

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. М. ХРУЦОВ и М. А. БАБИЧЕВ

ДИАГРАММЫ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком А. А. Благонравовым 10 VII 1954)

В результате испытания на абразивное изнашивание чистых металлов и сталей в состоянии после отжига, а также после закалки и отпуска при различных температурах нами были выявлены ^(1,2) зависимости относительной износостойкости ϵ от твердости H , определяемой методом вдавливания алмазной пирамиды с углом при вершине между противоположащими гранями 136° .

Для чистых металлов и сталей в отожженном состоянии имеется прямая пропорциональность между ϵ и H

$$\epsilon = bH,$$

где b — коэффициент пропорциональности, общий для указанных материалов.

Для сталей в состоянии после закалки с последующим отпуском имеется линейная зависимость между ϵ и H

$$\epsilon = \epsilon_0 + b'(H - H_0),$$

где ϵ_0 и H_0 — соответственно, относительная износостойкость и твердость металла в отожженном состоянии; b' — коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от состава стали.

При испытании на абразивное изнашивание чистых металлов и углеродистой стали, подвергнутых после отжига механическому наклепу, относительная износостойкость оказалась одинаковой для разных степеней обжатия и разной твердости.

На рис. 1 представлена диаграмма ϵ — H . Каждому материалу, отличающемуся своим составом и состоянием, отвечает определенная точка на поле диаграммы, поэтому на такой диаграмме легко сопоставлять различные материалы и виды их обработки по сочетанию

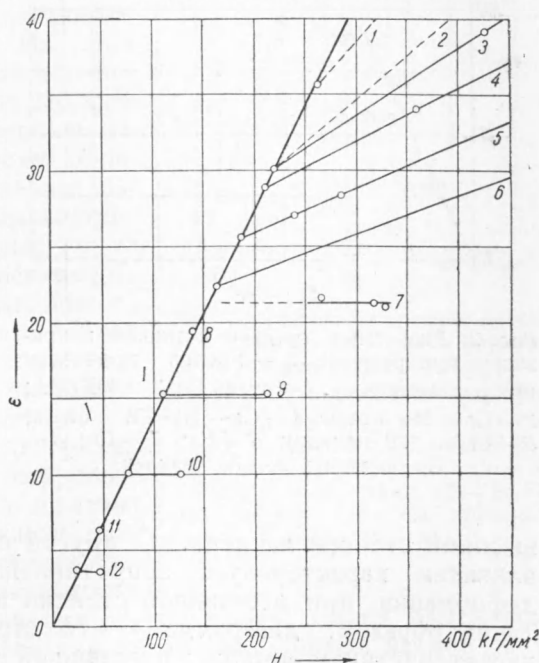


Рис. 1. Диаграмма относительная износостойкость ϵ — твердость H . 1 — сталь ФО; 2 — РФ 1; 3 — Х12; 4 — У12; 5 — У8; 6 — 40; 7 — сталь с 0,16% С (наклеп); 8 — армко-железо; 9 — Ni (наклеп); 10 — Cu (наклеп); 11 — Zn; 12 — Al (наклеп)

их твердости и износостойкости. Из диаграммы $\varepsilon - H$ видно, что износостойкость цветных металлов и сталей в отожженном состоянии однозначно определяется твердостью, а в других состояниях зависит от состава и вида обработки. Диаграмма рис. 1 представляет собой начальную часть большей диаграммы $\varepsilon - H$ ⁽¹⁾.

