

УДК 539.319

В.Ф.Павлов, М.А.Сагитов

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И НАКЛЕПА  
НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ГЛАДКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 45

Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность в условиях концентрации напряжений показано в работах [1, 2, 3]. В настоящей работе рассматривается влияние этих факторов на усталостную прочность гладких образцов диаметром 10 мм из стали 45. Усталостные испытания на изгиб проводились при симметричном цикле на машине МУИ-6000 с  $N_5 = 5 \cdot 10^6$  циклов.

Заготовки из стали 45 диаметром 20 мм подвергались отжигу в течение трех часов при температуре  $790^\circ\text{C}$ , охлаждались вместе с печью. Из части заготовок точением изготавливались усталостные образцы. Другая часть заготовок для создания наклепа подвергалась предварительному растяжению до остаточной деформации  $\varepsilon_{ост} = 2$  и 10%, после чего из этих заготовок также точением изготавливались образцы. Методом удаления части цилиндрической поверхности [4] была установлена глубина залегания остаточных напряжений в образцах после точения. Затем слой с остаточными напряжениями и неравномерным наклепом от точения удалялся методом анодного растворения. Специальная проверка показала, что в полученных таким путем образцах остаточные напряжения отсутствовали. Таким образом, были получены образцы с заданным наклепом, но без остаточных напряжений.

Остаточные напряжения в образцах создавались гидродробеструйной обработкой на заводской установке с режимами: давлением масла -  $2 \text{ кг/см}^2$ , экспозицией - 8 мин, диаметром дроби - 2 мм. Остаточные напряжения после упрочнения определялись на усталостных образцах, а также на аналогично обработанных втулках, изгото-

товленных из отожженной стали 45, близкой по механическим характеристиками и химическому составу к материалу усталостных образцов. Эпюры остаточных напряжений приведены на рис. 1.

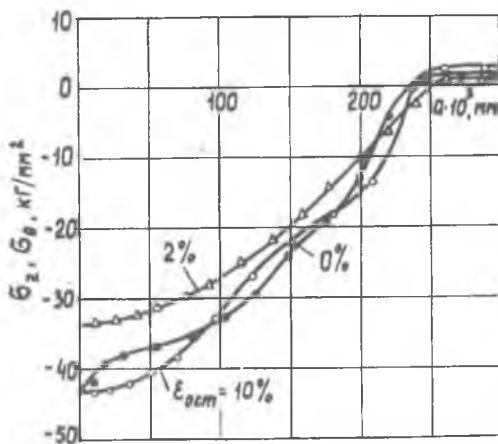


Рис. 1

Результаты усталостных испытаний приведены в таблице I.

Таблица I

№ п/п	Степень наклепа растяжением - $\epsilon_{\text{ост}}, \%$	Предел выносливости - $\sigma_{-1}, \text{кг/мм}^2$	
		Образцы без остаточных напряжений	Образцы с остаточными напряжениями
1	0	20,5	23,5
2	2	21	25,5
3	10	21,5	28

Из таблицы видно, что предел выносливости образцов без остаточных напряжений несколько возрастает от первой к третьей партии. Однако это связано не с наклепом, а с тем, что предел текучести и предел прочности образцов второй и третьей партий был несколько выше, ввиду неодинаковых условий отжига. Следовательно, можно считать, что наклеп растяжением до  $\epsilon_{ост} = 10\%$  не оказывает влияния на предел выносливости стали 45. Такой результат можно было предвидеть, если учесть, что и в ненаклепанных образцах появлению усталостной трещины предшествует локальное накопление пластических деформаций.

Предел выносливости образцов с остаточными напряжениями возрастает с увеличением степени предварительного наклепа растяжением. Однако с этим наклепом связывать результаты усталостных испытаний нельзя, так как после гидродробеструйной обработки наклеп на поверхности изменится. Рост предела выносливости с увеличением  $\epsilon_{ост}$  не согласуется с остаточными напряжениями в поверхностном слое этих образцов (рис. 1). Судя по остаточным напряжениям, пределы выносливости при  $\epsilon_{ост} = 0$  и  $10\%$  должны быть одинаковыми, а между тем в этих случаях наблюдается наибольшая разница, составляющая  $20\%$ .

