

В. Г. ШПИЦА
Доцент

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СТОЙКОСТЬ ПРОТИВ УДАРА

Исследование влияния различных факторов на стойкость противударного разрушения конструкционных сталей и деталей машин, изготовленных из них, представляет большой теоретический и практический интерес.

Из всех факторов, оказывающих влияние на стойкость противударного разрушения, наименее изучено предварительное статическое и циклическое нагружения.

Многие детали машин технологического, транспортного и других назначений до нагрузки ударом, возникающей вследствие случайных обстоятельств — особых условий работы или аварийного состояния машин — длительное время испытывают статические или циклические переменные напряжения.

Повышение скоростей рабочих органов современных машин, форсирование режимов работы создают условия для возникновения в деталях машин нагрузок ударного характера.

С. И. Белостоцкий (1), Н. Н. Давиденков и Ф. Ф. Витман (2), В. П. Дегтярев (3), Д. М. Загородских (4, 5), И. В. Кудрявцев (6, 7) изучали влияние предварительных статических напряжений растяжения, сжатия, изгиба и кручения, а также объемных и термических напряжений на стойкость против удара и на величину критического интервала температуры хрупкости.

Во всех случаях предварительное статическое напряженное состояние создавалось непосредственно перед ударом. Данные указанных исследований позволяют качественно оценить влияние характера и величины статических напряжений на стойкость против удара, но не дают возможности судить о качественном изменении механических характеристик металла, об упрочении, «отдыхе» и влиянии этих явлений на стойкость против удара при длительных статических и циклических нагрузках.

Вопрос о влиянии предварительных циклических напряжений на стойкость против удара, насколько нам известно, совершенно не изучен и никаких данных ни количественного, ни качественного характера по этому вопросу в литературе нет.

Если условие хрупкого разрушения выразить, по Г. В. Уж и ку (9), неравенством

$$\frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}} < \frac{\tau_r}{R_\sigma},$$

то очевидно, что уменьшение левой части, т. е. усиление объемного напряжения состояния или увеличение правой части, т. е. увеличение пре-

дела текучести, повышает склонность металла к хрупкому разрушению, т. е. снижает стойкость против удара.

Известно, что по мере увеличения количества циклов происходит упрочнение металла, повышается предел текучести (σ_T , τ_T), а это значит, что детали, длительное время работающие при циклических напряжениях, имеют пониженную стойкость против удара.

Кроме того, в деталях с концентратором напряжений в местах концентрации возможна значительная локальная пластическая деформация материала и образование микротрещин; что, с одной стороны, значительно повысит предел текучести в зоне концентрации (увеличение правой части неравенства), и, с другой стороны, уменьшит отношение $\frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}$, т. е. усилит склонность металла к хрупкому разрушению, стойкость против удара.

Поэтому представляло значительный интерес экспериментально установить влияние количества циклов предварительных циклических напряжений на стойкость против удара.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ¹

Качественным критерием оценки стойкости против удара была принята величина ударной вязкости $a_k \frac{\text{кгм}}{\text{см}^2}$, полученная на круглых образцах с выточкой.

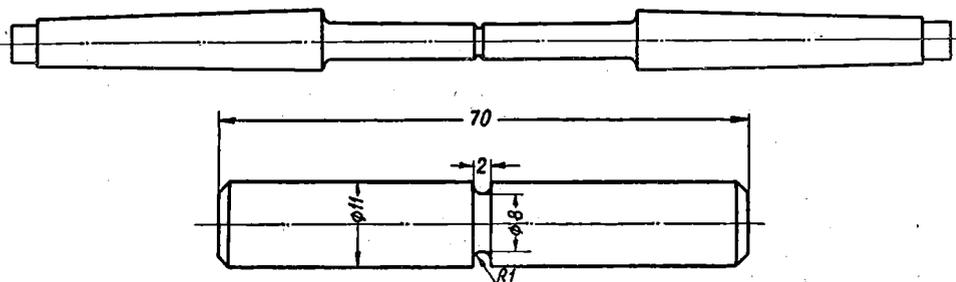


Рис. 1. Конструкция образца до циклических (вверху) и после циклических (внизу) испытаний.

Для определения влияния циклических нагрузок была выбрана следующая программа экспериментов:

1) определение ударной вязкости ($a_k \frac{\text{кгм}}{\text{см}^2}$) на принятых образцах без предварительного напряжения;

2) определение ударной вязкости на образцах, подвергнутых длительной циклической нагрузке при симметричном цикле.

Форма и размеры образцов первого типа показаны на рис. 1, внизу.

Определение ударной вязкости образцов производилось на копре типа ГЗИП 30 кгм.

Форма образца второго типа показана на рис. 1, вверху.

¹ В экспериментальной части настоящей работы принимали участие В. А. Ищенко и И. М. Журавлев.

Конические хвостовые части образца служат для закладки в конусе испытательной усталостной машины.

Предварительная циклическая нагрузка создавалась на усталостной машине для испытания частым изгибом на базе 3000 циклов в минуту. Количество циклов определялось счетчиком количества оборотов образца.

По достижении заданного количества циклов образец вынимался, хвостовые части его отрезались на токарном станке, так что образец принимал размеры образца первого типа ($l = 70$ мм, $D = 11$ мм, $t = 1,5$ мм, $\rho = 1$ мм), и затем образец разбивался на копре.

Было испытано две партии образцов. Первая партия из стали 30 и вторая — из стали 3.