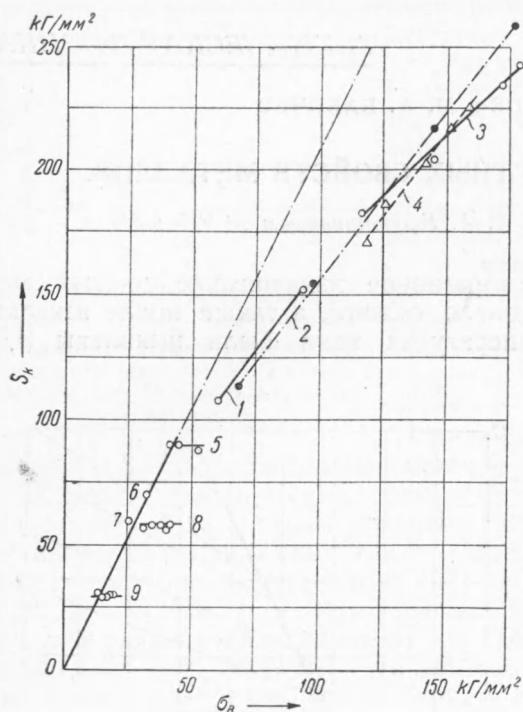


Рис. 2. Диаграмма среднее истинное напряжение при разрыве S_R — предел прочности при растяжении σ_B . 1 — сталь 45; 2 — 30ХГСА; 3 — Cr — Мо сталь; 4 — Cr — Ni — W сталь; 5 — сталь 20 (наклеп); 6 — Fe; 7 — Cu; 8 — Cu (наклеп); 9 — Al (наклеп)

высокой степени наклепа. С другой стороны, твердость H при вдавливании характеризует сопротивление материала пластической деформации при небольшой степени пластического деформирования. Таким образом, диаграмма $\varepsilon - H$ строится по двум прочностным характеристикам металла: предельной характеристике ε и характеристике, соответствующей небольшой степени пластической деформации H .

При такого рода изображении относительного расположения металлов по их прочности отчетливо выявляется различная эффективность в повышении износостойкости при разных путях повышения твердости стали: путем легирования, путем термообработки и путем наклепа; выявляется более сложная зависимость износостойкости металлов от их твердости, чем принятая до сих пор; появляется возможность на одной общей диаграмме представить основные прочностные свойства всех металлов.

Естественно предположить, что при сопоставлении на одной диаграмме других характеристик прочности для предельных состояний металла с другими характеристиками прочности тех же металлов для определенных небольших степеней пластической деформации должны получиться диаграммы, аналогичные диаграмме $\varepsilon - H$.

Независимость износостойкости от твердости для материалов, подвергнутых после отжига механическому наклепу, позволяет следующим образом пояснить процессы, происходящие при данном виде испытания на изнашивание. При трении металла об абразивную поверхность происходит его наклеп в тех участках зерен, где абразивная частица царапает поверхность с отделением стружки; этот наклеп происходит независимо от того, находился ли металл перед этим в ненаклепанном или наклепанном состоянии. По этой причине износостойкость материала оказывается одинаковой для образцов, получивших различную степень предварительного наклепа, меньшую, чем получающаяся в процессе данного испытания на изнашивание.

Поэтому относительную износостойкость ε можно рассматривать как характеристику прочности металла (при испытании на абразивное изнашивание), приведенного в состояние этого испытания в состоянии

Характеристиками прочности для предельных состояний материала могут быть, например: истинное среднее напряжение при растяжении в момент разрыва образца S_k ; твердость царапанья, определенная в условиях отделения стружки; относительное сопротивление резанию; относительная износостойкость. Характеристиками прочности для небольших степеней пластических деформаций могут быть, например: условный предел текучести при небольшой степени пластической деформации при растяжении ($\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,5}$); твердость по пирамиде; твердость по Бринеллю H_B (до 450 кг/мм²); предел прочности при растяжении σ_B .

Для проверки правильности этого предположения мы воспользовались результатами испытаний на растяжение различных металлов, проведенных разными исследователями в разное время и ранее опубликованными.

На рис. 2 представлена диаграмма $S_k - \sigma_B$, построенная нами по цифровым данным различных авторов. Из этой диаграммы видно, что: для чистых металлов и стали в отожженном состоянии имеется прямая пропорциональность между S_k и σ_B ; для термически обработанных сталей имеется линейная зависимость между S_k и σ_B ; для алюминия, меди и стали 20, которые после отжига были механически наклепаны, S_k остается постоянным при повышении σ_B с увеличением степени наклепа. Этот наклеп осуществлялся для алюминия и меди волочением; для стали 20 повторно-переменным растяжением — сжатием.

