

TECHNISCHE HOCHSCHULE  
ZWICKAU

---



Sektion Technologie der metallverarbeitenden Industrie

## 6. WISSENSCHAFTLICHE KONFERENZ

# **RATIONALISIERUNG IM MASCHINEN- BAU DURCH SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN**

Fachtagung 7:

Eigenspannungen und  
Oberflächenverfestigung  
(KEO)

November 1989

Manuskriptdruck

ERMITTLUNG VON RESTSPANNUNGEN IN ÜBERZÜGEN MIT HILFE DER MES-  
SUNG VON DEFORMATIONEN EINER DÜNNWANDIGEN RINGFÖRMIGEN UNTER-  
LAGE

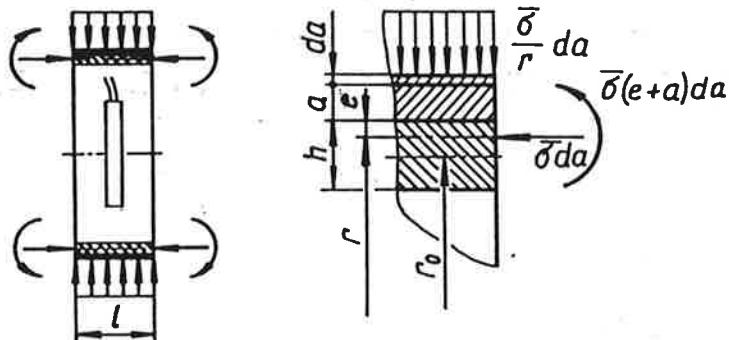
DETERMINATION OF RESIDUAL STRESSES IN DEPOSITS BY MEASURING  
THE DEFORMATION OF A THIN-WALLED RING-SHAPED SUBSTRATE

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИЯХ МЕТОДОМ ЗАМЕРА  
ДЕФОРМАЦИИ ТОНКОСТЕННОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ПОДЛОЖКИ

Я.П. Кью, Х.Я. Лилле (Тарту, ЭССР)

Рассматривается тонкостенная кольцевая подложка (короткая ци-  
линдрическая оболочка) радиусом срединной поверхности  $r_0$ ,  
толщиной  $h$ , длиной  $l$  (рисунок). Для определения остаточных  
поверхностных напряжений (ПН) исследуемое покрытие наращивают  
на наружную поверхность подложки или удаляют с этой поверх-  
ности. Задача состоит в вычислении ПН по окружной деформации  
 $\varepsilon_\varphi(a)$ , замеренной на внутренней поверхности подложки посере-  
дине ее длины в зависимости от толщины покрытия  $a$ .

Для решения задачи процесс изменения толщины покрытия рас-  
сматривается как непрерывное наращивание или удаление беско-  
нечно тонких поверхностных слоев, напряженное состояние кото-  
рых считается однородным равным двухосным растяжением или  
сжатием. Наращивание поверхностного слоя толщиной  $da$  будет  
эквивалентно приложению к исходной поверхности радиусом  $r$  ра-  
диальной поверхностной нагрузки  $(\bar{\sigma}/r)da$ , крайних усилий  $\bar{\sigma}da$   
и моментов  $\bar{\sigma}(e+a)da$ , причем  $\bar{\sigma}$  обозначает ПН,  $e$  - расстояние



исходной поверхности от поверхности контакта подложки и пок-  
рытия. Указанная нагрузка причиняет в подложке деформацию  
 $\varepsilon_\varphi(a)$ , которую можно найти путем решения соответствующей за-  
дачи о деформации короткой цилиндрической двухслойной обо-  
лочки.

Модули упругости материалов подложки и покрытия обозначим  
соответственно через  $E_1$  и  $E_2$  и предполагаем, что коэффициен-  
ты Пуассона этих материалов имеют одинаковое значение  $\mu$ .  
Тогда, поступая как при решении аналогичной задачи для одно-  
родной цилиндрической оболочки [1], но с учетом особенностей  
неоднородных по толщине оболочек [2], приходим к искомой за-  
висимости

$$\bar{\sigma} = - \frac{E_1}{1-\mu} \frac{h + \gamma a}{1+F(a)} \frac{d\varepsilon_\varphi(a)}{da}$$

Здесь  $\gamma = E_2/E_1$ ,

$$F(a) = \sqrt{\frac{3(1+\mu)}{1-\mu} \frac{f^2(a)}{g(a)}} \left\{ \frac{\operatorname{sh} \lambda - \sin \lambda}{\operatorname{sh} \lambda + \sin \lambda} \operatorname{ch}(\lambda/2) \cos(\lambda/2) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \lambda - \operatorname{ch} \lambda}{\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda} [\operatorname{ch}(\lambda/2) \sin(\lambda/2) + \operatorname{sh}(\lambda/2) \cos(\lambda/2)] + \operatorname{sh}(\lambda/2) \sin(\lambda/2) \right\},$$

$$f(a) = h^2 + 2ha + \gamma a^2, \quad g(a) = h^4 + 4\gamma h^3 a + 6\gamma h^2 a^2 + 4\gamma h a^3 + \gamma^2 a^4,$$

$$\lambda = l \sqrt{\frac{3(1-\mu^2)}{r^2} \frac{(h + \gamma a)^2}{g(a)}}, \quad r = r_0 + \frac{\gamma(h+a)a}{2(h+\gamma a)}$$

Полученная метрологическая зависимость использована для вы-  
числения ПН в никелевом покрытии по деформации, замеренной  
при наращивании покрытия гальваническим электролитом, а  
также в железо-никелевом покрытии по деформации, замеренной  
в процессе снятия покрытия [3].

**ЛИТЕРАТУРА.** 1. Бояршинов С.В. Основы строительной механики  
машин. - М., 1973. - 456 с. 2. Аксельрад Э.Л. Гибкие оболоч-  
ки. - М., 1976. - 376 с. 3. Вембер А.А., Рогова Н.М. Оста-  
точные напряжения в железо-никелевых покрытиях // Повышение  
прочности деталей сельскохозяйственной техники (Междуз. сб.  
науч. статей). - Кишинев: Кишиневский СХИ, 1983. - С. 60-63.