

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. М. ХРУЩОВ, М. А. БАБИЧЕВ и Г. Н. ДУБИНИН

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
ПОСЛЕ ЕЕ ДИФФУЗИОННОГО ХРОМИРОВАНИЯ ПРИ ТРЕНИИ
В ПРИСУТСТВИИ НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ СРЕД**

(Представлено академиком Е. А. Чудаковым 8 VII 1953)

Высокая твердость, которую получает простая углеродистая сталь в результате диффузионного насыщения хромом (H_v свыше 1500 кг/мм^2), позволяет предполагать, что при этом она должна приобретать также соответственно высокую износостойкость. Это было с качественной стороны подтверждено экспериментально для некоторых сталей ⁽¹⁾. Вместе с тем систематические исследования износостойкости стали, обработанной методом диффузионного хромирования, отсутствуют; в частности, еще не освещен вопрос о влиянии содержания углерода в стали и конечной твердости ее поверхностного слоя на износостойкость. Этот пробел отчасти восполняется исследованием, проведенным авторами для частного случая абразивного изнашивания в присутствии некоторых жидких сред.

Образцы стали с разным содержанием углерода, изготовленные в виде пластин размером $25 \times 15 \times 3 \text{ мм}$, подвергались насыщению хромом из газовой среды. Методика газового насыщения стали хромом была описана ранее одним из авторов ⁽²⁾. Режим насыщения для всех образцов был принят одинаковым: температура процесса 1000° , продолжительность выдержки 6 час.

В табл. 1 приведена характеристика поверхностных зон насыщения по данным микроструктурного и рентгеноструктурного исследований.

Таблица 1

Фазовый состав и толщина внешней зоны образцов углеродистой стали после диффузионного хромирования

	Содержание углерода в %							
	0,03	0,15	0,25	0,47	0,65	0,85	1,03	1,18
Толщина внешнего слоя в мм	0,16	0,010	0,015	0,070	0,110	0,100	0,080	0,070
Фазовый состав	α -твердый раствор (Cr, Fe) ₂₃ C ₆							

Наличие сплошного слоя карбидной фазы наблюдается для стали, содержание углерода в которой превосходит 0,1%. Толщина слоя, занятого карбидной фазой, зависит от содержания углерода в стали; максимальная толщина обнаруживается для стали с средним содержанием углерода (0,65%).

Опыты по изнашиванию были проведены на машине модель Х2-М по методике, разработанной ранее ⁽³⁾. При этом испытании вращаю-

щийся вокруг вертикальной оси диск из сверхтвердого сплава толщиной 1,5 мм трется с небольшой скоростью своей цилиндрической поверхностью о плоскую сторону испытуемого образца, прижимаемого к диску с определенным усилием. Как диск, так и образец погружены в ванну с жидкостью, температура которой поддерживается постоянной. В результате трения диска об образец на поверхности последнего получается углубление в виде лунки. После определенного числа оборотов диска производится измерение длины лунки, по которой вычисляется ее объем. При постоянной внешней нагрузке и износе абразивного характера объем вытертой лунки пропорционален пути трения.

Испытания проводились при следующих условиях: 1) среда: а) 0,5% раствор K_2CrO_4 в дистиллированной воде, б) дистиллированная вода; 2) температура среды 30°; 3) нагрузка 3 кг; 4) диск из сверхтвердого сплава ($H_\mu = 2300$ кг/мм², определена при нагрузке 100 г на приборе для испытания на микротвердость), с зеркальной поверхностью, полученной при специальной доводке.

В пояснение выбора этих условий следует указать, что, как показали ранее проведенные испытания, изнашивание сталей при трении их о гладкий диск из сверхтвердого сплава в присутствии разных жидких сред подчиняется закономерностям абразивного изнашивания в известных границах примененного удельного давления и размеров вытертой лунки. Среда в виде 0,5% раствора хромовокислого калия в дистиллированной воде вызывает значительное усиление износа, по сравнению с трением при тех же условиях в присутствии дистиллированной воды; повышение концентрации раствора сверх 0,5% K_2CrO_4 не влияет на увеличение износа (4).

Поверхности образцов были шлифованы и после газового хромирования никакой дополнительной обработке не подвергались. Продолжительность испытания (отдельного опыта) была принята одинаковой для всех испытанных образцов (2000 оборотов диска) и по времени составляла 3,5 мин., что соответствует пути трения в 291 м.

