

УДК 621.771.6 : 669.71 : 620.174.24

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР В. С. СМЕРНОВ, В. И. ВЛАДИМИРОВ,
А. И. МАРТОН, Б. В. САДОВНИКОВ

ВЛИЯНИЕ ЕДИНИЧНЫХ ОБЖАТИЙ НА ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ ПРОКАТКЕ

В работе ⁽¹⁾ авторами было показано, что метод измерения плотности позволяет изучать кинетику процесса разрушения при поперечной прокатке. Было обнаружено, что процесс разрушения состоит из двух стадий: обратимой и необратимой. При суммарном обжатии ε_{Σ} в интервале $\varepsilon_{\Sigma_1} < \varepsilon_{\Sigma} < \varepsilon_{\Sigma_2}$, где ε_{Σ_1} и ε_{Σ_2} — некоторые характеристические обжатия, разрушения (нарушения сплошности) в образце несут микроскопический характер и заживают после прекращения деформации при отжиге или выдержке при комнатной температуре. Дефект плотности в этом интервале обжатий мал ($\leq 10^{-3}$ г/см³). При $\varepsilon_{\Sigma} > \varepsilon_{\Sigma_2}$ в образце появляется макроскопическая пора, видимая на рентгеновских фотографиях, которая уже не залечивается с течением времени. При дефекте плотности $\geq 10^{-2}$ г/см³ пора может даже расти под действием остаточных напряжений. При

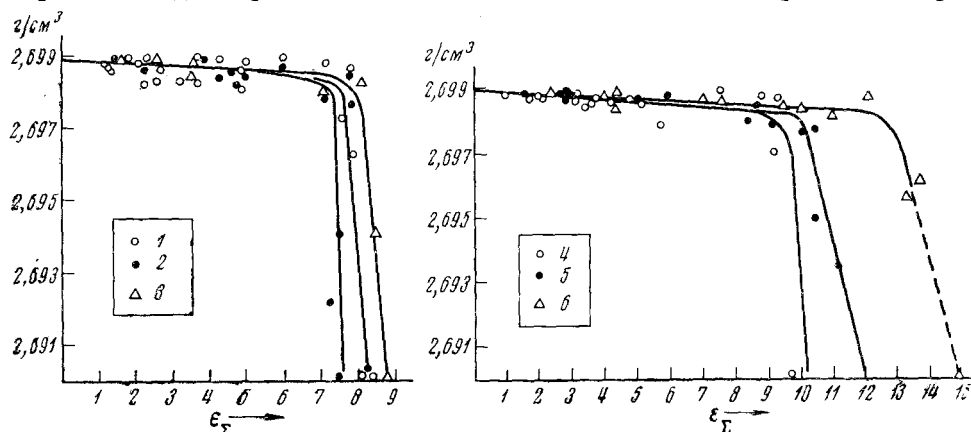


Рис. 1. Изменение плотности алюминия ρ в процессе прокатки в зависимости от суммарных обжатий ε_{Σ} при различных единичных обжатиях ε : 1 — 0,1%; 2 — 0,2%; 3 — 0,4%; 4 — 0,5%; 5 — 0,6%; 6 — 0,8%

$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{\Sigma_2}$ пора прорастает до торцовых поверхностей, образуя сквозное отверстие. Характеристические суммарные обжатия ε_{Σ_1} , ε_{Σ_2} и ε_{Σ_3} оказались сильно зависящими от единичных обжатий ε . Эта зависимость и исследуется в настоящей работе.

Методика проведения эксперимента описана в работе ⁽¹⁾. В отличие от ⁽¹⁾ в данной работе использовались только образцы с максимальной исходной плотностью.

На рис. 1 показано изменение плотности ρ образцов в процессе прокатки при различных единичных обжатиях ε в зависимости от суммарных обжатий ε_{Σ} . Из графиков видно, что при поперечной прокатке в начальный момент плотность уменьшается очень незначительно. При достижении характеристического обжатия ε_{Σ_2} , соответствующего началу перегиба на графиках (рис. 1), плотность начинает уменьшаться более резко. Вели-

