

Er. 6.7

TALLINNA POLÛTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 219

**ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ
МЕТАЛЛОВ**

СБОРНИК СТАТЕЙ

I



УДК 620.178

ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

СБОРНИК СТАТЕЙ

I

ТАЛЛИН 1965

1955

МЕТАЛЛОВ
И СПЛАВОВ

СБОРНИК СТАТЕЙ

Sp. 6749



А. Ингерма

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛИ 12ХН2

Исследование влияния предварительной пластической деформации на выносливость стали является актуальной задачей в машиностроении.

Равномерная по сечению пластическая деформация гладкого образца может быть осуществлена осевым растяжением или сжатием.

Неравномерная деформация создается в основном обкаткой роликами или дробеструйной обработкой, а также пластическим кручением или изгибом.

Если глубоко изучено влияние неравномерной пластической деформации на выносливость (работы ЦНИИТМАШа и др.), то по равномерному наклепу имеются малочисленные работы, данные которых часто противоречивы. Особенно мало изучено влияние малых пластических деформаций на выносливость.

Краткий обзор данных об усталостных свойствах деформированных металлов можно найти в работе Н. И. Черняка [1].

Имеющиеся работы можно разделить на две группы в зависимости от последовательности пластической деформации и механической обработки.

а) Пластически деформировали заготовки, из которых затем изготовили образцы механической обработкой.

б) Пластическая деформация производилась после изготовления образцов.

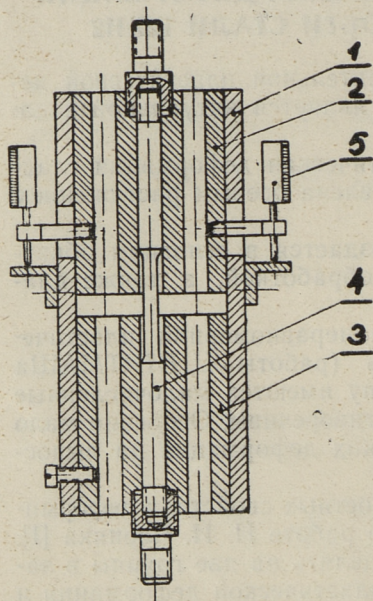
Такое разделение имеет большое значение, так как в первом случае образцы после предварительной пластической деформации подвергались механической обработке в рабочей части, что вносит существенное искажение в результаты исследования, связанные с дополнительным наклепом от механической обработки поверхностных слоев образца.

Во втором случае имеется возможность исследовать влияние предварительной пластической деформации, без влияния этого фактора.

В настоящей работе рассматривается вопрос о влиянии предварительно созданной равномерной деформации растяжения и неравномерной деформации кручения на выносливость стали 12ХН2.

Методика исследования

Для сохранения соосности при растяжении образцов было сконструировано приспособление (фиг. 1), которое состоит из трех частей: направляющего цилиндра 1, подвижного захвата 2 и неподвижного захвата 3. Деформация образца 4



Фиг. 1. Приспособление для растяжения образца:

1 — направляющий цилиндр, 2 — подвижный захват, 3 — неподвижный захват, 4 — образец, 5 — индикатор часового типа

определялась относительным движением подвижного и неподвижного захватов и степень деформации при растяжении измерялась индикатором часового типа 5 с точностью 0,01 мм.

Влияние удлинения галтелей образца было заранее исследовано и ошибка в измерении деформации не превышала 5%.

Испытаниям подвергалась сталь 12ХН2, химический состав (в %) которой приведен в табл. 1.

Таблица 1

Марка стали	С	Мп	Si	Cr	Ni	С и Р
12ХН2	0,14	0,51	0,25	0,80	1,80	0,02

Заготовки, предназначенные для изготовления образцов, подвергались нормализации при 900° с выдержкой при указанной температуре 0,5 часа.

Для уменьшения внутренних напряжений производили отпуск по следующему режиму — нагрев до 650° , выдержка при указанной температуре 1 час.

Механические свойства после термической обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2

σ_b кг/мм ²	σ_T кг/мм ²	τ_T кг/мм ²	$\delta_{10}\%$	$\psi\%$	H_B кг/мм ²
55,0	42,5	25,2	27,4	74,5	207

Токарная обработка выполнялась на токарном станке 1А616 в два прохода:

- черновое точение — при скорости резания $V=28$ м/мин, подаче $S=0,1$ мм/об и глубине резания $t=1,5$ мм;
- чистовое точение — при скорости резания $V=40$ м/мин, подаче $S=0,1$ мм/об и глубине резания $t=0,25$ мм.

После токарной обработки проводилось шлифование образцов абразивным кругом Э60СМ2 КПП $\varnothing 320$ мм при окружной скорости шлифовального круга $V=38$ м/сек, глубине резания $t=0,02$ мм и числе оборотов образца $n_{60} = 100$ об/мин с охлаждением.

Шероховатость поверхности рабочей части соответствовала $\nabla 8$.

Испытания на выносливость проводились при чистом изгибе с вращением на машинах типа НУ. Базой испытания являлось 10^7 циклов.

Все образцы были разделены на три партии (А, Б и В).

Материал образцов партии А растягивался в заготовках и потом из них изготавливали образцы, образцы партии Б растягивались после механической обработки, образцы партии В проходили пластическое кручение после механической обработки.

Результаты испытаний на выносливость

Партия А. Растяжение до механической обработки

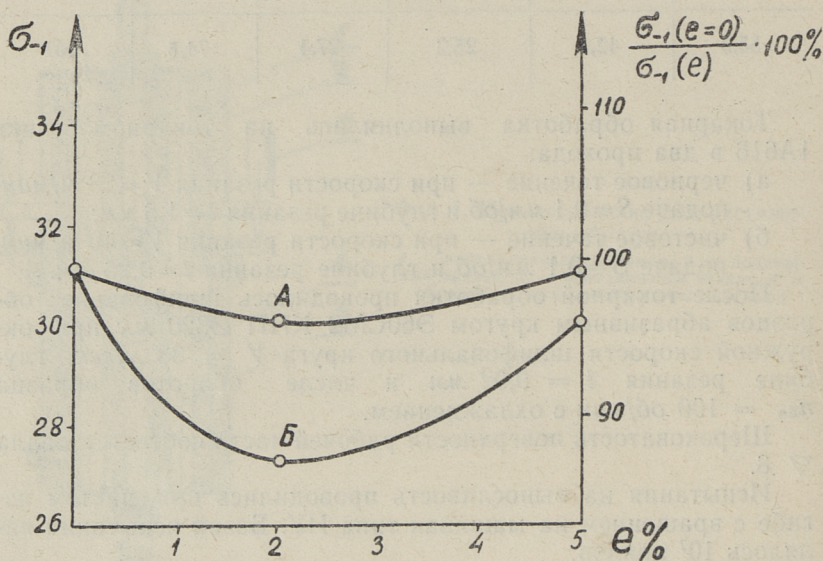
Испытывались три группы образцов:

- не растянутые $e = 0\%$,
- растянутые $e = 2\%$,
- растянутые $e = 5\%$.

Значения пределов выносливости приведены в табл. 3.

Таблица 3

Г р у п п а	Количество образцов	e %	σ_{-1} кг/мм ²	$\frac{\sigma_{-1}(e)}{\sigma_{-1}(e=0)} \cdot 100\%$
а	10	0	31,2	100,0
б	14	2,0	30,1	96,5
в	13	5,0	31,5	101,0



Фиг. 2. Зависимость предела выносливости σ_{-1} от степени деформации растяжения e

На фиг. 2 приведена кривая изменения предела выносливости, в зависимости от степени деформации.

Как видно, кривая имеет слабо выраженный минимум при $e = 2\%$. При увеличении деформации предел выносливости увеличивается и достигает первоначальной величины.

Партия Б. Растяжение после механической обработки

Испытывались три группы образцов:

- не растянутые $e = 0\%$,
- растянутые на $e = 2\%$,
- растянутые на $e = 5\%$.

Значения пределов выносливости приведены в табл. 4.

Таблица 4

Г р у п п а	Количество образцов	$e \%$	σ_{-1} кг/мм ²	$\frac{\sigma_{-1}(e)}{\sigma_{-1}(e=0)} \cdot 100\%$
а	10	0	31,2	100,0
б	11	2	27,3	87,5
в	10	5	30,0	96,0

Кривая изменения предела выносливости зависимости от степени деформации приведена на фиг. 2.

Кривая усталости имеет ярко выраженный минимум при $e = 2\%$, что хорошо согласуется с аналогичными опытами, проведенными впервые Н. И. Черняком [2]. Дальнейшее увеличение деформаций приводит к росту предела выносливости.

П а р т и я В. Пластическое кручение после механической обработки

Пластическое кручение проводилось в вышеуказанном приспособлении, причем пользовались другими захватами и образец снабжался вырезом, дающим возможность передавать крутящий момент посредством клина (фиг. 3). Остаточный угол скручивания определяли поворотом подвижного захвата по шкале на внешнем цилиндре с точностью $\pm 2^\circ$.

Степень закручивания соответствовала значению относительного удлинения $e = 2\%$ и $e = 5\%$.

Связь между углом закручивания и относительным удлинением периферийных волокон при кручении определялась по формуле

$$\varphi = \frac{2L}{D} \cdot \frac{(1+e)^2 - 1}{1+e},$$

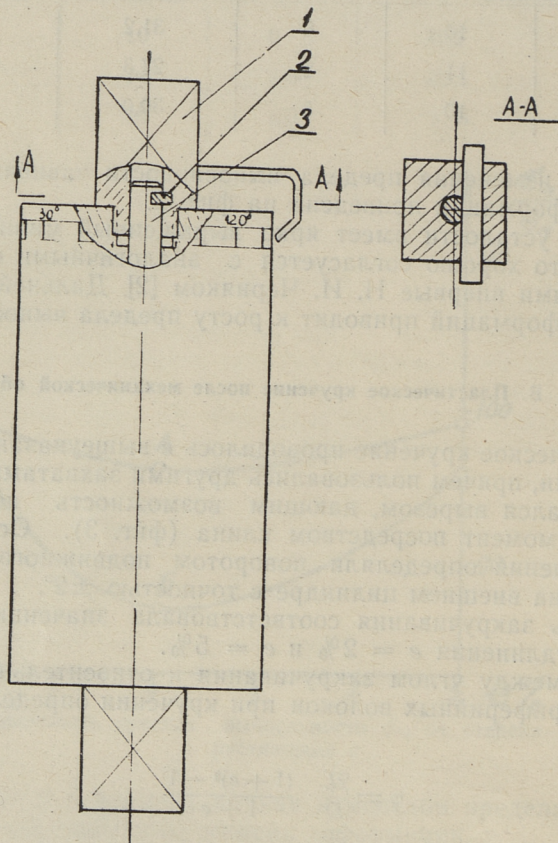
где φ — угол закручивания, в радианах,

L — длина рабочей части образца, в мм,

D — диаметр рабочей части образца, в мм,

e — относительное удлинение периферийных волокон при кручении, определяемое по относительному сдвигу $\gamma_{кр}$.

Относительный сдвиг $\gamma_{кр} = \frac{\varphi \cdot D}{2L}$ при пластических деформациях кручения связан с относительным удлинением.



Фиг. 3. Приспособление для кручения образца:
 1 — подвижный захват, 2 — клин, 3 — образец

$$e = \frac{\gamma_{кр}}{2} - 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\gamma_{кр}}{2}\right)^2}$$

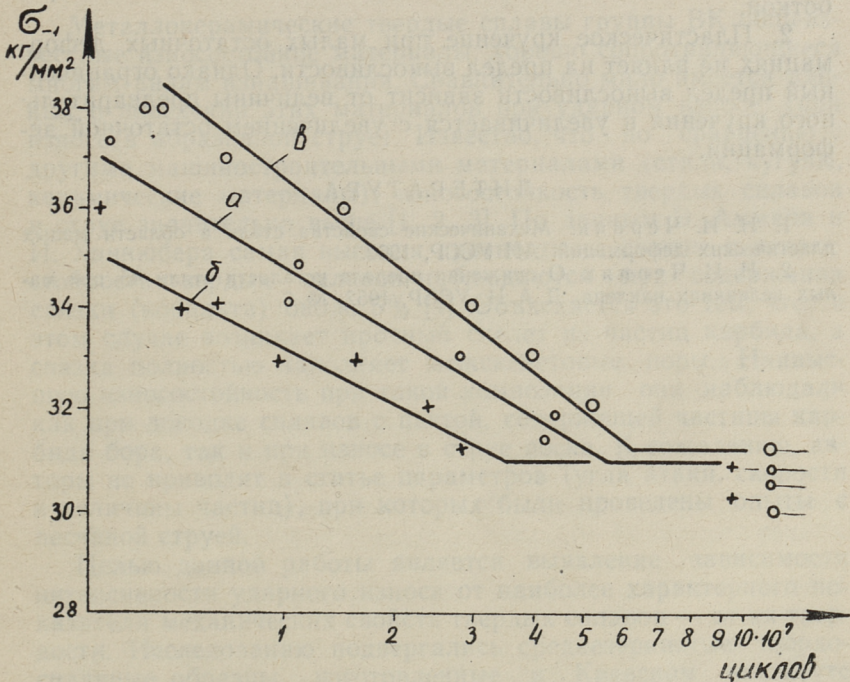
При малых деформациях можно принимать

$$e = \frac{\gamma_{кр}}{2} = \frac{\varphi D}{4L}$$

Испытывались три группы образцов партии В:

- а) не закрученные $e = 0\%$, $\varphi = 0$;
- б) закрученные $e = 2\%$, $\varphi = 30^\circ$;
- в) закрученные $e = 5\%$, $\varphi = 70^\circ$.

Кривые выносливости представлены на фиг. 4. Из этих данных следует, что предел выносливости не зависит от вели-



Фиг. 4. Зависимость предела выносливости от степени деформации кручения:

- а — угол остаточного закручивания, $\varphi = 0$
- б — „ „ „ „ „ $\varphi = 30^\circ$
- в — „ „ „ „ „ $\varphi = 70^\circ$

чины предварительного закручивания (в пределах точности опыта), в то время когда ограниченный предел выносливости в наших исследованиях зависит от величины деформации.

При деформации $e = 2\%$ ограниченный предел выносливости меньше, а при деформации $e = 5\%$ больше, чем у недеформированных образцов.

Заключение

1. Установлено, что при малых пластических деформациях, полученных при предварительном растяжении, происходит снижение усталостной прочности стали 12ХН2.

Снижение предела выносливости наблюдается как у образцов растянутых до механической обработки, так и растянутых после механической обработки. Однако у образцов, растянутых после механической обработки, минимум ярче выражен, что можно объяснить отсутствием влияния дополнительного поверхностного наклепа, создаваемого механической обработкой.

2. Пластическое кручение при малых остаточных деформациях не влияет на предел выносливости. Однако ограниченный предел выносливости зависит от величины предварительного кручения и увеличивается с увеличением остаточной деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Черняк. Механические свойства стали в области малых пластических деформаций. АН УССР, 1962.
2. Н. И. Черняк. О снижении предела усталости стали 45 при малых величинах наклепа. Д. А. Н. УССР, 1952, № 6.

УДК 620.178.167

И. Клейс

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОГО ИЗНОСА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ РАЗНОЙ ТВЕРДОСТИ

Металлокерамические твердые сплавы группы ВК общеизвестные износостойкие материалы, хорошо сопротивляющиеся многим видам изнашивания. Сравнительно мало имеется данных о поведении этих материалов при ударном износе (при износе в абразивной струе). Известно, что по сравнению с другими машиностроительными материалами (стали, чугуны, керамические материалы), износостойкость твердых сплавов в струе значительно выше [1, 2, 3]. По данным Э. Аммана и И. Хиннюбера самая высокая прочность на сжатие и износостойкость твердых сплавов наблюдаются при содержании связки (кобальта) около 5% [4]. Объясняется это тем, что в этом случае возникает прочный скелет из частиц карбида, а связка полностью заполняет межскелетовые поры. Наивысшую износостойкость при такой композиции они наблюдали как при доводке сплавов с пастой, содержащей частицы карбида бора, так и при износе в струе песка. К сожалению, авторы не приводят в статье параметров (угла атаки, скорости и величины частиц), при которых были проведены опыты с песчаной струей.