На рис. 3 представлена диаграмма $S_k - \sigma_{0,2}$, построенная нами по цифровым данным статьи (3). Из этой диаграммы также видно, что для отожженных металлов и сталей намечается общая зависимость — прямая пропорциональность между S_k и $\sigma_{0,2}$, а для термически обработанных сталей намечается линейная зависимость, своя для каждой стали, причем наклон соответствующих прямых больше для легированных сталей, чем для простых углеродистых.

Из сопоставления диаграммы рис. 1 с диаграммами рис. 2 и 3 можно сделать важный вывод о том, что все три диаграммы имеют принципиально одинаковую структуру и качественно одинаковым образом классифицируют чистые металлы и стали по их прочностным свойствам.

Явное различие этих диаграмм состоит в следующем: на диаграмме $\epsilon - H$ расположение прямых для различных термически обработанных сталей разделено более четко, и экспериментально полученные точки показывают меньший разброс по сравнению с диаграммами $S_k - \sigma_B$ и $S_k - \sigma_{0,2}$.

Определение при испытании на растяжение усилия в момент разрыва образца, деформирующегося с образованием шейки, может быть неточным как вследствие быстрого падения усилия, растягива-

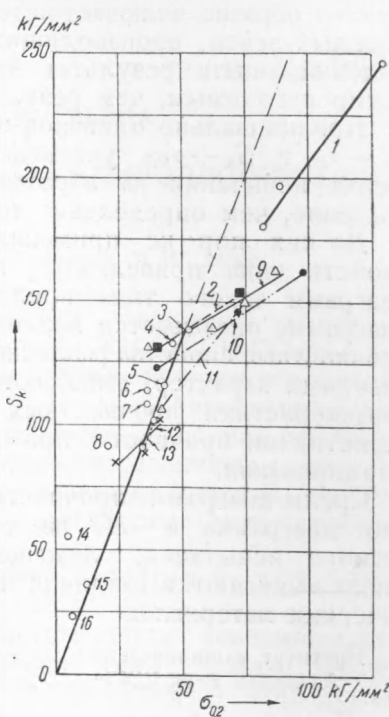


Рис. 3. Диаграмма среднее истинное напряжение при разрыве S_k — условный предел текучести $\sigma_{0,2}$. 1 — Cr — Ni — W сталь; 2 — Cr — V; 3 — St 100; 4 — St 85; 5 — St 70; 6 — Si сталь; 7 — St 48; 8 — Fe; 9 — Cr — Si; 10 — Cr — Ni сталь; 11 — Ni сталь; 12 — St 37; 13 — SiC 110; 14 — Cu; 15 — дюраль; 16 — Al

ющего образец, так и вследствие случайных причин, связанных например, с неоднородностью испытуемого материала. Между тем на диаграммы рис. 2 или 3 наносятся результаты испытания каждого отдельного образца.

При испытании на абразивное изнашивание результат испытания одного образца включает интегральное действие царапания множества твердых зерен, производящих разрушение; поэтому при постоянстве условий опыта результат этот является несравненно более точно воспроизводимым, чем результат испытания на растяжение.

Принципиально одинаковый характер диаграммы $\epsilon - H$ и диаграмм $S_k - \sigma_B$ и $S_k - \sigma_{0,2}$ указывает на то, что разработанный авторами метод испытания на абразивное изнашивание имеет более широкое значение, чем определение только износостойкости материала.

До сих пор не применялось построения диаграмм прочностных свойств типа приведенных на рис. 2 или 3. Между тем построение диаграмм такого типа представляется весьма полезным: на одной диаграмме оказывается возможным наглядным образом сопоставлять прочностные свойства различных материалов, что придает диаграммам обзорный характер; выявляются новые закономерности, связывающие характеристики прочностных свойств в момент разрушения с характеристиками прочности при небольших степенях пластического деформирования.

Среди диаграмм прочностных свойств особый интерес представляет диаграмма $\epsilon - H$, на которой, в силу особенностей механического испытания, лежащего в основе определения ϵ , наиболее тонко выявляются различия в прочностных свойствах разных металлических материалов.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
10 VII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. М. Хрущов, М. А. Баби́чев, ДАН, 88, № 3 (1953). М. М. Хрущов, М. А. Баби́чев, Трение и износ в машинах, Сборн. 9, Изд. АН СССР, 1954. ² Р. Лудвиг, Metallwirtschaft, № 37 (1931).