

О ДИФFUЗИОННЫХ ПРОЦЕССАХ В АНИЗОТРОПНОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ*Н.А. Оморов**Жалал-Абадский государственный университет, г. Жалал-Абад, Кыргызская Республика***ABOUT DIFFUSIVE PROCESSES IN THE ANISOTROPIC ALUMINIUM ALLOY***N. A. Omorov**Zhalal-Abadsky state university, Zhalal-Abad, Kyrgyz Republic*

Задача исследования коэффициента диффузии в анизотропном алюминиевом сплаве 1561 решена с привлечением уравнения Фоккера-Планка для параметра анизотропности. Установлена пригодность решения для сплава, находящегося в условиях высокотемпературного деформирования, включая режимы сверхпластичности.

The research problem of coefficient of diffusion in an anisotropic aluminum alloy 1561 is solved with attraction of the equation of Focker-Plank for anisotropism parameter. Suitability of the decision for the alloy which is in conditions of high-temperature deformation, including superplasticity modes is established.

Анизотропия механических свойств металлов является следствием преимущественного ориентирования кристаллов в результате пластического деформирования в процессах обработки давлением.

Сведения по изучению анизотропии механических свойств металлов и влияние на нее различных факторов (технологических и структурных) обобщены в [1]. Очевидно, 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 эффективного применения конструкционных металлов. Вполне оправданным и одним из важных аспектов является стремление различными (термическим, химико-технологическим, термохимическим) способами уменьшить анизотропию свойств материалов, применяемых в конструкциях [1].

В экспериментальном исследовании по установлению закономерностей высокотемпературного деформирования (в интервале температур (533...793К)) с целью определения режимов сверхпластичности

промышленного алюминиевого сплава 1561 обнаружено наличие деформационной анизотропии. Замечено, что круглые образцы, изготовленные из прокатанного по серийной технологии пластины (листа) толщиной 10 мм, после испытаний на растяжение имели эллипсообразные сечения, рис. 1, а и б. Заметно отличающиеся между собой размеры большой и малой осей эллипсообразного сечения d' и d'' (рис. 1, б), совпадающих соответственно с плоскостью и толщиной пластины, свидетельствовали о наличии анизотропии деформационных свойств материала в этих направлениях. Следовательно, обнаружено проявление анизотропности пластической деформации во взаимно перпендикулярных направлениях поперечных сечений образцов при высокотемпературном растяжении пластических деформаций $\psi = \epsilon''/\epsilon'$ в направлениях большой ϵ' и малой ϵ'' осей эллипсообразного сечения, которые определяются отношениями $\epsilon'' = (d_0 - d')/d_0$ и $\epsilon' = (d_0 - d'')/d_0$, где d_0 – исходный диаметр рабочей части образца; d' и d'' – соответственно, размеры большой и малой осей деформированного поперечного сечения (рис. 1).

Наибольший интерес представляет зависимость показателя анизотропности от температуры при различных скоростях деформирования (рис. 2).

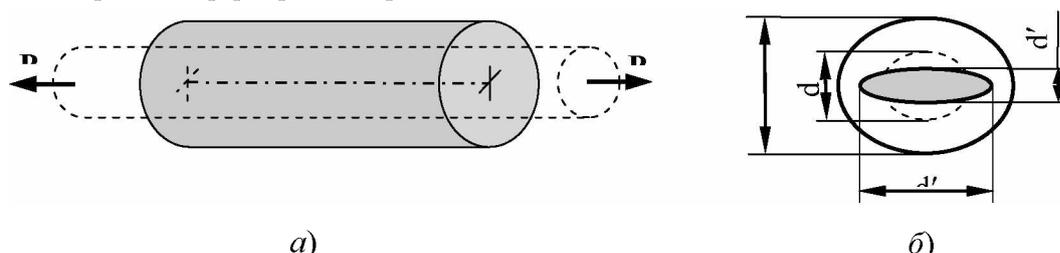


Рис. 1. Схема деформирования рабочей части растягиваемого образца – а), и изменение его поперечного сечения в процессе деформации – б).

