Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

МЕХАНИКА

Г. В. УЖИК

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ

(Представлено академиком С. А. Христиановичем 29 V 1954)

Хрупкое разрушение пластичных металлов представляет собой весьма опасное явление. Отличительная его особенность состоит в том, что оно происходит без предварительной существенной деформации (несмотря на то, что пластичные металлы обладают, как известно, способностью к большой деформации), наступает, как правило, внезапно и может явиться причиной поломок и аварий различных машин и сооружений. Именно поэтому на протяжении многих лет не прекращаются работы, имеющие целью установить величину предельного сопротивления пластичных металлов хрупкому разрушению.

Как уже указывалось ранее ([1], [2]), существуют две группы принципиально различных причин, вследствие которых может произойти разрушение пластичных металлов, не сопровождающееся заметной деформацией. Это непосредственно следует из условия хрупкого разрушения ([3–5]):

$$\tau_{max} < \tau_s,\ \sigma_1 = R_\sigma \tag{1}$$

или

$$\frac{\tau_{max}}{\sigma_1} < \frac{\tau_s}{R_\sigma}, \tag{1'}$$

где τ_s — сопротивление сдвигу, R_σ — сопротивление хрупкому разрушению (разрушению от отрыва).

Как видно, условие (1) может быть выполнено двумя принципиально различными путями: либо путем изменения характера нагружения материала при неизменном его состоянии и сопротивлении — за счет уменьшения τ_{max} и τ_{max}/σ_1, либо путем изменения физических свойств и сопротивления материала за счет увеличения τ_s и τ_s/R_σ, при неизменном напряженном состоянии.

Таким образом, существуют и две принципиально различные возможности предотвращения («запрещения») пластической деформации, необходимой для определения R_σ, путем выполнения условия (1): за счет уменьшения левой его части, оставляя неизменной правую, или, наоборот, путем увеличения правой части, оставляя неизменной левую.

Метод определения R_σ, предложенный нами ([1]) и основанный на использовании первой из указанных возможностей, позволил установить численные значения R_σ для ряда пластичных металлов ([1]) при нормальной температуре.

Всестороннее неравномерное растяжение (уменьшение τ_{max} и τ_{max}/σ_1)

создавалось на образцах с кольцевыми выточками, надлежащим образом выбранными и нанесенными (1)*.

Несмотря на то, что при определении R_σ напряженное состояние в выточках изменялось в широких пределах (от $\tau_{max}/\sigma_1 = 0{,}5$ до $\tau_{max}/\sigma_1 = 0{,}12$), величина R_σ для каждого металла в данном его состоянии практически оставалась постоянной.

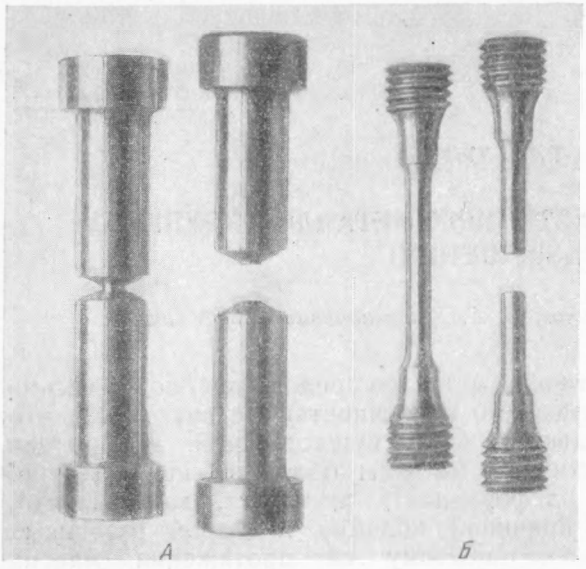


Рис. 1. $А - t = +20°$; $R_\sigma = 133$ кГ/мм², $\sigma_s = 38$ кГ/мм². $Б - t = -253°$; $R_\sigma = 141$ кГ/мм², $\sigma_s \geqslant R_\sigma$ (R_σ — сопротивление хрупкому разрушению, σ_s — сопротивление сдвигу). Значения R_σ и σ_s указаны для нормализованной стали 45

Этот результат находился в согласии с тем, что следовало считать вполне естественным, поскольку величина R_σ характеризует предельное сопротивление хрупкому разрушению.

Значительный интерес представляло сравнение R_σ с величиной сопротивления хрупкому разрушению, установленному другим из указанных двух принципиально различных путей, а именно: предотвращая (или «запрещая») пластическую деформацию посредством увеличения правой части условия (1) (τ_s и τ_s/R_σ), например, при снижении температуры.

