

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

При расчете технологических параметров сложность зависимостей и одновременное влияние многих факторов на процесс деформирования вызывает необходимость ряда допущений. Одна из важных задач связана с приближенным методом определения напряжений с учетом упрочнения. Это необходимо для анализа влияния характера упрочнения на величину усилия и на величину предельного формоизменения. Для этой цели необходимо иметь аналитическое выражение кривой упрочнения.

Для титановых сплавов из-за специфических свойств (анизотропия и протекание равномерного формоизменения за P_{\max}), помимо равномерной области кривой упрочнения представляет значительный интерес локальная зона.

Прямолинейный характер кривой упрочнения в локальной области и изменение поперечного сечения образца практически в счет одного размера позволили предположить, что параметр кривизны шейки $\frac{a}{R}$ в формуле для плоских образцов, предложенной П. Бриджменом, можно заменить деформацией, которая равна разнице между общей деформацией и деформацией при максимальной нагрузке, т. е.

$$\frac{a}{R} = \varepsilon_k, \quad \varepsilon_k = \varepsilon_l - \varepsilon_p,$$

где a — ширина образца в шейке;

R — радиус кривизны образующей внешней поверхности шейки образца в том же месте.

Для экспериментальной проверки этого положения образцы подвергались растяжению под нагрузкой, начиная с момента образования шейки. При каждом этапе нагружения образец снимался с машины. Проводились замеры нагрузки, соответствующей деформации, геометрических параметров образца (толщины, ширины), радиуса кривизны в области сужения шейки (R).

Результаты расчета деформации сужения шейки образца в зависимости от отношения $\frac{a}{R}$ (a и R определены замером) представлены графически (рис. 1).

Анализ полученных данных для исследуемых сплавов подтвердил возможность замены в формуле П. Бриджмена $\frac{a}{R}$ величиной локальной деформации ε_k .

Имея такую зависимость, можно использовать поправку

II. Бриджмена как функцию напряжений и деформаций в области шейки.

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{ст}}{\left(1 + \frac{2}{\varepsilon_k}\right)^{\frac{1}{2}} \ln \left[1 + \varepsilon_k + (2\varepsilon_k)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} \varepsilon_k \right) \right]} - 1 \quad (1)$$

$$\sigma_i = \sigma_{ст} \cdot k, \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{\left(1 + \frac{2}{\varepsilon_k}\right)^{\frac{1}{2}} \ln \left[1 + \varepsilon_k + (2\varepsilon_k)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} \varepsilon_k \right) \right]} - 1 \quad (3)$$

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента, учитывающего неоднородность напряженного состояния в шейке образца от интенсивности деформации.

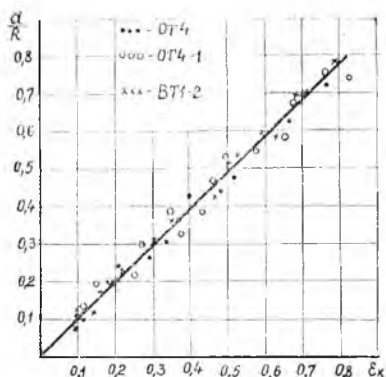


Рис. 1. Изменение коэффициента в зависимости от сосредоточенной деформации

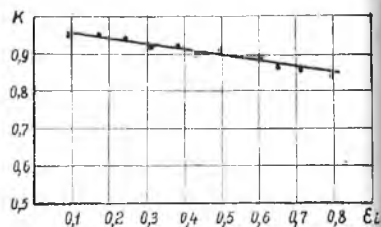


Рис. 2. Изменение коэффициента напряженного состояния в зависимости от степени деформирования

Таким образом, отпадает необходимость громоздких расчетов для определения напряжений в локальной области кривой упрочнения титановых сплавов. Все сводится к определению коэффициента напряженного состояния и истинных напряжений по результатам одноосного растяжения.

С учетом выражения (2) построены кривые упрочнения $\sigma_{ин} = f(\varepsilon_p)$ (рис. 3). Величина $\sigma_{стм}$ аппроксимирована степенной зависимостью

$$\sigma_{ст} = c \varepsilon_i^n, \quad (4)$$

где i и n определены из опыта на растяжение

$$n = \ln(1 + \delta_p), \quad i = \frac{\sigma_k}{\delta \frac{n}{p}}$$

Отметим, что учет влияния неоднородности напряженного состояния в шейке образца при нахождении напряжений ($\sigma_{ин}$)

позволяет более точно определить значения этих напряжений и использовать их в технологических расчетах.

