

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВАЛЬЦОВОЧНОМ СОЕДИНЕНИИ

Д. К. НЕЧАЕВ

(Представлено научным семинаром кафедр теоретической и прикладной механики)

Несущая способность вальцовочного соединения, осуществляемого путем холодного расширения трубы в гнезде трубной решетки, определяется величиной остаточного радиального напряжения (давления) сжатия, возникающего на контактной поверхности соединения. Аналитическое определение контактного давления связано с решением задачи для сложного напряженного состояния за пределами упругости и может выполнено только с рядом упрощающих предпосылок. Для подтверждения результатов теоретических исследований [1] автором были проведены опыты по определению контактного напряжения в рассматриваемом соединении с применением тензометрии.

Эксперименты проводились на образцах соединений «труба-диск», в которых труба и диск были изготовлены из малоуглеродистой стали. Для образцов использовались цельнотянутые трубы диаметром 76 и 83 мм. Диски, воспроизводящие трубную доску, имели диаметр 240 мм, толщину 25 мм. Радиальное расширение труб (развальцовка) производилось вальцовками стандартного самоподающего типа ручным способом. За критерий качества выполненного соединения была принята степень развальцовки, определяемая как разность между полным увеличением внутреннего диаметра трубы и величиной зазора между трубой и стенкой отверстия до развальцовки трубы.

У выполненных образцов соединений степень развальцовки, выраженная в процентах по отношению к диаметру отверстия в диске, находилась в пределах 1,5—1,7%.

Контактное давление в соединении определялось по упругим окружным (тангенциальным) деформациям.

Используя уравнения теории упругости, можно показать, что для круглого конечного диска с центральным отверстием, раздаваемого в пределах упругости равномерным радиальным давлением, приложенным на внутреннем круге (плоская схема напряженного состояния), окружная деформация определяется уравнением

$$\varepsilon_r = b + K \left( \frac{r_{II}}{r} \right)^2, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{p(1-\nu)}{E \left[ \left( \frac{R_{II}}{r_{II}} \right)^2 - 1 \right]}, \\ K &= \frac{p(1+\nu)}{E \left[ 1 - \left( \frac{r_{II}}{R_{II}} \right)^2 \right]}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В этих выражениях  $E$  — модуль нормальной упругости;  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $r_{II}$  — радиус отверстия в диске после удаления трубы;  $R_{II}$  — наружный радиус диска;  $r$  — текущий радиус элемента;  $p$  — давление на внутреннем контуре диска.

Из уравнений (2) может быть получена формула для определения контактного давления

$$p = \frac{E \left[ 1 - \left( \frac{r_{II}}{R_{II}} \right)^2 \right] K}{(1+\nu)}. \quad (3)$$

Упругое восстановление диска, после выталкивания из соединения трубы, будет снимать деформацию, определяемую уравнением (1), так как оно будет эквивалентно снятию давления раздачи (развальцовки).

Последнее позволяет, используя график функции  $\varepsilon_t = f\left(\frac{r_{II}}{r}\right)^2$ , определить значение  $k$  как углового коэффициента прямой (I) и вычислить контактное давление  $p$ .

Окружные деформации замерялись с помощью проволочных тензодатчиков с базой 5,5 мм, сопротивлением 50 ом. Расположение тензодатчиков, наклеенных на поверхности диска после развальцовки трубы показано на рис. 1. Каждый из шести датчиков, расположенных на поверхности диска, включался поочередно в мостовую схему (рис. 2). Рабочий датчик —  $D_p$  и компенсационный датчик —  $D_k$ , показанные на этой схеме, образуют полумост, который был собран на диске, другой полумост образован сопротивлениями  $R$  и  $R_i$ , последнее из которых изменялось при подстройке моста. В измерительную диагональ моста был включен высокочувствительный гальванометр со шкалой 300—0—300, где цена одного деления  $6,8 \cdot 10^{-8}$  а. Тензометрическая схема тарировалась по напряжениям растяжения, которое изменялось в пределах от 1 до 7 кг/мм<sup>2</sup>, в результате чего была получена зависимость между относительной деформацией и показанием гальванометра.

Все измерительные мосты до удаления трубы были сбалансированы на нулевое показание гальванометра. После выталкивания трубы из соединения, которое производилось на универсальной испытательной машине ZDM 10 т/91, поочередно подключались все цепи рабочих тензодатчиков и записывались показания гальванометра. Последние позволили, используя тарировочный график, получить значения окружных деформаций.