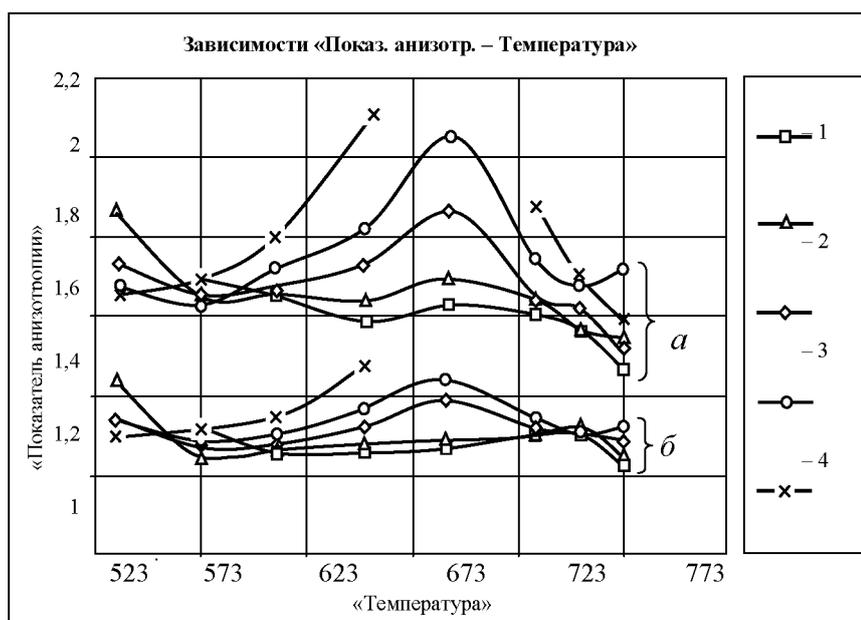


Рис. 2. Изменение показателя анизотропности от температуры ($\psi - T$) при скоростях деформирования: 1- $v_3 = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-1}$; 2- $v_4 = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-1}$; 3- $v_5 = 0,056 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-1}$; 4- $v_6 = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-1}$; 5- $v_7 = 0,008 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-1}$.

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 2 а, б, отвечают степеням деформации $\bar{\epsilon} = 0,3056$ и $\bar{\epsilon} = 0,6597$ соответственно, причем под степенями деформации подразумеваются действительные (логарифмические) деформации [2].

Задача моделирования эффектов, графическая интерпретация которых представлена на рис. 2, поставлена в [3]. При этом предполагается, что термоскоростная кинетика параметра анизотропности описывается известным нелинейной статистической механике уравнением Фоккера-Планка [4]. Уравнение состояния, дополненное эволюционными уравнениями для управляющего параметра и внутренних параметров состояния заимствовано в [5, 6].

Уравнение Фоккера-Планка исследовано [3] в нестационарной постановке при линейной форме коэффициента «дрейфа», а коэффициент диффузии принят не зависящим от скорости изменения температуры. При сделанных таким образом предположениях для параметра анизотропности получено [3] явное выражение

$$\psi(\xi, \eta) = (\pi a)^{-1/2} \exp\left(-\frac{(\eta-\beta)^2}{a}\right). \tag{1}$$

Здесь

$$a = a(\xi) = \frac{Q}{c} [1 - \exp(-2c\xi)] + a_0 \exp(-2c\xi); \tag{2}$$

$$b = b(\xi) = b_0 \exp(-c\xi), \tag{3}$$

причем Q – коэффициент диффузии, η – параметр порядка.

Решение (1) включает четыре материальные функции $Q = Q(\eta)$, $c = c(a_0 = a_0(\eta)$, $b_0 = b_0(\eta)$, зависящие от скорости деформации и удовлетворяющие следующим граничным условиям

$$\left. \frac{d\psi}{d\xi} \right|_{\xi=\xi^*} = 0; \quad \left. \frac{d\psi}{d\xi} \right|_{\xi=\frac{1}{2}} = 0; \quad \left. \frac{d^2\psi}{d\xi^2} \right|_{\xi=0} = 0; \quad \psi|_{\xi=\frac{1}{2}} = 1. \tag{4}$$

Зависимостями (4) подчеркивается, что при температуре $\xi = \xi^*$, соответствующей математическому максимуму на изотермах $\psi \sim \xi$, первая производная обращается в ноль. Аналогичная ситуация отмечается и при температуре, отвечающей середине термического диапазона сверхпластичности ($\xi = 1/2$). При переходе температуры в область сверхпластичности ($\xi = 0$) кривая $\psi \sim \xi$ выполаживается. Наконец, последнее равенство (4) означает допустимость того, что к середине температурного диапазона сверхпластичности материал станет изотропным.