Целью данной работы является выявление зависимости интенсивности ударного износа от наиболее характерного показателя механических свойств твердых сплавов — от их твердости. Исследованию подвергались среднезернистые твердосплавные образцы, изготовленные в Киевском институте сверхтвердых материалов в порядке содружества. Специальные, в равных условиях и из одинаковых исходных материалов изготовленные образцы применяли по той причине, что наши ранние опыты со случайными торговыми марками из разных партий дали очень большой разброс опытных данных. Это объясняется разной крупностью исходных порошков, разной пористостью и технологией изготовления торговых твер-

досплавных пластинок [3]. Образцы имели форму прямоугольного параллелепипеда размерами $21 \times 21 \times 4,5$ мм. Характерные данные испытанных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные испытанных твердых сплавов

Марка материала	Удельный вес $\Gamma/\text{см}^3$	Предел прочности при изгибе $\text{кг}/\text{мм}^2$	Твердость по Роквеллу R_A	Твердость по Виккерсу H_V $\text{кг}/\text{мм}^2$
ВК 3	15,1	115	90,5	1610*
ВК 6	14,8	136	89,0	1480
ВК 9	14,5	173	89,0	1350
ВК 15	14,1	173	87,1	1185
ВК 25	13,0	216	83,6	920

При опытах были использованы следующие абразивные материалы: белый электрокорунд ($H_V \approx 2200$ $\text{кг}/\text{мм}^2$, т. е. тверже всех испытанных сплавов), кварцевый песок ($H_V \approx 1200$ $\text{кг}/\text{мм}^2$, тверже марки ВК 25) и стеклянный порошок ($H_V \approx 550$ $\text{кг}/\text{мм}^2$ — мягче всех испытанных сплавов). Все абразивные порошки имели крупность 0,4... 1,0 мм.

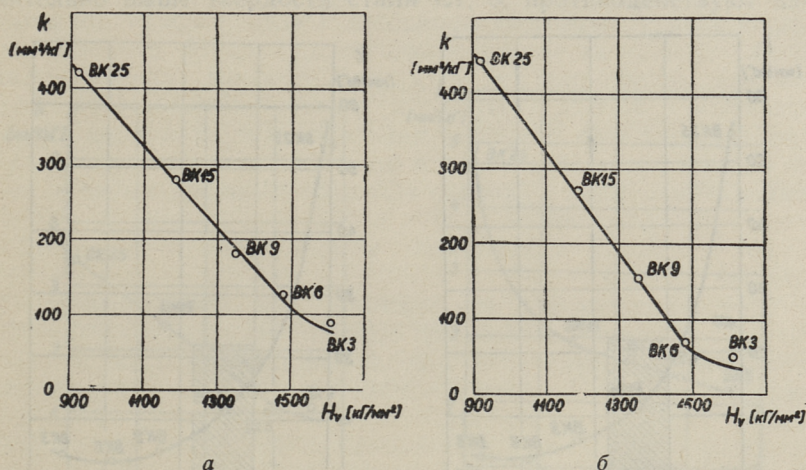
Испытания проводились в лаборатории износостойкости кафедры деталей машин Таллинского политехнического института на машине центробежного типа, принцип работы которой описан в труде [5]. Средняя скорость абразивной струи была 165 м/сек, углы атаки между абразивной струей и поверхностью образца — 45 и 90°. Предварительно все образцы прирабатывались, после чего проводились основные опыты. Режимы приработки были те же, что и при основных опытах. На каждом режиме испытывали три образца одного состава. Образцы из всех марок находились при опыте в машине одновременно. Кроме твердосплавных образцов в машине закреплялись эталонные образцы из стали Ст. 3. Это позволяло определить относительную износостойкость твердых сплавов. Величина износа образцов определялась взвешиванием на аналитических весах.

Результаты опытов даны в виде графиков на фиг. 1... 3 и в табл. 2. Точки на графиках отображают средний результат исследования трех образцов. На вертикальной оси графиков отложена интенсивность изнашивания « k » в $\text{мм}^3/\text{кг}$ (износ в мм^3 , соответствующий одному килограмму абразива, попадающего на образец) и на горизонтальной оси — средняя

* Твердости по Виккерсу определены в Таллинском политехническом институте с грузом 50 кг.

твердость образцов по Виккерсу. Заштрихованная часть на фиг. 2 соответствует твердости абразива (кварца).

На фиг. 1 даются зависимости, полученные электрокорундом. Экспериментальные точки четырех материалов, как видно, хорошо совпадают с прямой. Только точка самого твердого сплава — ВК3 — находится несколько выше.



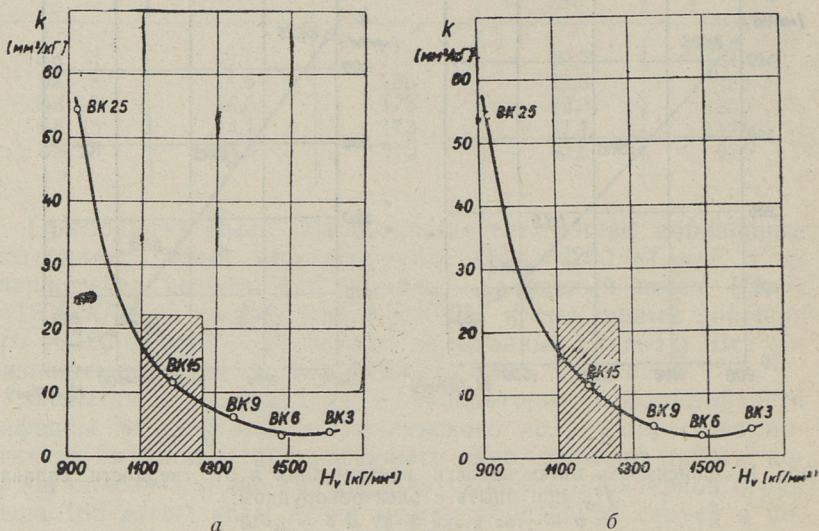
Фиг. 1. Зависимость интенсивности изнашивания k от твердости сплава H_v при опыте с электрокорундом:
 a — угол атаки $\alpha=45^\circ$ и b — $\alpha=90^\circ$

Таблица 2

Относительные износостойкости твердых сплавов в зависимости от абразивного материала и угла атаки

Марка твердого сплава	Абразивный материал					
	Стекло		Кварц		Электрокорунд	
	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$
ВК 3	420	204	78	47	6,6	6,9
ВК 6	465	178	91	62	4,7	5,0
ВК 9	238	143	51	44	3,3	2,4
ВК 15	193	132	27	19	2,1	1,3
ВК 25	136	51	5,8	4,0	1,4	0,8

На фиг. 2 изображены графики, полученные с кварцем. Характер этих кривых следующий. В области, где твердость материала выше твердости абразива (точки ВК3, ВК6 и ВК9), интенсивности изнашивания отличаются друг от друга мало. Самым износостойким из трех названных материалов является ВК6, структура которого очевидно самая близкая к оптимальной в условиях усталостного износа (т. е. прочный



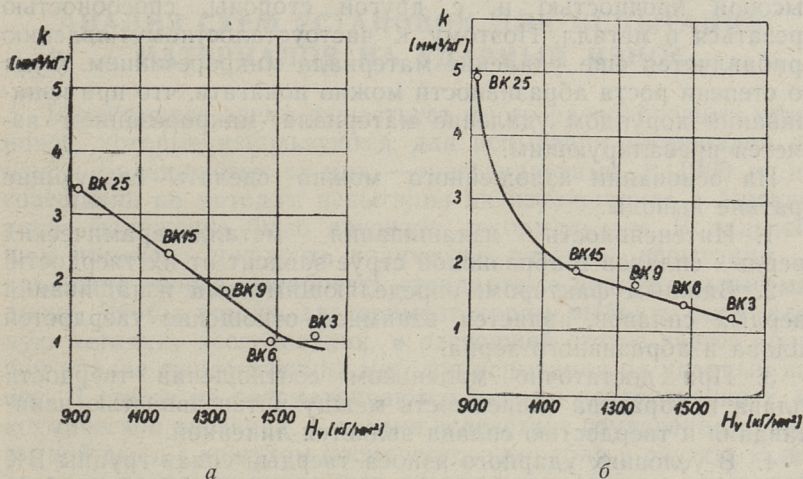
Фиг. 2. Зависимость интенсивности изнашивания k от твердости сплава H_v при опыте с кварцем:

a — угол атаки $\alpha=45^\circ$ и b — $\alpha=90^\circ$

скелет из частиц карбида вольфрама полностью заполнен кобальтом). Интенсивность изнашивания сплава ВК15, твердость которого примерно равна твердости кварца, уже заметно выше. Резкое повышение интенсивности изнашивания наблюдается после того, как твердость материала становится ниже твердости абразива (ВК25). Отсюда следует, что важным фактором, резко увеличивающим износ, является способность абразивной частицы врезаться в металл. Сказанное подтверждается также сравнением опытных данных, полученных электрокорундом и абразивами, твердость которых ниже твердости материала.

Результаты опытов со стеклянным порошком изображены на фиг. 3. Также в этом случае с повышением твердости износостойкость сплавов увеличивается.

В табл. 2 даются относительные износостойкости твердых сплавов. Цифры в таблице показывают, во сколько раз интенсивность изнашивания данного материала меньше интенсивности материала Ст. 3. Интересен тот факт, что твердые сплавы имеют заметное преимущество перед сталью только при условии, когда их твердость выше твердости абразива. Сплавы ВК25 и ВК15, несмотря на то, что их твердость значительно выше твердости стали Ст. 3, противодействуют из-



Фиг. 3. Зависимость интенсивности изнашивания k от твердости сплава H_V при опыте со стеклянным порошком:

а — угол атаки $\alpha=45^\circ$ и б — $\alpha=90^\circ$

нашиванию в струе электрокорунда практически одинаково со сталью.

Интересно также сравнить абразивность изнашивающих частиц относительно стали Ст. 3 и твердых сплавов. При угле атаки 45° интенсивности изнашивания стали Ст. 3, полученные со стеклом, кварцем и корундом, относятся как 1:0,67:1,27. Отношения при $\alpha=90^\circ$ — 1:0,86:1,41. Все абразивы значительно тверже стали Ст. 3 и самая низкая абразивность кварцевого песка объясняется наибольшей круглостью ее зерен (т. е. наименьшей способностью врезаться в металл). Соответствующие отношения в случае твердого сплава ВК3 следующие: при $\alpha=45^\circ$ — 1:3,6:81 и при $\alpha=90^\circ$ — 1:3,7:42. Следовательно, у твердых сплавов наоборот — абразивность кварца заметно больше абразивности стекла. Полагая, что

износ твердых сплавов в струе стекла и кварца вызван только усталостными явлениями в поверхностных слоях материала (врезание абразивных зерен невероятно), это обстоятельство можно объяснить большей ударной прочностью зерен кварца. Разрушаясь меньше, частицы кварца при ударах вызывают в материале по сравнению с частицами стекла большую концентрацию ударной энергии (тем самым и более высокие контактные напряжения), следовательно и более интенсивное протекание усталостных процессов. Очень высокая абразивность корундовых частиц объясняется, с одной стороны, их высокой прочностью и, с другой стороны, способностью врезаться в металл. Поэтому к чистоусталостному явлению прибавляется еще удаление материала микрорезанием. Судя по степени роста абразивности можно полагать, что при изнашивании корундом удаление материала микрорезанием является преобладающим.

На основании изложенного можно сделать следующие краткие выводы.

1. Интенсивность изнашивания металлокерамических твердых сплавов в абразивной струе зависит от их твердости.

2. Важным фактором, определяющим темп изнашивания твердых сплавов, является взаимное отношение твердостей сплава и абразивного зерна.

3. При достаточно маленьком соотношении твердости сплава и абразива зависимость между интенсивностью изнашивания и твердостью сплава является линейной.

4. В условиях ударного износа твердый сплав группы ВК теряет свои преимущества перед сталью, если твердость абразивных частиц намного превышает твердость сплава.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Wellinger, H. Uetz. VDI — Forschungsheft 449, Ausgabe B, Band 21, 1955.

2. И. Клейс. Бюллетень научно-технической информации «Силикальцит» 1/2, 1959.

3. Р. Киффер, П. Шварцкопф. Твердые сплавы. Металлургиздат, 1957.

4. E. Amman, J. Hinnüber. «Stahl und Eisen», Heft 21, 1951.

5. Клейс. Труды ТПИ, серия А, № 152, 1958.

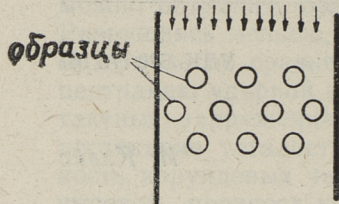
И. Клейс

АНАЛИЗ СХЕМ УСТАНОВОК ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА УДАРНЫЙ ИЗНОС

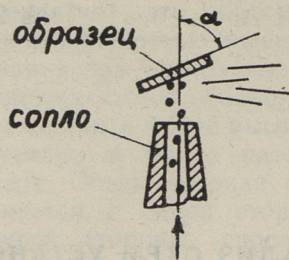
В настоящее время существует много разнообразных установок, которые используются для испытания материалов на износ. Большинство из них — нестандартные. В 1960 г., на совещании по методам испытания на изнашивание в Москве, такое положение было признано ненормальным. В дальнейшем намечено сократить количество методов испытания и возможно скорее выработать стандартные испытательные машины. Чтобы помочь экспериментаторам выбрать оптимальную методику исследования, в настоящей статье дается краткий анализ существующих методов испытания на ударный износ. В статье не рассматриваются методы исследования т. н. космической эрозии, т. е. эрозии вследствие соударения метеоритной пыли с кожухом космического корабля и ракеты. В последнем случае применяются специальные методы исследования, позволяющие ускорить твердые частицы до сверхвысоких скоростей [1]. Ударным износом в данном случае называется разрушение поверхностного слоя деталей вследствие ударов свободно движущихся абразивных частиц.

По принципу действия рассматриваемые испытательные установки можно разделить на три группы: 1) установки, в которых ускорителем твердых частиц является газовая струя, 2) гравитационные установки и 3) механические установки. На фигуре 1 изображены все основные схемы установок. Из них схемы «а» и «б» относятся к первой группе, «в» — второй и «г», «д», «е» — к третьей группе. Кроме указанных, можно создать также установки с комбинированными схемами (напр. пневмо-механические и пр.).

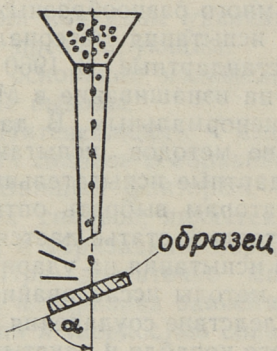
По схеме «а» обычно испытывают образцы цилиндрической формы (трубы). Образцы располагаются по определенному порядку в шахте, через которую проходит газовый поток. Газовый поток увлекает за собой абразивные частицы, которые соударяются с образцами. Таковую схему испытания



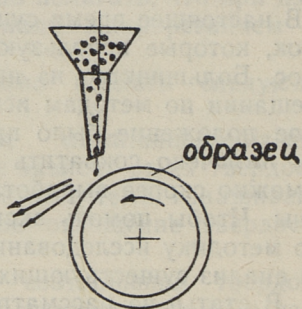
a



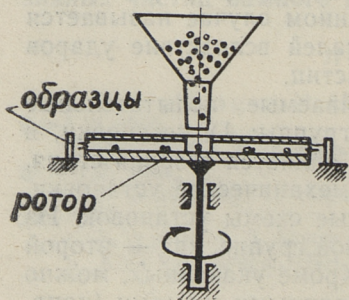
б



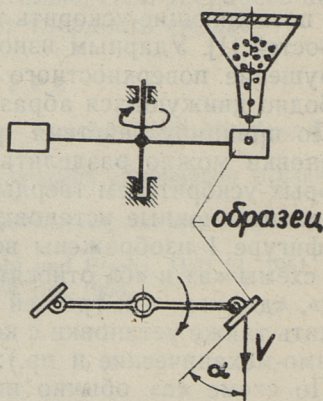
в



г



д



е

Фиг. 1. Схемы установок для испытания материалов на ударный износ

применял ряд авторов для исследования износа котельных труб. Вместо дымовых газов в лабораторных условиях для разгона твердых частиц обыкновенно использовали воздух.