В первой партии испытывались три серии образцов по три образца в каждой серии:

- 1) без предварительной циклической нагрузки;
- 2) с предварительной циклической нагрузкой при $1,25 \cdot 10^6$ циклов;
- 3) с предварительной циклической нагрузкой при $2,5 \cdot 10^6$ циклов.

Номинальное напряжение чистого изгиба в образце создавалось грузами и равнялось:

$$\sigma_{ном} = \frac{M_{из}}{W_{из}} = 11 \text{ кг/мм}^2.$$

Если принять эффективный коэффициент концентрации по данным энциклопедического справочника машиностроения (т. I, кн. 2, стр. 442) $K_\sigma = 1,7$, то максимальное действительное напряжение в образце

$$\sigma_{max} = K_\sigma \cdot \sigma_{ном} = 18,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Результаты испытания первой партии образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на ударную стойкость
(первая партия — сталь 30)

Количество циклов нагружения	Среднее значение ударной вязкости $a_k \frac{\text{кгМ}}{\text{см}^2}$	Стойкость против удара (в %)	Характер излома (в %)
—	10,6	100	Кристаллическая (хрупкая) зона — 33, волокнистая — 67
$1,25 \cdot 10^6$	7,2	68	Кристаллическая (хрупкая) зона — 60, волокнистая — 40
$2,5 \cdot 10^6$	6,6	62	Кристаллическая (хрупкая) зона — 60—65, волокнистая — 35—40

Результаты испытаний второй партии образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытания образцов на ударную стойкость
(вторая партия — сталь 3)

Количество циклов нагружения	Среднее значение ударной вязкости $a_k \frac{кг \cdot м}{см^2}$	Стойкость против удара (в %)	Характер излома (в %)
—	13,6	100	Кристаллическая (хрупкая) зона — 30—35
$5 \cdot 10^6$	9,4	69	Кристаллическая (хрупкая) зона — 65—70
$10 \cdot 10^6$	7,2	53	Кристаллическая (хрупкая) зона — 70—75

Испытания стали 30 давали разные результаты, но во всех образцах с предварительным циклическим нагружением ударная вязкость была ниже, чем в образцах без предварительной нагрузки; зона «хрупкого» излома при предварительных циклических нагрузках увеличивалась.

Во второй партии образцов, изготовленных из более пластичного материала, чем первая партия, снижение ударной вязкости составляет 31% при $5 \cdot 10^6$ циклах, т. е. снижение ударной вязкости происходит менее интенсивно, чем в первой партии.

Кристаллическая зона хрупкого излома также возрастает с увеличением количества циклов.

Из таблицы 1 следует, что снижение ударной вязкости (стойкости против удара) происходит в первый миллион циклов более интенсивно, что, вероятно, объясняется более интенсивным повышением предела текучести в этом интервале.

При количестве циклов более $1 \cdot 10^6$ снижение стойкости против удара происходит менее интенсивно, устанавливается некоторая стабилизация снижения ударной вязкости при увеличении количества циклов напряжений. Это явление согласуется также с данными усталостных разрушений.

По Д. Н. Видману и И. А. Одингу (8) при числе циклов более $1 \cdot 10^6$ все изломы относятся к типу усталостных, а при меньшем числе циклов — к преждевременным усталостным изломам и изломам циклической перегрузки.

Следует отметить, что некоторые образцы при количестве циклов от $5 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^5$ интенсивно нагревались, что свидетельствует об интенсивных сдвигах. При дальнейшем увеличении количества циклов нагрев образца прекращался.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что предварительные циклические напряжения понижают стойкость конструкционной углеродистой стали против удара. Показана зависимость стойкости против удара от количества циклов напря-

жений. Для стали 30 снижение стойкости против удара при непрерывно возрастающем числе циклов и номинальном напряжении $\sigma_{ном} = 11 \text{ кг/см}^2$ составляет 30—40%. Для стали 3 при тех же условиях — 30—47%.

Понижение стойкости против удара объясняется, очевидно, повышением предела текучести материала с увеличением числа циклов напряжений и возможным появлением разрывов микротрещин в зоне концентратора, что увеличивает склонность металла к хрупкому разрушению.

2. Для более обстоятельного суждения о влиянии предварительных циклических нагрузок на стойкость против удара необходимы испытания основных марок конструкционных сталей при различной величине циклических напряжений и различном количестве циклов.

3. При проектировании деталей машин, подверженных возможному удару и предварительно работающих при циклических нагрузках, необходимо учитывать, что стойкость деталей против удара, оцениваемая величиной ударной вязкости, будет значительно ниже стойкости исходного металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белостоцкий С. И. — Заводская лаборатория, т. X, в. 2 (1941).
2. Давиденков Н. Н. и Витман Ф. Ф. — Журнал технической физики, т. XVI, 1217 (1946).
3. Дегтярев В. П. — Журнал технической физики, т. XIX, 882 (1949).
4. Загородских Д. М. — Журнал технической физики, т. XVIII, в. 1 (1948).
5. Загородских Д. М. — Журнал технической физики, т. XVIII, в. 6 (1948).
6. Кудрявцев И. В. — Журнал технической физики, т. X, 1242 (1942).
7. Кудрявцев И. В. — Журнал технической физики, т. XVI, 1271 (1946).
8. Одинг И. А. — Структурные признаки усталости металлов как средство установления аварий машин. Изд. АН СССР (1949).
9. Ужик Г. В. — Сопротивление отрыву и прочность металлов. Изд. АН СССР (1950).