

**ВЛИЯНИЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННОГО СЛОЯ НА СТОЙКОСТЬ  
ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 45 ПРИ ПОВТОРНОМ УДАРЕ**

*Г. В. Топоров, Г. Я. Смокотин*

Некоторые детали машин ударного действия и инструмент имеют поверхности, которые после термической обработки не подвергаются механической обработке (пики отбойного молотка, буры, зубки для врубных машин и угольных комбайнов и др.). В результате нагрева при термообработке поверхностные слои этих деталей могут обезуглероживаться. В практических условиях, особенно при многократном нагреве, глубина обезуглероженного слоя может быть весьма значительной, достигая 0,5—0,8 мм и более.

Отрицательное влияние поверхностного обезуглероживания на износостойкость и прочность деталей, особенно режущего инструмента, в некоторых случаях известно [1, 2]. Я. Б. Фридман [3—5] считает, что для деталей, работающих преимущественно при статических и однократных ударных нагрузках, намеренное создание обезуглероженного (мягкого) поверхностного слоя сопровождается повышением прочности деталей. С. В. Серенсен [6] установил, что обезуглероженный слой повышает сопротивление разрушению при статической усталости стали (изгиб при вращении образца), если число циклов мало.

В работе [7] изучалось влияние обезуглероженного слоя (глубина около 0,15 мм) на выносливость образцов из нормализованной стали 45 при повторном ударе. Применялись образцы, аналогичные по форме для испытания статической усталости, с диаметром в рабочем сечении 8 мм. Результаты работы позволили сделать вывод, о том, что эффективность обезуглероживания проявляется в большей степени при работе на малом числе ударов при больших энергиях единичного удара. Так, при энергии удара 13,5 кгсм обезуглероженные и необезуглероженные образцы выдержали число ударов соответственно 58 и 46 тысяч (рис. 1).

В литературе не встречается данных для сравнительной оценки влияния обезуглероженного слоя на ударно-циклическую стойкость образцов из стали 45 (и других сталей) после закалки и отпуска. Основной причиной выхода из строя многих деталей машин ударного действия является разрушение вследствие ударной усталости [8—10]. Поэтому, естественно, возникает необходимость изучения влияния обезуглероживания на склонность к ударно-усталостному разрушению образцов, обработанных термически на высокую твердость.

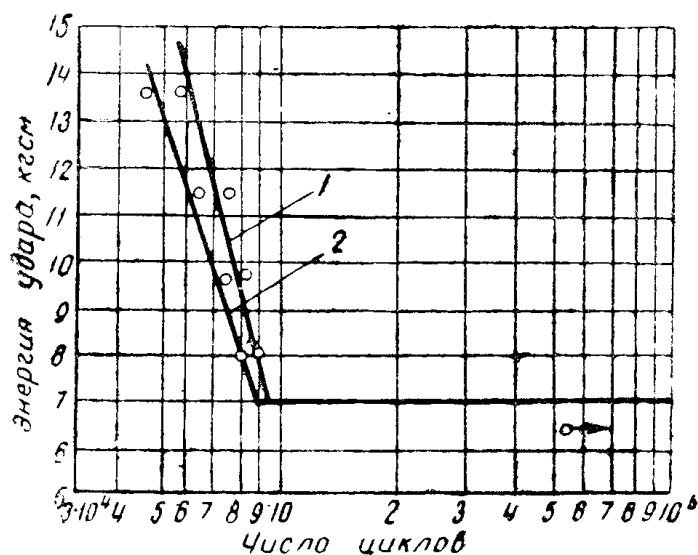


Рис. 1. Выносливость образцов из нормализованной стали 45 при повторно-переменном ударе:

1 — образцы обезуглерожены; 2 — необезуглерожены [7].

В предлагаемой работе приводятся экспериментальные данные, полученные при испытаниях образцов с надрезом и без надреза из стали 45, как необезуглероженных, так и обезуглероженных на различную глубину.

