

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Я. Б. ФРИДМАН и Т. А. ВОЛОДИНА

**О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
К НАДРЕЗУ**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 22 X 1946)

Получение материалов с рекордно высокими значениями прочности является одной из важнейших задач современной техники. Уже сейчас получены стали с пределом прочности 180 и более кг/мм². К сожалению, повышение разрушающих нагрузок путем применения материалов с высоким пределом прочности σ_B , измеряемым на гладких (ненадрезанных) образцах, может быть использовано не при всех способах нагружения.

Например, при испытании образцов с очень острым надрезом наблюдается падение разрушающей нагрузки на 20% (по сравнению с гладким образцом того же сечения), а при растяжении с изгибом осевая разрушающая нагрузка у высокопрочных сталей уменьшается в 5 и более раз, в то время как у сталей средней прочности ($\sigma_B = 120$ кг/мм²) это уменьшение незначительно⁽¹⁾. Правда, это понижение обусловлено тем, что не учитывают добавочный изгиб. Тем не менее, практически существенно прежде всего то, что повышение прочности гладкого образца в определенных условиях не только не ведет к повышению реальной (иногда называемой также конструктивной) прочности, но, наоборот, может сильно понижать ее.

Причины этой повышенной „чувствительности к надрезу“ могут быть различными в разных случаях (пониженное сопротивление отрыву, повышение сопротивления пластической деформации и т. п.).

Ввиду важнейшего значения этого вопроса представлялось интересным установить, в какой мере повышенная чувствительность к надрезу высокопрочных сплавов имеет общее значение, т. е. наблюдается ли она и у других групп сплавов — кроме сталей. Наибольший интерес этот вопрос имеет для высокопрочных алюминиевых сплавов. В последние годы, наряду с классическим дуралюмином ($\sigma_B = 36$ кг/мм²) и его модификациями (σ_B порядка 45 кг/мм²) начинают находить применение сплавы на основе системы Al — Zn — Mg (типа 75 S, R 303 и т. д.), у которых величина σ_B достигает 60 кг/мм². Конечно, по сравнению со сталями сплавы с $\sigma_B = 60$ кг/мм² следует считать мягкими материалами (рис. 1). Однако, если учесть, что технический алюминий имеет $\sigma_B = 10$ кг/мм², а у технического железа $\sigma_B = 30$ кг/мм², то можно видеть, что порядок увеличения прочности в высокопрочных сплавах на основе Fe и Al по сравнению с прочностью основных материалов (Fe и Al) примерно одинаков: в 6 раз (с 10 до 60 кг/мм² у алюминиевых сплавов и с 30 до 180 кг/мм² у сталей).

Интересно, что и для среднепрочных сплавов мы также имеем одинаковое увеличение прочности по сравнению с основным металлом, а именно в 4 раза.

Нами были изучены дуралюмин, прессованный в прутках $d = 23$ мм, и высокопрочный алюминиевый сплав типа В-95* в прутках $d = 20$ и 40 мм. Данные о термической обработке сплавов приведены ниже.

Для испытания чувствительности к надрезу были изготовлены цилиндрические образцы с V-образным надрезом с углом раскрытия 60° и глубиной 1 мм на сторону. Диаметр образца в надрезанном

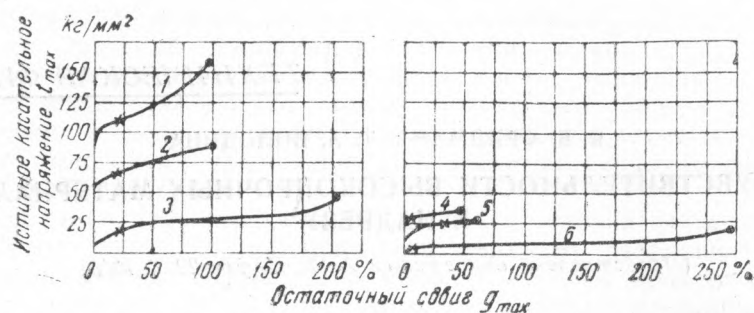


Рис. 1. Сопоставление деформации железа, средне- и высокопрочных сталей типа хромансиль (слева) с деформацией алюминия средне- и высокопрочных алюминиевых сплавов (справа). Крестом отмечено образование шейки; 1 — $\sigma_B = 189$ кг/мм², отп. 200°; сталь хромансиль; 2 — $\sigma_B = 119$ кг/мм², отп. 500°, сталь хромансиль; 3 — $\sigma_B = 34$ кг/мм², Fe; 4 — $\sigma_B = 57$ кг/мм², В-95; 5 — $\sigma_B = 38$ кг/мм², дуралюмин. сплав D-1; 6 — $\sigma_B = 95$ кг/мм², Al

сечении равнялся 8 мм. Надрез производился до термической обработки специальным резцом с радиусом закругления в вершине его 0,08—0,09 мм. Радиусы в вершине надреза измерялись у всех образцов на профиль-проекторе Цейсса.

