

Сазанов В.П., Шадрин В.К., Катанаева Ю.А., Матвеева К.Ф.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т

В исследовании была проведена апробация расчётно-экспериментального метода, основанного на предположении, что обрабатываемые совместно деталь и образец-свидетель при поверхностном пластическом деформировании получают одинаковые первоначальные деформации. Для этой цели были использованы результаты испытаний на усталость и экспериментального определения остаточных напряжений нескольких партий цилиндрических образцов из стали 12Х18Н10Т [1] с наружным диаметром  $D$  и диаметром отверстия  $d$ :  $D/d = 10/0$  мм/мм;  $D/d = 15/0$  мм/мм;  $D/d = 15/5$  мм/мм;  $D/d = 15/10$  мм/мм.

Гладкие образцы всех партий подвергались гидродробеструйной обработке (ГДО), после которой на них наносились круговые надрезы полукруглого профиля с радиусом  $R = 0,3$  мм. В качестве образца-свидетеля использовалась втулка с наружным диаметром  $D = 15$  мм и внутренним  $d = 10$  мм. Определение остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя в упрочнённых образцах-свидетелях и в гладких образцах выполнялось методом колец и полосок [2]. На рис. 1 приведено распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине  $a$  поверхностного слоя образца-свидетеля (втулка  $D/d = 15/10$  мм/мм) после ГДО.

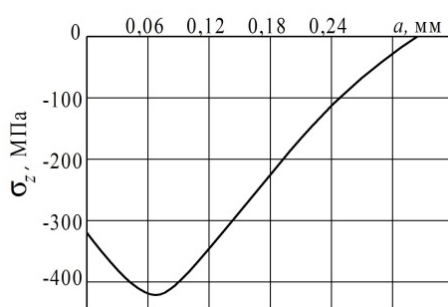


Рис. 1. Осевые  $\sigma_z$  остаточные напряжения в образце-свидетеле (втулка диаметром  $D/d = 15/10$  мм/мм) после ГДО

Расчётная часть исследований производилась методом конечно-элементного моделирования с использованием комплекса PATRAN/NASTRAN [3, 4]. При определении первоначальных деформаций в качестве исходных данных использовалось экспериментальное распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя образца-свидетеля.

Второй этап расчёта выполнялся на конечно-элементных моделях исследуемых

образцов диаметрами  $D/d = 10/0$  мм/мм;  $D/d = 15/0$  мм/мм;  $D/d = 15/5$  мм/мм по первоначальным деформациям образца-свидетеля. При оценке приращения предела выносливости определяющими являются осевые  $\sigma_z$  остаточные напряжения [1], поэтому сравнение расчётных и экспериментальных распределений остаточных напряжений для исследуемых образцов проводилось по осевой компоненте. На рис. 2 представлены экспериментальные [1] и расчётные эпюры осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине  $a$  поверхностного слоя гладких образцов. Из приведённых данных видно, что расчётные значения наибольших сжимающих остаточных напряжений отличаются от экспериментальных не более чем на 8% ( $D/d = 10/0$  мм/мм).