Напомним, что [4, 5]

$$\xi = \frac{\theta - \theta_c^H}{\theta_c^B - \theta_c^H}, \tag{5}$$

где θ – текущая температура; θ_c^H , θ_c^B – нижнее и верхнее значение температуры, ограничивающей термический диапазон сверхпластичности. При сверхпластичности $\xi \in (0, 1)$.

Определение перечисленных выше материальных функций осуществлено с привлечением вычислительных процедур. В частности, на рис. 3 приведена зависимость коэффициента диффузии от параметра порядка η , ответственного за скоростные эффекты, и его номинальная аппроксимация.

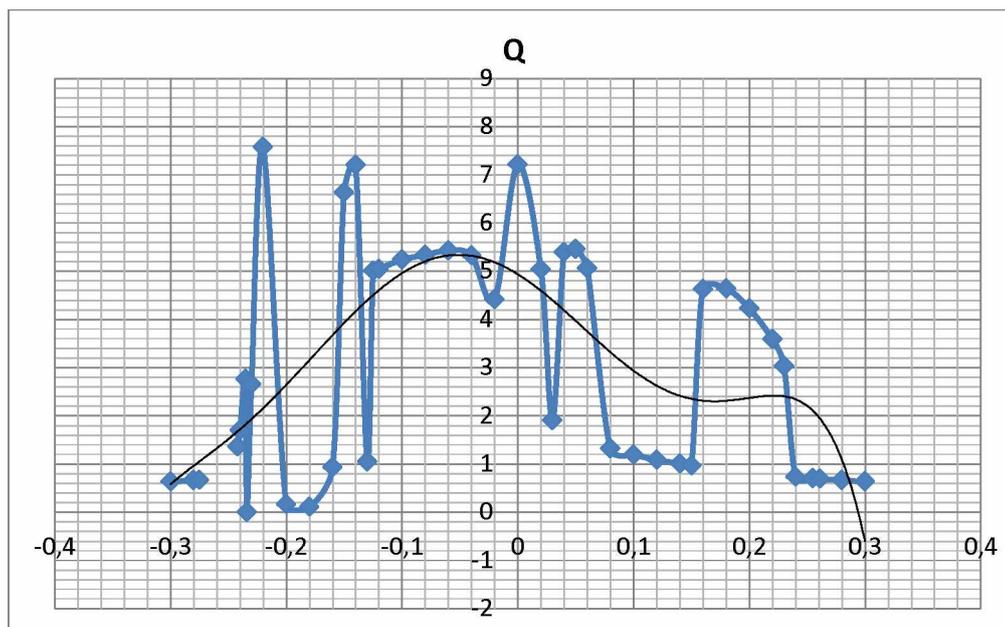


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузии Q от параметра порядка

Предложение о том, что коэффициент диффузии не зависит от скорости возрастания температуры, оказалось вполне приемлемым. Поэтому существенно нелинейный характер зависимости $Q \sim \eta$ может быть объяснен нелинейным влиянием параметра порядка. Сказанное вполне соответствует модельным представлениям, описывающим не только сверхпластичность, но и пограничные области термопластичности и высокотемпературной ползучести. Отметим, что коэффициент диффузии максимизируется вблизи нулевого приближения параметра порядка. При этом неизбежно интенсифицируются механизмы, ответственные за скольжение по границам зерен. В термическом диапазоне сверхпластичности такие процессы сопровождаются сменой соседей зерен. Иными словами, понятным становится утверждение об аморфизации границ зерен [7] и их динамическом возбуждении и активизации явления [8].

В заключении отметим, что коэффициент диффузии может считаться функцией, характеризующей изменчивость механизмов деформации в зависимости от температурно-скоростных условий.

