

О ВЛИЯНИИ МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Сазанов В. П., Вакулюк В. С., Письмаров А. В., Пилипив О. М., Быков Л. А.
Самарский университет, г. Самара, sopromat@ssau.ru

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

Объектом исследования являются неупрочнённые и упрочнённые цилиндрические образцы с надрезами из стали 12Х18Н10Т. Поверхностные слои образцов были подвергнуты воздействию двух методов упрочнения: гидродробеструйной обработке и обкатке роликом. Предметом исследования является процесс раскрытия усталостной трещины и влияние на него сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое образцов после упрочнения. Целью работы является установление возможности использования разработанных расчётных методик для прогнозирования предела выносливости и оценки эффективности поверхностного упрочнения.

Для проведения экспериментальной части исследования точением с последующим шлифованием были изготовлены стандартные образцы диаметром 10 мм из стали 12Х18Н10Т [1]. Эпюры осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a поверхностного слоя гладких образцов после гидродробеструйной обработки (ГДО) и после обкатки роликом (ОР), определённые методом колец и полосок [2], приведены на рис. 1. Также определялись и окружные σ_θ остаточные напряжения, но в настоящей работе они не приведены, так как в используемые критерии оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости эти напряжения не входят [1].

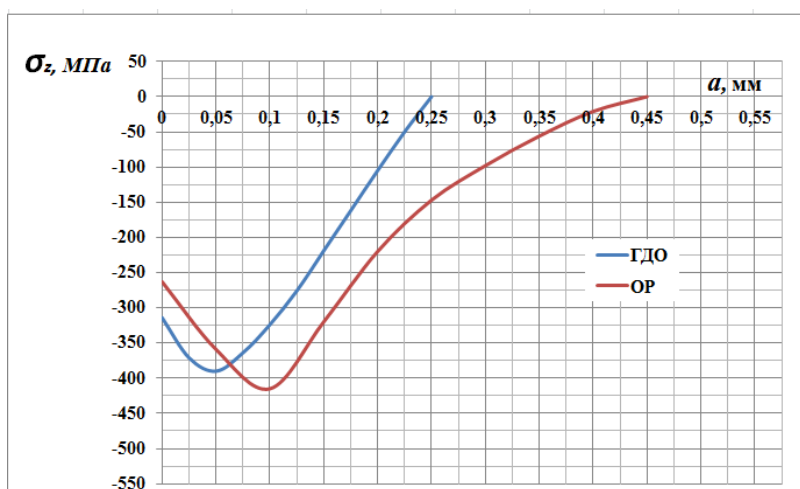


Рис. 1 – Остаточные напряжения в гладких образцах из стали 12Х18Н10Т после ГДО и ОР

Расчётная часть работы, связанная с исследованием усталостной трещины, выполнялась методом конечно-элементного моделирования в среде комплекса ANSYS. Конечно-элементные модели образцов с надрезами в осесимметричной постановке представляют собой четверть сечения цилиндра с наложением соответствующих граничных условий. Моделирование остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя образцов было выполнено методом термоупругости [3]. При определении первоначальных деформаций [3] в конечно-элементной модели гладкого образца в качестве исходных данных использовалось

экспериментальное распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a упрочнённого поверхностного слоя (рис. 1), определённое методом колец и полосок.

Значения пределов выносливости при изгибе в случае симметричного цикла, приращений предела выносливости за счёт упрочнения по результатам эксперимента $(\Delta\sigma_{-1})_{\text{эксп}}$ и глубина нераспространяющихся трещин усталости $t_{кр}$ приведены в табл. 1.

Табл. 1 – Результаты испытаний на усталость цилиндрических образцов

Материал образцов	Неупрочнённые образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы			
		упрочняющая обработка	σ_{-1} , МПа	$(\Delta\sigma_{-1})_{\text{эксп}}$, МПа	$t_{кр}$, мм
12X18H10T	175	ГДО	220	45	0,203
		ОР	280	105	0,203

Расчёт коэффициента интенсивности напряжений (КИН) K_I выполнен для глубины кольцевой трещины в диапазоне от 0,1 мм до 0,7 мм, расположенной в наименьшем сечении образца с надрезом. Размер критической глубины нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$ [1] при наименьшем диаметре надреза образца 9,4 мм составляет примерно 0,20 мм.

Рассматривалось нагружение цилиндрических образцов в положительной части симметричного цикла напряжений в случае чистого изгиба. На рис.2 приведены графики зависимости $K_I = f(\sigma_{max})$ для неупрочнённых и упрочнённых образцов после гидродробеструйной обработки и обкатки роликом при глубине кольцевой трещины размером 0,20 мм.

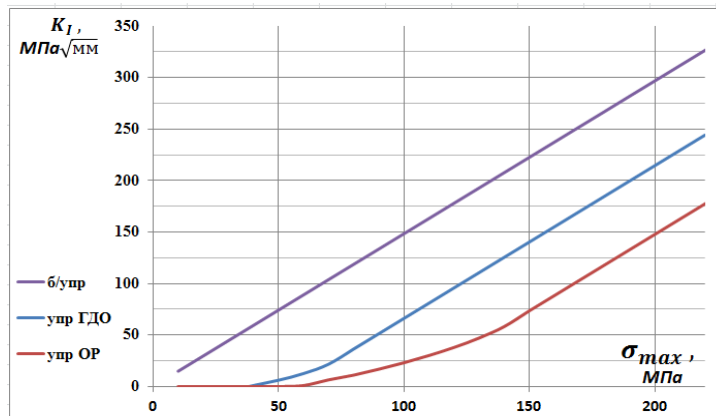


Рис. 2 – Зависимости коэффициента интенсивности напряжений от максимального напряжения при симметричном цикле в случае чистого изгиба для образцов без упрочнения и после гидродробеструйной обработки и обкатки роликом

Из представленных результатов на рис. 2 и в табл. 1 следует, что обкатка роликом по сравнению с гидродробеструйной обработкой даёт большее приращение предела выносливости при упрочнении за счёт большей толщины упрочнённого слоя по сравнению с гидродробеструйной обработкой. При этом уровень коэффициента интенсивности напряжений при вершине трещины достаточно точно согласуется с результатами испытаний на усталость.

Проведённые исследования по определению пределов выносливости при изгибе в случае симметричного цикла цилиндрических образцов диаметром 10 мм из стали 12X18H10T показали, что упрочнение поверхности обкаткой роликом является более эффективным методом по сравнению с гидродробеструйной обработкой при принятых режимах технологических

процессов. При этом приращение предела выносливости относительно неупрочнённых образцов при ОР более чем в два раза выше, чем при ГДО.

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.

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.

Быков Леонид Алексеевич, студент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

ON THE INFLUENCE OF THE STRENGTHENING TREATMENT METHOD ON THE STRESS INTENSITY COEFFICIENT AND THE STRESS LIMIT OF CYLINDRICAL PARTS

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

Keywords: residual stresses, surface hardening, hydro-shot-spraying processings, roller rolling, stress limit, fatigue crack

The study of the dependence of the stress intensity factor at the tip of a fatigue crack in the smallest section of a cylindrical part with a stress concentrator made of 12Cr18Ni10Ti steel has been carried out. Variants of hardening by methods of hydro-shot-spraying processings and rolling of rollers are considered. It has been established that rolling with a roller, in comparison with hydro-shot-spraying processings, gives a greater increase in the endurance limit during hardening due to the greater thickness of the hardened layer. In this case, the level of the stress intensity factor at the crack tip agrees quite accurately with the results of fatigue tests.