

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. М. ХРУЩОВ и М. А. БАБИЧЕВ

**СОПРОТИВЛЕНИЕ АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ
И ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛОВ**

(Представлено академиком Е. А. Чудаковым 24 XI 1952)

Абразивным изнашиванием называется процесс постепенного изменения размеров детали по ее поверхности трения в результате режущего или царапающего действия твердых частиц, соприкасающихся с этой поверхностью, твердых тел или более твердого материала сопряженной детали. Абразивное изнашивание поверхностей трения деталей машин является самым распространенным видом изнашивания.

Во многих случаях условия работы на поверхности трения деталей характеризуются также наличием высоких контактных напряжений, наличием агрессивной среды и т. д., которые могут оказать сильное влияние на износостойкость материалов. Изучение поведения материалов применительно к таким случаям должно учитывать весь комплекс условий, характерных для службы деталей. Вместе с тем для теории абразивного изнашивания, и в ряде случаев для руководства в деле борьбы с износом машин, представляет большой интерес изучение абразивной износостойкости металлов в случаях, не осложненных влиянием других дополнительных факторов.

Для такого изучения была разработана специальная методика испытания на абразивное изнашивание, подробное обоснование и описание которой было дано в наших статьях (¹). Идея этого испытания состоит в том, что образец из испытуемого металла в виде цилиндра диаметром 2,0 мм трется своим торцом о поверхность корундового полотна, натянутого на плоскую сторону вращающегося диска. Одновременно образец получает поступательное движение в радиальном направлении, так что путь трения его — спираль, и изнашивание происходит все время о свежую абразивную поверхность. При этом испытании применяется малая скорость трения, чтобы избежать возможных скоростных и тепловых эффектов, применяется малая нагрузка, чтобы избежать влияния прочности связи частиц абразива с его полотном, и применяется абразив, по своей твердости намного превосходящий твердость испытуемого материала.

Для избежания возможных влияний неоднородности в пределах как одного участка абразивного полотна, так и различных участков всего рулона, а также и разных рулонов, нами применено параллельно с испытанием образца изучаемого материала испытание в точно таких же условиях эталонного материала.

Непосредственно из испытания определяется по уменьшению длины образца изучаемого материала величина его линейного износа за определенную протяженность пути трения при заранее выбранных постоянных условиях испытания (нагрузка, характеристика абразивной поверхности и т. д.). Величина, обратная линейному износу, характеризует

износостойкость. Результатом испытания является определение «относительной износостойкости» путем деления износостойкости изучаемого металла на износостойкость эталона.

Результаты повторных испытаний одного и того же материала по этой методике дают сходящиеся с большой точностью результаты. Изложенная система ведения испытания и выражения его результатов позволила получить «относительные износостойкости» разных металлов и сплавов