### Методика испытаний

Все образцы изготовлялись из стали 45 химического состава: 0,45% С; 0,18% Si; 0,50% Mn. Для определения ударной вязкости были изготовлены стандартные образцы размером  $10 \times 10 \times 55$  мм с надрезом Менаже, глубиной 2 мм, радиусом закругления в надрезе 1 мм. Надрез образцов одной серии произведен по стандарту, т. е. после механической и всех термообработок. Образцы второй серии были надрезаны до обезуглероживания и последующей термообработки. Определение ударной вязкости произведено на маятниковом копре ГЗИП.

Для испытаний при повторном ударе были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 10 мм с надрезом и без надреза. Круговой надрез глубиной 0,15 мм с углом  $120^\circ$  и радиу-

сом закругления в надрезе 0,1 мм наносился на резьбошлифовальном станке после механической и всех термообработок. Часть образцов подвергалась обезуглероживанию при наличии надреза.

Обезуглероживание образцов как для определения ударной вязкости, так и ударно-усталостных с надрезом и без надреза производилось одновременно в муфельной электропечи при температуре 900°. Различная глубина обезуглероженного слоя образцов получена в результате выдержки их при указанной температуре в течение 2; 5 и 10 час. При этом слой обезуглероживания получен соответственно 0,15; 0,25 и 0,55 мм. После обезуглероживания образцы охлаждались на воздухе.

Далее обезуглероженные и необезуглероженные образцы были подвергнуты закалке и отпуску. Закалка производилась с 820° в воде. Отпуск производился при температурах: 200, 250, 300 и 400° с выдержкой 30 мин. При этом отпуску при данной температуре подвергались 14—18 образцов, различно обработанных: 1) при наличии различной глубины обезуглероженного слоя, 2) без обезуглероженного слоя (нормальные), 3) надрезанные и гладкие. После закалки и отпуска нормальные образцы без надреза подвергались шлифовке до окончательного размера. Обезуглероженные на различную глубину образцы с надрезом и без надреза испытывались без шлифовки, т. е. с черной поверхностью. Окалина удалялась наждачной шкуркой вручную.

Испытания образцов при повторном ударе проведены по методике, описанной ранее [9, 10], на ударно-усталостной машине конструкции проф. А. И. Лампси и инж. В. Н. Полюбина. Энергии единичного удара равны: для гладких образцов 191,2 кгсм (40)<sup>1</sup>, для надрезанных — 47 кгсм (18)<sup>1</sup>. Эта методика не имеет целью определения ударных пределов усталости. За характеристику стойкости принимается число ударов до разрушения образцов. Статистическая обработка результатов испытаний показывает, что разброс данных находится в пределах  $\pm 7 - 11\%$ .

### Результаты испытаний и их обсуждение

Результаты испытаний образцов с надрезом на ударную вязкость и стойкость гладких образцов при повторном ударе сведены в таблице. Числа твердости в этой таблице относятся к необезуглероженным образцам. Если значения ударной вязкости нормальных образцов в интервале температур отпуска 200—300° остаются практически одинаковыми, то число многократных ударов резко изменяется. Закаленные и отпущенные при 200—250° образцы не были разрушены при нанесении 600 тыс. ударов. Образцы после отпуска при температуре 300° разрушались в ре-

<sup>1</sup> Г. Я. Смокотин и В. И. Копытов, О вычислении энергии удара, Известия вузов МВО СССР, Горный журнал, № 4, 1959.