Кроме того, как показывает анализ графика (рис. 3), кривые упрочнения, построенные как с учетом неоднородности напряжен-

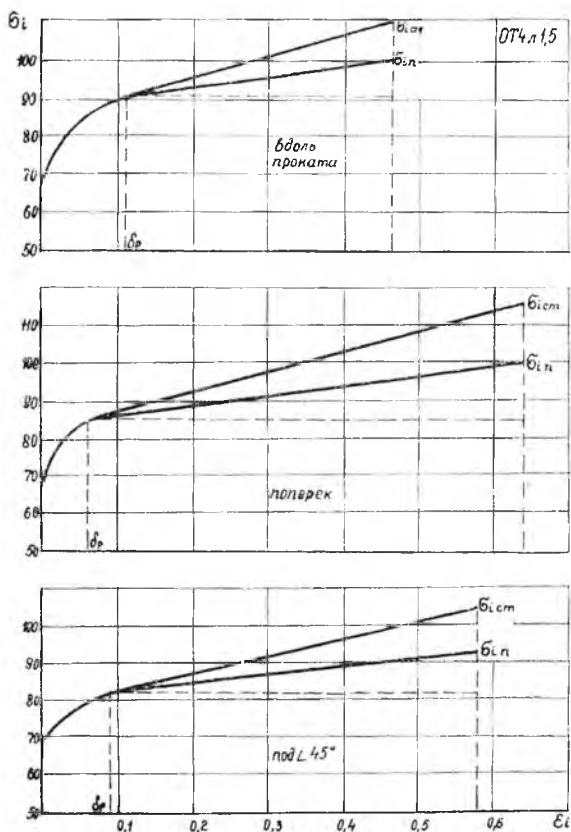


Рис. 3. Кривые упрочнения сплава ОТ4—1

ного состояния в шейке образца, так и без него, имеют в локальной области прямолинейный характер. Это положение подтверждается и аналитически. Продифференцировав уравнение (1), найдем модуль упрочнения $m_{ш}$ с учетом влияния неоднородности напряженного состояния в шейке образца.

$$m_{ш} = \frac{d \sigma_{ш}}{d \varepsilon} = \frac{\varepsilon_k}{bk - \varepsilon_k} \cdot \frac{d \sigma}{d \varepsilon} = \sigma \frac{b - k}{b^2 k - \varepsilon_k b}, \quad (5)$$

$$b = \varepsilon_k \sqrt{1 + \frac{2}{\sigma_k}},$$

$$k = \ln \left[1 + \varepsilon_k + (2\varepsilon_k)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} \varepsilon_k \right)^{\frac{1}{2}} \right].$$

Затем определим отношение $\frac{m_{ш}}{m}$

$$\frac{m_{ш}}{m} = \frac{\varepsilon_k}{bk - \varepsilon_k} = \frac{\varepsilon_i (b - k)}{n(b^2k - \varepsilon_k b)}, \quad (6)$$

где m — модуль упругости без учета влияния неоднородности напряженного состояния в шейке образца.

Значение m находим, дифференцируя уравнение (4),

$$m = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{n}{\varepsilon_i} \sigma_i.$$

Величина отношения $\frac{m_{ш}}{m}$ (6) в зависимости от деформации была вычислена для всех образцов, вырезанных в трех направлениях (вдоль, поперек, под углом 45° к направлению проката). Результат расчета отношения $\frac{m_{ш}}{m}$ для всех трех структурных групп титановых сплавов вплоть до разрыва оставался приблизительно равным 0,5. Тогда аппроксимация кривой упрочнения в области локальной деформации

$$\sigma_i = \sigma_k + \frac{(\sigma_p - \sigma_k)(\sigma_i - \delta_p)}{2\varepsilon_k},$$

где σ_k — истинный предел прочности;

σ_p — истинное напряжение в момент разрыва образца;

ε_c — сосредоточенная деформация в момент разрыва образца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Пер. с английского. М., ИИЛ, 1955.
2. Томянов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. М. Машгиз, 1963.

В. Г. Фокин

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ АМг6 — IX18H10T, Д16 — ВТ1 — 0 и ЦИЛИНДРОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В авиационной технике широко применяются детали из неоднородных и ортотропных материалов. В настоящей статье описываются результаты определения остаточных напряжений в биметаллических пластинах и ортотропных цилиндрах.

Биметаллические листы были изготовлены методом горячей пакетной прокатки, технология которой изложена в работе [1]. Состояние поставки листа АМг6 — IX18H10T — отжиг при 350°C и правка. Толщина слоя IX18H10T — 5,5 мм, толщина слоя АМг6 с двухсторонней алюминиевой плакировкой — 4,9 мм. Состояние