

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Д. Е. ЗАЙЦЕВ, Г. В. ТОПОРОВ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ

(Представлена научным семинаром лаборатории пластических деформаций)

В обстоятельном обзоре Л. А. Гликмана [1] обусловлены необходимость и актуальность исследования устойчивости остаточных напряжений при воздействии циклическими нагрузками. Несмотря на то, что вопрос о степени устойчивости остаточных напряжений при воздействии циклическими нагрузками имеет большое значение, он исследован недостаточно широко и подробно. В частности, остается малоизученной кинетика снижения начальных напряжений в процессе циклического воздействия, особенно при асимметрическом характере нагружения.

В настоящей работе устойчивость остаточных напряжений исследовалась на плоских образцах из сталей ст. 45 и ШХ 15. Образцы длиной $l=200$ мм, шириной $b=10$ мм и толщиной $h=4 \div 6$ мм отжигались в вакууме в специальном приспособлении для предотвращения коробления. К экспериментам допускались образцы, величина неплоскостности которых не превышала 0,05 мм. Затем образцы с одной стороны обрабатывались на плоскошлифовальном станке. Наведенные в результате шлифования остаточные напряжения в поверхностном слое приводили к короблению пластин, по величине которого Δ могут быть рассчитаны момент и равнодействующая остаточных напряжений [2]. Прогиб образцов измерялся при помощи индикаторного приспособления с точностью $\pm 0,01$ мм.

Устойчивость остаточных напряжений исследовалась на пульсаторе [3] в режиме 700 цик/мин. в приспособлении, изображенном на рис. 1, позволяющем осуществить деформацию чистого изгиба. Образец устанавливался в приспособлении таким образом, чтобы напряжения от внешней нагрузки суммировались с остаточными напряжениями, и испытывался в условиях несимметричного цикла. К испытываемому образцу прикладывались ступенчато различные по величине внешние нагрузки. Величины приложенных напряжений изменялись в пределах от 5 до 62 кг/мм².

Кинетика снижения остаточных напряжений регистрировалась после 10, 50, 10^2 , $5 \cdot 10^2$, 10^4 , $2,5 \cdot 10^4$, $5 \cdot 10^4$ и 10^5 циклов измерением уменьшения прогиба образца. Изменение прогиба образца по сравнению с начальным значением происходит вследствие необратимых явлений (пластической деформации), происходящих в поверхностном слое. Как известно, это явление имеет место в том случае, когда сумма остаточного

напряжения в поверхностном слое ($\sigma_{ост}$) и напряжения от внешней нагрузки ($\sigma_{вн}$) превышает циклический предел упругости материала

$$\sigma_{ост} + \sigma_{вн} > \sigma_{уп}. \quad (1)$$

В данной серии эксперимента анализировалось только значение равнодействующей остаточных напряжений, в связи с чем не представилось возможным численно оценить величины $\sigma_{ост}$ и $\sigma_{уп}$.