Наиболее распространенной схемой является схема «б» [2, 3, 4, 5, 6, 7 и др.], являясь также основой соответствующего немецкого стандарта *DIN* № 50332. Плоский образец устанавливается под определенным углом перед соплом, через которое подается газовая струя (угол α в дальнейшем называется углом атаки). В газовую струю перед выходом из сопла вводят абразивные частицы. Последние захватываются и смешиваются с газовым потоком и направляются на образец. Кроме плоских образцов иногда пользуются также цилиндрическими образцами [4] или образцами специальной формы [5].

Схемы «а» и «б» имеют ряд общих недостатков. Во-первых, в пневматических установках по аэродинамическим причинам возникают искажения траекторий и скоростей абразивных частиц. Встречая препятствия, газовая струя отклоняется и вместе с ней изменяют направление полета и абразивные частицы. Отклонение частицы тем больше, чем меньше ее масса и скорость. В связи с искажениями траектории частиц, число попаданий в разных точках образца оказывается разным. Это обстоятельство особенно мешает в случае применения цилиндрических образцов, т. к. нет возможности установить, сколько попаданий под каждым углом атаки получает образец.

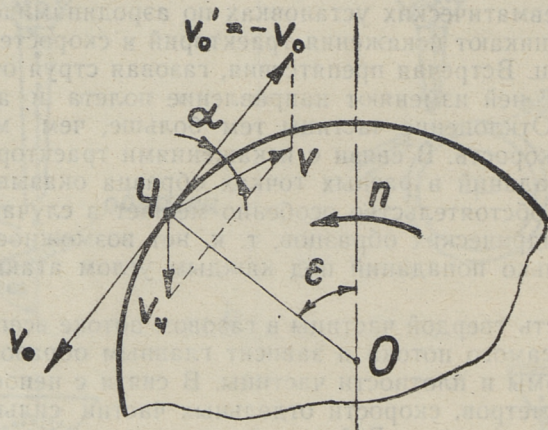
Скорость твердой частицы в газовом потоке всегда меньше скорости самого потока и зависит главным образом от величины, формы и плотности частицы. В связи с непостоянством этих параметров, скорости отдельных частиц сильно отличаются друг от друга. Действительную скорость частиц возможно установить лишь скоростными киносъемками [6, 7]. В условиях заводских лабораторий метод киносъемок следует считать слишком сложным и дорогим.

Кроме указанных принципиальных недостатков, пневматические установки являются также неэкономичными, т. к. имеют низкий к. п. д. и требуют множество дополнительных устройств (компрессор, трубопровод, промежуточный газовый бак, газоочиститель и т. п.). Поэтому схему «а» следует считать применимой только для грубых полупромышленных испытаний, целью которых является сравнение суммарной износостойкости котельных труб. При этом должно соблюдаться требование, при котором аэродинамические условия в установке и в газоходе котла совпадают. Что касается схемы «б», то ее использование для исследования некоторых специальных вопросов обосновано (напр. для выявления влияния тем-

пературы и химического состава среды на износ металлов [4, 5, 7]).

Наиболее простой является схема «в». Из бункера под действием силы тяжести твердые частицы падают на образец, закрепленный под определенным углом относительно вертикали. Применение таких установок граничивает то, что достичь скорости частиц свыше 10 м/сек практически невозможно. Даже в этом случае габариты установки по высоте достигают свыше 5 м.

Гравитационную схему «в» довольно широко используют в эмалевой промышленности для сравнения стойкости эмалевых покрытий против истирания [8], а также для оценки истираемости лакокрасочных покрытий (ОСТ 10086-39). Для исследования износа металлических сплавов схему «в» применял В. Н. Кашеев [9, 10].



Фиг. 2. Схема к определению угла атаки α в установке В. Н. Кашеева

Схему «г» применял также В. Н. Кашеев. На установке подобного типа им выполнен целый ряд исследований [10, 11, 12 и др.]. В данном случае образец представляет собой быстро вращающееся кольцо, на которое падают абразивные частицы. Схема простая и компактная, однако имеет серьезные недостатки, которые проанализируем ниже.

На фиг. 2 показана векторная схема, где $v_ч$ обозначает скорость частицы в момент ее соприкосновения с поверхностью образца и v_0 — окружную скорость образца. Угол ϵ определяет место соприкосновения частицы Ч с образцом. Для нахождения угла атаки и скорости соударения v придаем всей системе дополнительное движение со скоростью $v'_0 = -v_0$,

в результате чего образец становится неподвижным. К вектору $v_ч$ прикладывается вектор v'_0 и их сумма дает нам скорость соударения v . Легко доказать, что

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_ч^2 - 2v_0 v_ч \sin \varepsilon} \quad (1)$$

и

$$\alpha = \arctg \frac{v_ч \cos \varepsilon}{v_0 - v_ч \sin \varepsilon} \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) выясняется, что при $\varepsilon = \text{const}$ $\alpha = f(v)$, т. е. угол атаки и скорость соударения между собой функционально связаны. Поэтому невозможно исследовать влияние угла атаки и скорости частиц на интенсивность изнашивания, оставляя один из этих параметров постоянным. Только с варьированием угла ε можно в очень узких пределах изучать влияние угла атаки при постоянной скорости соударения.

Анализ уравнения (2) показывает, что схема «г» позволяет провести опыты только при малых углах атаки. Для получения $\alpha = 90^\circ$, v_0 и ε должны равняться нулю. В этом случае $v = v_ч$ и схема превращается в схему «в».

Во многих опытах В. Н. Кашеева высота падения частиц равнялась 90 см, что дает $v_ч = 4,2$ м/сек. Принимая $\varepsilon = 0^\circ$, получим следующие величины скорости соударения v и углов атаки α (см. табл. 1).

Таблица 1

v_0 (м/сек)	$v_ч$ (м/сек)	v (м/сек)	α°
12,6	4,2	13,3	18°20'
22,0		22,4	10°45'
56,6		56,7	4°20'
126,0		126,0	1°55'

Данные таблицы 1 являются точными только в случае испытаний в вакууме. В. Н. Кашеев провел свои опыты при атмосферном давлении. Учитывая, что образец при быстром вращении захватывает собой окружающий его воздух, а воздух в свою очередь и абразивные частицы, действительные углы атаки окажутся еще меньшими (когда $\varepsilon \rightarrow 90^\circ$, то $\alpha \rightarrow 0^\circ$). На основании вышеизложенного схема «г» имеет очень ограниченную применимость.

Для исследования ударного износа схема «д» применяется автором статьи. По этой схеме абразивные части направляются из бункера в центральное отверстие вращающегося вокруг вертикальной оси ротора. Последний имеет два ради-

альных канала. Из центрального отверстия через каналы частицы выбрасываются под действием центробежных сил на образцы. Образцы закрепляются вокруг ротора под определенными углами атаки. Изменение скорости частиц производится изменением скорости вращения ротора. Более подробное описание испытательной машины такого типа дано в статье [13].

На центробежной машине проведены уже разные исследования [14, 15, 16 и др.]. Многолетняя эксплуатация таких машин в Таллинском политехническом институте позволяет сделать определенные выводы о их качествах и тем самым о целесообразности схемы «д». Положительные качества машины следующие:

1. Простота конструкции, компактность и сравнительно малый расход энергии при опытах.

2. Хорошая повторяемость результатов опытов.

3. Возможность провести опыты в очень короткий срок, т. к. одновременно можно испытывать большое количество образцов (в имеющихся машинах до 60 и 90 образцов).

4. Все одновременно испытываемые образцы находятся в одинаковых условиях, что особенно важно при выявлении износостойкости материалов относительно эталонного материала.

5. Скорость выхода частицы из ротора машины и направление ее полета можно определить простым способом.

На последнем вопросе следует остановиться подробнее. В наших ранних опытах траектория и скорость полета абразивных частиц определялась методом скоростных кино съемок. Этот метод дает довольно точные результаты, но требует специальной аппаратуры и много времени. В связи с этим был разработан способ, позволяющий очень просто определять угол выхода частицы из ротора β . Для этой цели в плоскости ротора устанавливается специальный ловитель частиц, который имеет форму прямоугольника (фиг. 3). Внешняя сторона ловителя покрыта тонкой бумагой. Когда канал ротора совпадает с щелью шириной «е», вытекающие из канала частицы пролетают некоторое расстояние, соударяются о бумагу и оставляют на ней след. Измеряя расстояние следа от края ловителя «х», угол выхода вычисляется так:

$$\beta = \arctg \frac{x}{a}. \quad (3)$$

Скорость частицы в момент выхода из ротора v_b равняется

$$v_b = \frac{v_\tau}{\sin \beta}, \quad (4)$$

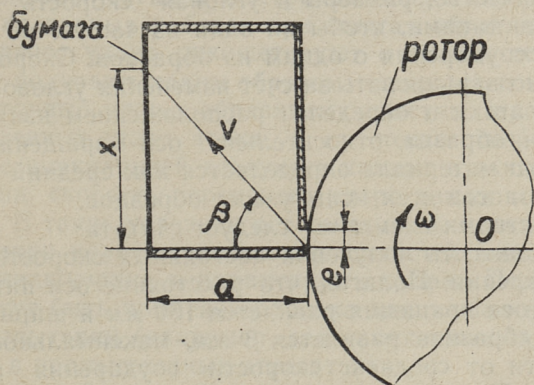
где v_τ — окружная скорость ротора.

Сравнение средних величин углов β , определенных скоростными киносъемками и по описанному методу, хорошо совпадает.

Главными недостатками схемы «д» являются:

1. В результате разного сопротивления скольжения частиц по каналу ротора, частицы имеют разные углы выхода, следовательно и разные скорости выхода.

2. Реальные частицы, имея разную величину и форму, на пути от ротора до образцов тормозятся с разной интенсивностью. Вследствие того поле скоростей частиц становится



Фиг. 3. Схема к определению угла выхода абразивных частиц β

довольно неравномерным. Несмотря на использование фракционированного абразива, максимальные отклонения от средней скорости частиц достигают $\pm 25\%$ [14]. Избавиться от первого недостатка полностью невозможно. Уменьшить рассеивания величин угла выхода можно при использовании очень твердых материалов для изготовления каналов ротора (напр. стенки каналов можно покрыть твердым сплавом). От второго недостатка можно избавиться, испытывая образцы в вакууме. Конструкции имеющихся машин создать вакуум в них не позволяют.

Ввиду изложенных двух причин при исследовании влияния угла атаки и скорости частиц на интенсивность ударного износа приходится оперировать, как и в случае схем «а», «б» и «в», со средними величинами этих параметров. Это обстоятельство снижает ценность полученных результатов.

Разновидностью механических схем является схема «е». В данном случае движение дано испытываемым образцам. Ма-

шина, изготовленная по схеме «е»*, работает по следующему принципу. Вокруг вертикальной оси вращаются образцы (в зависимости от скорости вращения один или больше). Из закрытого бункера падают абразивные частицы и соударяются об образцы. После удара частицы улавливаются и вторично с образцами не соударяются. Перед пуском машины в испытательной камере, а также в бункерах, создается вакуум. Глубина вакуума должна быть достаточна для предотвращения заметного отклонения траектории падающих частиц от вертикали, которому способствует движущийся вместе с образцами воздух. Параметры испытания (высота свободного падения частиц, количество, размеры и угловая скорость образцов) подбираются такими, чтобы ни одна из частиц не могла бы пройти без соударения с одним из образцов. Скорость соударения можно варьировать за счет изменения угловой скорости вала. Угол атаки α определен расположением изнашиваемой поверхности образца относительно оси вращения. Износ исследуемого материала определяется как средний арифметический от износов всех испытываемых образцов.

Достоинствами схемы «е» следует считать:

1. Возможности получения постоянных скоростей и углов атаки соударения. Полагая, что расстояние от оси питательного бункера от оси вращения равняется 150 мм и ширина падающей струи абразива равняется 3 мм, максимальное отклонение скорости от средней скорости соударения составляет лишь $\pm 1\%$. При этом достигаемый диапазон скоростей довольно широкий (по предварительным расчетам примерно от 5 до 600 м/сек).

2. Можно установить точную зависимость между интенсивностью изнашивания и величиной абразивного зерна.

3. Полное отсутствие вторичных ударов.

4. Возможность точного определения абразивной способности различного рода твердых частиц, т. к. скорость и угол атаки удара не зависят от твердости, плотности и формы исследуемых частиц.

5. Благодаря вращению образцов в вакууме требуется незначительная мощность для достижения высоких скоростей удара.

Отрицательными сторонами схемы «е» являются:

1. В вакууме нет возможности исследования влияния химического состава среды на ударный износ.

2. Трудности при исследовании влияния температуры на износ в связи с вращением образцов.

* На схему «е» выдано авторское свидетельство № 167.660. Кроме автора в создании машины по схеме «е» приняли участие инженеры Х. Уеумыйс и С. Ноор.

3. При желании испытать образцы из различных материалов одновременно с эталонным материалом надо обеспечить точную дозировку абразивных частиц, т. к. в противоположном случае образцы получают неравное количество попаданий.

4. Сложность конструкции машины в связи с необходимостью создания в ней вакуума.

Схему «е» (без вакуума и без улавливателя частиц) применяли в своей работе чешские исследователи П. Гох и П. Бурда [17] и аналогичную схему, только с горизонтальным валом, использовал В. П. Осокин для исследования износостойкости мелющих органов быстроходных мельниц [18]. В обеих названных работах при опытах абразивные частицы после первого удара рикошетируют о стенки испытательной камеры и получают таким образом несколько повторных ударов. Повторные удары абразивных частиц происходят при неопределенных углах атаки и с неизвестной скоростью. В связи с циркуляцией воздуха в камере и захватом воздухом частиц, скорость первичного удара также точно не определяется. В таких условиях нет конечно возможности точного исследования количественных зависимостей между интенсивностью изнашивания и параметрами удара. Подобные установки могут быть применены только для грубых полупромышленных испытаний (например, для изыскания подходящих материалов в промышленных агрегатах).

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Схема «д» является самой подходящей для выявления износостойкости материалов (опыты с эталоном).

2. Для тонких исследований закономерностей изнашивания (установление зависимостей между интенсивностью изнашивания и скоростью, величиной и углом атаки абразивных частиц) самой подходящей является схема «е» (в вакууме). Кроме того схемой «е» можно с большой точностью выяснить абразивность различного рода твердых частиц.

3. Схема «б» применима для исследования некоторых специальных вопросов ударного износа, как например, влияние химического состава среды, температуры, аэродинамических параметров и т. п. на интенсивность процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Урванцов. Газовая эрозия металлов. Машгиз, 1962.
2. K. Wellinger, H. Uetz. VDI — Forschungsheft, Ausg. B. 21 (449), 1955.
3. А. В. Шрейдер. Сб. Повышение износостойкости и срока службы машин. Машгиз, 1956.
4. О. Н. Муравкин, А. В. Рябченков. Сб. Трение и износ в машинах, № 11, АН СССР, 1956.

