

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ В НЕУПРОЧНЁННЫХ И УПРОЧНЁННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ

Сазанов В. П., Вакулук В. С., Письмаров А. В., Пилипив О. М., Викулов Д. И.
Самарский университет, г. Самара, sopromat@ssau.ru

Ключевые слова: остаточные напряжения, упрочнение поверхности, гидродробеструйная обработка, предел выносливости, усталостная трещина

В проведённом исследовании были использованы экспериментальные результаты изучения влияния гидродробеструйной обработки (ГДО) на предел выносливости цилиндрических образцов диаметром $D = 10$ мм с полукруглым надрезом радиусом 0,3 мм из стали 45 через величину и распределение остаточных напряжений поверхностного слоя [1]. Гладкие образцы и образцы-свидетели подвергались гидродробеструйной обработке.

В качестве образцов-свидетелей использовались втулки с наружным диаметром 51,5 мм и внутренним 45 мм, которые применяются для определения остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя методом колец и полосок [2].

На рис. 1 приведена эпюра осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a поверхностного слоя в образце-свидетеле после ГДО, обработанном одновременно с гладкими образцами.

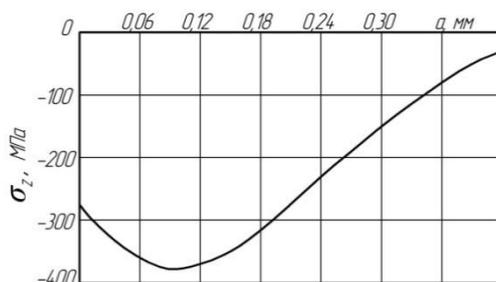


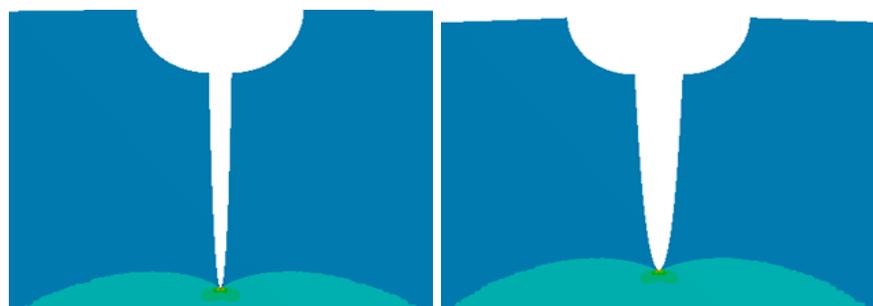
Рис. 1 – Распределение осевых σ_z остаточных напряжений в образце-свидетеле из стали 45 (втулка диаметром 51,5x45 мм) после ГДО

По результатам испытаний на усталость (изгиб с вращением в случае симметричного цикла) предел выносливости σ_{-1} неупрочнённых образцов составил 155 МПа, а упрочнённых – 225 МПа. При этом в упрочнённых образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости глубиной около 0,2 мм.

В данной работе расчёты выполнялись методом конечно-элементного моделирования с использованием комплекса ANSYS. При моделировании цилиндрического образца с трещиной был применён гармонический осесимметричный конечный элемент типа PLANE 83 объёмного напряжённо-деформированного состояния с восемью узлами, который позволяет на модели выполнять нагружения растяжения-сжатия и изгиба. Для моделирования контакта берегов трещины использован элемент нелинейной связи типа CONTA172, TARGE16. Моделирование остаточного напряжённо-деформированного состояния выполнено методом термоупругости [3]. Расчёты и анализ раскрытия трещины в упрочнённых и неупрочнённых образцах с концентратором напряжений в виде полукруглого надреза радиусом 0,3 мм выполнены для её глубины в диапазоне от 0,05 мм до 1,00 мм. Фрагменты раскрытия трещины для глубины 1 мм приведены на рис. 2 и 3. При этом действующие напряжения цикла от внешней силы приведены к наименьшему сечению образца.