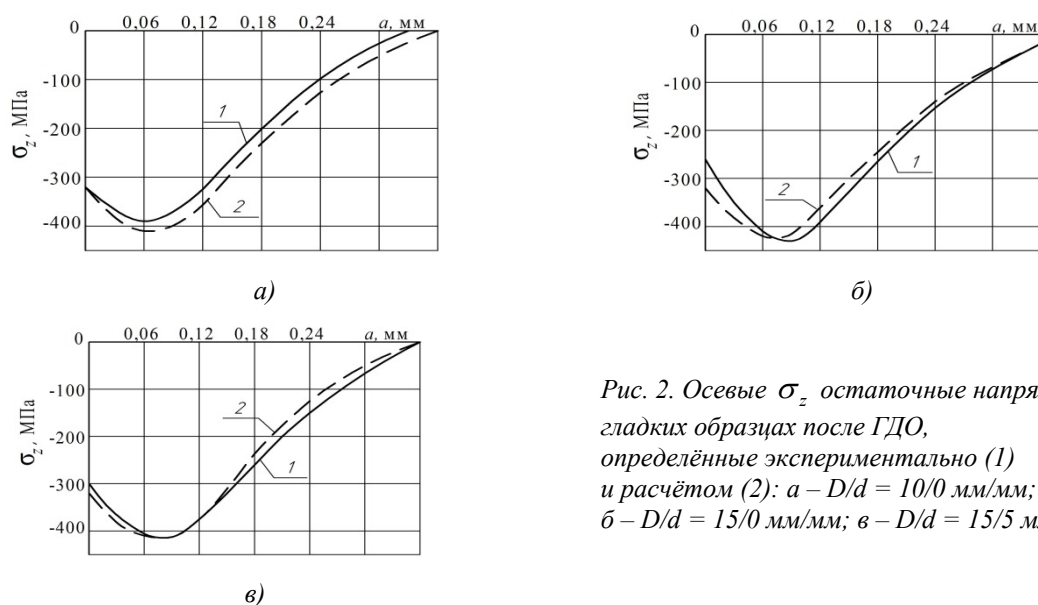


Рис. 2. Осевые  $\sigma_z$  остаточные напряжения в гладких образцах после ГДО, определённые экспериментально (1) и расчётом (2): а –  $D/d = 10/0$  мм/мм; б –  $D/d = 15/0$  мм/мм; в –  $D/d = 15/5$  мм/мм

Полученные расчётом распределения остаточных напряжений после гидродробеструйной обработки в гладких образцах использовались для расчёта распределения остаточных напряжений в образцах с круговыми надрезами полукруглого профиля радиуса  $R = 0,3$  мм, нанесёнными после упрочнения ГДО. Остаточные напряжения в образцах с надрезом рассчитывались двумя методами: аналитическим и численным с использованием программного комплекса PATRAN/NASTRAN [3]. Следует отметить, что остаточные напряжения, определённые двумя методами, имели хорошее совпадение.

На рис. 3 приведены экспериментальные [1] и расчётные эпюры осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине  $a$  поверхностного слоя опасного сечения образцов с надрезами. Можно видеть, что остаточные напряжения в образцах с надрезами, вычисленные по экспериментальным и расчётным эпюрам гладких образцов, отличаются по наибольшим значениям не более, чем на 10 %.