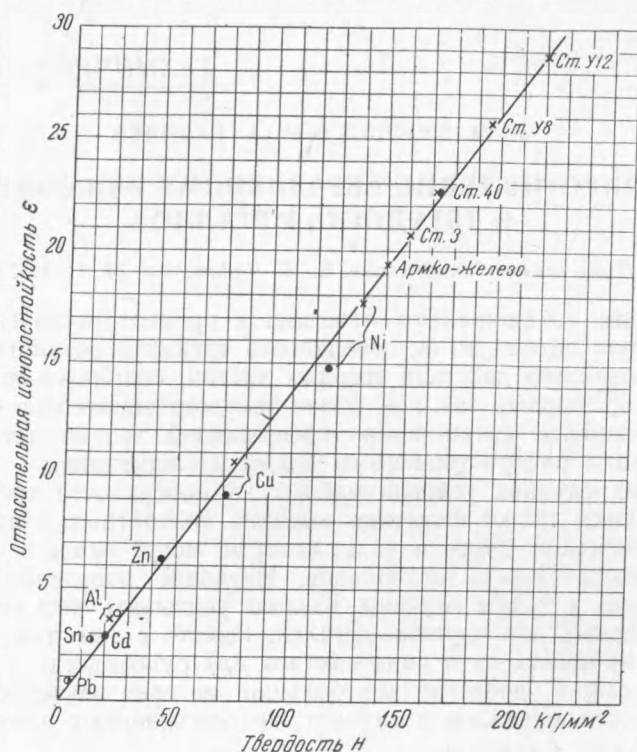


Рис. 1. Зависимость относительной износостойкости технически чистых металлов и термически необработанных углеродистых сталей от их твердости, определенной на приборе типа Виккерса. Кружки — опыты 1940 г., крестики — последние опыты

вполне сравнимыми между собой, если даже их испытания проводились в разное время с разрывом в несколько лет и применялись разные абразивные поверхности.

В результате испытаний, проведенных нами ранее (1), были выявлены некоторые общие закономерности абразивного изнашивания и сопоставлена относительная износостойкость (будем дальше для сокращения называть ее просто износостойкостью) ряда технически чистых металлов и стандартных подшипниковых сплавов с их твердостью. Мы нашли тогда, что между износостойкостью чистых металлов и их твердостью (определенной по Виккерсу) имеется линейная зависимость, очень близкая к прямой пропорциональности, и что для подшипниковых сплавов, отличающихся весьма неоднородной структурой, такой зависимости нет.

Теперь мы провели опыты с большим числом металлических материалов (технически чистые металлы и термически необработанные стали) в большом диапазоне твердостей и уверенно установили наличие прямой пропорциональности между относительной износостойкостью испытанных металлов и их твердостью. На рис. 1 представлены результа-

ты как прежних опытов 1940 г., так и опытов, проведенных теперь. Различие в твердости образцов одноименных технически чистых металлов объясняется различной степенью их чистоты.

Как видно из рис. 1, точки для армко-железа и углеродистых сталей марок Ст. 3, 40, У8 и У12 в термически необработанном состоянии легли на общую прямую, проходящую через начало координат.

Таблица 1

Содержание основных элементов в сталях, подвергнутых испытанию

Марки сталей	Ст. 3	40	У8	У12	Х12
Углерод в % .	0,16	0,41	0,86	1,10	2,35
Хром в % . .	—	—	—	—	11,9

термообработки приведены в табл. 2.

Опыты с термически обработанной сталью 40 были нами проведены ранее (2).

Результаты всех этих испытаний нанесены на диаграмму рис. 2. По оси ординат этой диаграммы отложены значения относительной износостойкости, отнесенные к тому же эталону, который был применен в опытах, представленных на рис. 1 (оловянно-свинцовый сплав).

Прямая линия, представляющая зависимость износостойкости от твердости для чистых металлов и сталей в термически необработанном состоянии, нанесена и на рис. 2. Последняя точка на этой линии относится к легированной литой стали, которая обозначена «Ф0» и имеет в термически необработанном виде твердость $H = 264 \text{ кг/мм}^2$.

Для термически обработанных сталей зависимость износостойкости от твердости имеет другой характер, чем выражаемая этой прямой. Для каждой испытанной термически обработанной стали имеется своя зависимость износостойкости от твердости. Износостойкость возрастает с увеличением твердости, но гораздо менее интенсивно, чем это имеет место для чистых металлов и термически необработанных сталей. Как видно из диаграммы рис. 2, зависимость износостойкости от твердости для сталей марок 40, У12 и Х12 имеет линейный характер; исходя из этого, на диаграмме рис. 2 для остальных сталей крайние точки соединены пунктирными прямыми. По мере увеличения в углеродистых сталях содержания углерода прямые, представляющие зависимость износостойкости от твердости для каждой стали, располагаются выше и имеют более крутой уклон.