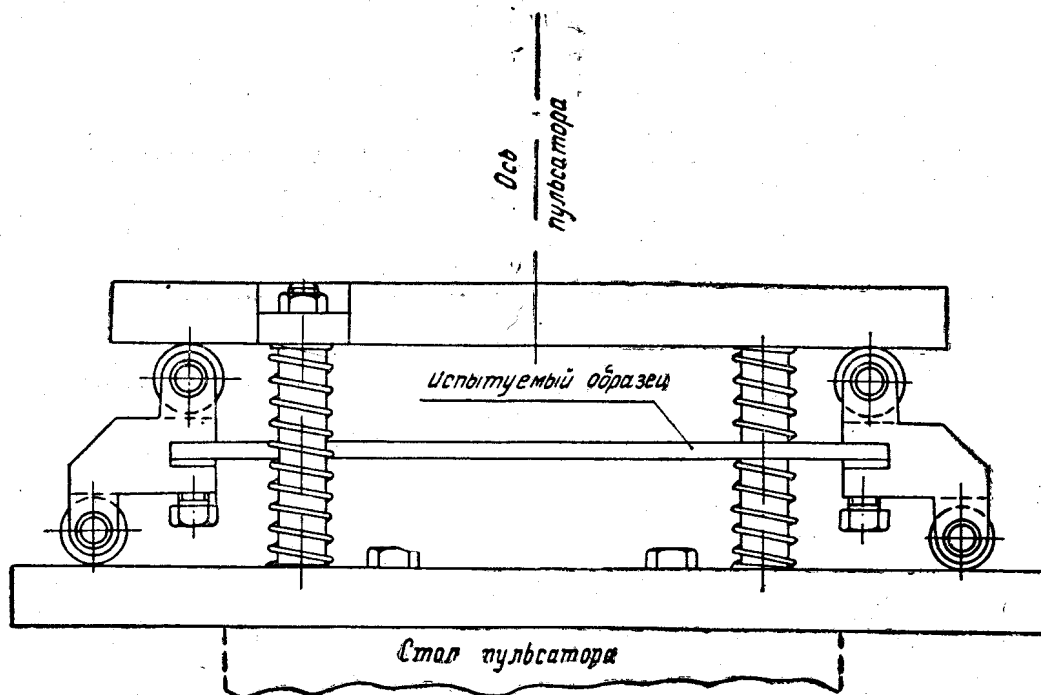


Рис. 1

На рис. 2,а представлены результаты испытания образца из стали 45, обработанного при скорости резания $V = 37$ м/сек, продольная подача составляла $S_{пр} = 2,2$ м/мин и поперечная подача $S_{поп} = 0,10$ мм/дв.ход.

В первой серии опытов к образцу было приложено напряжение $\sigma_{вн} = 6,56$ кг/мм² и образец подвергался циклическому воздействию последовательно от 10 до 10^5 циклов. Затем, во второй серии опытов, величина приложенной внешней нагрузки повышалась до $\sigma_{вн} = 18,86$ кг/мм² и вновь образец тренировался во всем диапазоне циклов. В последующих сериях величина напряжений ступенчато повышалась, вплоть до полного исчезновения остаточных напряжений ($\Delta = 0$).

Для проверки достоверности полученных результатов к образцу, имеющему ту же величину равнодействующей, сразу же была приложена нагрузка $\sigma_{вн} = 44,1$ кг/мм². Как видно из рис. 2, а (пунктирные линии), испытание второго образца привело к тем же результатам, что и испытание образца, подвергнутого воздействию ступенчато повышающихся нагрузок.

Подобные же опыты были проведены на образцах из стали ШХ15 (рис. 2, б) ($V = 37$ м/сек, $S_{пр} = 2,2$ м/мин, $S_{поп} = 0,06$ мм/дв.ход), стали 45 (рис. 2, в) ($V = 37$ м/сек, $S_{пр} = 2,2$ м/мин, $S_{поп} = 0,10$ мм/дв.ход) и стали ШХ15, закаленной до твердости HV 600 ($V = 37$ м/сек, $S_{пр} = 20$ м/мин, $S_{поп} = 0,08$ мм/дв.ход).