Опыты были проведены на четырех образцах и значения снятых окружных деформаций по показаниям тензодатчиков сопротивления приведены на рис. 3. Экспериментальная прямая  $\varepsilon_t = f\left(\frac{r_{II}}{r}\right)^2$  дает воз-

можность определить коэффициенты  $b$  и  $k$  в уравнении (1) и вычислить контактное давление  $p$ , например, по формуле (3).

Величины среднего контактного давления —  $p$  и выталкивающей нагрузки (усилие сдвига) —  $N$  приведены в таблице. Зафиксированная

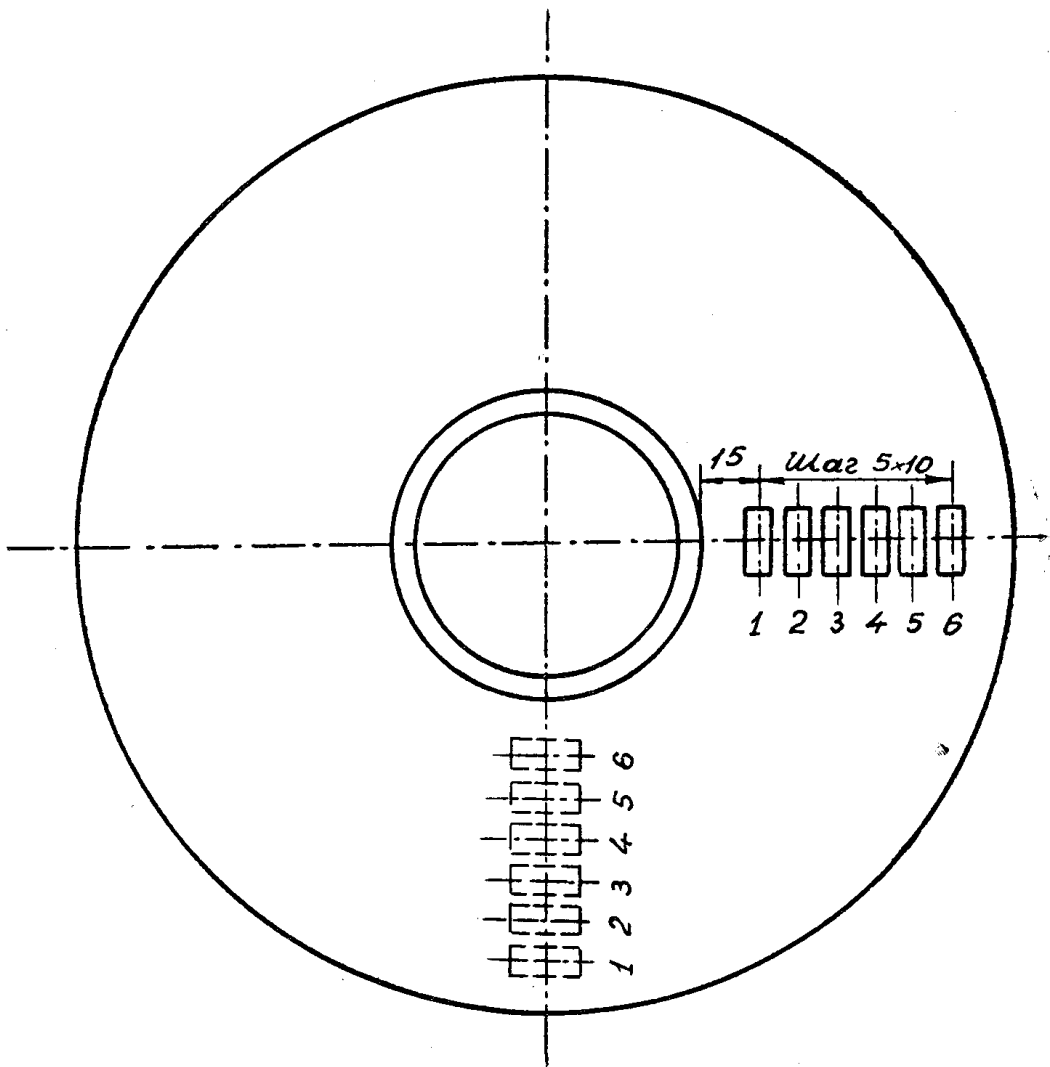


Рис. 1. Расположение тензодатчиков на образце «труба-диск».

