

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

поставки листа Д16—ВТ1—0—закалка и естественное старение по стандартному режиму для Д16. Толщина слоя Д16—0,98 мм, ВТ1—0—0,27 мм.

Лист Д16—ВТ1—0 исследовался также после виброгалтовки, произведенной с двух сторон. Режимы объемной виброгалтовки: частота колебаний стола 12 гц, амплитуды двух горизонтальных движений по 12 мм, амплитуда вертикального движения 6 мм. Обрабатываемый лист располагался горизонтально, стальные шарики имели диаметр 12 мм. Смазка—растворитель № 66, время виброгалтовки 45 минут.

Остаточные напряжения биметаллов определялись методом полосок, обоснование которого для наиболее общего случая да-

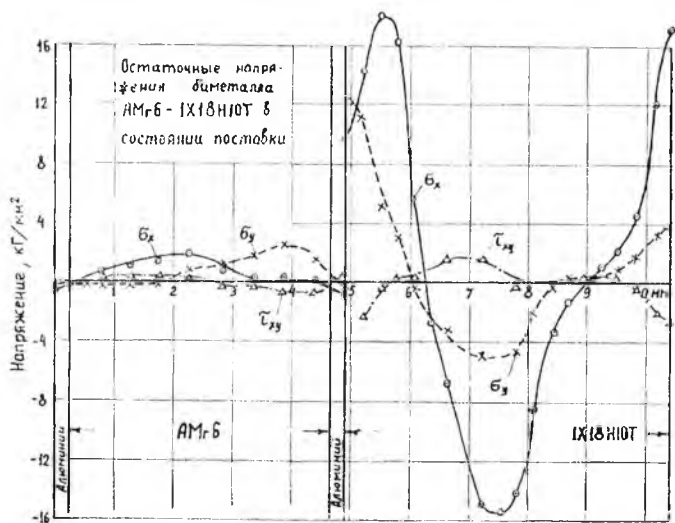


Рис. 1. Изменение коэффициента $\frac{a}{R}$ в зависимости от сосредоточенной деформации

но в работе [2]. В соответствии с этим методом из листов вырезались полоски в направлении прокатки (ось x), поперек (ось y) и под углом 45° . Размеры полосок биметалла АМгб—IX18Н10Т— $a \times h \times L = 20 \times 10, 4 \times 160$ мм, биметалла Д16—ВТ1—0— $10 \times 1, 25 \times 80$ мм.

Полоски АМгб—IX18Н10Т фрезеровались на минимальных режимах с охлаждением водой. Измерялись деформации их свободных широких граней с помощью тензодатчиков ПКБ10×100 и тензометрической аппаратуры ВСТ4. Тензометрирование проводилось при постоянной температуре, для чего после каждого этапа фрезерования образец помещался в термостат.

У полосок Д16—ВТ1—0 слои удалялись химическим травлением. Дюралюмин Д16 травился в растворе HCl—36 мл/л, CuSO₄

— 36 г/л, NaCl — 24 г/л при $T = 17^\circ \text{C}$. Для равномерного травления с поверхности образца периодически удалялся осадок. Титановый сплав ВТ1—0 травился в растворе $\text{HF} - 4,5\%$, $\text{HNO}_3 - 24,5\%$ при $T = 17^\circ \text{C}$. Равномерность травления обеспечивалась интенсивным перемешиванием. Глубина травления определялась по времени с помощью экспериментально найденных зависимостей «время — глубина» травления. В процессе травления полосок из Д16-ВТ1—0 измерялись их прогибы. Для этого использовалось приспособление с измерительным элементом — тензобалочкой. Чтобы исключить влияние нагрева, измерение перемещений производилось следующим образом. Приспособле-



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

ние вместе с образцом извлекалось из раствора, образец остывал до исходной температуры, делался отсчет прогиба, а затем снова производилось травление.

Результаты определения остаточных напряжений в биметаллах АМг6 — IX18Н10Т и Д16 — ВТ1—0 изображены на рис. 1—3. У биметалла АМг6 — IX18Н10Т в состоянии поставки в алюминиевом слое остаточные напряжения малы, а в остальном слое достигают 21 кг/мм^2 и являются растягивающими как у поверхности, так и возле спая.

