

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ПЛОСКОЙ
И ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОСАДКЕ

Э. С. ВАКСМАН, В. А. ОГОРОДНИКОВ, Г. Д. ДЕЛЬ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Осадка является одной из распространенных операций в обработке металлов давлением. Для рационального осуществления этой операции необходимо знать деформированное состояние осаживаемых поковок.

Целью настоящей работы является исследование деформированного состояния при осадке поковок из материалов с различной упрочняемостью. Деформации образцов из сталей X18H9T, Ст. 3 и меди определялись по распределению твердости [1, 2, 3], деформированное состояние свинца изучалось по искажению делительной сетки, нанесенной предварительно на одну из половин составного образца.

При определении деформации измерением твердости строится тарировочный график «твердость—интенсивность деформаций». С этой целью восемь цилиндрических образцов из каждого материала диаметром 30 и высотой 45 мм сжимались в осевом направлении до различной степени деформации. Сжатие производилось со смазкой торцев пастой из коллоидного графита и глицерина. Интенсивность деформаций, соответствующая каждой из осадок, определялась по соотношению

$$e_i = \ln \frac{H_0}{H}, \quad (1)$$

где H_0 и H —высота образца до и после осадки. Деформированные образцы разрезались вдоль меридионального сечения. Полученная поверхность тщательно шлифовалась и в 4—5 ее точках измерялась твердость по Бринеллю шариком диаметром 5 мм над нагрузкой 500 кг (при испытании меди нагрузка составляла 250 кг). Указанные условия определения твердости выбраны с целью получения наибольшего количества отпечатков при последующем измерении твердости образцов, деформированное состояние которых изучалось. Деформации определялись при плоской и осесимметричной деформации.

Плоская деформация. По распределению твердости определялось деформированное состояние цилиндрических и призматических образцов из стали X18H9T. Три цилиндрических образца диаметром 45 и длиной 135 мм осаживались в радиальном направлении между параллельными плитами пресса до трех осадок (10, 20 и 30%). Прямоугольные призмы с размерами 45×30×90 мм осаживались в направлении наибольшего поперечного размера до тех же осадок. В дальнейшем деформированные образцы разрезались вдоль среднего по длине сечения. Полученная поверхность шлифовалась и в различных точках ее осей симметрии (вдоль

и поперек направления сжатия) измерялась твердость. По твердости из тарировочного графика определялась соответствующая ей величина интенсивности деформаций e_i . При выбранном соотношении размеров образцов деформированное состояние в среднем по длине образца сечении является плоским. При плоской деформации [2]

$$e_1 = -e_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} e_i. \quad (2)$$

Деформация e_3 направлена вдоль, а e_1 — поперек направления осадки.

Эпюры главных деформаций вдоль осей симметрии приведены на рис. 1 и 2. Полученные результаты проверены путем сопоставления средних деформаций вдоль координатных осей:

$$e_{xcp} = \ln \frac{b}{b_0}, \quad e_{ycp} = \ln \frac{H}{H_0}, \quad (3)$$

где b, H — ширина и высота поперечного сечения после осадки, с деформациями, найденными по полученным эпюрам:

$$e'_{xcp} = \int_{-b/2}^{+b/2} e_x \cdot dx, \quad e'_{ycp} = \frac{1}{H} \int_{-H/2}^{+H/2} e_y \cdot dy. \quad (4)$$

Погрешность определения деформаций не превышала 9%, за исключением осадки в 10%, при которой она составила 20%.

Свинцовые образцы изготавливались таких же размеров, как и стальные. Образцы разрезались в среднем по длине поперечном сечении и на одну из плоскостей разреза накатывалась координатная сетка базой в 1 мм. В ячейки накатанной сетки специальным керном наносились отпечатки в виде окружностей диаметром 1,75 мм. Размеры полученных отпечатков измерялись на инструментальном микроскопе. Затем обе половины образца спаивались сплавом Вуда и полученный составной образец сжимался до необходимой степени осадки (как и в предыдущем случае осадка составляла 10, 20 и 30%). В дальнейшем образец распаивался и по искажению первоначальных окружностей определялось деформированное состояние. Главные деформации рассчитывались по соотношениям:

$$e_1 = -\ln \frac{d_0}{a}, \quad e_3 = \ln \frac{b}{d_0} \quad (5)$$

где d_0 — исходный диаметр отпечатка;

a, b — малая и большая оси эллипса.