Для объяснения наблюдаемого несоответствия определялись ос-

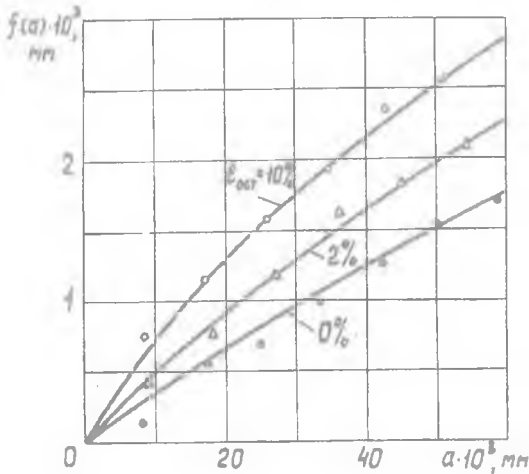


Рис. 2

титочные напряжения в образцах, выстоявших  $5 \cdot 10^6$  циклов при напряжении, равном пределу выносливости. На рис. 2 приведены прогибы образцов в зависимости от толщины стравленного слоя в пределах половины цилиндрической поверхности. И без вычисления остаточных напряжений видно, что они в испытанных образцах тем выше, чем больше  $\epsilon_{ост}$ . Это вполне объясняет результаты усталостных испытаний - влияние степени наклепа сказывается через остаточные напряжения, оставшиеся после вызванной рабочими нагрузками релаксации исходных остаточных напряжений.

Таким образом, остаточные напряжения в образцах, подвергавшихся рабочим нагрузкам, тем выше, чем больше степень предварительного наклепа растяжением. Это объясняется соответствующим увеличением предела текучести, с ростом которого релаксация остаточных напряжений должна уменьшаться. Однако в этом объяснении необходимо рассматривать не  $\epsilon_{ост}$ , а вторичный наклеп, возникающий в поверхностном слое после гидродробеструйной обработки.

С этой целью было проведено измерение на приборе ПМТ-3 микротвердости упрочненных образцов, не подвергавшихся усталостным испытаниям. Для получения достоверных результатов в каждом случае производилось 200 уколов с двойными замерами отпечатков. Измерение микротвердости и обработка результатов осуществлялась по методике, описанной в [5].

При работе на приборе ПМТ-3 большое внимание уделялось постоянству времени опускания алмазной пирамиды и выдержки ее под нагрузкой. Применялось специальное приспособление для автоматического нанесения отпечатков, разработанное на кафедре "Резание, станки и инструменты" Куйбышевского авиационного института. Нагрузка на алмазную пирамиду во всех опытах была одинаковой и составляла 100 Г. Эта нагрузка позволяла получать четкие отпечатки и минимальное выпучивание металла. Расстояние между соседними отпечатками принималось равным 150-200 мкм. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что несмотря на одинаковые режимы упрочнения образцов, степень наклепа поверхности, а следовательно, и предел текучести возрастают с увеличением  $\epsilon_{ост}$ . Таким образом, учет вторичного наклепа подтверждает объяснение результатов исследования остаточных напряжений в образцах, подвергавшихся рабочим нагрузкам.

Итак, в случае, когда в гладких образцах, кроме наклепа,

Таблица 2

Степень наклепа растяжением	0	2	10
$\epsilon_{ост}, \%$			
Микротвердость поверхности образца - $H_{пов}$ , кг/мм <sup>2</sup>	268	282	329
Микротвердость сердцевины образца - $H_{сер}$ , кг/мм <sup>2</sup>	196	216	240
Степень упрочнения поверхности $\frac{H_{пов}}{H_{сер}} \cdot 100\%$	137	131	137

имеются остаточные напряжения, наклеп увеличивает предел выносливости. Однако это влияние косвенное, так как наклеп проявляется не сам по себе, а через остаточные напряжения, способствуя уменьшению их релаксации.

### Л и т е р а т у р а

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость ненаклепанного материала. В сб. "Вопросы прикладной механики в авиационной технике". Труды КуАИ, вып. 66, 1973.
2. Иванов С.И., Павлов В.Ф. О влиянии остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность образцов из стали 45. Межвузовский сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций", вып. I, Куйбышев, 1974.
3. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность. "Проблемы прочности", № 5, 1976.
4. Иванов С.И., Григорьева И.В. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом снятия части поверхности. В сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 48, 1971.
5. Карпенко Г.В., Бабей Ю.И., Карпенко И.В., Гутман Э.М. Упрочнение стали механической обработкой. Киев, "Наукова думка", 1966.