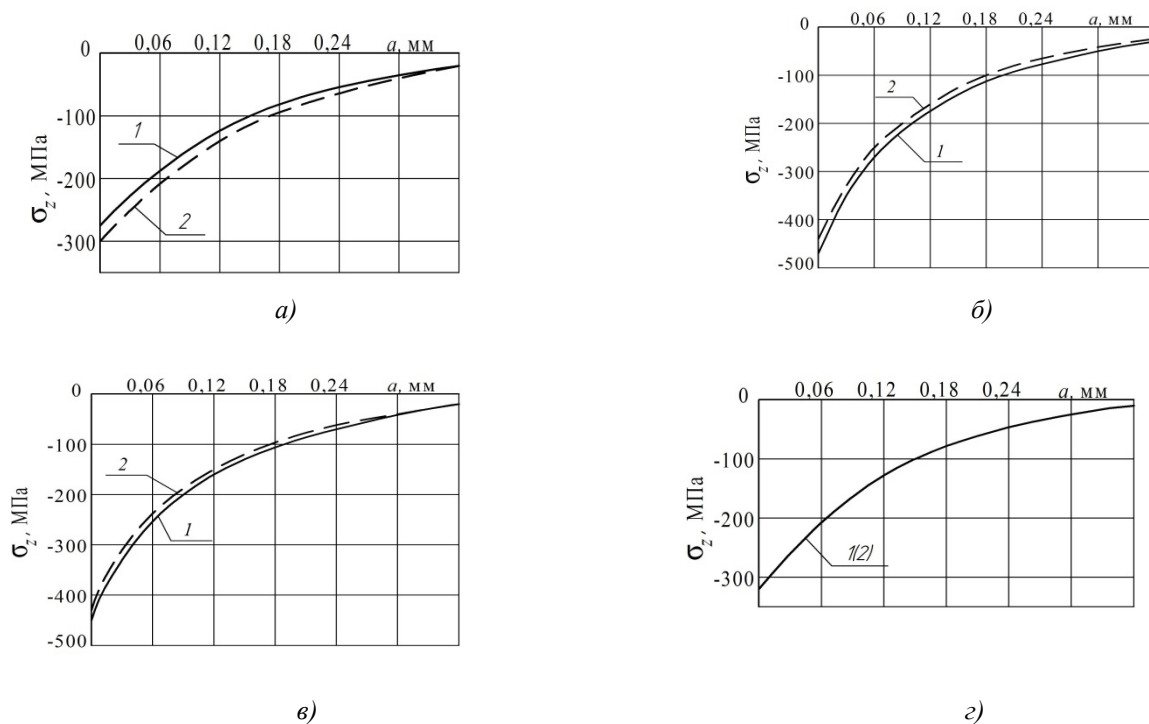


Рис. 3. Осевые  $\sigma_z$  остаточные напряжения в опасном сечении образцов с надрезами  $R = 0,3$  мм, вычисленные по экспериментальным (1) и расчётным (2) данным:  
 а –  $D/d = 10/0$  мм/мм; б –  $D/d = 15/0$  мм/мм; в –  $D/d = 15/5$  мм/мм; з –  $D/d = 15/10$  мм/мм

Расчёт приращения предела выносливости  $(\Delta\sigma_{-1})_{расч}$  образцов с надрезами при

изгибе в случае симметричного цикла производился по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  [1, 5]

$$(\Delta\sigma_{-1})_{расч} = \bar{\psi}_\sigma |\bar{\sigma}_{ост}|, \quad (1)$$

где  $\bar{\psi}_\sigma$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$ .

Коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma$  влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости рассчитывался по зависимости, установленной в работе [6]

$$\bar{\psi}_\sigma = 0,612 - 0,081\alpha_\sigma, \quad (4)$$

где  $\alpha_\sigma$  – теоретический коэффициент концентрации напряжений при изгибе, который определялся методом конечно-элементного моделирования с применением расчётного комплекса ANSYS и представлен в табл. 1.

Далее по формуле (1) вычислялись расчётные значения приращений  $(\Delta\sigma_{-1})_{расч}$  предела выносливости упрочнённых ГДО образцов с надрезами (табл. 1) и сравнивались с опытными  $(\Delta\sigma_{-1})_{он}$  значениями, приведёнными в работе [1].

Таблица 1 – Расчётные и опытные значения пределов выносливости образцов с надрезом из стали 12X18H10T после ГДО

$D$ , мм	$d$ , мм	$D_I$ , мм	$\alpha_\sigma$	$\bar{\psi}_\sigma$	$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	$(\Delta\sigma_{-1})_{расч}$ , МПа	$(\Delta\sigma_{-1})_{оп}$ , МПа	Расхождение, %
10	0	9,4	2,54	0,406	-129	52,4	45	16
15	0	14,4	2,70	0,393	-117	46	42,5	8
15	5	14,4	2,63	0,399	-119	47,5	42,5	12
15	10	14,4	2,29	0,427	-115	49,1	42,5	15

Из данных табл. 1 видно, что расхождение между расчётными и опытными значениями приращений предела выносливости не превышает 16%, поэтому, используя результаты определения остаточных напряжений в образцах-свидетелях, можно прогнозировать предел выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами напряжений с достаточной для многоциклового усталости точностью.

### Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Изд-во СамНЦ 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. Павлов, В.Ф., Столяров А.К., Вакулюк В.С., Кирпичёв В.А. Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям [Текст] / В.Ф. Павлов, А.К. Столяров, В.С. Вакулюк, В.А. Кирпичёв. – Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2008. – 124 с.
5. Павлов, В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
6. Кирпичёв, В.А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений [Текст] / В.А. Кирпичёв, А.С. Букатый, А.П. Филатов, А.В. Чирков // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15. – № 4(44). – С. 81-85.