увеличением степени деформации, а также с повышением скорости деформирования, которая хорошо коррелируется с аналогичным по-

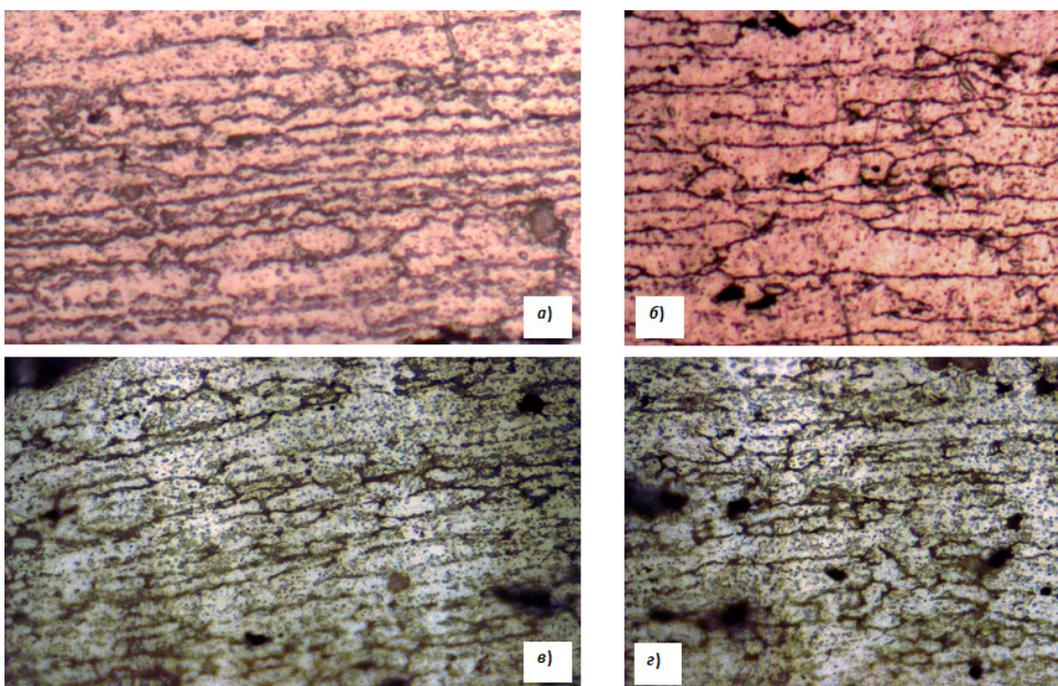


Рисунок 3 – Виды структур образцов из сплава 1561 в исходном недеформированном состоянии: а – продольного, б – поперечного сечений и после растяжения в режимах  $\theta = 693\text{K}$ ,  $V_7 = 0.009 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  при степенях поперечной деформации: в –  $\varepsilon' = 16,6\%$ ; г –  $\varepsilon' = 33,3\%$ . \*250