чина $\varepsilon_{\Sigma 1}$, при прочих равных условиях, зависит от единичных обжатий ε . С увеличением единичных обжатий выше 0,2% суммарное обжатие $\varepsilon_{\Sigma 1}$ возрастает. При достижении суммарного обжатия $\varepsilon_{\Sigma 2}$, при котором дефект плотности равен $\sim 10^{-3}$ г/см³, в образце зарождаются макроскопические поры, обнаруживаемые при рентгеноскопии (рис. 3). При больших единичных обжатиях изменение плотности в интервале обжатий $\varepsilon_{\Sigma 1} - \varepsilon_{\Sigma 2}$ происходит более плавно (угол наклона кривой к горизонтальной оси уменьшается). На рис. 2 представлено изменение критического обжатия $\varepsilon_{\Sigma 2}$ в зависимости от единичного. При единичных обжатиях 0,1–0,4% критическое обжатие изменяется очень незначительно и имеет минимальную величину. При единичных обжатиях $> 0,4\%$ $\varepsilon_{\Sigma 2}$ возрастает с увеличением ε . При единичных обжатиях $< 0,1\%$ $\varepsilon_{\Sigma 2}$ также резко возрастает и наблюдается отслаивание материала с наружной поверхности образца. Так, при прокатке образцов с единичным обжатием $\sim 0,08\%$ вскрытие полости наблюдали только при суммарном обжатии $\varepsilon_{\Sigma 3} = 15,7\%$.

На основании проведенных опытов построена кривая (рис. 2), разделяющая области микроразрушений (ниже кривой) и макроразрушений (выше кривой) при поперечной прокатке алюминия. Построение подобных кривых для различных материалов позволит выбирать единичные и суммарные обжатия для прокатки в любой области, т. е. производить прокатку с макроразрушением в центральной зоне заготовки или без него, в зависимости от требований технологического процесса.

Рассмотрим причины, обуславливающие вид кривой (рис. 2). Ширина контактной площадки при поперечной прокатке уменьшается по мере приближения к торцу, в средней части образца она примерно постоянна. С увеличением единичных обжатий длина участка, на котором заметно резкое уменьшение ширины контакта, уменьшается. Согласно закону наименьшего периметра, силы трения направлены по нормальям к периметру площадки⁽²⁾ и перемещение частиц металла на поверхности контакта будет происходить в направлении действия этих сил. Следовательно, наибольшая деформация в продольном направлении будет иметь место в наружных слоях торцовых участков образца, что подтверждается опытными данными С. И. Орлова и В. В. Швейкина⁽³⁾.

Уменьшение единичных обжатий приведет к увеличению длины участков с повышенной продольной деформацией вблизи торцов и, следовательно, к увеличению количества торцовых эффективных* дислокаций. В работе⁽⁴⁾ нами было показано, что эти дислокации создают в основном осевые остаточные растягивающие напряжения.

При единичных обжатиях, меньших какой-то величины ε_1 , глубина проникновения пластической деформации (глубина залегания торцовых эффективных дислокаций) будет мала по сравнению с радиусом образца. Вследствие влияния боковой (цилиндрической) поверхности эти дислока-

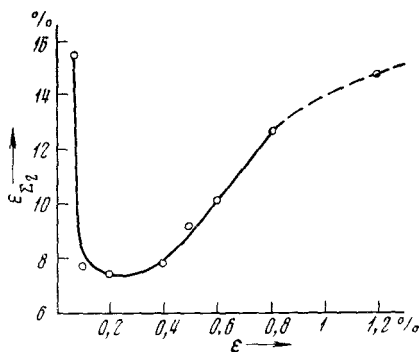


Рис. 2. Изменение критического обжатия $\varepsilon_{\Sigma 2}$ при прокатке алюминиевых образцов в зависимости от единичных обжатий. За критическое обжатие $\varepsilon_{\Sigma 2}$ принято суммарное обжатие, при котором дефект плотности $\Delta\rho$ равен 10^{-3} г/см³

* Под эффективными дислокациями подразумеваются прямолинейные дислокации (длина которых сравнима с размерами образца), движущиеся вдоль преимущественных направлений движения реальных дислокаций, т. е. вдоль линий течения, и создающие те же далекодействующие напряжения, что и реальные дислокации^(4, 5).

ции не будут создавать дальнедействующих напряжений. При небольших суммарных обжатиях ($\varepsilon \leq 8\%$) напряжения в центре образца окажутся недостаточными для зарождения трещины. При единичных обжатиях, больше какой-то величины ε_2 , продольная деформация локализуется вблизи торцевой поверхности и вследствие ее влияния осевые растягивающие напряжения также уменьшаются, хотя деформация в этом случае и проникает на большую глубину.