Биметалл Д16 — ВТ1—0 в состоянии поставки на поверхности имеет сжимающие напряжения. В слое ВТ1—0 наибольшее напряжение достигает величины $12,2 \text{ кг/мм}^2$, в слое Д16 — значения $13,4 \text{ кг/мм}^2$. После виброгалтовки на поверхности слоя ВТ1—0 возникли сжимающие напряжения $\sigma_x = -49,7 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_y = -36,8 \text{ кг/мм}^2$, на поверхности слоя Д16 — $\sigma_x = -15 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_y = -14,4 \text{ кг/мм}^2$.

Касательные напряжения τ_{xy} у обоих биметаллов оказались

незначительными, поэтому направление прокатки является одним из главных.

Толстостенные цилиндры имели длину 200 мм, наружный и внутренний диаметры 99,6 и 58,4 мм. Они были изготовлены перекрестной намоткой ленты стеклопластика 27—63С [3]. На-

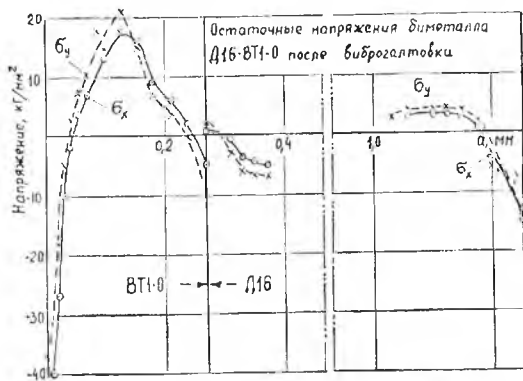


Рис. 3. Кривые упрочнения сплава
ОТ4—1 л 1,0 мм

правление укладки соседних слоев было взаимно перпендикулярным и составляло с образующей угол 45° . Благодаря симметрии укладки ленты готовые цилиндры можно рассматривать как однопородные ортотропные.

Испытание образцов, вырезанных из цилиндра, дало следующие упругие характеристики: $E_\theta = E_z = 0,21 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$,

$$E_r = 0,12 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2, \nu_{\theta z} = \nu_{z\theta} = 0,24, \nu_{\theta r} = \nu_{r\theta} = 0,19.$$

На образцах определялись также прочностные свойства: $\sigma_{\theta 0} = 12 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_{\text{пр}} = 1,2 \text{ кг/мм}^2$.

Для определения остаточных напряжений один цилиндр растачивался, другой обтачивался с одновременным измерением деформации противоположных цилиндрических поверхностей. Деформации измерялись тензодатчиками ПКБ10Х100 с тензометрической аппаратурой ВСТ4. Остаточные напряжения вычислялись по измеренным деформациям с помощью формул, приведенных в работе [4].

Результаты определения остаточных напряжений изображены на рис. 4. Осевые напряжения σ_z незначительны, окружные σ_θ на внутренней поверхности составляют 37,5%

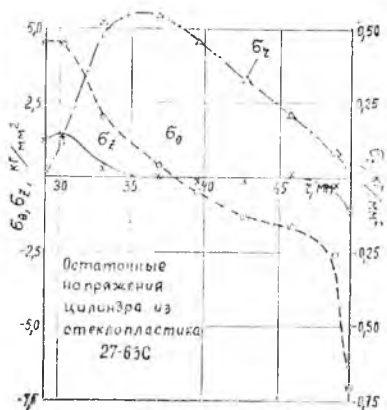


Рис. 4

от предела прочности, растягивающие радиальные напряжения σ_r достигают 46,7% от предела прочности и являются наиболее опасными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Король В. К., Гильденгорн М. С. Основы технологии производства многослойных металлов. М., «Металлургия», 1970.
 2. Фокин В. Г., Иванов С. П. Метод полосок для исследования остаточных напряжений в многослойных пластинках. Труды КуАИ, вып. 53, 1971.
 3. Назаров Г. И. и др. Конструкционные пластмассы. Справочник. М., «Машиностроение», 1973.
 4. Фокин В. Г. Определение остаточных напряжений в многослойном ортотропном цилиндре. Труды КуАИ, вып. 66, 1973.
-