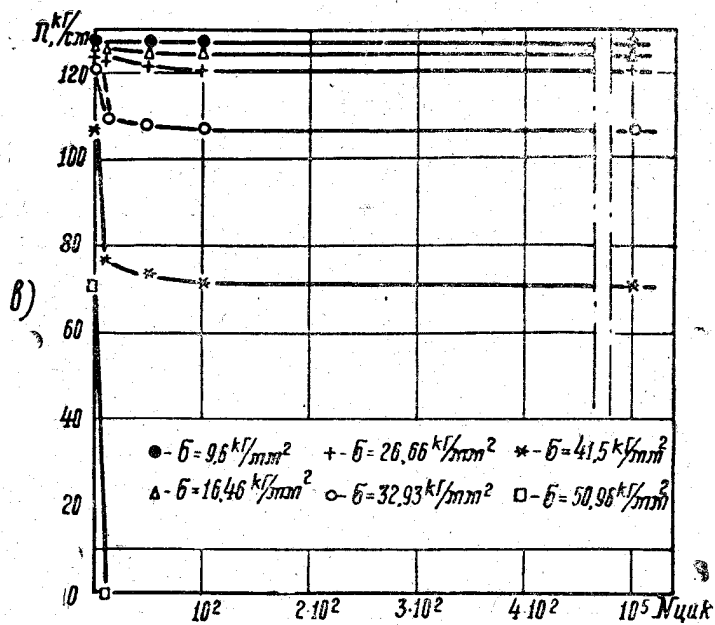
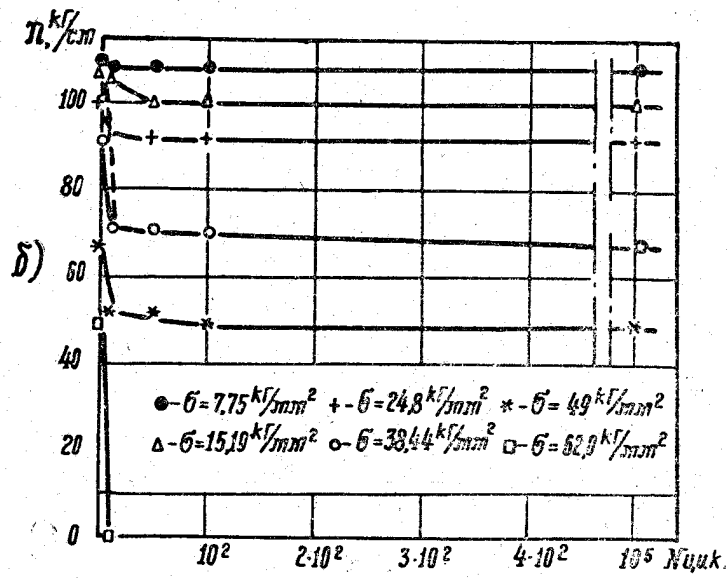
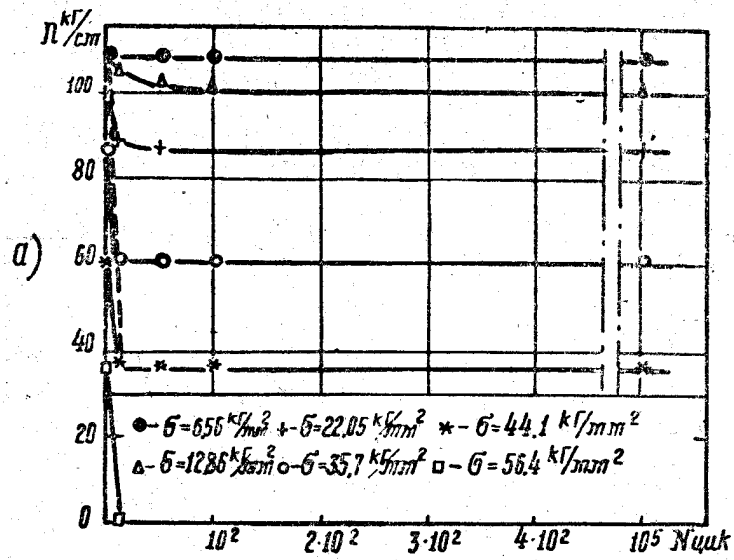


Рис. 2

Эксперименты показали, что релаксация остаточных напряжений происходит в основном на первой ступени испытаний. В последующем заметное изменение остаточных напряжений наблюдается только до 100 циклов, затем, вплоть до 10^5 циклов, как видно из рис. 2, $\sigma_{\text{ост}} = \text{const}$.

Ступенчатое повышение внешней нагрузки привело в конечном счете к выравниванию всех испытанных образцов ($\Delta=0$), что свиде-

