

но влияние угла  $\varphi_m$  конуса матрицы и вытяжки  $\lambda$ ;  $\rho_0$  — радиус верхней границы очага деформации в сферических координатах.

Как показывает анализ зависимости, определяющим фактором образования и стабильного существования смазочного клина в очаге деформации при осесимметричном выдавливании заготовки через матрицу является отношение вязкости рабочей среды к пределу текучести материала в процессе истечения. Увеличение этого отношения приводит к линейному росту слоя смазочного материала на входе в конус матрицы, а следовательно, и на выходе из него.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северденко В.П., Мураc В.С., Суходрев Э.Ш. Горячее гидродинамическое выдавливание режущего инструмента. — Мн., 1974. 2. Северденко В.П., Эли м е л а х С.З., К а н т и н В.Г. Условия формирования разделяющего слоя промежуточной среды при горячем гидродинамическом выдавливании // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. — 1975.

УДК.669.017:621.7.044.2

Ю.Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук,  
И.Н. ФЕДОСЕНКО, И.А. КОМЕЛЬ (БПИ)

### ДЕФОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ТРУБ ПРИ ОБЖАТИИ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА\*

Процессы упрочнения и сварки труб энергией взрыва сопровождаются деформацией материала труб при обжати. Проектирование материала требует знания скорости деформирования, скорости и степени деформации, так как их значения влияют на структуру и свойства материала.

Рассмотрим обжатие трубы в цилиндрической системе координат (рис. 1). При этом сделаем следующие предположения: труба имеет неограниченные размеры в направлении оси  $Z$ ; происходит равномерное ее обжатие, т. е. все точки, расположенные на поверхности любого выделенного в трубе цилиндра, перемещаются в направлении координаты  $r$  на одинаковое расстояние. Это позволяет пренебречь наличием деформации вдоль оси  $Z$  и не учитывать влияния краевых эффектов.

С учетом данных предположений получены значения скорости деформирования  $v_{ri}$  в любой момент времени  $\tau_i$  для любой точки трубы  $R_i$ :

$$v_{ri} = \frac{v_{1\tau}}{R_{i\tau}} (R_{10} - \int_0^{\tau_i} v_{1\tau} d\tau), \quad v_{\varphi i} = v_{zi} = 0,$$

где  $v_{1\tau}$  — заданная скорость деформирования наружной поверхности трубы в момент времени  $\tau_i$ .

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук В.Н. Ковалевского.

Исходя из уравнений, связывающих скорость деформирования  $v_{r_i}$ , скорость деформации  $\dot{\epsilon}$  и степень деформации  $\epsilon$  [1], получены следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{rr_i} = -\dot{\epsilon}_{\varphi\varphi_i} &= v_{1\tau} \frac{(R_{10} - \int_0^{\tau} v_{1\tau} d\tau)}{R_i^2}; \\ \epsilon_{rr} = -\epsilon_{\varphi\varphi} &= \ln \frac{R_{i0}}{R_i}; \quad \epsilon_{zz} = \epsilon_{\varphi\varphi} = \epsilon_{\varphi z} = \epsilon_{zr} = 0; \\ \epsilon_{\text{обобщ}} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{R_{i0}}{R_i}. \end{aligned} \quad (1)$$

Схема "косого" полета труб при сварке либо упрочнении полностью не описывается принятой в расчете схемой "плоского" полета ( $\epsilon_{zz} \neq 0$ ). Кроме того, возможна потеря устойчивости трубы в полете. Экспериментальная установка по проверке соответствия расчетной схемы процессу обжатия взрывом