| Температура отпущения, °C | Твердость $H_{Rc}$ | Ударная вязкость, кгм/см <sup>2</sup> |                                         |      |      | Число ударов до разрушения гладких образцов, тысяч |                                  |      |      |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|
|                           |                    | образцы необезуглерожженные           | образцы обезуглерожженные на глубину мм |      |      | необезуглерожженные                                | обезуглерожженные на глубину, мм |      |      |
|                           |                    |                                       | 0,15                                    | 0,25 | 0,55 |                                                    | 0,15                             | 0,25 | 0,55 |
| 200                       | 56                 | 1,7                                   | 0,8                                     | 0,6  | 1,4  | Более 600,0 не разрушился                          | 35,0                             | 18,2 | 20,7 |
| 250                       | 52                 | 1,6                                   | 0,4                                     | 1,2  | 1,8  | Более 600,0 не разрушился                          | 31,2                             | 12,5 | 18,5 |
| 300                       | 47                 | 1,9                                   | 0,6                                     | 1,1  | 1,4  | 20,0                                               | 29,5                             | 15,0 | 18,0 |
| 400                       | 41                 | 3,4                                   | 3,0                                     | 6,2  | 8,1  | —                                                  | 19,0                             | 18,0 | 17,2 |

зультате 20 тыс. ударов. Таким образом, еще при высоком значении твердости нормальных образцов (от  $H_{Rc} = 52$  до  $H_{Rc} = 47$ ) их стойкость снижается более чем в 30 раз.

Наличие минимального (в наших опытах 0,15 мм) обезуглероженного слоя снижает значение ударной вязкости стали 45. При увеличении глубины обезуглероженного слоя (до 0,55 мм) ударная вязкость возрастает. Особенно значительный рост ударной вязкости установлен для образцов, закаленных и отпущенных при 400° (более чем в 2 раза).

Ударно-циклическая стойкость образцов при наличии обезуглероженного слоя 0,15 мм резко (более чем в 20 раз) снижается по сравнению с необезуглероженными образцами. Однако образцы, отпущенные при 300°, показали некоторое повышение стойкости при повторном ударе. Последний факт требует дальнейшей проверки.

Увеличение глубины обезуглероженного слоя до 0,25 мм для всех испытанных образцов вызывает дальнейшее снижение их стойкости. Однако большое снижение стойкости наблюдается для образцов, твердость сердцевин которых более высокая. Стойкость образцов, отпущенных при 400°, остается низкой и практически постоянной, тогда как для образцов, отпущенных при 200—300° и глубине слоя 0,55 мм, намечается некоторое повышение стойкости. Несмотря на это, стойкость всех обезуглероженных образцов остается на уровне более чем в 30 раз меньшем по сравнению со стойкостью необезуглероженных образцов.

Резкое снижение ударно-циклической стойкости гладких обезуглероженных образцов по сравнению с необезуглероженными, по-видимому, можно объяснить, исходя из учета совместного влияния мягкого слоя и чистоты обработки поверхности образца.

Зарождение ударно-усталостной трещины облегчается шеро-

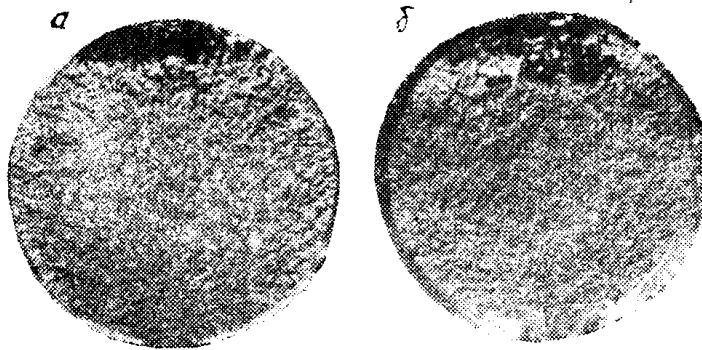


Рис. 2. Изломы гладких образцов, обезуглероженных на глубину:  
*a* — 0,15; *b* — 0,55 мм (Закалка с 820° в воде, отпуск при 200°).  $\times 3$ .