5. А. И. Федосов. Исследование влияния поверхностной обработки на эрозионную стойкость аустенитной стали для лопаток газовых турбин. Автореферат диссертации. Москва, 1957.
6. К. В. Олесевич. Износ элементов газовых турбин при работе на твердом топливе. Машгиз, 1959.
7. У. Суур. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 192, 1962.
8. В. В. Варгин, Е. А. Антонова и др. Технология эмали и эмалирования металлов. Москва, 1958.
9. В. Н. Кашеев. ЖТФ, том. XXV, вып. 13, 1955.
10. В. Н. Кашеев. Изв. ВУЗ-ов, «Энергетика», № 3, 1959.
11. В. Н. Кашеев, В. М. Глазков. Изв. ВУЗ-ов, «Энергетика», № 12, 1960.
12. В. Н. Кашеев, В. М. Глазков. Изв. ВУЗ-ов, «Энергетика», № 4, 1961.
13. И. Клейс. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 152, 1958.
14. И. Клейс. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 168, 1959.
15. Х. Лепиксон, И. Клейс. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 192, 1962.
16. Р. Мозберг, И. Клейс. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 192, 1962.
17. Р. Носч, Р. Вурда. Strojirenství 2, 1963.
18. В. П. Осокин. Абразивность углей и износ металла мелющих органов быстроходных мельниц. Автореферат диссертации. Челябинск, 1962.

Б. Саар, Х. Лепиксон

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ В МАССЕ УПЛОТНЕННОГО АБРАЗИВА

Данная работа проведена с целью исследования некоторых закономерностей изнашивания в сыпучей абразивной массе и выяснения факторов, которые могут иметь значение для решения практических задач по повышению износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих, строительных и других машин. Этот вид изнашивания изучен еще мало и результаты исследований можно найти только в некоторых работах [3, 4, 5, 6, 7].

Для проведения исследования изготовлена опытная установка и разработана методика исследования на ней. Установка отличается от ранее применявшейся нами [1] тем, что позволяет проводить опыты с небольшим количеством абразивного материала и дает возможность более точно учитывать его свойства.

Опытная установка

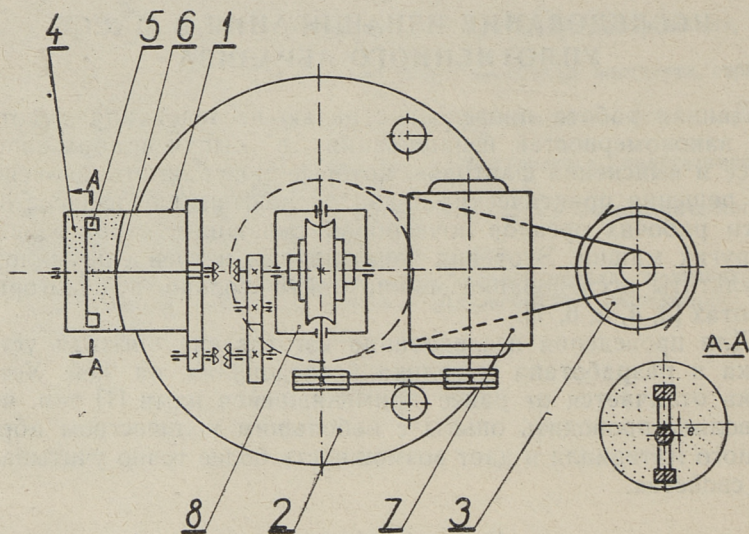
Опыты по изнашиванию в абразивной сыпучей массе проводятся в барабане 1 (фиг. 1) с внутренним диаметром 150 мм и глубиной 160 мм. Барабан наполняют абразивной сыпучей массой, в количестве массы 25—40% от объема барабана. Барабан установлен на горизонтальном диске 2 диаметром 530 мм так, что ось вращения барабана располагается радиально относительно центра диска. Дisku сообщается вращение от асинхронного электродвигателя 3 при помощи клинового ремня.

Находящийся в барабане абразивный сыпучий материал 4 во время вращения диска за счет центробежной силы уплотняется и размещается в барабане почти ровным слоем.

Образцы 5 прикрепляются к образцедержателю 6 на предусмотренном расстоянии от свободной поверхности уплотненной абразивной сыпучей массы. В зависимости от тол-

щины слоя абразива и от расстояния образцов от оси вращения горизонтального диска, на образцы действует определенное нормальное давление. Так как абразивный сыпучий материал смещается к образцам центробежной силой, то величину давления, оказываемую абразивным сыпучим материалом, можно регулировать изменением скорости вращения горизонтального диска.

Для движения образцов относительно абразива на горизонтальном диске установлен электродвигатель 7, который посредством клинового ремня и червячного редуктора 8 сооб-



Фиг. 1. Схема опытной установки

щает вращение как валу образцедержателя 6, так и барабану 1. Ось образцедержателя расположена относительно оси барабана с эксцентриситетом $e = 10$ мм.

Во время опыта барабан и образцы вращаются в противоположных направлениях, причем скорость вращения образцов намного больше скорости вращения барабанов (6, 7 раз).

Указанным взаимным расположением осей образцедержателя и барабана и выбором скорости их вращения достигается непрерывная смена частиц абразивной сыпучей массы, соприкасающихся во время опыта с поверхностью трения образца.

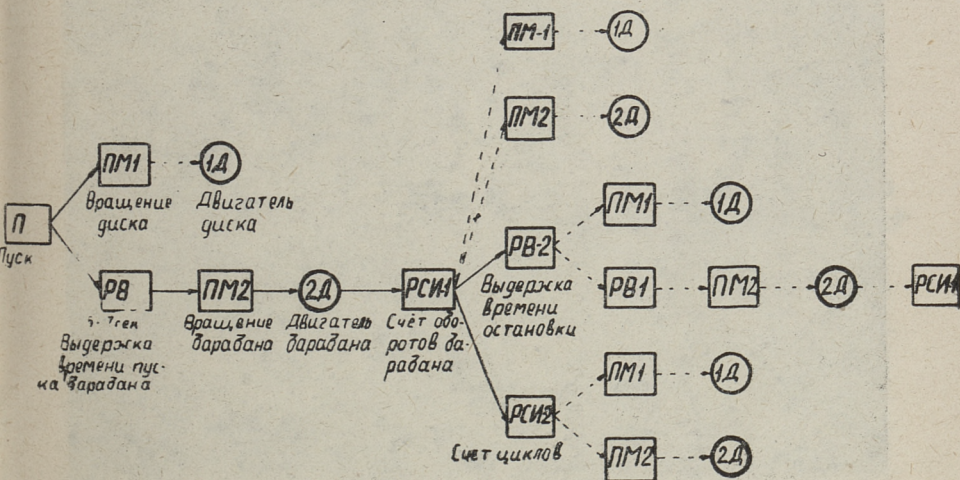
При проведении опытов на изнашивание в массе сыпучего абразива имеет большое значение — насколько часто сменяются частицы абразивного сыпучего материала, входящего в

соприкосновение с трущимися поверхностями образцов. С этой целью, кроме вышеуказанного, применялись периодические остановки и пуск диска, чем достигается дополнительное смешивание абразива в барабане.

В результате применения этих мер зернистость абразива и форма абразивных зерен в течение опыта оставались почти неизменными.

Для проведения опыта при постоянном значении нормального давления абразивного сыпучего материала на образец, вращение образцов и барабана с абразивом начинают только после того, когда горизонтальный диск приобрел постоянную угловую скорость.

При работе с опытной установкой применялась система автоматического управления (фиг. 2). Система управления



Фиг. 2. Схема автоматического управления

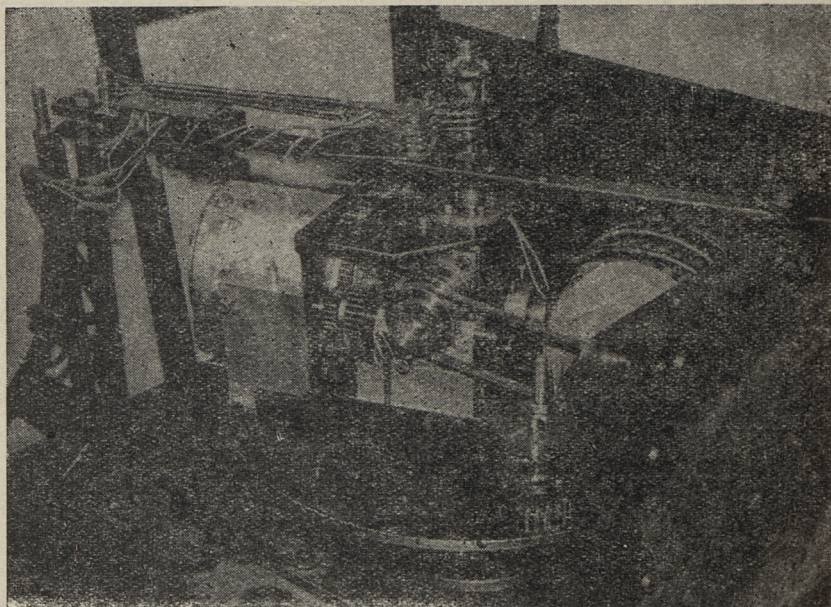
работает следующим образом. Нажимом на кнопку «Пуск» включается электродвигатель диска. После достижения диском установившейся скорости вращения при помощи реле времени включается двигатель, сообщающий вращение барабану и образцам.

Для увеличения перемещения частиц абразива в барабане, по прошествии образцами пути определенной длины, изнашивание прекращается выключением электродвигателей диска и барабана посредством реле счета импульсов. После перемещения абразива оба электродвигателя включаются при по-

мощи реле времени в этом же порядке, как и нажимом на кнопку «Пуск». Опыт продолжается до определенного числа циклов, счет которых ведет реле счета импульсов, после чего опытная установка автоматически отключается от питающей сети.

Общий вид установки показан на фиг. 3.

Нами применялись образцы с плоской поверхностью трения 10×25 мм (фиг. 4), которые по результатам предварительных опытов оказались наиболее подходящими. Изнашиванию подвергалась только верхняя поверхность образца.



Фиг. 3. Общий вид опытной установки

Угол между направлением движения и поверхностью трения образца был 20° . Одновременно и в одинаковых условиях изнашивались два образца. Один из них испытывался в качестве эталонного. Однако на данной установке возможны также опыты на изнашивание образцов иной конфигурации.

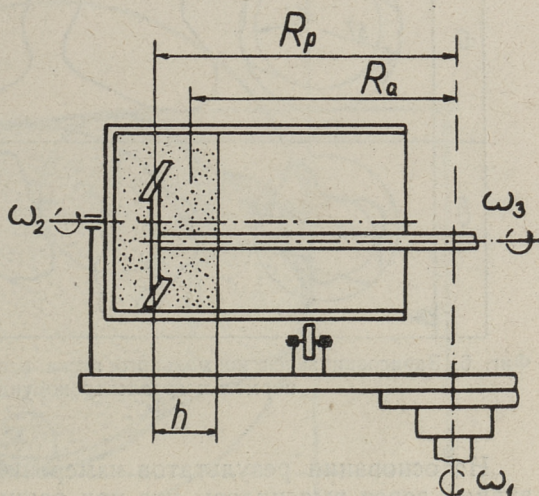
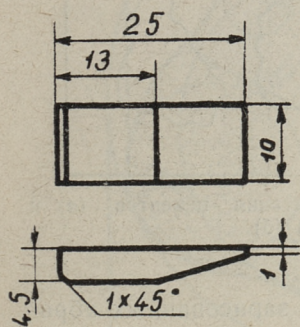
Величина износа образцов определялась взвешиванием с точностью до $0,1$ мг, на основании чего рассчитывался средний линейный износ.

Нормальное давление на образец определялось расчетом. Если образцы закреплены в образцедержателе так, что их

среднее расстояние от оси вращения горизонтального диска равно R_p (см) (фиг. 5), а среднее расстояние от свободной поверхности абразива — h (см), объемный вес абразивной массы — γ (кг/см³) и скорость вращения горизонтального диска — n (об/мин), то действующее на образец среднее нормальное давление можно рассчитать по формуле

$$p = \frac{\gamma \cdot h \cdot R_a}{g} \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \text{ кг/см}^2. \quad (1)$$

Скорость вращения диска измерялась с большой точностью при помощи специального счетчика оборотов (тахометра). Практическая погрешность измерения при помощи счетчика не превышает 0,2%.



Фиг. 4. Образец Фиг. 5. Схема расположения абразива в барабане

Исследование характеристик абразивного зерна

Для изучения изнашивания весьма важно знать влияние формы и размеров абразивного зерна на износ.

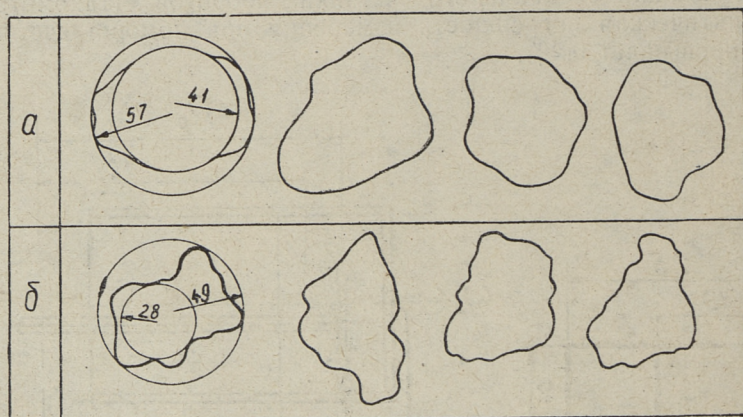
Наиболее простым и быстрым способом оценки формы абразивных зерен является их визуальная классификация по пятибальной шкале, предложенной А. В. Хабаковым [2].

Для получения более точных результатов в настоящей работе применен метод зарисовки абразивных зерен на рисовальном аппарате РА-4, приспособленном к обычному биоло-

гическому микроскопу. Зарисовка зерен показала достаточную для практических целей точность и относительно невысокую трудоемкость ее исполнения.

Используя зарисовки зерен, можно определить их размеры и вычислить некоторые характерные коэффициенты.

В качестве примера на фиг. 6 показаны зарисованные для анализа зерна нормального электрокорунда Э91 и нормального песка для испытаний цементов Вольского цементного комбината. Зерна показаны на фигурах в одной проекции, хотя частично они зарисовывались и в двух проекциях (вид сверху и вид сбоку).



Фиг. 6. Зарисовки зерен нормального песка испытания цементов (а) и нормального электрокорунда (б)

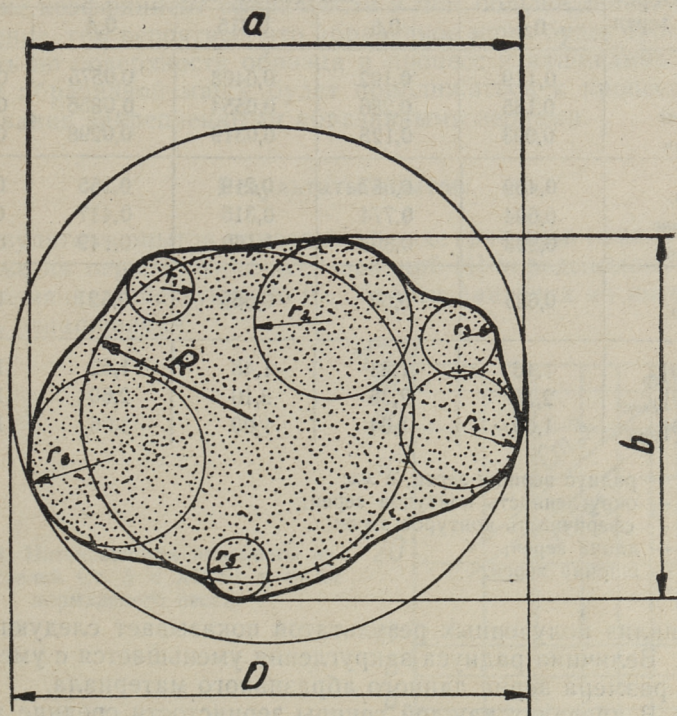
На основании результатов измерения зарисованных абразивных зерен выяснилось, что при данных размерах зерна — длины a , ширины b и высоты h (при $a > b > h$) — ширина b является определяющей при установлении зернистости по ситовому анализу. На основании наших опытов можно отметить, что при изучении изнашивания в уплотненной абразивной массе в качестве характеристик абразивности зерен можно успешно использовать разработанные литологами характеристики [2], а именно: 1) округленность контуров, определяемую степенью сглаженности углов и 2) сферичность, т. е. степень приближения данного контура зерна к кругу.