Наряду с образцами сталей, явившимися объектами исследования, испытывался образец стали ШХ15 (в закаленном состоянии) в качестве эталона для оценки истирающей способности диска. За результат испытания принималась относительная износостойкость ε , представляющая отношение вытертого объема лунки эталона к вытертому объему лунки испытуемого образца при их испытании в равных условиях.

В табл. 2 приведены результаты испытаний углеродистой стали после газового хромирования, как в среде 0,5% раствора K_2CrO_4 (износо-

Таблица 2

Результаты испытания на изнашивание

Испытуемый образец		Твердость поверхности образцов, кг/мм ²		Относит. износостойкость			
		до хромир.	после хромир.	в растворе K_2CrO_4 , ε_p	в дистиллир. воде, ε_B	в растворе K_2CrO_4 (привед.), ε'_p	
сталь	содерж. углерода в %						
	Углеродистая	0,03	142	236	0,05	0,02	0,03
	"	0,15	148	840
	"	0,25	154	1145	1,48	0,5	0,83
	"	0,47	168	1525	1,85	0,66	1,04
	"	0,65	181	1650	2,16	0,74	1,21
	"	1,03	202	1790	2,37	0,82	1,33
ШХ15	1,18	210	1770	2,25	0,76	1,26	
	Концевая мера	840	—	1,00	1,00	0,56	

стойкость ϵ_p), так и в дистиллированной воде (износостойкость ϵ_3). Для сравнения между собой износостойкости одного и того же образца в этих двух средах надо сделать дополнительное приведение результатов к эталону, испытанному в какой-либо одной среде. Так например, при испытании хромированных образцов абсолютная величина износа эталона в 0,5% растворе K_2CrO_4 равнялась 0,0394 мм³, а в дистиллированной воде 0,0221 мм³. Поэтому для получения значений относительной износостойкости (ϵ'_p) образцов, полученной при испытании в растворе K_2CrO_4 и приведенной к эталону ШХ15, испытанному в дистиллированной воде, следует значения ϵ_p , указанные в табл. 2 для хромированной стали, умножить на коэффициент $\frac{0,0221}{0,0394} = 0,56$.

Твердость образцов до испытания на изнашивание определялась на приборе ПМТ-3 для испытаний на микротвердость, при нагрузке 50 г (наконечник — алмазная пирамида с углом 136°).

Сталь, содержащая 0,15% С, имела после газового хромирования очень тонкий твердый слой (толщина 10 м), так что вытертая лунка захватила основной материал. Так как результаты испытания на изнашивание оказались более

соответствующими свойствам основного материала, они нами опущены. У стали с содержанием 0,03% С слой, обогащенный хромом, имеет толщину порядка 160 м, состоит из твер-

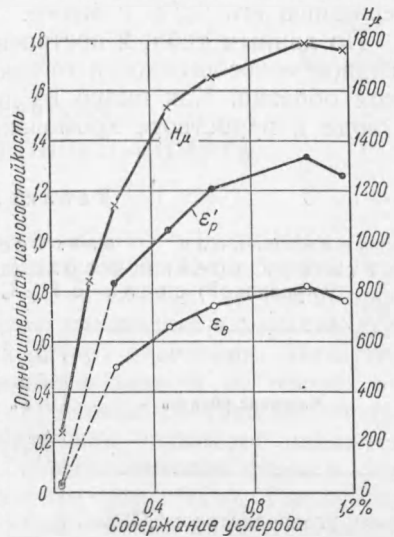


Рис. 1. Относительная износостойкость газохромированной стали в зависимости от содержания углерода

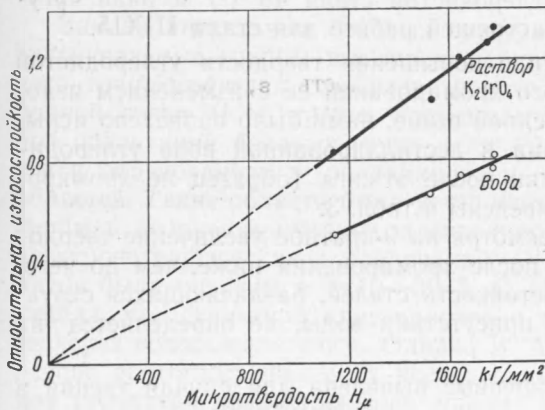


Рис. 2. Относительная износостойкость газохромированной стали в зависимости от твердости поверхностного слоя

результаты испытаний на изнашивание хромированной стали с 0,03—0,15% С надо считать несопоставимыми с результатами испытаний стали с содержанием углерода свыше 0,2%.