Таким образом, должно быть оптимальное соотношение между длиной участка с повышенной продольной деформацией и глубиной проникнове-

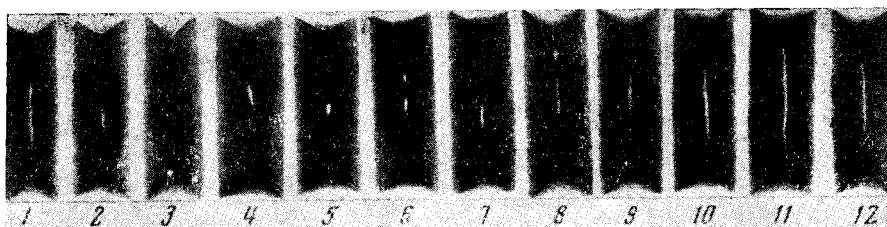


Рис. 3. Рентгенограммы образцов после поперечной прокатки при различных обжатиях.

	1	2	3	4	5	6
№ образца	164	30	190	68	104	55
ρ , г/см ³	2,6940	2,6979	2,6977	2,6976	2,6976	2,6980
ε_{Σ} , %	7,5	7,1	8,0	14,8	7,0	9,1
ε , %	0,2	0,2	0,2	0,9	0,1	0,6
№ образца	7	8	9	10	11	12
ρ , г/см ³	2,6972	2,6962	2,6967	2,6936	2,6958	1,6962
ε_{Σ} , %	9,1	7,8	8,6	11,2	13,3	13,6
ε , %	0,5	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8

ния пластической деформации, при которой напряжения в центре, возникающие от торцовых эффективных дислокаций, окажутся достаточными для зарождения трещины и ее роста.

Аналогично изменяются и напряжения от эффективных осевых дислокаций. Но, как было показано в ⁽⁵⁾, при малых обжатиях деформация вблизи торцов проникает на большую глубину. Поэтому при $\varepsilon < \varepsilon_1$ основную роль будут играть осевые растягивающие напряжения σ_z от торцовых дислокаций, а радикальные σ_r и тангенциальные (азимутальные) σ_θ растягивающие напряжения будут малы. Напротив, при $\varepsilon > \varepsilon_2$ основные напряжения будут создаваться осевыми дислокациями: σ_r и σ_θ будут велики, а σ_z мало. Таким образом, можно полагать, что в промежуточной области $\varepsilon_2 > \varepsilon > \varepsilon_1$ напряженное состояние в центре заготовки более всего приближается к трехосному растяжению и реализуется рассмотренная в ⁽⁴⁾ схема роста поры при минимальных деформациях ε_{Σ} . В условиях опыта (отношение длины образца l к диаметру d $l/d = 2,2$) интервал значений $\varepsilon_1 - \varepsilon$ лежит в пределах 0,1–0,4%. При $\varepsilon < \varepsilon_1$ схема напряжений ближе к одноосному растяжению, при $\varepsilon > \varepsilon_2$ — к двухосному. Это приводит к увеличению ε_{Σ} (деформации до вскрытия сквозного отверстия) до величин, сравнимой с предельной деформацией при этих видах растяжения. В данной работе рассматривались относительно малые единичные обжатия $\varepsilon \leq 0,8\%$, при которых деформация за половину оборота заготовки еще не проникает до центра. Оценки показывают, что в этих условиях еще можно пренебречь влиянием напряжений от внешних сил и определяющую роль при разрушении будут играть остаточные напряжения.

Таким образом, нами 1) исследовано влияние небольших единичных обжатий (до 0,9%) на критические ε_{Σ} . Построена кривая (рис. 2), разде-

ляющая области микро- и макроразрушений при поперечной прокатке алюминиевых образцов. 2) Показано, что для определения условий разрушения в центре образца необходимо учитывать трехмерный характер пластической деформации и напряженного состояния и их изменение в зависимости от единичных обжатий ϵ . 3) Предложено объяснение вида кривой, основанное на изменении относительного вклада во внутренние напряжения от торцовых и осевых эффективных дислокаций: при малых ϵ основную роль играют торцовые дислокации, создающие осевые растягивающие напряжения, при больших ϵ — осевые дислокации, создающие радиальные и тангенциальные растягивающие напряжения.

Ленинградский политехнический институт
им. М. И. Калинина

Поступило
5 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Владимиров, Б. В. Садовников, В. С. Смирнов, Физика и химия обработки матер., 1, 76 (1972). ² В. С. Смирнов, Теория прокатки, 1967. ³ С. И. Орлов, В. В. Швейкин, Изв. высш. учебн. завед., Черная металлургия. № 5, 55 (1959). ⁴ Б. В. Садовников, Дислокационный механизм деформации и разрушение при поперечной прокатке. Автореф. кандидатской диссертации, Ленинградск. политехнич. инст. им. М. И. Калинина, Л., 1972. ⁵ В. С. Смирнов, В. И. Владимиров, Б. В. Садовников, ДАН, 203, № 3 (1972).