От первой характеристики зависит режущая способность отдельных выступов зерен, а от второй — положение относительно изнашиваемой поверхности, т. е. фиксированность зерен.

Округленность P оценивается отношением радиусов кривизны r отдельных выступов к радиусу наибольшего круга R , вписанного в контур данного зерна (фиг. 7). В случае измерения n выступов формула для определения коэффициента округленности получит вид:

$$P = \frac{\sum r}{nR}.$$

Сферичность Q определяется отношением диаметра d круга, равновеликого по площади данному изображению зерна



Фиг. 7. Параметры абразивного зерна

к диаметру наименьшего круга D , описанного вокруг контура зерна:

$$Q = \frac{d}{D}.$$

Для определения коэффициентов P и Q в каждой фракции измерялись в среднем 50 зерен.

Результаты измерения абразивных зерен нормального песка для испытания цементов и нормального электрокорунда, а также результаты вычисления коэффициентов округленности и сферичности помещены в табл. 1.

Таблица 1

Значения характеристик абразивных зерен

Абразивный материал	Нормальный песок для испытания цементов			Нормальный электрокорунд Э91	
	Остаток на сите				
Характеристика зерен	0,4	0,6	0,315	0,4	0,6
$r_{\text{ср}}$	0,119	0,192	0,0408	0,0575	0,0567
$r_{\text{макс}}$	0,185	0,286	0,0554	0,0856	0,0740
$r_{\text{мин}}$	0,093	0,128	0,0319	0,0298	0,0323
$P_{\text{ср}}$	0,469	0,567	0,219	0,255	0,210
$P_{\text{макс}}$	0,694	0,774	0,316	0,417	0,270
$P_{\text{мин}}$	0,293	0,398	1,160	0,149	0,164
$Q_{\text{ср}}$	0,625	0,62	0,555	0,521	0,576
$[a/b]_{\text{ср}}$	1,46	1,48	1,48	1,62	1,41
$[a/b]_{\text{макс}}$	2,13	2,35	2,10	2,60	1,82
$[a/b]_{\text{мин}}$	1,09	1,04	1,00	1,06	1,00

r — радиус вершин зерен, в $\mu\text{к}$;
 P — округленность контуров зерен;
 Q — сферичность контуров зерен;
 a — длина зерен;
 b — ширина зерен.

Анализ полученных результатов показывает следующее.

1. Величина радиуса закругления уменьшается с уменьшением размера зерна данного абразивного материала.

2. В пределах каждой группы зернистости средние значения радиуса закругления изменяются незначительно.

3. Величина радиуса закругления зерна электрокорунда определенного размера много меньше величины радиуса закругления зерна нормального песка того же размера.

4. Среднюю величину радиусов закругления вершины зерна в пределах данной фракции зерен довольно хорошо характеризует коэффициент округленности контура P . Средние значения данного коэффициента для нормального песка находились в пределах 0,47—0,57, а для зерен нормального электрокорунда в пределах 0,21—0,26.

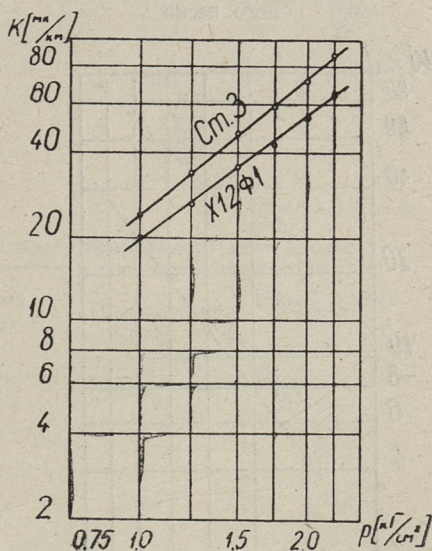
Как показано выше, сферичность абразивных зерен оказывает также большое влияние, поскольку при изнашивании в сыпучей абразивной массе характер движения абразивных зерен относительно поверхности трения образца зависит от сферичности зерен и от нормального давления абразивной массы.

Чем ближе коэффициент сферичности к единице и чем меньше действующее давление при остальных одинаковых условиях, тем больше вероятность, что абразивное зерно будет прокатываться по поверхности образца и, наоборот, чем меньше коэффициент сферичности и чем больше действующее давление, тем вероятнее, что абразивное зерно будет проскальзывать по поверхности образца и процесс изнашивания в сыпучей абразивной массе будет приближаться к процессу изнашивания закрепленными абразивными зёрнами.

Результаты опытов

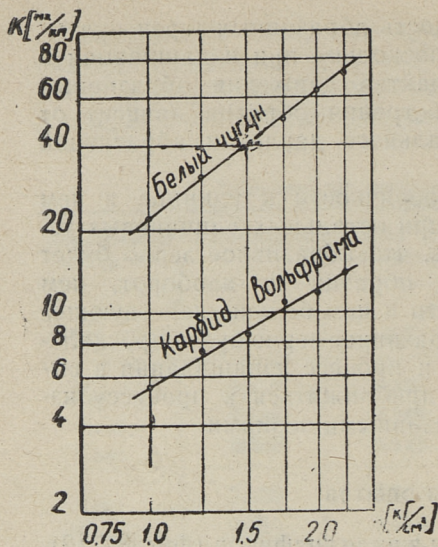
Результаты опытов приведены в виде графиков (фиг. 8—12).

Уже на первом этапе исследований [1] определилось большое влияние действующего на образец давления на интенсивность изнашивания.

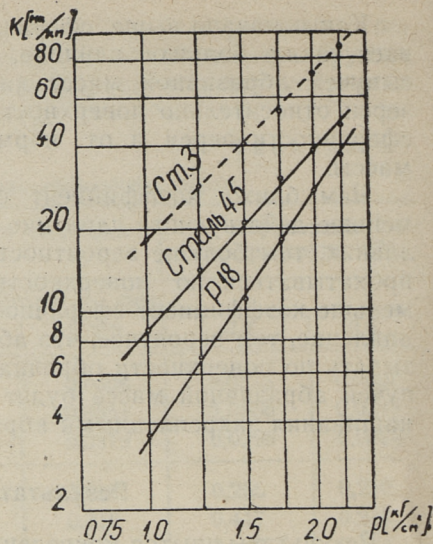


Фиг. 8. Интенсивность линейного износа сталей Ст. 3 и Х12Ф1 в массе нормального песка

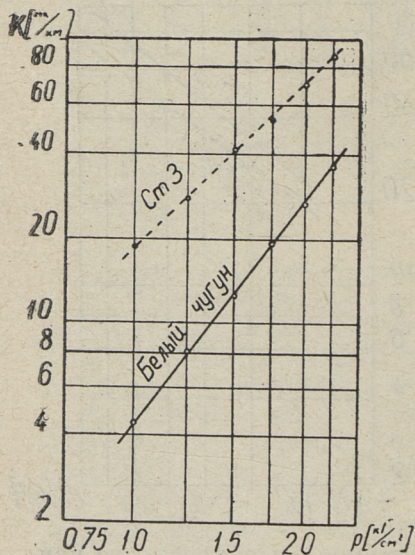
На основании результатов испытаний выяснилось, что при изнашивании образцов в уплотненной сыпучей абразивной массе между интенсивностью линейного изнашивания и действующим на образец нормальным давлением в диапазоне



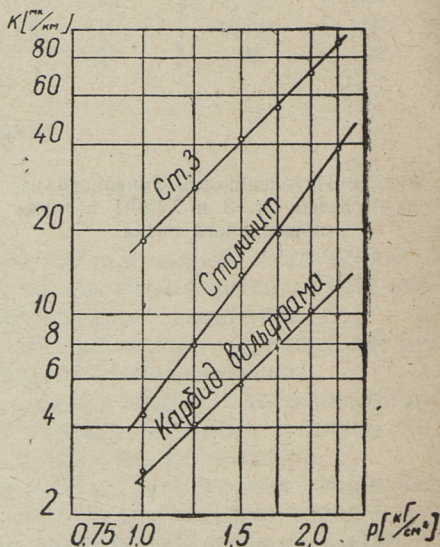
Фиг. 9. Интенсивность линейного износа белого чугуна и слоя карбида вольфрама в массе нормального песка



Фиг. 10. Интенсивность линейного износа сталей Ст. 3, 45 и P18 в массе нормального электрокорунда



Фиг. 11. Интенсивность линейного износа белого чугуна в массе нормального электрокорунда



Фиг. 12. Интенсивность линейного износа сталинита и карбида вольфрама в массе нормального электрокорунда

давлений, применявшихся в наших опытах, существует эмпирическая зависимость, которую можно выразить формулой:

$$k = c p^m, \quad (2)$$

где k — обозначает среднюю интенсивность линейного изнашивания, в мк/км ;

c — коэффициент пропорциональности;

p — удельное давление абразива на образец, в кг/см^2 и

m — показатель степени.

Величины m и c , введенные в формулу и определенные на основании наших опытов, приведены в табл. 2 и 3. В табл. 2 помещены средние значения, полученные при изнашивании в нормальном песке для испытания цементов, а в табл. 3 — в

Таблица 2

Значения m и c при изнашивании в массе нормального песка

Материал образца	Твердость образца H_V	Показатель степени m	Коэффициент пропорциональности c
Сталь Ст. 3	150	2,08	18,0
Сталь 45	165	2,10	8,5
Белый чугун	380	2,33	4,5
Наплавка сталинита на стали Ст. 3	555	2,84	4,5
Наплавка карбида вольфрама на стали Ст. 3	745	1,92	2,75
Сталь Р18	900	2,96	3,6

Таблица 3

Значения m и c при изнашивании в массе нормального электрокорунда

Материал образца	Твердость образца H_V	Показатель степени m	Коэффициент пропорциональности c
Сталь 45	165	1,60	24,3
Сталь Х12Ф1	300	1,42	20,0
Белый чугун	380	1,50	23,2
Наплавка карбида вольфрама на стали Ст. 3	800	1,04	5,9

нормальном электрокорунде. Скорость движения образцов относительно абразива была $0,22 \text{ м/сек}$, длительность опыта — 3 этапа по 10 минут. Перерыв 10—15 минут между этапами был предусмотрен для охлаждения образцов и абразива. Температура образцов во время опыта не превышала 70°C .

Слой карбида вольфрама, полученный за счет расплавления электрической дугой кусков твердых сплавов ВК 8 и ВК 15, оказался некачественным. Во время изнашивания этих образцов имели место случаи вырывания отдельных кусков из слоя, поэтому полученные данные не являются особо достоверными.

Сравнивая изменения интенсивности изнашивания образцов, изготовленных из металлов разной твердости, при испытании в двух разных абразивных массах — в нормальном песке и нормальном электрокорунде — можно отметить следующее.

1. Интенсивность изнашивания образцов из данного материала при одинаковом давлении, действующем на образец, при изнашивании в нормальном электрокорунде значительно больше, чем в нормальном песке.

2. Влияние давления на интенсивность изнашивания характеризует показатель степени m , который, в свою очередь, зависит от отношения твердости образца и абразива. Результаты опытов показывают, что при относительно высокой твердости абразива (песка) показатель степени m возрастает с увеличением твердости образца. В случае применения абразива относительно высокой твердости (электрокорунд) при повышении твердости образца показатель степени m уменьшается или остается почти неизменным. Это обстоятельство указывает на неодинаковость механизма изнашивания в обоих случаях, что помогает уточнить приведенный ниже анализ профилограмм поверхностей трения образцов.

О характере процесса изнашивания дает некоторое представление исследование рельефа поверхности трения образца, соприкасающейся с зернами абразива.

Для исследования рельефа поверхности трения использовались профилограммы, полученные при помощи профилографа-профилометра модели 201 завода «Калибр».

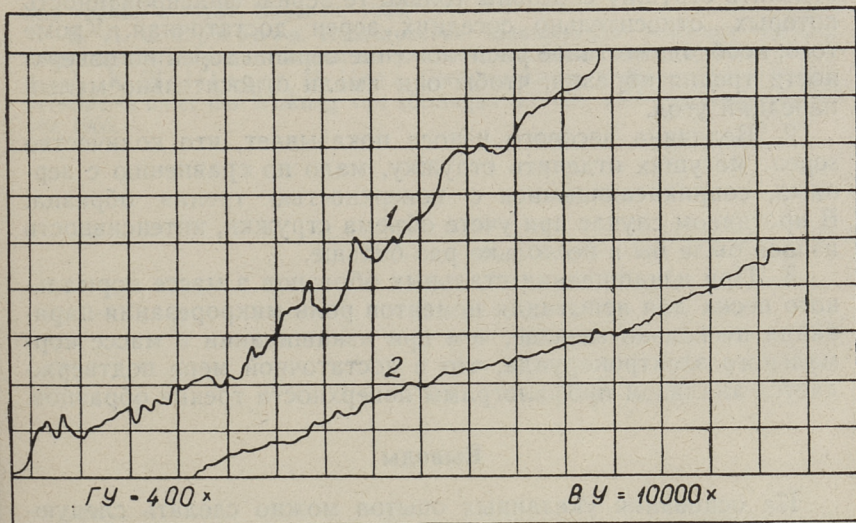
На фиг. 13 показаны профилограммы, полученные для поверхности трения образцов из стали 45. В качестве абразивных материалов при изнашивании образцов использовались нормальный песок для испытания цементов и нормальный электрокорунд. В обоих случаях применялись абразивные зерна шириной 0,4—0,6 мм. На профилограммах вертикальное увеличение составляло 10 000×, а горизонтальное — 400×.

При изнашивании стальных образцов в массе нормального электрокорунда высота неровностей, т. е. среднее расстояние между находящимися в пределах базовой длины пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин, измеренных от линии, параллельной средней линии, была в среднем 0,3—0,4 мк, а при изнашивании в массе нор-

мального песка — 1,2 мк. Максимальная высота неровностей, т. е. расстояние между линией выступов и линией впадин была соответственно 0,65—0,75 мк и 2,5—3,0 мк.

Другие коэффициенты, характеризующие геометрию поверхности образца, ввиду незакономерного геометрического профиля оценить не удалось.

Сравнивая между собой поверхности трения стальных образцов, изношенных в массе нормального электрокорунда и нормального песка, видим, что при изнашивании образцов в электрокорунде их поверхность трения более гладкая. На-



Фиг. 13. Профилограммы поверхности трения образца из стали 45, изношенного в нормальном песке (1) и в нормальном электрокорунде (2)

правление неровностей совпадает с направлением движения абразивных зерен по поверхности трения образца, но более четко это видно при изнашивании в массе электрокорунда. Рельеф изношенной поверхности образцов при изнашивании в нормальном песке не соответствует форме и размерам вершин зерен, подвергающих изнашиванию эту поверхность. Но при изнашивании электрокорундовыми зернами этот рельеф в некотором приближении соответствует размерам и форме электрокорундовых зерен. Закономерность расположения рисок на поверхности трения видна при изнашивании в электрокорунде и почти не видна при изнашивании в песке.

На основании результатов опытов по изнашиванию образцов в массе уплотненного абразивного материала, а также на

основании исследования и анализа абразивных зерен и поверхности трения изношенных образцов можно отметить следующее.