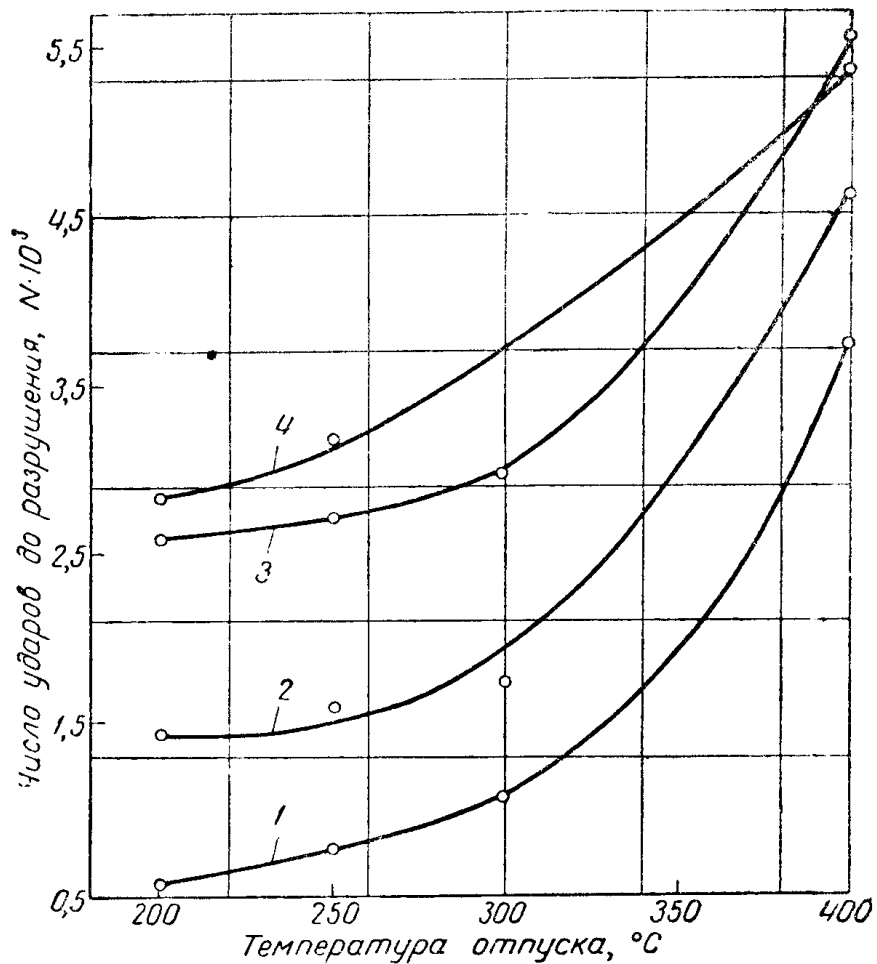


Рис. 3. Число ударов до разрушения надрезанных образцов в зависимости от температуры отпуска стали 45; образцы обезуглерожены на глубину:  
 1 — 0,15; 2 — 0,25; 3 — 0,55 мм; 4 — необезуглерожены.

ховатостью, получающейся в результате окисления поверхности образца. Сдвиговой характер распространения трещины усталости по плоскостям скольжения имеет также благоприятные условия при наличии обезуглероженного (ферритного) слоя.

Фотографии поверхностей изломов образцов (рис. 2) иллюстрируют указанную точку зрения. Эти изломы получены при испытании гладких обезуглероженных образцов, закаленных и отпущенных при 200°. Изломы относятся к хрупким. Однако с увеличением глубины обезуглероженного слоя площадка зарождения и развития трещины усталости увеличивается (на фото снизу).

Результаты испытаний при повторном ударе образцов с надрезом представлены графически на рис. 3 и 4. Уровень стойкости этих образцов без обезуглероженного слоя (рис. 3) в интервале температур отпуска 200—300° выше в сравнении со стойкостью обезуглероженных образцов. Как увеличение глубины обезуглероженного слоя, так и повышение температуры отпуска после закалки увеличивают стойкость образцов с надрезом.