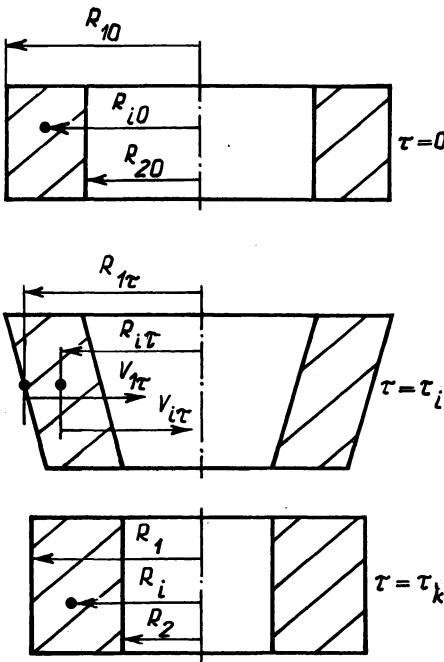


Рис. 1. К расчету процесса деформирования труб энергией взрыва

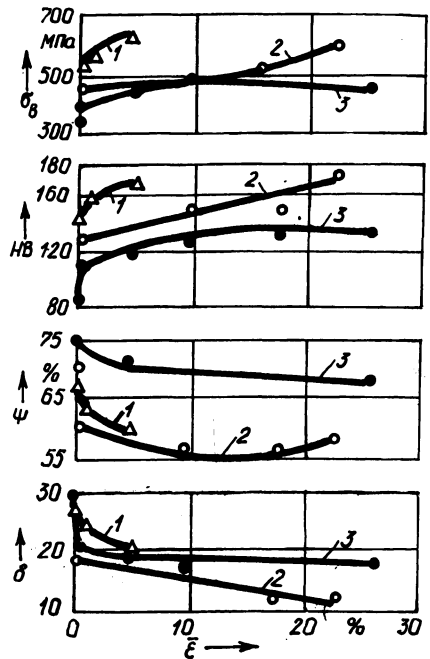


Рис. 2. Зависимость характеристик механических свойств сталей от степени их деформации:

1 - сталь 45; 2 - сталь 20; 3 - сталь ОЗЖР

состояла из двух стальных оболочек, в зазоре между которыми размещались диски-образцы. Для регистрации остаточной деформации на торцевых поверхностях дисков наносили резанием круговые диски и запрессовывали медные проволочные датчики. Отклонение расчетных данных от экспериментальных составило: абсолютное  $\Delta\epsilon = 0..4\%$ , относительное  $\Delta\epsilon/\epsilon_{100} = 0..8\%$ . Потеря устойчивости трубы оценивалась отклонением от круглости круговых рисков, что дало относительную погрешность в расчетах деформации (3..8%). Таким образом, данная методика расчета параметров  $v_r$ ,  $\dot{\epsilon}$ ,  $\epsilon$  может быть принята для оценки процесса деформирования труб при сварке и упрочнении взрывом.

Из условия сплошности материала до и после деформирования формула (1) примет вид

$$\epsilon_{\text{обобщ}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{R_{i0}}{\sqrt{R_{i0}^2 - R_{20}^2 + R_2^2}}$$

Из данной зависимости следует, что деформация по толщине трубы переменна, следовательно, переменны и механические свойства материала. Для оценки работоспособности материала в этом случае целесообразно ввести параметр — среднюю степень деформации материала трубы

$$\bar{\epsilon} = \frac{\int_{R_1}^{R_2} \ln \frac{R_0}{R} dR}{R_1 - R_2}$$

На рис. 2 показаны зависимости механических характеристик сталей 03ЖР (0,011% С), 20 и 45 от  $\bar{\epsilon}$ . Трубы деформировали зарядом из аммонита №6ЖВ. Интенсивное изменение характеристик происходит при степенях деформации  $\bar{\epsilon} = 1..5\%$ . Упрочняется ферритная матрица материала. Плотность дислокаций возрастает до  $10^{11} \text{ см}^{-2}$ . С увеличением  $\bar{\epsilon}$  в ферритных зернах появляются двойники и зерна вытягиваются в радиальном направлении, образуя ферритные и перлитные радиальные и окружные строки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радзивончик В.Ф. Скоростное пластическое деформирование металлов. — Харьков, 1967.

УДК 621.7.044.2

В.И. БЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, И.О. БАРЧУК,  
В.Б. КРАВЦОВ, И.Н. ГОРБАЧ (БПИ)

#### СВАРКА МЕТАЛЛОВ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

Одним из новых технологических направлений машиностроения является холодная сдвиговая сварка. Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что образование сварного соединения в твердофазном состоянии про-