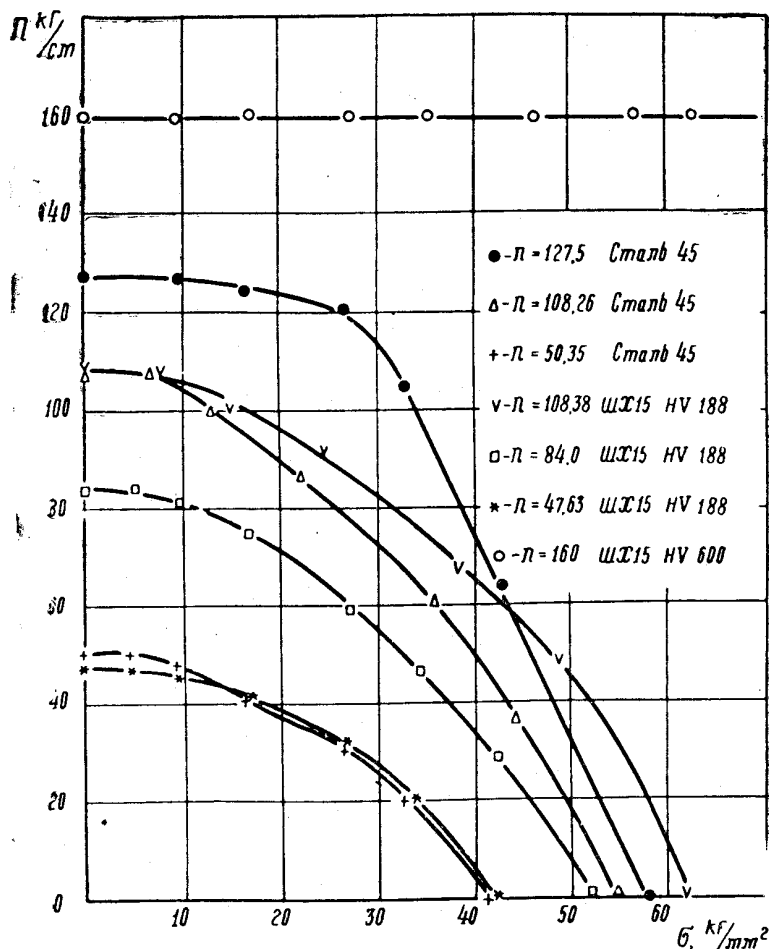


Рис. 3

тельствует о полной релаксации остаточных напряжений. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что величина внешней нагрузки на последней ступени специально не рассчитывалась, т. е. те же результаты, по-видимому, получились бы при напряжениях, несколько меньших или превышающих приложенные. Это можно объяснить следующим.

Релаксация остаточных напряжений происходит при выполнении условия [1]. В том случае, если $\sigma_{\text{ост}}$ составляет еще большую величину (в наших экспериментах $n > 20 \text{ кг/см}$), сравнительно небольшое увеличение $\sigma_{\text{вн}}$ удовлетворяет условию [1]. На определенной ступени происходит полная релаксация остаточных напряжений, т. е. при этом $\sigma_{\text{ост}} = 0$, и тогда для того, чтобы пластически деформировать образец, необходимо приложить к нему существенно большую величину внешней нагрузки.

На рис. 3 показана кинетика снижения остаточных напряжений при ступенчато повышающейся внешней нагрузке для образцов из сталей 45 и ШХ15, имеющих различные начальные значения n .

Из анализа приведенных экспериментов следует, что релаксация остаточных напряжений при ступенчатом повышении внешних нагрузок протекает достаточно монотонно, особенно на первых ступенях. Образцы, имеющие большую начальную величину остаточных напряжений, сохраняют устойчивость последних при больших величинах внешних нагрузок. При одних и тех же внешних нагрузках остаточные напряжения оказываются устойчивее у образцов, изготовленных из более прочного материала. Это явление, однако, имеет место только в тех случаях, когда величина исходных остаточных напряжений имеет существенное значение.

У образцов из закаленной стали ШХ15 ($HV600$) не обнаружено сколько-нибудь заметной релаксации остаточных напряжений при испытаниях под нагрузкой от 5 до 72 кг/мм^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Гликман. Устойчивость остаточных напряжений и их влияние на механические свойства металлов и прочность изделий. Качество поверхности и долговечность деталей машин. Сборник № 13. Изд. НИС—ЛИЭИ, 1956.
2. Д. Е. Зайцев, Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшмидт. О назначении режимов шлифования при заданном допуске на коробление. Изв. ТПИ, т. 183, Томск, 1968.
3. Г. В. Топоров, Г. В. Козырев. Машина для испытаний на устойчивость при пульсирующей нагрузке. Усталость металлов при ударных циклических нагрузках и исследование машин ударного действия. Изд-во ТГУ, Томск, 1969.