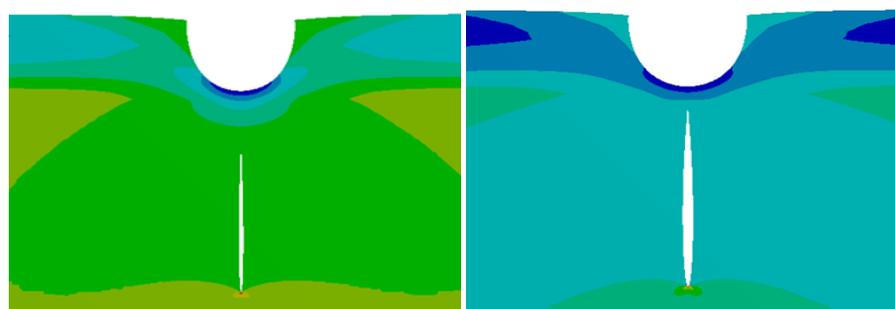


а) $\sigma = 25$ МПа б) $\sigma = 65$ МПа

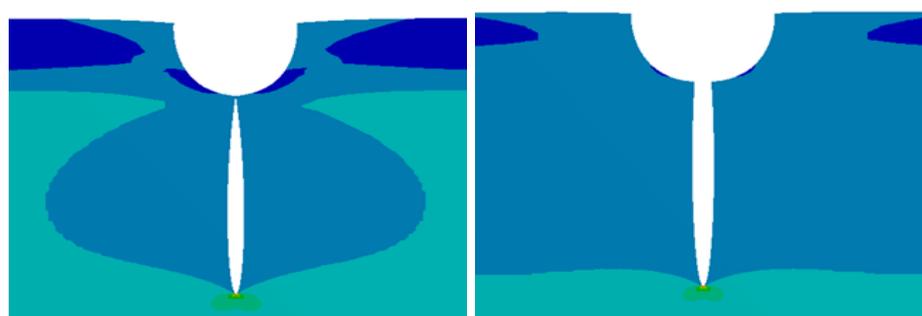


в) $\sigma = 95$ МПа г) $\sigma = 150$ МПа

Рис. 2 – Фрагменты раскрытия трещины в неупрочнённом образце при положительном полуцикле напряжений и глубине $t = 1$ мм



а) $\sigma = 25$ МПа б) $\sigma = 65$ МПа



в) $\sigma = 95$ МПа г) $\sigma = 150$ МПа

Рис. 3 – Фрагменты раскрытия трещины в упрочнённом образце при положительном полуцикле напряжений и глубине $t = 1$ мм

Анализ фрагментов раскрытия трещины в упрочнённых образцах показывает, что данный процесс при положительном полуцикле напряжений протекает по двум силовым схемам: с контактом берегов трещины и без их контакта. В неупрочнённых образцах процесс раскрытия протекает только по одной силовой схеме без контакта берегов трещины. Очевидно, что достаточно продолжительный контакт берегов трещины в упрочнённых образцах связан с действием сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом слое.

Таким образом, полученные результаты расчётов свидетельствуют о том, что упрочнённый слой со сжимающими остаточными напряжениями оказывает существенное влияние на характер раскрытия усталостной трещины у деталей с концентраторами напряжений

и, очевидно, на скорость её роста. Это приводит к уменьшению размаха КИН и, следовательно, к значительному снижению скорости её роста в соответствии с зависимостью Пэриса [4].

Список литературы

1. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Вакулук В.С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. 125 с.
2. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 53. С. 32-42.
3. Сазанов В.П., Кирпичёв В.А., Вакулук В.С., Павлов В.Ф. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN / Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19. №2 (68). С. 35-40.
4. Трощенко В.Т., Покровский В.В., Прокопенко А.В. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении. – Киев: Наукова Думка, 1987. 256 с.

Сведения об авторах

Сазанов Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Вакулук Владимир Степанович, д-р техн. наук, профессор кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Письмаров Андрей Викторович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Пилипив Олег Михайлович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Викулов Денис Игоревич, студент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

SPECIFIC FEATURES OF FATIGUE CRACK OPENING IN UN-STRENGTHENED AND HARDENED CYLINDRICAL SAMPLES WITH A STRESS CONCENTRATOR

Sazanov V. P., Vakuljuk V.S., Pismarov A.V., Pilipiv O.M., Vikulov D.I.
Samara National Research University, Samara, Russia, sopromat@ssau.ru

Keywords: residual stresses, surface hardening, hydro-shot-spraying processings, fatigue strength, fatigue crack

The study of the influence of residual compressive stresses on the character of fatigue crack opening in a cylindrical part with a stress concentrator in the form of a semicircular notch has been carried out. Analysis of fragments of crack opening in hardened specimens shows that this process with a positive half-cycle of stresses proceeds according to two power schemes: with and without contact of the crack edges. In unhardened samples, the opening process proceeds only according to one power circuit without contact. It has been established that a sufficiently long contact of the crack edges in hardened specimens is associated with the action of compressive residual stresses in the hardened layer.