Литература

1. Пазылов Ш.Т., Оморов Н.А., Арзыматов А.К. Деформационная анизотропия и сверхпластичность алюминиевых сплавов // Вестник КРСУ. – 2010. – Т.10. – №10. – С. 144-149.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
3. Пазылов Ш.Т., Оморов Н.А. Кинетика параметра анизотропии // Труды 10-й Междун. научно-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ'13). – СПб., 2013. – С. 390-394.
4. Хакен Г. Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1980. – 405 с.
5. Рудсткой А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука, 2009. – 218 с.
6. Китаева Д.А., Рудаев Я.И. Синергетические представления в механике динамической сверхпластичности // НТВ СПбГПУ. – 2013. – №4-1 (183). – С. 274-283.
7. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Современное состояние теории сверхпластичности // Тезисы докл. IV Всесоюз. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов», Ч.1. – Уфа, 1989. – С. 5.
8. Мышляев М.М. Ползучесть и сверхпластичность материалов с существенно неравновесным (возбужденным) структурным состоянием // Тезисы докл. IV Всесоюз. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов», Ч.1. – Уфа, 1989. – С. 7.

УДК.539.3

О ЗОНАХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЛИСТА

Д.А. Китаева, Е.А. Субботина, Л.И. Васильев

*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет, Россия,
Кыргызско-Российский Славянский Университет, Бишкек, Кыргызская Республика, lina-bishkek@mail.ru*

ABOUT SUPERPLASTICITY ZONES WHEN ROLLING ALUMINIUM SHEET

D.A. Kitaeva, E.A. Subbotina, L.I. Vasilyev

**St. Petersburg State Polytechnical University, Russia,*

***Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyz Republic, lina-bishkek@mail.ru*

Двумерная задача прокатки тонколистового алюминиевого сплава в термических диапазонах сверхпластичности решается с привлечением динамической. Показано, что обжатие полосы зависит от физико-математических и геометрических характеристик процесса прокатки, включая условие на контакте прокатываемой полосы и валков.

The two-dimensional problem of rolling of a thin-sheet aluminum alloy in the thermal ranges of superplasticity is solved with attraction of the dynamic. It is shown that sinking of a strip depends on physical and mathematical and geometrical characteristics of process of rolling, including a condition on contact of a rolled strip and rolls.

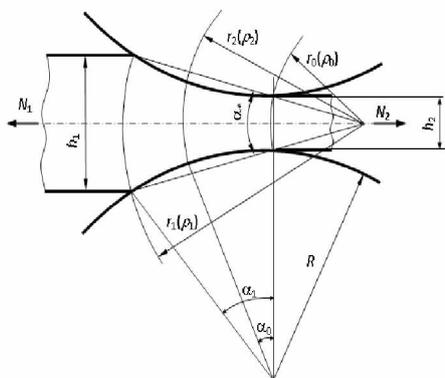


Рис. 1. К постановке задачи

1. Постановка задачи. Рассмотрим задачу определения энергосиловых, термических и кинематических параметров процесса продольной прокатки алюминиевой полосы без уширения. Предполагая, что при прокатке угол захвата валков малый, для решения задачи может быть привлечено [1,2] исследование течения материала в клиновидном сходящемся канале с углом при вершине α_1 (рис.1).

Считается, что процесс прокатки реализуется в изотермических условиях в диапазоне температур, не выходящих за термический интервал сверхпластичности промышленных алюминиевых сплавов [3].

Введем цилиндрическую систему координат ρ α z , причем начало координат разместим в вер-

В заключении отметим, что коэффициент диффузии может считаться функцией, характеризующей изменчивость механизмов деформации в зависимости от температурно-скоростных условий.

Литература

1. Пазылов Ш.Т., Оморов Н.А., Арзыматов А.К. Деформационная анизотропия и сверхпластичность алюминиевых сплавов // Вестник КРСУ. – 2010. – Т.10. – №10. – С. 144-149.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
3. Пазылов Ш.Т., Оморов Н.А. Кинетика параметра анизотропии // Труды 10-й Междун. научно-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ'13). – СПб., 2013. – С. 390-394.
4. Хакен Г. Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1980. – 405 с.
5. Рудсткой А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука, 2009. – 218 с.
6. Китаева Д.А., Рудаев Я.И. Синергетические представления в механике динамической сверхпластичности // НТВ СПбГПУ. – 2013. – №4-1 (183). – С. 274-283.
7. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Современное состояние теории сверхпластичности // Тезисы докл. IV Всесоюз. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов», Ч.1. – Уфа, 1989. – С. 5.
8. Мышляев М.М. Ползучесть и сверхпластичность материалов с существенно неравновесным (возбужденным) структурным состоянием // Тезисы докл. IV Всесоюз. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов», Ч.1. – Уфа, 1989. – С. 7.