Эпюры главных деформаций вдоль осей симметрии при осадке свинцовых призм и при радиальном сжатии цилиндра приведены соответственно на рис. 1 и 2. Как видно из графиков, деформированное состояние при осадке является неоднородным, с ростом осадки степень неоднородности увеличивается.

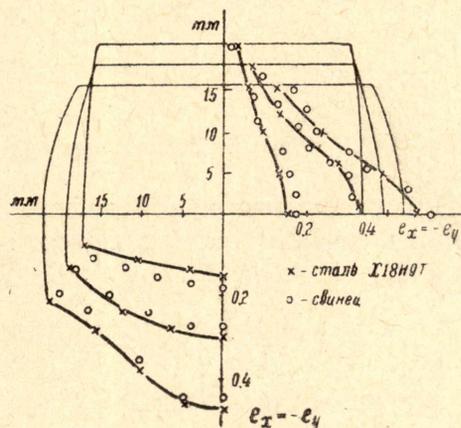


Рис. 1. Деформации при осадке призм.

Из сопоставления эпюр деформаций образцов из различных материалов (сталь X18H9T, свинец) следует, что деформированное состояние практически не зависит от упрочняемости материала.

Осесимметричная осадка. Деформированное состояние определялось по распределению твердости. Девять цилиндрических образцов диаметром 36 и высотой 54 мм из сталей X18H9T, ст. 3 и меди осаживались в осевом направлении между параллельными плитами прессы до одинаковой осадки (10, 20 и 30%). После измерения твердости в центре торца деформированных образцов последние разрезались вдоль меридионального сечения. Полученная поверхность шлифовалась и в различных точках ее осей симметрии измерялась твердость. По твердости из тарировочных графиков определялась соответствующая ей величина интенсивности деформации e_i .

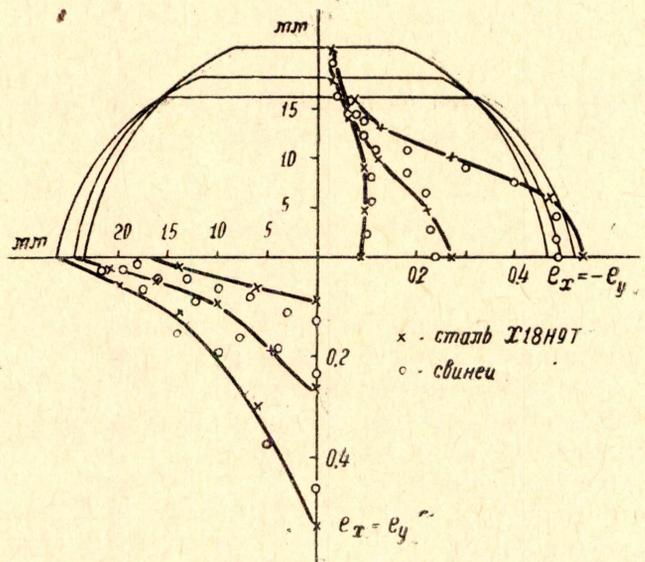


Рис. 2. Деформации при радиальном сжатии цилиндра

При осесимметричной деформации вдоль осей симметрии меридионального сечения определяются три деформации: окружная — e_φ , радиальная — e_r и осевая — e_z . Интенсивность деформации

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_r - e_\varphi)^2 + (e_r - e_z)^2 + (e_\varphi - e_z)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{rz}^2} \quad (6)$$

Условие несжимаемости

$$e_r + e_\varphi + e_z = 0. \quad (7)$$

Вдоль оси (z) симметрии, совпадающей с направлением осадки, $\gamma_{rz} = 0$, $e_r = e_\varphi$ и в силу этого

$$-e_z = 2e_r = 2e_\varphi = e_i. \quad (8)$$

Вдоль второй оси симметрии выполняется уравнение

$$\frac{de_\varphi}{dr} + \frac{1}{r}(e_r - e_\varphi). \quad (9)$$

Методика численного решения системы уравнений (6), (7), (9) изложена в статье [2]. Выполненный расчет проверен путем сопоставления полученной при расчете окружной деформации на контуре с фактической

$$e_\varphi = \ln \frac{R}{R_0}, \quad (10)$$

где R_0 и R — радиусы до и после деформации в среднем по высоте сечения образца. Наибольшее расхождение не превышало 8%. На высокую точность определения деформаций по распределению твердости указывают и результаты проверки эюров интенсивности деформаций e_i , построенным вдоль вертикальной оси z . Расхождение средней величины деформации e_z , найденная по этим эюрам, с $\ln \frac{H_0}{H}$ не превышало 3%.