Полученные данные указывают на то, что повышению легирования стали карбидообразующими элементами отвечает более высокое расположение на диаграмме соответственных прямых для каждой стали и более крутой уклон этих прямых. Вместе с тем прямая для чистых металлов, проходящая через начало координат, является как бы предельной по своему уклону; все точки для всех испытанных сталей в их термообработанном состоянии располагаются ниже этой прямой.

По той же методике нами были проведены испытания на абразивное изнашивание образцов различных по составу термически обработанных сталей, причем у одной и той же стали образцы различались по твердости, полученной в результате различной температуры отпуска после закалки.

В табл. 1 приведено содержание основных элементов некоторых из испытанных сталей; условия

Таблица 2

Условия термообработки испытанных сталей

Марка стали	Т-ра закалки в °	Закалочная среда	Т-ра отпуска в
У8	830	Масло	150
У12	800		150, 300, 450, 600
Х12	975	"	150, 300, 450, 600
Рф1	1280		Дважды 550
Ф0	860	"	150
40	820		Вола

Рассмотрение диаграммы рис. 2 позволяет сделать ряд важных выводов. Для термически необработанных сталей износостойкость при абразивном изнашивании повышается пропорционально их «естествен-

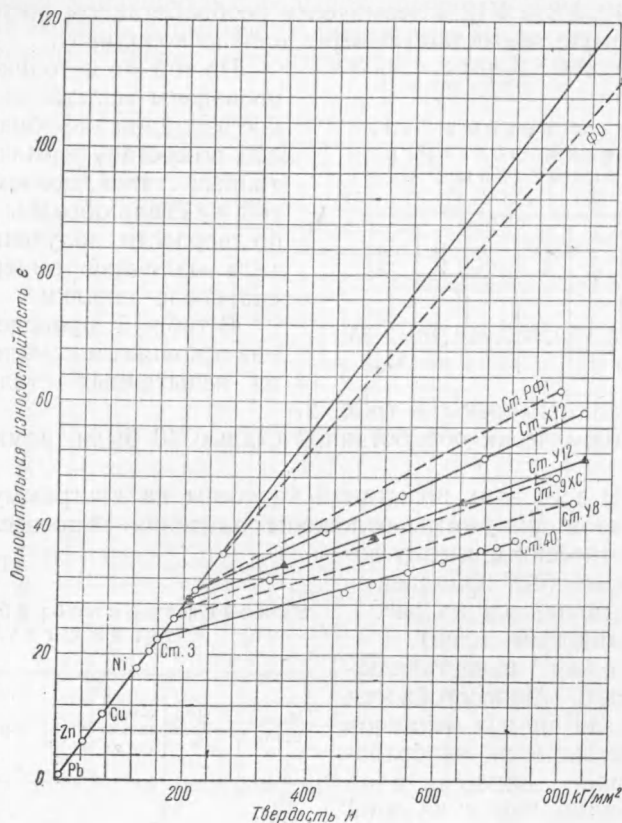


Рис. 2. Зависимость относительной износостойкости термически обработанных и необработанных сталей от их твердости, определенной на приборе типа Виккерса

ной» твердости, зависящей от состава; износостойкость однозначно определяется твердостью.

Для сталей в термически обработанном состоянии износостойкость при абразивном изнашивании повышается с повышением твердости линейно, но менее интенсивно, чем в первом случае, и зависит не только от твердости, но и от состава. Поэтому одной и той же твердости отвечает различная износостойкость термически обработанных сталей различных по составу.

На диаграмме рис. 2, которая охватывает широкий круг металлических материалов, включая чистые металлы и разные стали в термически обработанном и необработанном состояниях, впервые представлена общая картина связи их износостойкости при абразивном изнашивании и твердости.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
3 XI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. М. Хрущов, М. А. Бабичев, Трение и износ в машинах, Сборн. 1, изд. АН СССР, 1941. ² М. М. Хрущов, М. А. Бабичев, Сборн. Исследования в области машиноведения, изд. АН СССР, 1944.