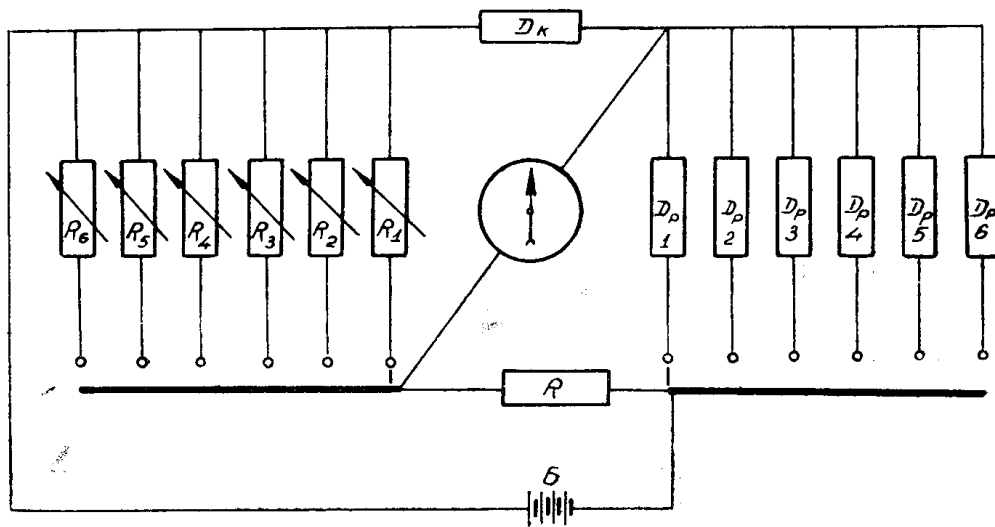


Рис. 2. Схема включения тензодатчиков.

нагрузка является минимумом, требуемым для начала движения трубы относительно диска.

Средние значения контактного давления (напряжения) в рассматриваемом соединении, найденные изложенным выше методом, оказались несколько больше (на 15—20%), чем остаточные радиальные напряже-

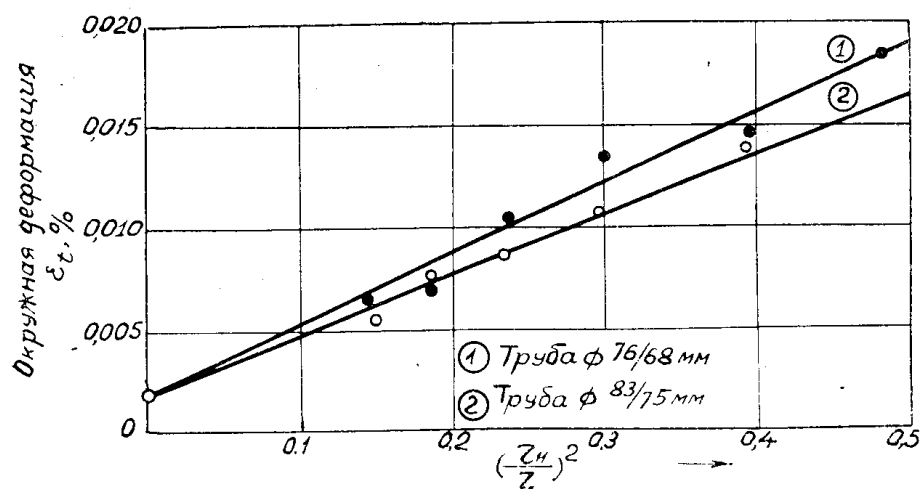


Рис. 3. Значения окружных деформаций по показаниям тензодатчиков сопротивления.

ния, вычисленные аналитически для испытанных соединений [1]. В то же время напряжения на контактной поверхности соединения, определенные по упругому восстановлению диска по своей величине, мало отличаются от напряжений, полученных экспериментально другими исследователями [2], [3] для аналогичных соединений.

*Результаты испытаний на выталкивание*

№	Труба		К · 10 <sup>5</sup> (среднее значение)	Контактное давление (среднее значение) P	Усилие сдвига N
	наружный диаметр	толщина стенки			
	мм	мм			
1	76	6	35,50	5,15	6500
2	76	6	34,20	4,94	6100
3	83	4	28,85	4,10	8300
4	83	4	29,50	4,20	7700

Таким образом, эксперименты подтверждают, что предложенный нами приближенный графо-аналитический метод определения остаточных напряжений в вальцовочном соединении [1] приемлем для практического расчета этих соединений на прочность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев Д. К. Исследование прочности вальцовочных соединений стальных труб. Известия Сибирского отделения Академии наук СССР, № 11, 1958.
2. Гликман Л. А. и Степанов В. А. Остаточные напряжения при развальцовке. «Советское котлотурбостроение», № 5, 1948.
3. Siebel E. und Kope E. Beanspruchung in gelochten Platten, «VDI», Forschungsheft 369, Bd. 5, 1934.