В связи с тем, что температура жидкого азота (—196°) недостаточна для перехода пластических металлов в хрупкое состояние, потребовалась разработка специальной методики испытаний в среде жидкого водорода (—253°), позволяющей следить в процессе нагружения за переходом из пластичного в хрупкое состояние. При помощи этой методики была установлена для ряда металлов величина сопротивления хрупкому разрушению — на гладких образцах при простом растяжении.

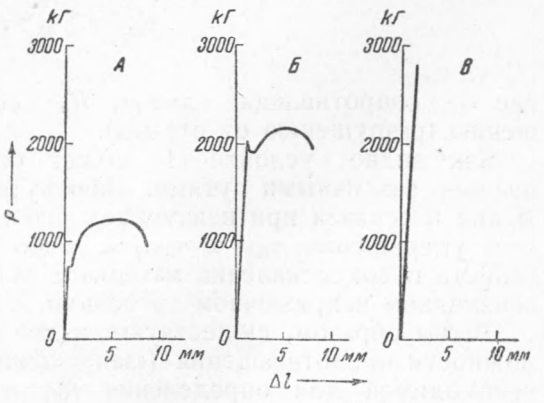


Рис. 2. Диаграммы деформации нормализованной стали 45, записанные на разрывной машине, при различных температурах испытаний. $А - t = +20°$, $Б - t = -196°$, $В - t = -253°$

Результаты сравнения величины R_σ, установленной двумя указанными, принципиально различными способами, представлены на рис. 1. Характер перехода пластичной стали из вязкого в хрупкое состояние (именно — физически в другое состо-

* Особенность проведенных исследований состояла также в том, что в них была показана практическая возможность осуществлять нагружение материала с заранее вычисляемым напряженным состоянием — всесторонним неравномерным растяжением

яние) при различных низких температурах показан на рис. 2. Результаты, аналогичные показанным на рис. 1 и 2, получены для ряда других пластичных металлов (хромо-никелевая сталь Э-16, железо армко, малоуглеродистая строительная сталь и др.).

На рис. 3 представлены результаты определения R_σ у кремнистой стали, полученные также указанными двумя способами. Малопластичная кремнистая сталь переходит почти полностью в хрупкое состояние уже при температуре — 50°. Поэтому в интервале температур от — 50 до +150°, в пределах которого эта сталь находилась в вязком состоянии, величина R_σ определялась первым из указанных способов (на образцах с выточками уменьшение τ_{max} и τ_{max}/σ_1 в условии (1)).

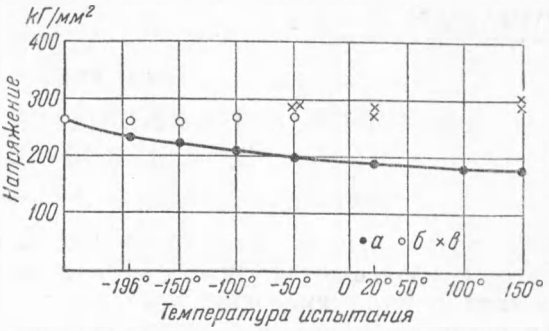


Рис. 3. Сравнение сопротивления хрупкому разрушению при определении его двумя способами (кремнистая сталь, отпуск 200°; σ_b=231,0 кГ/мм², ψ = 16,0%; a_k = 1,76). $а$ — σ_s — гладкие образцы, $б$ — S_k — сопротивление при разрыве — гладкие образцы, $в$ — R_σ — образцы с кольцевыми выточками

В интервале низких температур от —50 до —253°, в пределах которого сталь находилась в хрупком состоянии, величина R_σ определялась другим из указанных способов (увеличение τ_s и τ_s/R_σ) на гладких образцах при простом растяжении.

Отсутствие разрыва функции $R_\sigma = f(t)$ при $t = -50°$, т. е. при переходе от значений R_σ, установленных первым способом, к значениям R_σ, полученным другим способом, также свидетельствует о близком соответствии этих двух, принципиально различных способов определения R_σ.

Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность определения сопротивления хрупкому разрушению у пластичных металлов на образцах с выточками, не прибегая для этого к испытаниям при весьма низких температурах.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
31 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. В. Ужик, Сопротивление отрыву и прочность металлов, Изд. АН СССР, 1950. [2] Г. В. Ужик, Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1390 (1951). [3] А. И. Дымов, Строительная механика машин, 1933, стр. 66—68. [4] П. Н. Давиденков, Динамические испытания металлов, 1936, стр. 147. [5] Я. Б. Фридман, Механические свойства металлов, 1946, стр. 144.