Данные об износостойкости сталей с содержанием углерода свыше 0,2% С относятся к карбидному слою без учета возможного непостоянства содержания хрома и твердости по толщине слоя.

Из данных табл. 2 и рис. 1 видно, что износостойкость стали, прошедшей диффузионное хромирование при трении в растворе K_2CrO_4 , зна-

соответствующими свойствам основного материала, они нами опущены. У стали с содержанием 0,03% С слой, обогащенный хромом, имеет толщину порядка 160 м, состоит из твердого раствора хрома в железе, имеет столбчатую структуру с выраженной текстурой и отличается пластичностью. Износ образца этой стали оказался во всех случаях повышенным, причем поверхность дна вытертой лунки имела задиры, в то время как поверхность дна лунки у образцов высокой твердости имела зеркальный вид. Это свидетельствует об имевшем место в процессе испытания малоуглеродистой стали налипании частиц испытуемого металла на диск, что меняло весь ход и характер изнашивания. Таким образом, ре-

чительно выше, чем при трении в воде; что изменение износостойкости в зависимости от исходного содержания углерода в стали аналогично изменению числа твердости; что максимальная износостойкость соответствует содержанию в стали около 1,0% углерода, а минимальная — содержанию его 0,2% и менее.

По данным табл. 2 построена диаграмма рис. 2, где значения относительной износостойкости отложены в функции твердости поверхностного слоя образца. Как видно из диаграммы, для обеих серий испытаний — в воде и в растворе хромовокислого калия — экспериментальные точки

для образцов с содержанием углерода 0,2% и более сгруппировались около двух прямых, направленных через начало координат. Как видно из диаграммы рис. 2, износостойкость хромированной углеродистой стали, поверхностный слой которой состоит из карбидной фазы, оказывается при трении в обеих средах пропорциональной твердости, причем коэффициент пропорциональности свой для каждой среды.

Для данных сложных условий абразивного изнашивания в присутствии активных сред износостойкость сталей и ее зависимость от различных факторов почти не исследована.

Таблица 3
Относительная износостойкость при трении в воде (дистиллированной) стали с 1% С

Материал образца	Твердость по- верхности, кг/мм ²	Отнош. из- носостойкость в воде ϵ_B
Сталь углеродистая с 1,03% С после отжига	202	0,94
Сталь углеродистая с 1,03% С после газового хромирова- ния	1790	0,82
Сталь ШХ15 закаленная (эта- лон)	840	1,00

Износ хромированной стали в дистиллированной воде оказался выше, чем в растворе хромовокислого калия, в противоположность тому, что ранее было установлено некоторыми из авторов при испытании углеродистой стали 45⁽³⁾ и ряда чугунов⁽⁴⁾, а также установлено в настоящей работе для стали ШХ15.

Представляет интерес сравнение повышения твердости углеродистой стали в результате диффузионного хромирования ее с изменением износостойкости. По методике, изложенной выше, нами было проведено испытание на изнашивание при трении в дистиллированной воде углеродистой стали с 1,03% С в состоянии после отжига (образец не хромирован). Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из этих данных видно, что, несмотря на 9-кратное увеличение твердости, износостойкость этой стали после хромирования ниже, чем до него. Это указывает на то, что износостойкость сталей, различающихся структурой и составом при трении в присутствии воды, не определяется их твердостью.

В изложенной выше работе впервые выявлена для случая трения в присутствии активной среды зависимость износостойкости углеродистой стали, обогащенной хромом в результате диффузионного хромирования, от содержания углерода (рис. 1), от твердости поверхностного слоя (рис. 2) и свойств жидкой среды на поверхности трения.

Поступило
8 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. М. Морозова, Э. Д. Спивак, Термическая обработка в станкостроении, М., 1949. ² Г. Н. Дубинин, Хромирование стали, М., 1950. ³ М. М. Хрущов, М. А. Бабичев, Сборн. Исследования в области машиноведения, изд. АН СССР, 1944. ⁴ М. М. Хрущов, Зав. лаб., 7, № 5, 590 (1935).