1. При изнашивании стальных образцов в уплотненной массе зерен нормального электрокорунда, радиусы округления вершин которых относительно малы, выяснилось, что износ образца вызван в определенной мере процессом микрорезания и царапания. Но такой процесс возможен только в том случае, если действующее на зерно усилие достаточно для отделения стружки. При достаточности передаваемого усилия отделить стружку способны только те зерна, фиксированность которых относительно соседних зерен достаточная. Кроме того, необходимо такое расположение вершин зерен по поверхности трения образца, чтобы они имели относительно малый передний угол.

2. Величина весового износа показывает, что количество зерен, могущих отделить стружку, мало по сравнению с зернами, соприкасающимися с поверхностью трения образца. В противном случае при учете объема стружки, интенсивность износа была бы в несколько раз больше.

3. При изнашивании стальных образцов в массе нормального песка для испытания цементов роль микрорезания-царапания несколько меньше, чем при изнашивании в массе нормального электрокорунда, что в достаточной мере подтверждается анализом профилограмм поверхности трения образцов.

Выводы

На основании указанных опытов можно сделать следующие выводы.

1. При изнашивании в массе уплотненного абразива имеют место как микрорезание, так и явление усталости поверхностных слоев изнашиваемого материала, причем преобладание того или иного фактора зависит как от свойств абразива (округленности контуров, сферичности и твердости), так и от свойств изнашиваемого материала.

2. При изнашивании в массе абразива величина износа определится эмпирической зависимостью в виде $k = c\rho^m$, где величины c и m при данных условиях изнашивания, в материале и абразиве приходится определять экспериментально.

3. На основании проделанных опытов выяснилось, что при изнашивании в песке интенсивность изнашивания в большей мере зависит от действующего давления, чем при изнашивании в электрокорунде.

4. При изнашивании в электрокорунде роль микрорезания больше, чем при изнашивании в песке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Саар. Установка по определению износостойкости материалов в абразивной сыпучей массе и методика исследований. В сб. статей по изнашиванию и заеданию металлов. Труды ТПИ, серия А, № 192, 1962.

2. Л. Б. Рухин. Основы литологии. Гостоптехиздат, 1953.

3. И. С. Маяускас. Машина для испытания материалов на изнашивание при трении о поверхность сыпучей абразивной массы. В кн.: Методы испытания на изнашивание. Изд. АН СССР, 1962.

4. Г. П. Каплун. Исследование влияния изнашивающих свойств на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Минск, 1961.

5. И. В. Южаков. Исследование процесса изнашивания металлов при трении о грунт. Харьков, 1960.

6. Л. С. Ермолов. Исследование изнашивания режущих органов почвообрабатывающих машин на различных почвах. Харьков, 1960.

7. K. Wellinger, H. Uetz. Gleitverschleiss, Spülverschleiss, Strahlverschleiss unter der Wirkung von körnigen Stoffen. VDI — Forschungsheft 449, 1955.

УДК 620.178.162

Л. Вальдма

РАСЧЕТ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА МЕТАЛЛОВ ПО ДИАГРАММАМ ТРЕНИЯ

В предлагаемой работе разработан расчетный метод для определения износа металлов по диаграммам трения при трении с абразивной прослойкой. Диаграммы записываются приборами К1 — АВ и К2 — АВ, сконструированных автором (описание см. [1, 2]).

В основе изложения математических зависимостей положены два допущения:

1. На поверхности трения имеет место только пластический контакт. Напряжение на контакте не зависит от нагрузки и обусловлено твердостью металла. На это указывают также другие авторы [3, 4].

2. Изнашивание при трении с абразивной прослойкой вызывается только этими абразивными зернами, которые фиксируются в прослойке и режут металл. Остальные зерна только пластически деформируют его.

При этих допущениях объемный износ V выражается зависимостью:

$$V = S_v \cdot z_1 \cdot L, \quad (1)$$

где S_v — вертикальная проекция контактной поверхности абразивного зерна;

z_1 — число режущих абразивных зерен;

L — длина пути абразивного зерна относительно поверхности трения.

Определение S_v

Микроскопическими наблюдениями установлено, что абразивное зерно представляет собой беспорядочный многогранник, вершины которого имеют закругление (фиг. 1).

Абразивное зерно в процессе трения с металлом показано схематически на фиг. 2. Дополнительные геометрические обозначения показаны на фиг. 3.

Для выражения значения S_v через ширину дорожки зерна d и радиус R необходимо проинтегрировать уравнение дуги (см. фиг. 3), которое разложено в степенной ряд

$$S_v = \int_{-\sqrt{R^2 - b^2}}^{+\sqrt{R^2 - b^2}} \left[-b + R - \frac{1}{2} R \left(\frac{x}{R} \right)^2 + \dots \right] dx \approx \frac{d^3}{12R}. \quad (2)$$



Фиг. 1. Абразивные зерна нормального электрокорунда зернистостью 180

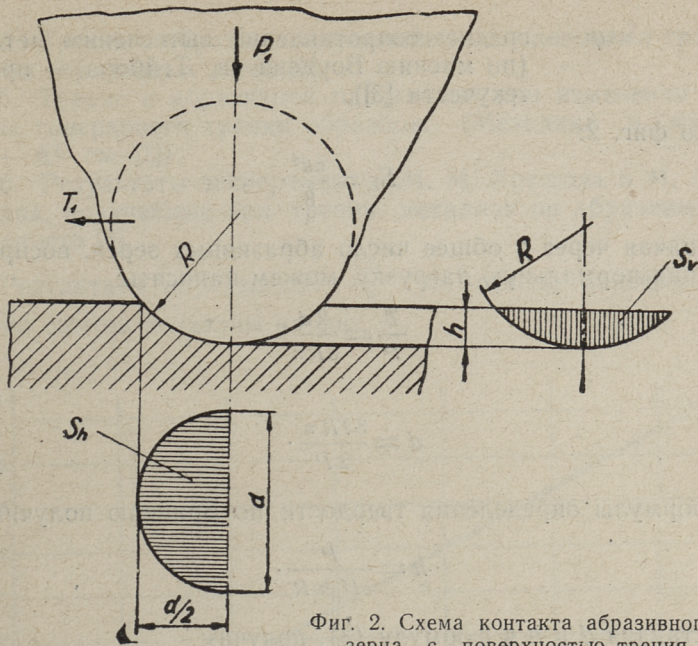
Из формулы (2) можно значение S_v получить также через глубину зерна h и ширину дорожки d , тогда

$$S_v \approx \frac{d h}{1,5}. \quad (3)$$

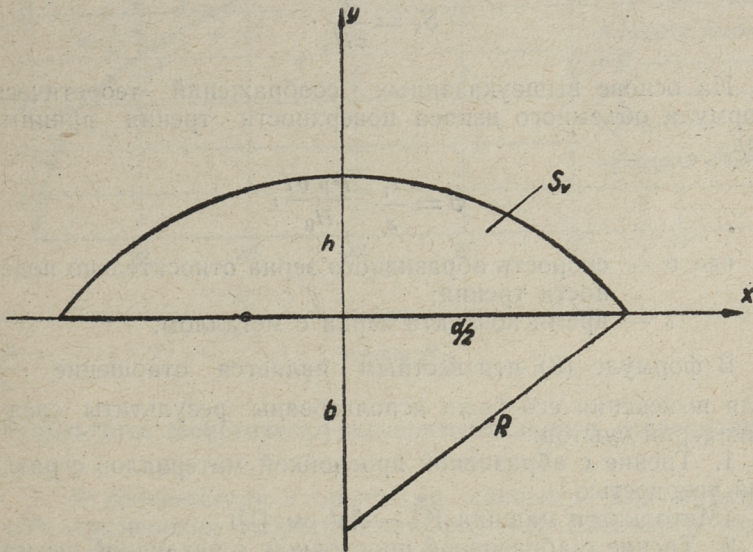
Для определения d выражаем коэффициент трения μ следующим образом

$$\mu = \frac{T_1}{P_1} = \frac{q \cdot S_v}{q \cdot S_h} = \frac{S_v}{S_h}, \quad (4)$$

где T_1 , P_1 — соответственно тангенциальная и нормальная сила на одно зерно,



Фиг. 2. Схема контакта абразивного зерна с поверхностью трения



Фиг. 3. Геометрические обозначения, применяемые при определении вертикальной проекции поверхности контакта абразивного зерна

q — среднее сопротивление вытеснению металла (по мнению Боудена и Тейбора — предел текучести [3]).

По фиг. 2:

$$S_h = \frac{\pi d^2}{8}.$$

Обозначая через z общее число абразивных зерен, воспринимающих нормальную нагрузку, можем написать:

$$\frac{T}{P} = \frac{2d}{3R\pi}$$

и

$$d = \frac{3TR\pi}{2P}. \quad (5)$$

Из формулы определения твердости по Бринелю получим

$$h = \frac{P}{zH_B\pi R}. \quad (6)$$

Подставляя d и h в формулу (3), получим

$$S_v = \frac{T}{zH_B}. \quad (7)$$

На основе вышеуказанных соображений теоретическая формула объемного износа поверхности трения принимает вид

$$v = \frac{z_1}{z} \frac{P\mu vt}{H_B}, \quad (8)$$

где v — скорость абразивного зерна относительно поверхности трения;

t — время контакта зерна с металлом.

В формуле (8) неизвестным является отношение $\frac{z_1}{z}$.

Для выяснения его были использованы результаты следующих серий опытов:

1. Трение с абразивной прослойкой материалов с различной твердостью.

(Методика и машина K1 — AV см. [1]).

2. Трение с абразивной прослойкой, с различной нормальной силой [1].

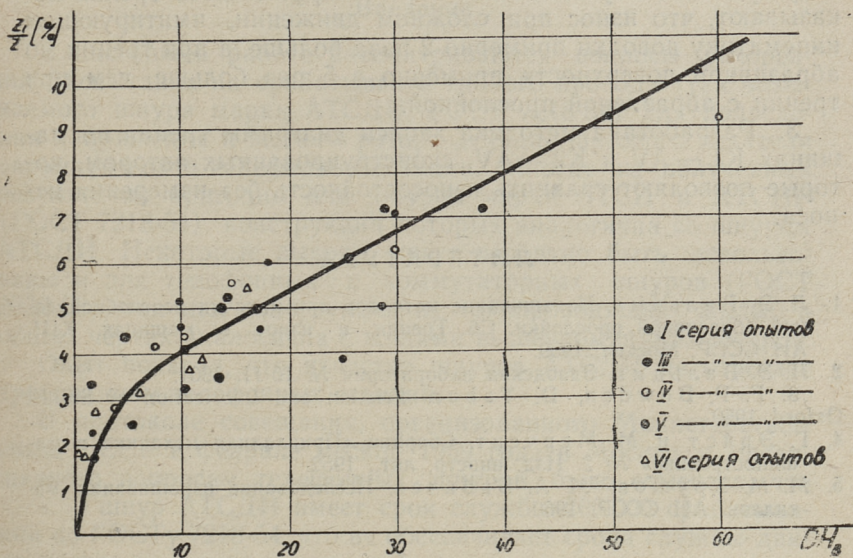
3. Трение с абразивной прослойкой с различной зернистостью абразивного зерна [1].

4. Трение с абразивной прослойкой со сложными траекториями абразивных зерен [1].

5. Трение с абразивной прослойкой при изменении величины поверхности трения образцов. (Методика и машина К2 — АВ см. [2]).

6. Результаты экспериментов М. М. Хрущева и М. А. Бабичева, полученные при трении металлов по абразивной поверхности [5].

Результаты определения $\frac{z_1}{z}$ на основе перечисленных серий опытов показаны на фиг. 4.



Фиг. 4. Зависимость $\frac{z_1}{z}$ от диаметра зерна D и твердости поверхности трения H_B

Результаты теоретическо-экспериментального исследования

1. В соответствии с опытными данными, для практического применения теоретическая формула объемного износа (8) преобразуется в полуэмпирическую в виде

$$V = 0,0133 \sqrt{\frac{D}{H_B}} P \mu v t, \quad (9)$$

- где V — суммарный объемный износ, $мм^3$, двух поверхностей при трении с абразивной прослойкой;
 D — средний диаметр абразивного зерна, $мм$;
 H_B — твердость по Бринелю, $кг/мм^2$;
 P — нормальная нагрузка, $кг$;
 μ — коэффициент трения;
 v — скорость относительного движения поверхностей трения.

2. Формула оказалась годной как при трении с абразивной прослойкой, так и при трении на абразивной поверхности. По формуле (9) видно, что износ пропорционален коэффициенту трения. Полученные значения коэффициентов трения показывают, что износ при сложном движении, имитирующем кинематику доводки примерно 2 раза больше, а при трении по абразивной поверхности примерно в 5 раз больше, чем при трении с абразивной прослойкой.

3. Разработана методика записи диаграмм трения на машинах К1 — АВ и К2 — АВ, сконструированных автором, которые позволяют сравнить износостойкость без измерения износа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Э. Вальдма. Изнашивание металлов при наличии невозобновляемой абразивной прослойки. Сб. Трения и износ в машинах XIII. АН СССР, Москва, 1959.
2. Л. Э. Вальдма. Заводская лаборатория № 10-11, 1961.
3. F. P. Bowden, D. Tabor. Friction and Lubrication of Solids. Oxford, 1950.
4. Г. Эрнст и М. Мергент. Сборник «Прикладная механика и машиностроение» № 2. Изд. иностр. лит., 1952.
5. М. М. Хрушов, М. А. Бабичев. Исследование изнашивания металлов. АН СССР, 1960.

Л. Мере

УСТАНОВКА И МЕТОДИКА УСКОРЕННОГО ИСПЫТАНИЯ ШНУРОВ МАРКИ АТСДИ ДЕКАДНО- ШАГОВОГО ИСКАТЕЛЯ НА СРАБАТЫВАНИЕ

Введение

В настоящей работе рассматриваются вопросы ускоренного испытания на срабатывание гибкого провода (так называемого шнура марки АТСДИ, ГОСТ 7218-54) для подведения напряжения к щеткам ротора декадно-шагового искателя автоматической телефонной станции. Многие из полученных результатов пригодны для шнуров марки АТСИ и АТСИР (ГОСТ 7218-54), конструкция которых аналогична со шнуром АТСДИ. Некоторые выводы могут вероятно быть использованы и для телюфонных и коммутаторных шнуров (ГОСТ 2932-53), так как конструкция их токопроводящей жилы в общих чертах аналогична с жилами вышеупомянутых шнуров.

Опыт показал, что качество шнуров АТСДИ не отвечает требованиям телефонных станций.

В протоколе совещания, организованного Министерством связи СССР в феврале месяце 1959 года в Москве и посвященного вопросам телефонных шнуров, было отмечено, что

«... шнур АТСДИ имеет срок службы 200 000 срабатываний по ГОСТу 7218-54, что не обеспечивает срока службы движущегося механизма искателей, для которого по техническим условиям завода «Красная Заря» установлена норма 500 000 срабатываний для АТС-47 и 1 000 000 срабатываний для модернизированной АТС-54.

Фактически срок службы шнуров АТСДИ при эксплуатации не достигает даже нормы, установленной ГОСТом, что свидетельствует о несовершенстве принятой в настоящее время методики испытаний.

Низкое качество шнуров приводит к большому числу станционных повреждений и плохому качеству телефонной связи из-за шумов и тресков при соединениях. Массовая замена шнуров, производимая через непродолжительный срок их работы, является весьма трудоемкой и резко увеличивает эксплуатационные расходы».

Первым мероприятием для повышения качества шнуров АТСДИ является разработка объективной и оперативной методики испытания, позволяющей за короткий срок определить качество шнуров и принимать своевременные меры в процессе производства для его улучшения. Одновременно предоставляется и возможность для разработки новых конструкций шнуров.

Исходя из вышеизложенного, кафедра детали машин Таллинского политехнического института приступила к выработке новой, более совершенной методики испытания.

