

СПОСОБ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2025 г. Сергей Алексеевич Бехер^{1*}, А.А. Попков^{1**}, В.Н. Федоринин^{2***}

¹ – Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049 Новосибирск,
ул. Дуси Ковальчук, д. 191

² – ИФП СО РАН, 630090 Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 13

* - behers@mail.ru; ** - zabagy@mail.ru; *** - fedorinin55@mail.ru

Введение. В промышленности и строительстве массово используются разъемные соединения деталей, неподвижность которых обеспечивается силами трения, формируемыми остаточными упругими напряжениями: прессовые соединения с натягом [1] и болтовые соединения [2]. В процессе эксплуатации под действием вибрации, ударов [3] и коррозии упругие напряжения уменьшаются [4], что снижает прочность соединений. Для контроля разъемных соединений их разбирают и заново монтируют. При этом актуальной задачей является разработка неразрушающих методов контроля разъемных соединений, что позволит снизить риски повреждений элементов при монтаже, стоимость и продолжительность плановых ремонтов.

Целью работы является доказательство возможности контроля прочности на основе решения обратной задачи о распределении упругих деформаций элементов соединений при локальном механическом нагружении за счет оценки внутренних напряжений трения.

Описание конечно-элементной модели и эксперимента. Моделирование и эксперименты проводились с образцами прессовых соединений колец подшипников 30-232726Е2М по ГОСТ 18572-2014 с валами (диаметр 130 мм и высота 70 мм). Моделирование проводилось методом конечных элементов (рис. 1а) со средним размером тетрагональных элементов 11 мм и решением уравнений динамики. Для экспериментов были подготовлены образцы прессовых соединений с максимальными усилиями запрессовки 40, 80, 114, 127 кН и наклеенными на кольцо тензорезисторами типа 2ФКП-5-200-А-12-С (рис. 1б). Деформации измерялись тензометрическим комплексом «Динамика-3» (№ 66938-17) с частотой дискретизации АЦП 64 кГц и уровнем шумов в измерительном канале не более $0,25 \text{ млн}^{-1}$ относительных деформаций. Схема нагружения образцов приведена на рис. 1.

Анализ результатов и выводы. Показана возможность создания на границе соединения локальных напряжений, превышающих напряжения трения, при которых возникает гистерезис в цикле «нагрузка-разгрузка», связанный с остаточными упругими деформациями на уровне (5-20) относительных единиц деформаций, и нелинейность

деформаций элементов прессового соединения при нагрузке выше критической, но меньше усилия распрессовки.

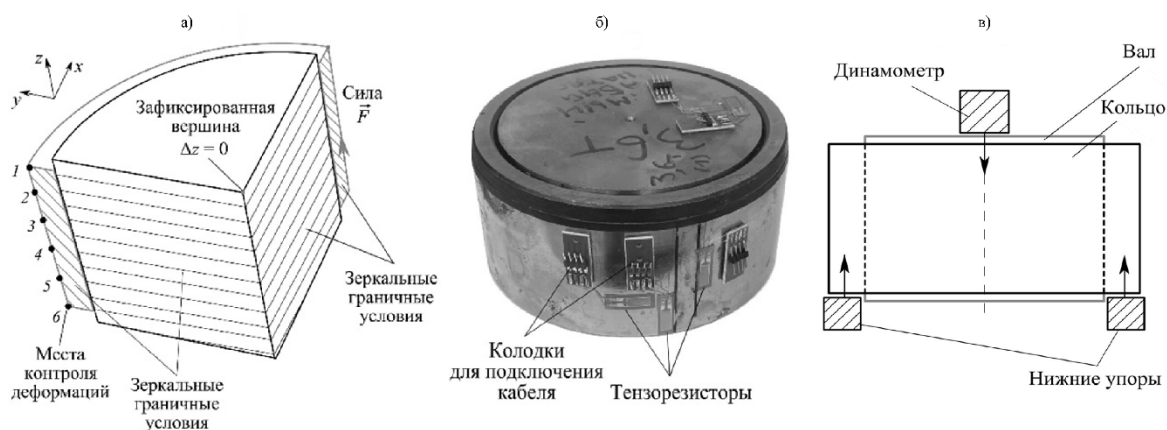


Рис. 1. Граничные условия конечно-элементной модели (а), образец с тензодатчиками (б) и схема локального нагружения прессового соединения (в)

Определены требования к схеме нагружения: для реализации тензометрического контроля испытательное усилие должно прикладываться локально, а места измерения деформаций должны быть максимально удалены от точек приложения силы и находиться вне линии действия силы. Экспериментально на образцах показана связь прочности прессового соединения с нагрузкой, при которой деформации отклоняются от линейной зависимости по уровню 10 %, и нагрузкой локального максимума деформаций с тензодатчика, установленного на границе сжатого и растянутого материала. Коэффициент корреляции обеих зависимостей составил 0,97.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-29-10110, <https://rscf.ru/project/23-29-10110/> и финансовой поддержке Правительства Новосибирской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Madej J., Sliwka M. Analysis of Interference-Fit Joints // Appl. Sci. 2021. No. 11. P. 11428. DOI 10.3390/app112311428.
2. Chen Y., Yamaguchi T., Hayashi G., Yamauchi M., Ueno K. Experimental study on long friction-type bolted joint combined with interference fit bolt // Advances in Bridge Engineering. 2024. No. 5:6. P. 1–20. DOI 10.1186/s43251-024-00117-5.
3. Букеткин Б.В., Семенов-Ежов И.Е., Ширинов А.А. Релаксация напряжений в болтовых соединениях с радиальным натягом // Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. № 10(94). С. 1–10. DOI 10.18698/2308-6033-2019-9-1928.
4. Мамедов А.Ф. Расчет соединения с натягом на ударную нагрузку // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 4. С. 85–87.