Надрез исключает влияние состояния поверхности образца (чистота обработки) на процесс зарождения трещины усталости. Трещина зарождается в надрезе. Как уже указывалось, обезуглероженный слой благоприятствует развитию возникшей трещины. С увеличением глубины обезуглероженного слоя состояние поверхности в надрезе характеризуется повышением пластичности в сравнении с сердцевиной образца. Малая энергия удара обуславливает медленное распространение трещины усталости и разрушение образца с более глубоким мягким слоем наступает позднее, т. е. стойкость увеличивается.

На рис 5 представлены поверхности изломов обезуглероженных образцов с надрезом, закаленных и отпущенных при 200°. Если при глубине обезуглероживания 0,15 мм образец разрушился хрупко, то при глубине 0,25 мм число ударов до разру-

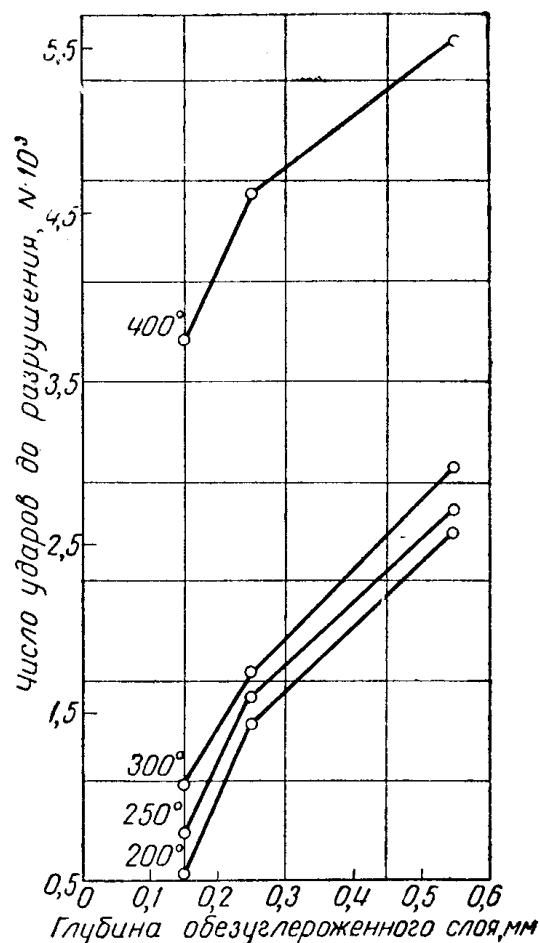


Рис. 4. Число ударов до разрушения надрезанных образцов в зависимости от глубины обезуглерожения и температуры отпуска.

шения возросло почти в три раза и появилась заметная серповидная зона усталости. При глубине слоя 0,55 мм зона распространения трещины усталости составляет около 15% от площади сечения образца, а число ударов в пять раз больше в сравнении с числом ударов до появления трещины в образцах, обезуглероженных на глубину 0,15 мм.

В нашей работе [10] отмечалось, что переход стали из пластического состояния в хрупкое сопровождается повышением чувствительности этой стали к надрезу. Анализ кривых (рис. 3 и 4) позволяет заключить, что наличие обезуглероженного слоя в надрезе снижает чувствительность к надрезу образцов из стали 45, особенно обработанных на высокую твердость ( $H_{R_c} = 56$ ) не повышая их стойкости в сравнении со стойкостью необезуглероженных образцов.