Обозначение кривой на рис. 2	Тип сплава	Термическая обработка
A	Дуралюмин	Нагрев при 500°, закалка в воде и естественное старение в течение 4 суток при 20°
B	В-95	Нагрев при 470° в селитр. ванне, выдержка 2 часа, закалка в воде и старение при 120° в течение 24 час., охлаждение на воздухе
C	В-95	То же, что B
D	В-95	То же, что B
E	В-95	Нагрев при 470° в селитр. ванне, выдержка 1 час, закалка в воде и прерывистое старение при 100° 4 часа + при 155° в течение 8 часов

Испытания проводились на растяжение с перекосом, создававшимся путем подкладывания под верхнюю головку образца косых шайб с углом 4 и 8°. Это испытание наиболее „жесткое“ из известных в настоящее время. Результаты этих испытаний показаны на рис. 2,а. Для сравнения на том же рисунке нанесены результаты, полученные для обычного дуралюмина, испытанного точно в таких же условиях.

Из рис. 2,а видно, что если при испытании надрезанных образцов без перекоса сплав типа В-95 (как и на гладких образцах) оказывается значительно более прочным, чем дуралюмин, то уже при наличии перекоса в 4° прочность этих двух сплавов практически выравнивается,

* Сплавы этого типа освоены в Советском Союзе под руководством И. Н. Фридляндера, которому авторы выражают благодарность за содействие и советы в проведении описанных опытов.

а при перекосе в 8° сплав типа В-95 оказывается даже значительно менее прочным, чем обычный дуралюмин.

Если считать, что чувствительность к надрезу при однократных и повторно-переменных нагрузках имеет общую природу, то надо полагать, что и характеристики выносливости (сопротивление усталости) сплава типа В-95 при наличии острых надрезов должны оказаться невысокими.

Конечно, результаты, приведенные на рис. 2, а, отнюдь не указывают вообще на нецелесообразность применения высокопрочных сплавов, так как при осевых нагрузках эти сплавы оказываются высокопрочными также и в конструкциях. Задача заключается либо в изыскании способов устранения чувствительности к надрезам при одновре-

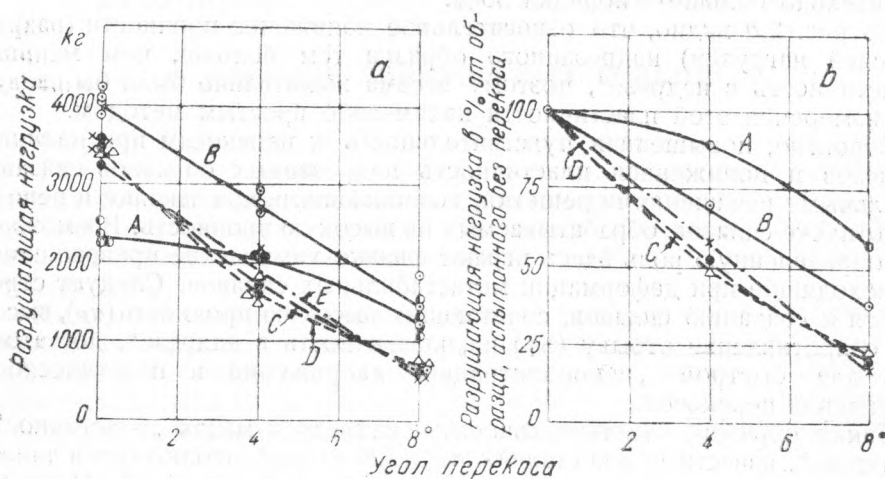


Рис. 2. Влияние перекоса на свойства надрезанных образцов сплавов дуралюмин и типа В-95: а — влияние перекоса на осевую разрушающую нагрузку, б — относительное понижение прочности от перекоса; А — $d = 7,96$ мм, $\psi = 16\%$ (ψ — «пластичность в надрезе» — поперечное сужение надрезанных образцов без перекоса); В — $d = 8,19$ мм, $\psi = 11\%$; С — $d = 8,17$ мм, $\psi = 6\%$; D — $d = 7,97$ мм, $\psi = 7\%$; E — $d = 7,97$ мм, $\psi = 7\%$

менном сохранении высокой прочности материала, либо в ограничении применения этих материалов, либо, наконец, в устранении и ограничении в конструкциях перекосов и надрезов.

