

Сазанов В.П., Пилипив О.М., Петрова Ю.Н., Мокшин Д.С., Чуриков Д.С.

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

Объектом исследования являются неупрочнённые и упрочнённые цилиндрические образцы с надрезами из сталей 30ХГСА и 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 сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т [1]. Механические характеристики материалов приведены в табл. 1. Одна половина образцов после изготовления подвергалась электрополированию, другая – поверхностному упрочнению на режимах, приведенных в табл. 2 и 3. В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) при обкатке роликом использовалось масло И20А.

Таблица 1. Механические характеристики материалов

Материал	Механические характеристики				
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$S_k$ , МПа
30ХГСА	788	536	18,9	65,9	1484
12Х18Н10Т	646	281	50,8	65,6	1444

Таблица 2. Режимы гидродробеструйной обработки

Параметр	Давление масла $p$ , МПа	Диаметр шариков $d$ , мм	Время обработки $\tau$ , мин
Значение	0,28	2,0	8,0

Таблица 3. Режимы обкатки роликом

Параметр	Число оборотов образца $n$ , об/мин	Подача $S$ , мм/об	Диаметр ролика $D$ , мм	Профильный радиус ролика $R_{np}$ , мм
Значение	400	0,11	60	1,6

Эпюры осевых  $\sigma_z$  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 и 2. Также определялись и окружные  $\sigma_\theta$  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].

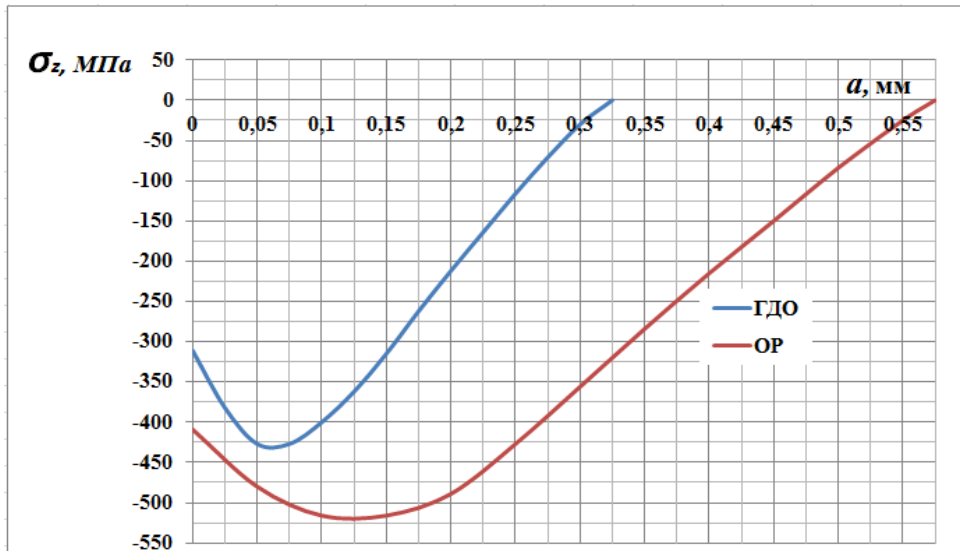


Рис. 1. Остаточные напряжения в гладких образцах из стали 30ХГСА после ГДО и ОР

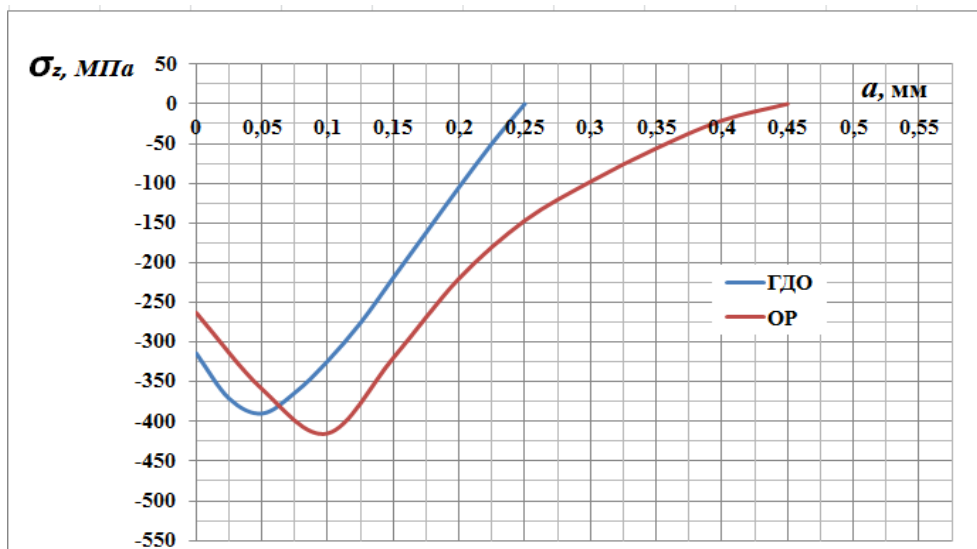


Рис. 2. Остаточные напряжения в гладких образцах из стали 12Х18Н10Т после ГДО и ОР

Из данных рис. 1 и 2 видно, что сжимающие остаточные напряжения после упрочнения дробью в образцах не превышают -450 МПа, а после обкатки роликом – не превышают -550 МПа и обе зависимости имеют подповерхностный максимум. Толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями после обкатки роликом примерно в два раза больше по сравнению с обработкой на гидродробеструйной установке.