В литературе проблема шнуров АТСДИ освещена недостаточно и крайне поверхностно [1, 2, 3].

О разрушении шнуров АТСДИ

Находясь в эксплуатации, шнуры АТСДИ подвергаются переменным пространственным деформациям, вследствие чего возникают усталостные поломки плющеньки мишурных нитей (см. фиг. 1). Разрушения же из-за трения между собой мишурных нитей наблюдениями автора настоящей статьи отвергаются.

Последствие изломов плющенок повышает электрическое сопротивление токопроводящих жил.

На телефонную связь оказывает неблагоприятное воздействие, в первую очередь, то обстоятельство, что электрическое сопротивление попадает в зависимость от расположения шнура.

На основе изучения автором статьи снятых с декадно-шаговых искателей телефонных станций шнуров, определялось расположение изломов плющеньки и их относительное распределение между этими местами. Полученные данные нанесены на выпрямленный шнур (фиг. 2).

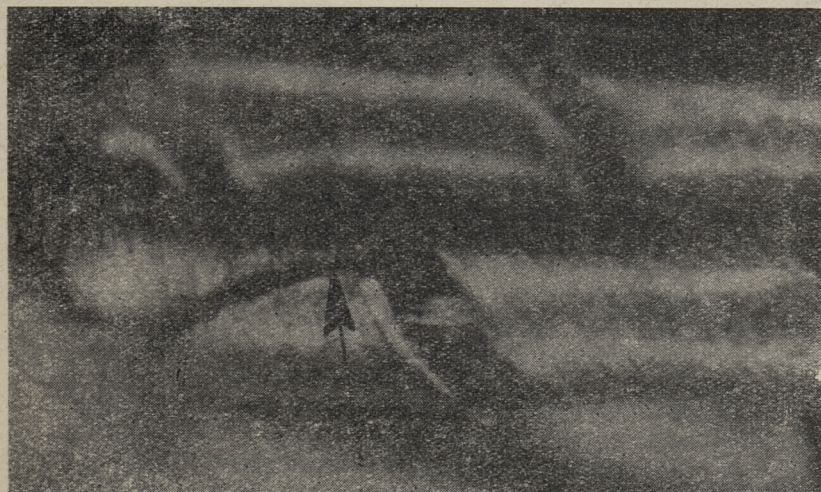
Как видно из фигуры 2, изломы носят строго локализованный характер и находятся в непосредственной близости к местам крепления по длине 10÷15 мм. Одна и та же плющенька может на упомянутом расстоянии иметь и несколько изломов.

На фигуре 3 приведены кривые $R=R(N)$, где R — максимальное фактическое сопротивление жилы и N — число циклов, полученных на испытательной установке кафедры детали машин Таллинского политехнического института, имитирующей рабочий цикл искателя.

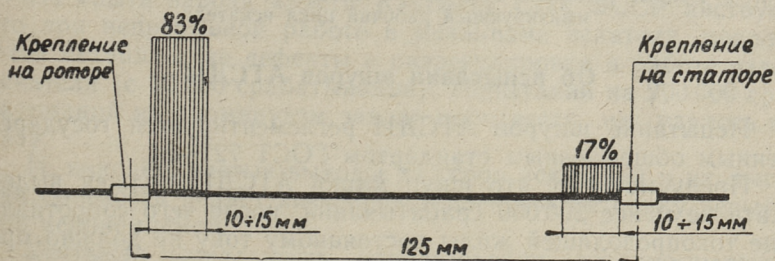
Упомянутые кривые можно назвать кривыми усталости токопроводящих жил.

Для кривых характерно, что начиная с определенного числа циклов, последующее увеличение сопротивления резко прогрессирует.

Это позволяет сделать вывод, что если сопротивление жилы достигает величины 0,5...1,0 ом, то срок ее службы практически исчерпан.



Фиг. 1. Токосоводящая жила с установленным изломом плоскени (со снятой навивкой)



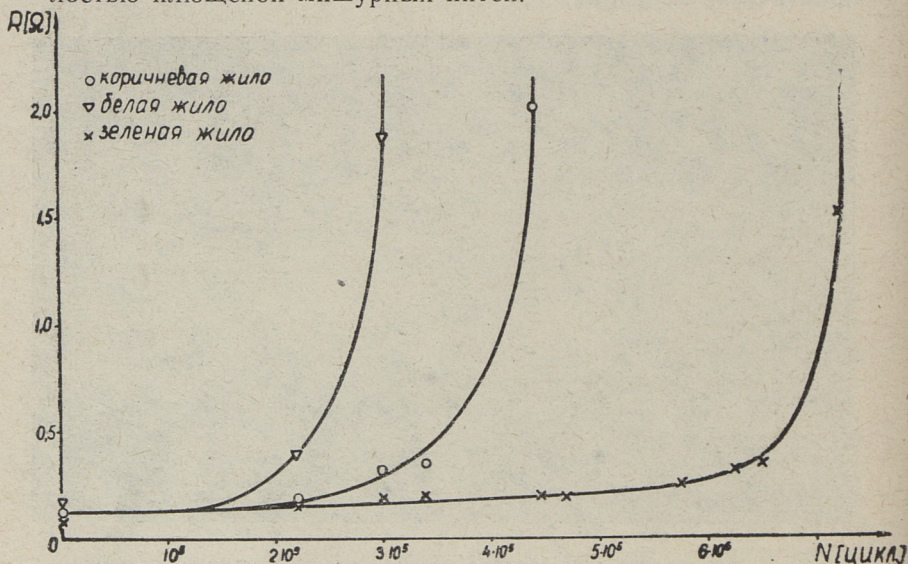
Фиг. 2. Места расположения и относительное распределение изломов плоскени шнуров АТСДИ, снятых с декадно-шаговых искателей, приведены на выпрямленном шнуре

Надо отметить, что в пределах одной и той же партии шнура АТСДИ, срок службы отдельных шнуров широко колеблется.

Вследствие переменной деформации может пострадать и изоляция шнуров [1, 2], в основном в тех случаях, когда имеет

место ее соприкосновение с деталями искателя вне мест крепления.

По сравнению с токопроводящими жилами, изоляция, как правило, выносит значительно большее число рабочих циклов, и срок службы шнура таким образом определяется усталостью плющенок мишурных нитей.



Фиг. 3. Кривые усталости жил шнура АТСДИ-3, полученные на установке, имитирующей рабочий цикл искателя

Об испытании шнуров АТСДИ

Испытание шнуров АТСДИ регламентируется государственным общесоюзным стандартом ГОСТ 7218-54.

Предусмотрено, что шнур марки АТСДИ должен выдерживать не менее 200 000 срабатываний, после чего сопротивление токопроводящей жилы постоянному току не должно превышать 2,0 *ом* на длине 365 *мм*.

Испытание на число срабатываний должно производиться в условиях работы искателя. Допускается испытание шнура на другом специальном устройстве, обеспечивающем условия, эквивалентные работе его в искателях.

Следует оговорить, что вышеприведенные требования в настоящее время уже частично устарели, частично же их осуществление на практике является нецелесообразным.

Так, например, предусмотренный срок службы 200 000 срабатываний меньше срока службы искателя и его следует за-

менить 1 000 000 срабатываний, что вытекает и из протокола упомянутого совещания (см. введение настоящей статьи).

Опыт некоторых телефонных станций показал, что шнур целесообразно заменять уже тогда, когда электрическое сопротивление слабой жилы достигает 1,0 ом. Это существенно ограничивает помехи в телефонной связи, причем потери в сроке службы шнура являются незначительными (как явствует из усталостных кривых, фигура 3).

Требование к длине испытываемого шнура не имеет существенного значения, если иметь в виду расположение изломов плющенок, что позволяет отклоняться от этого требования, с целью упрощения конструкции испытательной машины. Подробнее этот вопрос будет освещен ниже.

Опыт показывает, что испытание шнуров АТСДИ на декадно-шаговых искателях не является возможным по нескольким причинам. Во-первых, в этом случае испытание длилось бы недопустимо долго. Простой расчет показывает, что для выполнения 200 000 срабатываний при непрерывном круглосуточном режиме потребуется 6...7 суток, а при повышении качества шнуров срок испытания еще более удлинится и при 1 000 000 срабатываний превысит 30 суток.

Во-вторых: испытанию мешает то обстоятельство, что сам декадно-шаговый искатель не выносит непрерывной работы, в основном из-за перегрева катушек электромагнитов. В условиях АТС искатели работают с перерывами, обеспечивающими охлаждение катушек электромагнитов. На АТС-54 последние снабжены даже термоограничителями [4].

Из опыта завода «Эсти Каабель» СНХ ЭССР явствует, что при непрерывной работе в механизме искателя появляются механические дефекты и разрегулировка в работе узлов искателя (с 10 000 срабатываний). Испытаний на 200 000 срабатываний на упомянутом заводе произвести не удалось ни разу.

И, наконец, частые выходы из строя искателей и их высокая стоимость делает вышепредставленную методику испытаний неприемлемой.

Учитывая нереальность использования декадно-шаговых искателей для испытания, были сделаны попытки решить вопрос иными способами. С одной стороны были сконструированы механические испытательные установки, имитирующие кинематику декадно-шаговых искателей*).

*) Надо отметить, что требование ГОСТ-а за счет эквивалентности кинематики запрещает производить испытания на скоростях выше, чем даст искатель, так как срок службы шнура зависит, в частности, и от переменных напряжений, вызванных силами инерции и зависящих в свою очередь от рабочей скорости.

С другой стороны, на практике встречаются отступления от требований ГОСТ-а и созданы испытательные установки с более простой кинематикой. На таких машинах шнур обычно подвергается периодическому загибанию.

Одним из более совершенных примеров такой машины является установка, построенная в Научно-исследовательском институте Кабельной промышленности (НИИКП) [5].

Разумеется, что результаты, полученные на этих различных установках, прямым путем несопоставимы.

Очевидно, что рабочие циклы этих машин имеют более легкий характер, чем рабочие циклы искателей. Это подтверждает то обстоятельство, что шнуры, которые по данным заводов-изготовителей выдерживали минимум 200 000 срабатываний, в условиях АТС такого срока службы не достигали, несмотря на то, что у искателей в условиях АТС при подъеме встречается в среднем меньше десяти импульсов.

Первая известная нам попытка проектирования механической установки, имитирующей движение декадно-шагового искателя, сделана доцентом Таллинского политехнического института Х. Рийкоя в 1956 г. [6].

В 1959 г. на кафедре детали машин ТПИ по заказу завода «Ээсти Кабель» была спроектирована новая, более совершенная испытательная установка, внедренная в производство на упомянутом заводе. Механическая часть испытательной установки была сконструирована Г. Г. Трапезонцевым, электрическая часть и методика испытания разработаны автором настоящей статьи.

На установке посредством кулачковых механизмов имитируется движение ротора декадно-шагового искателя, включая скачки от шагов подъема и поворачивания.

Рабочая скорость установки достигает практически 90 циклов в минуту. При двухсменной работе с упомянутой скоростью для совершения 10^6 циклов требуется 13 суток.

Одновременно на установке можно установить 16 токопроводящих жил. Надежность работы установки довольно высокая.

Испытательная установка нашла признание на совещании в Москве (см. введение настоящей статьи) и была рекомендована всем заводам-изготовителям и заинтересованным организациям, как единая для всех установка.

Для оперативного контроля качества продукции и выработки новых конструкций шнуров, рабочих цикл и этой установки является слишком медленным, тем более, что колебания качества шнура в пределах одной и той же партии требует проведения большого числа испытаний.

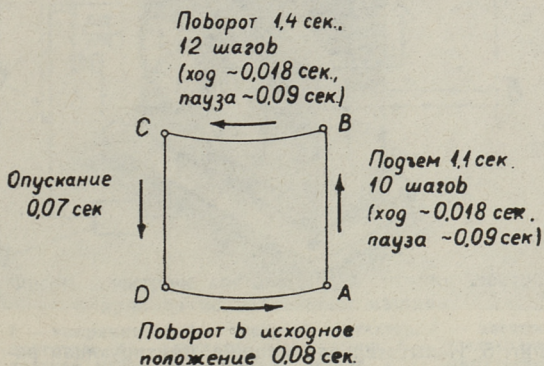
Упомянутая установка обладает однако незаменимым до-

стоинством: она позволяет устанавливать переводные коэффициенты для новых машин, имеющих более ускоренный, но не имитирующий кинематику декадно-шаговых искателей рабочий цикл.

В начале 1962 года автором настоящей статьи по заданию завода «Эсти Каабель» была спроектирована новая установка для ускоренного испытания шнуров АТСДИ, построенная в экспериментальной мастерской ТПИ. Рабочая скорость установки — 1 000 циклов в минуту. Испытание на установке длится в зависимости от качества шнуров от 0,5 до 1,5 часов. Описание установки и методика испытания изложены в конце настоящей статьи.

Испытательная установка, имитирующая цикл декадно шагового искателя

Как известно, полный рабочий цикл декадно-шагового искателя состоит из десяти шагов подъема по 2,5 мм и 12-ти шагов вращения (всего на 108 градусов). На двенадцатом шагу вращения ротор падает и возвращается в свое исходное положение.



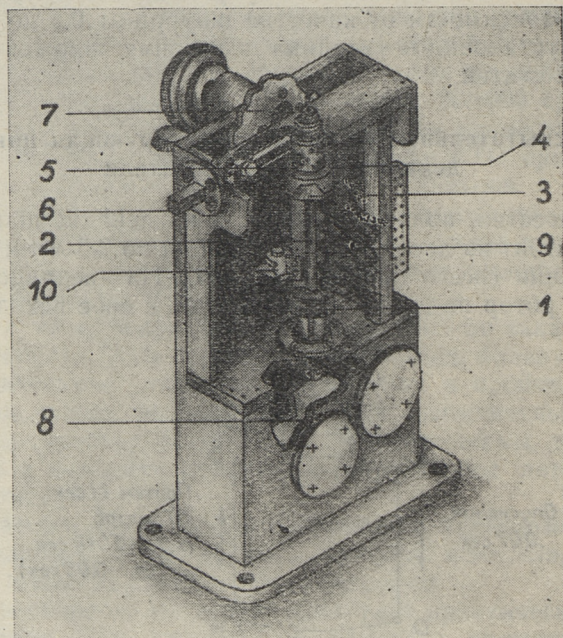
Фиг. 4. Циклограмма движения ротора декадно-шагового искателя

жение. Подъем и вращение ротора происходит при помощи соответствующих электромагнитов.

Возвращение на исходное положение происходит при помощи пружины, заведенной предыдущими движениями. Циклограмма движения ротора приведена на фиг. 4.

В испытательной установке циклограмма движения ротора воспроизведена соответствующими кулачковыми механизмами. Механическая часть установки изображена на фигуре 5.

Функции ротора декадно-шагового искателя выполняет деталь 1, поднимающаяся соответственно профилированным кулачком 8. На конце подъема сцепляются полумуфты 3 и 4, толкатель 2 к этому времени попадает на участок постоянного радиуса кулачка 8. Вращение ротора происходит при помощи кулачка 7 через толкатель 6. Толкатель 6 присоединен к ведущей полумуфте 4 при помощи стальной ленты 5, наливка и



Фиг. 5. Испытательная машина, имитирующая рабочий цикл декадно-шагового искателя:

1 — ротор, 2 — толкатель подъема, 3 — ведомая полумуфта, 4 — ведущая полумуфта, 5 — стальная лента, 6 — толкатель поворачивания, 7 — кулачок поворачивания, 8 — кулачок подъема, 9 — шнуры-образцы, 10 — защелка

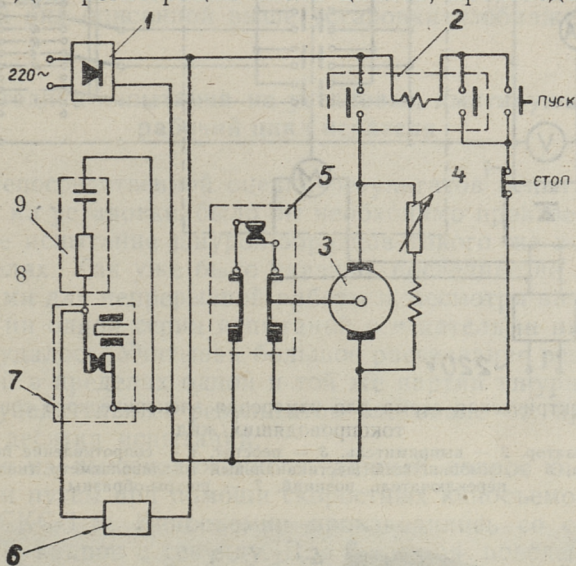
развивка последнего ведущей полумуфтой 4 превращает обратно-поступательное движение толкателя 2 во вращение ротора 1. После совершения ротором вращения толкатель 2 покидает участок постоянного радиуса кулачка 8, и под действием пружины падает, после чего защелка 10 освобождает ротор 1 и последний под действием пружины возвращается в свое исходное положение.