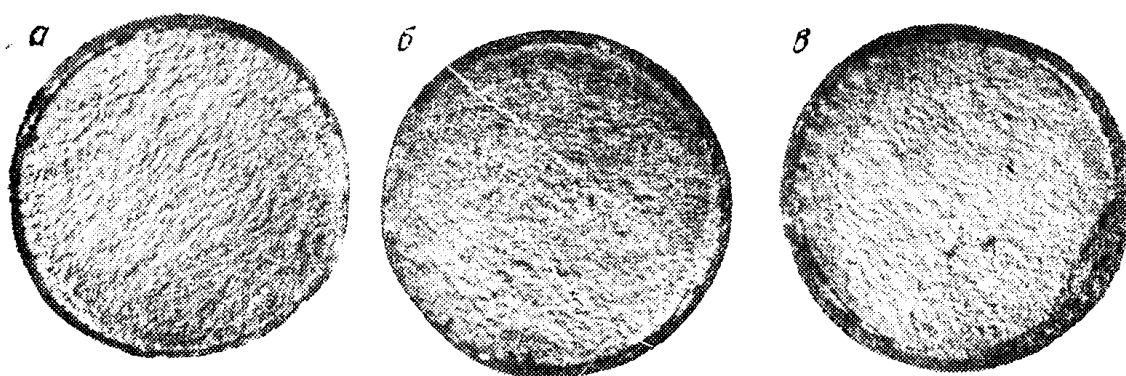


Рис. 5. Изломы надрезанных образцов, обезуглероженных на глубину: [а—0,15; б—0,25; в—0,55 мм. (Закалка с 820° в воде, отпуск при 200°) ×3.

роженных образцов. Стойкость обезуглероженных надрезанных образцов будет выше стойкости необезуглероженных тогда, когда чувствительность стали к надрезу значительно ослабевает. Это последнее соответствует глубине слоя 0,55 мм и температуре отпуска 400° (кривая 3, рис. 3), т. е. в интервале значительного снижения стойкости образцов без надреза.

### ВЫВОДЫ

1. Ударно-циклическая стойкость закаленных и отпущенных образцов без надреза из стали 45 при наличии обезуглероженного слоя от 0,15 до 0,55 мм резко снижается (от 20 до 30 и более раз).

2. Наличие обезуглероженного слоя в надрезе не приводит к увеличению ударно-циклической стойкости надрезанных образцов.

3. Значения ударной вязкости стали 45, определяемые на обезуглероженных и необезуглероженных образцах с надрезом Менаже после закалки и отпуска в интервале температур 200—300° не могут характеризовать чувствительность этой стали к надрезу.

4. Сделана попытка объяснить снижение стойкости обезуглероженных образцов при нагружении многократными изгибающими ударами, исходя из учета совместного влияния мягкого поверхностного слоя и чистоты обработки поверхности образца.

5. С целью увеличения ударно-циклической стойкости деталей, изготавливаемых из стали 45 и проходящих термообработку на высокую твердость ( $H_{R_c}=52-56$ ), необходимо эти детали подвергать механической обработке для удаления обезуглероженного слоя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Смирнов и Л. В. Белоручев. Окисление и обезуглероживание стали в процессах термической обработки. ОНТИ, 1934.
  2. А. В. Смирнов. Значение окисления и обезуглероживания стали в промышленности. Заочные курсы, лекция 19, под ред. проф. Н. А. Минкевича, ГОНТИ, 1939.
  3. Я. Б. Фридман. Деформация и разрушение металлов при статических и ударных нагрузках. Оборонгиз, 1946.
  4. Я. Б. Фридман и Л. М. Певзнер. О влиянии мягких поверхностных слоев на механические свойства надрезанных образцов. Заводская лаборатория, № 9, 1950.
  5. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов. Изд. 2-е, Оборонгиз, 1952.
  6. С. В. Серенсен. Усталость металлов. Заочные курсы ВНИТОМАШ, 7, Машгиз, 1949.
  7. А. Л. Цеймах. Влияние состояния поверхности на повторно-динамическую выносливость стали. Изд. Алтайского краевого правления НТО Машпром. Барнаул, 1956.
  8. Г. В. Топоров. Влияние текстуры и исходных механических свойств на ударную усталость стали 40ХН. Труды СФТИ при ТГУ, в. 34, Томск, 1955.
  9. Г. В. Топоров, Г. Я. Смокотин. Влияние величины зерна на ударно-усталостную стойкость стали 45. Известия ТПИ, т. 106, Металлургиздат, 1958.
  10. Г. Я. Смокотин. О выборе стали для изготовления пик отбойных молотков. Известия вузов МВО СССР. Горный журнал, № 7, 1958.
-