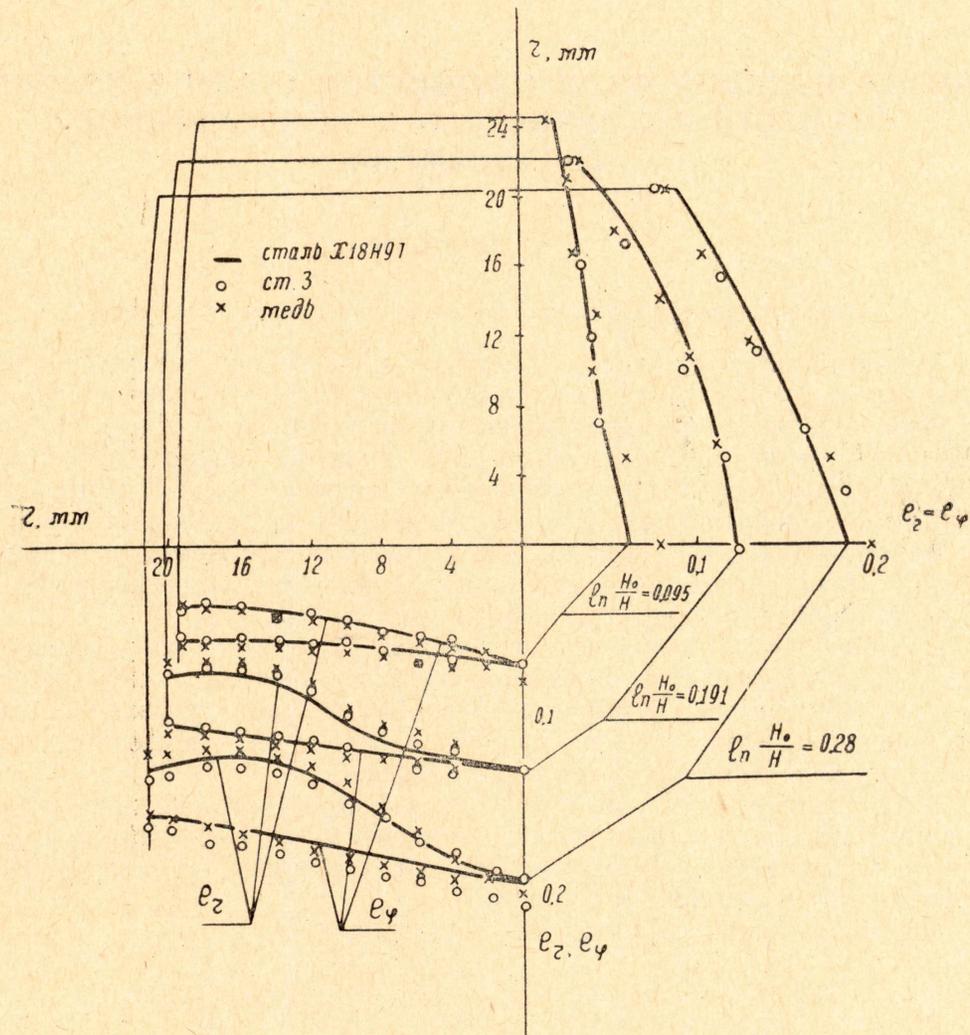


Рис. 3. Деформации при осесимметричной осадке цилиндра

На рис. 3 представлены эюры деформаций e_r , e_ϕ при осесимметричной осадке. Полученные результаты указывают на значительную неравномерность распределения деформаций вдоль вертикальной оси z . Вдоль горизонтальной оси симметрии деформации распределяются более равномерно. Как и в случае плоской осадки, деформированное состояние практически не зависит от упрочняемости материала.

Проведенное исследование показывает, что деформированное состояние при осадке в горячем состоянии можно определять на моделях, деформируемых в холодную. Деформации моделей можно определять по распределению твердости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости. Известия ТПИ, т. 138, 1961.
2. Г. Д. Дель. Определение деформированного состояния по распределению твердости. Известия ТПИ, т. 157, 1967.
3. Я. Б. Фридман, Т. К. Зилова, Н. Н. Демина. Изучение пластической деформации и разрушения методом накатанных сеток, Оборонгиз, 1962.