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  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине  $a$  упрочнённого поверхностного слоя (рис. 1 и 2), 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. 4.

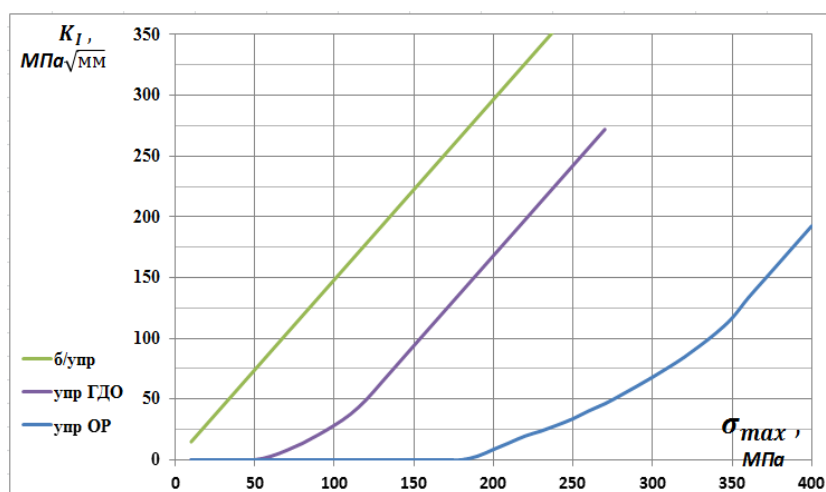
Таблица 4. Результаты испытаний на усталость цилиндрических образцов

Материал образцов	Неупрочнённые образцы $\sigma_{-1}$ , МПа	Упрочнённые образцы			
		упрочняющая обработка	$\sigma_{-1}$ , МПа	$(\Delta\sigma_{-1})_{\text{эксп}}$ , МПа	$t_{кр}$ , мм
30ХГСА	180	ГДО	270	90	0,203
		ОР	400	220	0,203
12Х18Н10Т	175	ГДО	220	45	0,203
		ОР	280	105	0,203

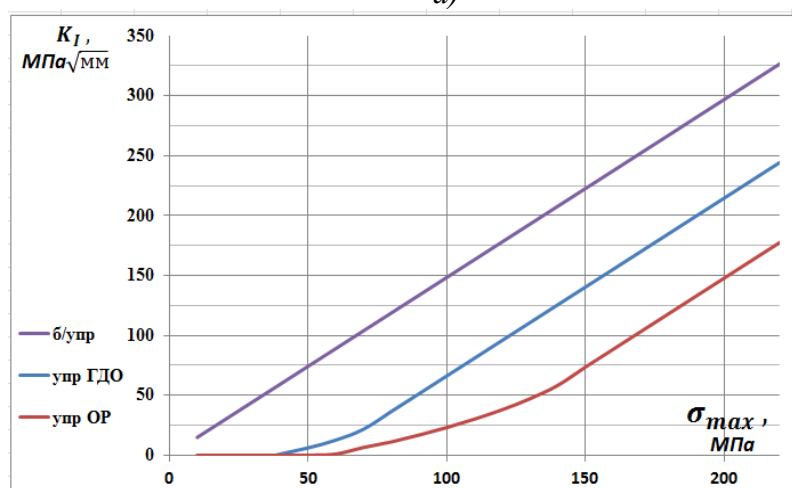
Расчёт коэффициента интенсивности напряжений (КИН)  $K_I$  выполнен для глубины кольцевой трещины в диапазоне от 0,1 мм до 0,7 мм, расположенной в наименьшем сечении образца с надрезом. Размер критической глубины нераспространяющейся трещины усталости  $t_{кр}$  [1, 4-6] при наименьшем диаметре образца с надрезом 9,4 мм составляет примерно 0,20 мм.

Рассматривалось нагружение цилиндрических образцов в положительной части симметричного цикла напряжений в случае чистого изгиба. На рис.3 приведены графики зависимости  $K_I = f(\sigma_{max})$  для неупрочнённых и упрочнённых образцов из сталей 30ХГСА

и 12Х18Н10Т после гидродробеструйной обработки и обкатки роликом при глубине кольцевой трещины размером 0,20 мм.



а)



б)

Рис. 3. Зависимости коэффициента интенсивности напряжений от максимального напряжения при симметричном цикле в случае чистого изгиба для образцов без упрочнения, а так же после ГДО и ОР: а) – сталь 30ХГСА; б) – сталь 12Х18Н10Т

Из представленных на рис. 3 и в табл. 4 результатов 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 (рис. 1 и 2). При этом уровень коэффициента интенсивности напряжений при вершине трещины хорошо 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 30ХГСА 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.

#### **Библиографический список**

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст]/ В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулук. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

2. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок [Текст]/ С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.

3. Сазанов, В.П. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / В.П. Сазанов, А.В. Чирков, В.А. Самойлов, Ю.С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3(27). – Ч. 3. – С. 171-174.

4. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины [Текст] / П.И. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.

5. Кудрявцев, П.И. Развитие усталостных трещин в сталях в связи с поверхностным наклёпом [Текст]/ П.И. Кудрявцев, Т.И. Морозова // Исследования по упрочнению деталей машин. М.: Машиностроение. – 1972. – С. 194-200.

6. Трощенко, В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении [Текст] / В.Т. Трощенко, В.В. Покровский, А.В. Прокопенко. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.