Ввиду того что в литературе имеются указания ⁽²⁾ о повышенной технологической пластичности сплава типа В-95 после закалки с 470° в воде, при прерывистом старении (сначала 4 часа при 100° с охлаждением до 20° , а затем 8 часов при 155°), мы провели испытания такого сплава с перекосом после прерывистого старения. Заметного уменьшения чувствительности к надрезу в результате прерывистого старения нами получено не было.

На важное значение пластичности для конструктивной прочности указывал еще Кирпичев ⁽³⁾ и недавно А. Fischer ⁽⁴⁾. Однако при наличии надрезов пластичность материала может оказаться недостаточной, несмотря на высокую способность гладких образцов к деформации. Поэтому Е. Bain ⁽⁵⁾ и G. Sachs ⁽⁶⁾ предложили особо оценивать «пластичность в надрезе».

Проведенное нами измерение сужения надрезанных образцов исследованных сплавов показало, что для гладких образцов величина сужения сечения составляла у дуралюмина 35%, а у сплава типа В-95—22%. При наличии надреза без перекоса эти значения уменьшались, соответственно, до 16 и 6—7%. Следовательно, не только у сталей, но и у

алюминиевых сплавов с повышением предела прочности σ_B пластичность уменьшается у надрезанных образцов сильнее, чем у гладких. По данным G. Sachs'a и сотрудников (⁶), при радиусе закругления в вершине надреза, равном 0,08 мм, глубине надреза 50% (от площади исходного сечения) и угле раскрытия надреза 60° сталь 3140 при $\sigma_B = 170$ кг/мм² и сужении гладкого образца в 55% имела сужение в надрезе менее 2%. Из этих данных видно, что соотношение пластичности гладкого и надрезанного образцов у стали значительно менее благоприятно, чем для алюминиевых сплавов. Иначе говоря, у стали с максимальной прочностью пластичность в надрезе составляет 3% от пластичности гладкого образца, в то время как у высокопрочных алюминиевых сплавов отношение пластичности в надрезе к пластичности гладкого образца значительно больше — порядка 35%.

Из рис. 2, б видно, что относительное понижение прочности (разрушающей нагрузки) надрезанного образца тем больше, чем меньше „пластичность в надрезе“, поэтому весьма желательно было бы введение измерения этой пластичности каким-либо простым методом.

Вероятно, повышенная чувствительность к перекосам при наличии надрезов и пониженная пластичность надрезанных образцов связаны с сильными искажениями решетки, возникающими при закалке и неполном отпуске сплавов, обрабатываемых на высокую прочность. Возможно, что определенную роль здесь играют физико-химические превращения, происходящие при деформации метастабильных сплавов. Следует стремиться к созданию сплавов, сочетающих высокую прочность (σ_B), высокое сопротивление отрыву (S_T) и „пластичность в надрезе“, достаточную для быстрой „деконцентрации“ напряжений и пластического устранения перекосов.

Таким образом, чувствительность к надрезу и малая „пластичность в надрезе“, известные для сталей с $\sigma_B > 120$ кг/мм², наблюдаются также и у высокопрочных алюминиевых сплавов с $\sigma_B > 40$ кг/мм². Причину этой чувствительности нельзя искать в абсолютно высокой величине предела прочности σ_B , а также исключительно в каких-либо специфических особенностях железных сплавов.

Поступило
22 X 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ K. Matthaes, Luftfahrtforschung, No. 2 (1938). ² Fink, Nack, Kobbs Iron Age, 156, No 18, 64 (1945). ³ В. Кирпичев, Сопротивление материалов, 1, 1900.
⁴ A. Fischer, Metallurgia, 6, 77 (1946). ⁵ Э. Бейн, Влияние легирующих элементов на свойства стали. М., 1945. ⁶ G. Sachs, Lubahn, J. Appl. Mech., 12, No. 4, 241 (1945).