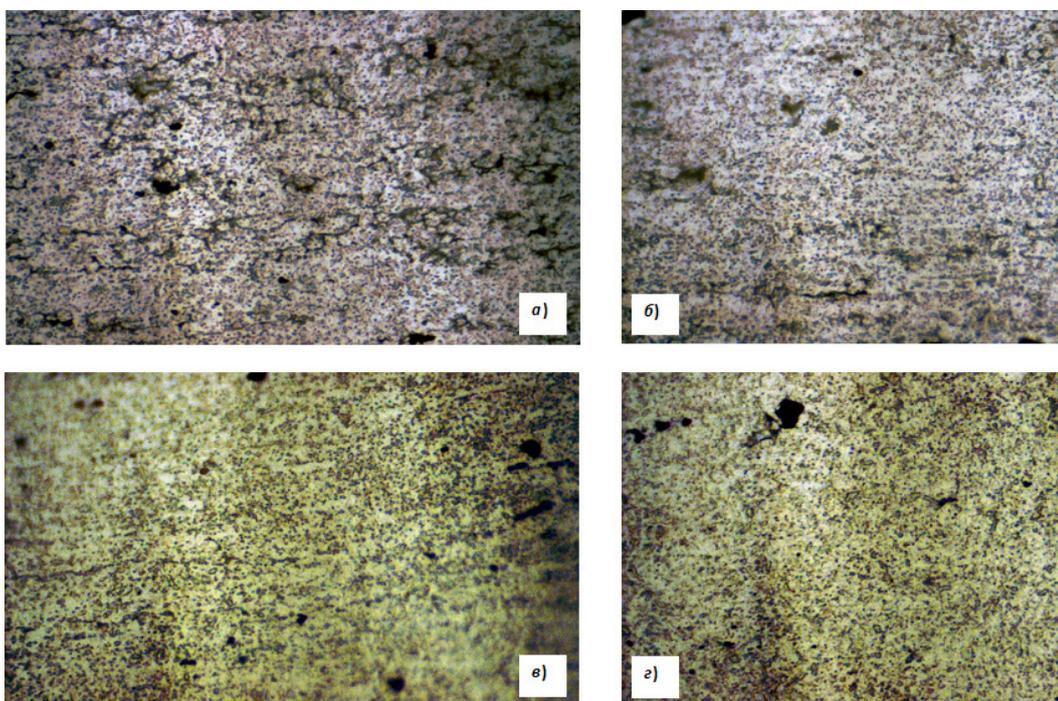


Рисунок 4 – Структуры поперечных сечений образцов после деформирования в температурно-скоростных режимах: а –  $\theta = 693\text{K}$ ,  $V_3 = 0.36 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\varepsilon' = 50\%$ ; б –  $\theta = 693\text{K}$ ,  $V_2 = 0.877 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\varepsilon' = 16,6\%$ ; в –  $\theta = 753\text{K}$ ,  $V_6 = 0.023 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\varepsilon' = 33,3\%$ ; г –  $\theta = 753\text{K}$ ,  $V_3 = 0.36 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\varepsilon' = 33,3\%$ . \*250

ведением изменения деформационной анизотропии (рисунки 1 и 2). При высоких скоростях деформирования независимо от степени деформации (8,3...50 %) при 693К в структуре сплава полностью отсутствовала полосчатость структуры (рисунков 4 а, б).

Минимальные значения показателя деформационной анизотропии сплава 1561 после проведенных испытаний при 753К (рисунок 2) соответствует полученным результатам по исследованию его структуры при всех степенях и скоростях деформации. Анализ изучения структуры сплава при 753К показал, что здесь независимо от степени и скорости деформирования, полностью отсутствует полосчатость структуры, что подтверждается равномерным распределением частиц интерметаллидных фаз (рисунок 4 в, г). Это возможно только в случае образования мелких равноосных зерен [7]. Исследование структуры на оптическом микроскопе даже при увеличении в 1500 раз из-за ограниченности его разрешающей способности не позволяет увидеть ультрамелкие равноосные зерна, образовавшиеся внутри деформированных зерен как следствие динамической рекристаллизации. Понятно [8], что образование мелких равноосных зерен является предпосылкой для реализации сверхпластической деформации в алюминиевых сплавах. Можно предположить, что именно мелкозернистая равноосная структура металла, сформировавшаяся в процессе сверхпластической деформации, стимулировала относительно изотропную деформацию в наблюдаемых взаимноперпендикулярных направлениях поперечных сечений образцов.

Приведенное объяснение возникновения изотропной деформации и принятые ранее предположения о связи эффекта сверхпластичности с деформационной анизотропностью, подтверждаются минимальным значением показателя  $\gamma \approx 1,25$  (рисунок 2 б) и независимостью этого показателя от скорости деформирования, а, главное, соответствует полученным (рисунок 4 в, г) равноосным мелкозернистым структурным состояниям при температуре  $\varrho = 753\text{К}$ .

**Заключение.** Таким образом, прослеживается вполне определенная закономерная связь между показателем деформационной анизотро-

пии и структурой сплава, образовавшаяся при высокотемпературной деформации растяжения в широком диапазоне скоростей деформирования, включая и интервалы сверхпластичности. При этом деформирование в температурно-скоростных условиях сверхпластичности можно считать одним из термомеханических способов снижения структурной и деформационной анизотропии исходно текстурированного материала. Величину показателя анизотропии при этом предлагается рассматривать как один из макропараметров материала, отражающего структурные преобразования, происходящие при нагружении текстурированного металла. Этот показатель, по-видимому, позволяет количественно оценить степень и полноту структурных изменений относительно исходного состояния в меняющемся поле температур и скоростей деформации.

#### Литература

1. Ашкинази Е.К. Анизотропия машиностроительных материалов / Е.К. Ашкинази. Л.: Машиностроение, 1969. 220 с.
2. Микляев П.Г. Анизотропия механических свойств металлов / П.Г. Микляев, Я.Б. Фридман. М.: Металлургия, 1986. 223 с.
3. Пазылов Ш.Т. Влияние термомеханических режимов на деформационную анизотропию сплава 1561 / Ш.Т. Пазылов // Матер. IV научн. конф. Бишкек: КРСУ, 1997. 55 с.
4. Пазылов Ш.Т. Деформационная анизотропия и сверхпластичность алюминиевых сплавов / Ш.Т. Пазылов, Н.А. Оморов, А.К. Арзиматов // Вестник КРСУ. 2010. Т. 10. № 10. 144 с.
5. Пазылов Ш.Т. О деформационной анизотропии алюминиевых сплавов / Ш.Т. Пазылов, Н.А. Оморов, Я.И. Рудаев // Вестник Тамбовского ун-та. 2010. Т.15. Вып. 3. 974 с.
6. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов / О.А. Кайбышев. М.: Металлургия, 1984. 264 с.
7. Золоторевский В.С. Структура и прочность литых алюминиевых сплавов / В.С. Золоторевский. М.: Металлургия, 1981. 192 с.
8. Новиков И.И. Сверхпластичность сплавов с ультрамелким зерном / И.И. Новиков, В.К. Портной. М.: Металлургия, 1981. 168 с.