Испытательная машина приводится в действие двигателем постоянного тока через зубчатый редуктор.

Электрическая схема для питания электропривода приведена на фигуре 6.

Применение двигателя постоянного тока у лабораторной установки упрощает регулирование рабочей скорости машины.

Предохранителем двигателя от возможного заклинивания механической части установки является предохранительная муфта 5, контакты которой при перегрузке отсоединяют контактор 2. Для регистрации числа циклов, произведенных ма-



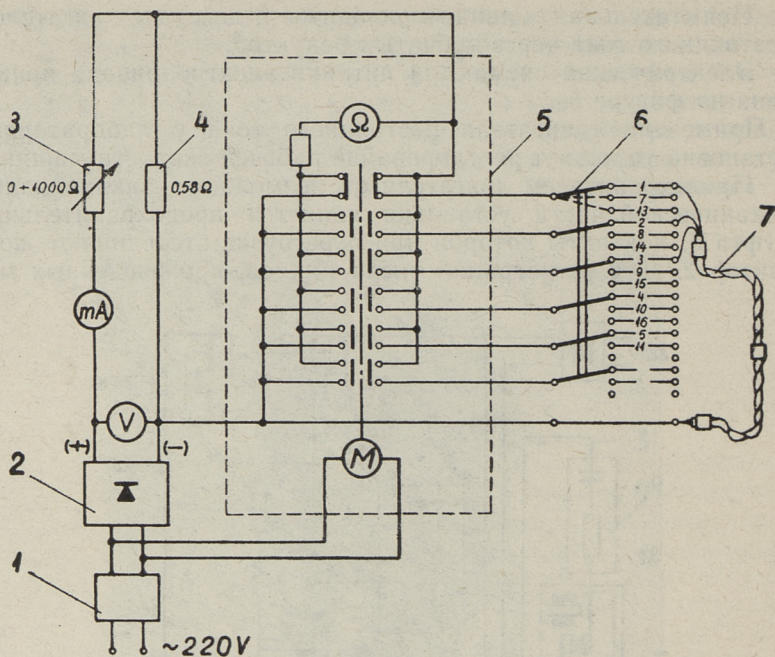
Фиг. 6. Электрическая схема для питания электропривода испытательной машины:

1 — выпрямитель, 2 — пусковой контактор, 3 — электродвигатель, 4 — регулятор возбуждения, 5 — предохранительная муфта, 6 — счетчик циклов, 7 — импульсные контакты, 8 — толкатель поворачивания ротора (см. фиг. 5, дет. 6), 9 — искрогаситель

шиной, изготовлен шестизначный счетчик импульсов 6. Импульсы подаются контактами 7, включающимися в каждом цикле машины толкателем 8 механизма вращения ротора (см. фиг. 5, дет. 6).

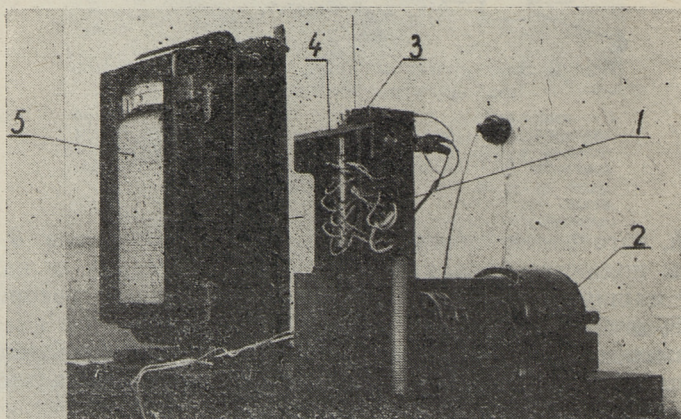
Измерение электрического сопротивления токопроводящих жил происходит на ходу машины. Соответствующая электрическая схема изображена на фигуре 7.

Питание электрической схемы для измерения сопротивления токопроводящих жил производится стабилизированным постоянным током. Для измерения электрического сопротив-



Фиг. 7. Электрическая схема для измерения электрического сопротивления токопроводящих жил:

1 — стабилизатор, 2 — выпрямитель, 3 — реостат, 4 — сопротивление подгонки милливольтметра, 5 — самопишущий шестиканальный милливольтметр типа «СГ», 6 — переключатель позиций, 7 — шнуры-образцы



Фиг. 8. Общий вид имитирующей цикл искателя установки:
1 — механическая часть испытательной установки, 2 — электродвигатель, 3 — счетчик циклов, 4 — шнуры-образцы, 5 — самопишущий измерительный прибор типа «СГ»

ления предусмотрен шестиканальный самопишущий милливольтметр типа «СГ», шкала которого градуирована в единицах сопротивления. Параллельно подвергавшимся измерению жилам для подгонки милливольтметра (в случае, если электрическое сопротивление жилы достигает бесконечности) подключено сопротивление. На схеме отображен один трехжильный шнур-образец АТСДИ-3, аналогично которому подключаются и остальные. Для измерения 16-ти жил с одним шестиканальным прибором используется переключатель позиций.

Общий вид описанной выше установки изображен на фигуре 8.

Методика испытания на установке, имитирующей рабочий цикл искателя

Для непосредственной оценки результатов испытаний, полученных на установке, было бы необходимо произвести одновременное испытание шнуров-образцов такого же качества и на искателях. Как уже было указано, последние не являются пригодными для непрерывной работы и, несмотря на все наши попытки, ни одной серии испытаний с искателями нам произвести не удалось. Учитывая большое рассеивание результатов испытаний в пределах одной и той же партии шнура, для получения убедительных результатов следовало бы произвести не менее десятка испытаний.

Исходя из вышеизложенного, данный вопрос был решен косвенным путем при помощи скоростных кино съемок с кинокамерой СКС-1 м. Киносъемки производились со скоростью 800... 1400 кадров в секунду. Для изучения поведения шнуров, искатель и испытательная машина были засняты в торцевом и боковом видах (как изображено на фигурах 9-а и 9-б). Чтобы лучше следить за движением шнура, каждый шнур, подвергавшийся съемке, был отмечен тремя точками — 1, 2 и 3.

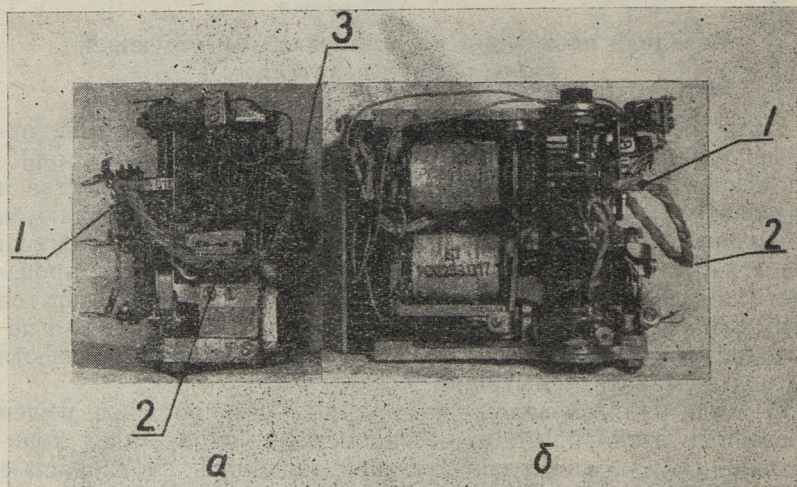
Вначале кинофильмы использовались путем их просмотра в процессе проектирования. Затем отдельные кадры скоростной съемки проектировались на экран с целью исключить колебание кадров, после чего было зафиксировано расположение отмеченных точек и путем присоединения последних плавной кривой была получена проекция их траектории.

Оба метода имеют свои недостатки. Для уменьшения субъективного момента при просмотре, наблюдения осуществлялись несколькими наблюдателями. При проектировании отдельных кадров точки 1 и 3 были плохо видны в торцевом, а точки 2 и 3 — в боковом виде.

Наилучшему наблюдению подверглась точка 2 в торцевом виде искателя. Точка 2 находится в средней части шнура, в котором влияние места закрепления — наименьшее, вследствие чего это место является особенно выгодным для наблюдения движения, вызванного силами инерции.

В связи с этим, путем проектирования отдельных кадров, была определена проекция траектории именно этой точки (для шнура с оплетенной изоляцией, см. фигура 10).

Фигура 10 показывает, что траектории, возникающие на испытательной машине (в особенности при скорости машины 25 циклов в минуту), в общем похожи на траектории, полу-

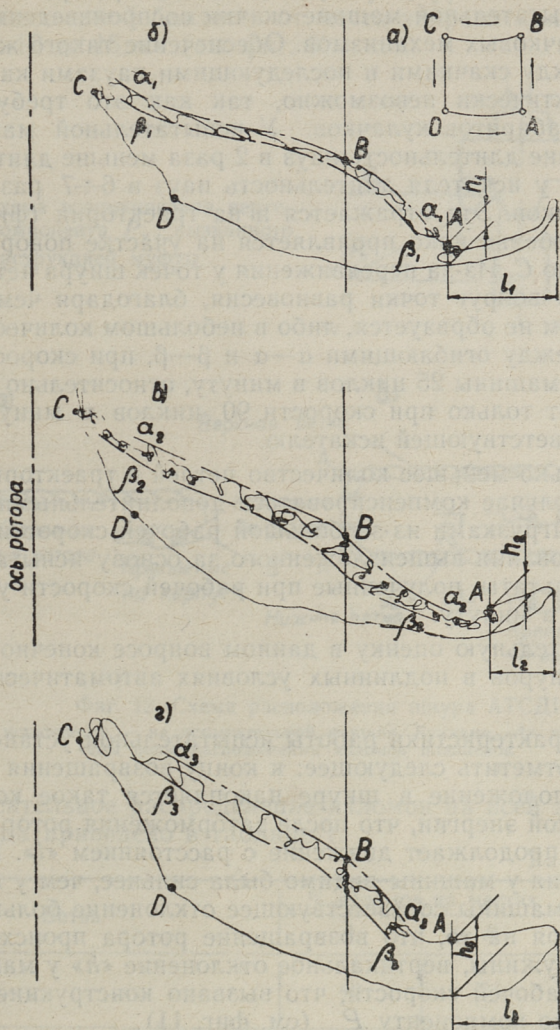


Фиг. 9. Расположения искателя при скоростных съемках:
а — торцевой вид, *б* — боковой вид. На шнуре отмечены точки — 1, 2 и 3

ченные искателем. Это вполне закономерно, так как кинематика роторов обеих установок мало отличается друг от друга.

На фоне этого сходства встречаются однако и существенные различия, проявляющиеся как при визуальном наблюдении, так и при анализе траекторий.

На фигуре 4 показано, что скачки подъема и поворачивания ротора искателя невелики и длятся от 15 до 18 мсек. За ними следуют паузы от 90 до 100 мсек. Таким образом мы здесь имеем дело с большими ускорениями и вызванными ими силами инерции. Под воздействием последних происходит колебание шнура, что наглядно показывает проекция траектории точки 2 в участке *А* до *С* (см. фиг. 10-в). Из-за паузы на каждом шагу ротора искателя встречаются даже несколько



Фиг. 10. Проекция траектории, отмеченной на шнуре точки 2, полученные при съемке искателя и испытательной машины в торцевом виде:

a — циклограмма искателя, *б* — испытательная машина 25 цикл./мин, *в* — декадно-шаговый искатель 24 цикл./мин, *г* — испытательная машина 90 цикл./мин

петель. Величина колебаний характеризуется расстоянием между огибающими траекториями $\alpha_2 - \alpha_1$ и $\beta_2 - \beta_1$.

На испытательной машине скачки воспроизведены при помощи кулачковых механизмов. Обеспечение такого же соотношения между скачками и последующими паузами как у искателя, практически невозможно, так как это требует очень больших габаритов кулачков. У испытательной машины по этой причине длительность пауз в 2 раза меньше длительности скачков, а у искателя длительность пауз в $6 \div 7$ раз больше, чем у скачков. Это отражается и на траектории (фиг. 10-б и 10-г) и особенно ярко проявляется на участке поворачивания ротора *B* до *C*. Из-за передвижения у точек шнура нет времени колебаться вокруг точки равновесия, благодаря чему петель либо совсем не образуется, либо в небольшом количестве. Расстояние между огибающими $\alpha - \alpha$ и $\beta - \beta$, при скорости испытательной машины 25 циклов в минуту, относительно невелико и достигает только при скорости 90 циклов в минуту величины, соответствующей искателю.

Несколько меньшее количество петель в траектории может в данном случае компенсироваться дополнительными динамическими нагрузками из-за большой рабочей скорости.

На основании вышеизложенного за основу испытаний приняты результаты, полученные при рабочей скорости установки 90 циклов в минуту.

Окончательную оценку в данном вопросе конечно даст поведение шнуров в подлинных условиях автоматических станций.

Для характеристики работы испытательной установки следует еще отметить следующее: к концу возвращения ротора в исходное положение в шнуре накапливается такое количество кинетической энергии, что после заторможения ротора в точке «А» шнур продолжает движение с расстоянием «*l*». Пружина возвращения у машины видимо была сильнее, чем у искателя, так как у машины соответствующее отклонение больше.

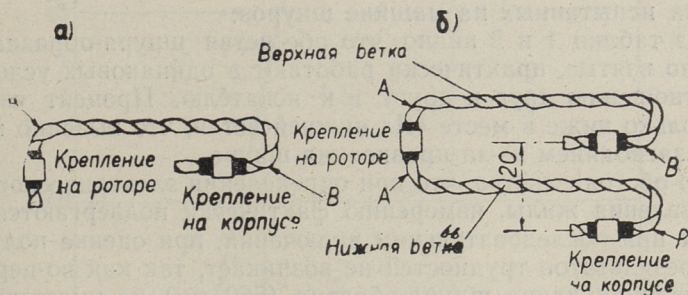
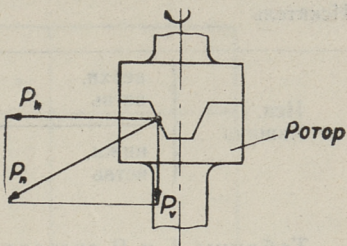
Несмотря на то, что возвращение ротора происходит при помощи пружины, вертикальное отклонение «*h*» у машины зависит от рабочей скорости, что вызвано конструкцией муфты вертикально компоненту *P* (см. фиг. 11).

Определенную оценку рабочего цикла испытательной машины даст изучение расположения зон изломов плющенок.

В интересах упрощения конструкции испытательной машины, шнур-образец представляет собой два последовательно включенных шнура искателя, как это показывают схемы на фиг. 12. На схеме буквами «А» и «В» отмечены зоны изломов плющенки.

Изломы плющенки у шнура-образца располагаются на испытательной машине так же, как и у шнуров искателей, т. е. в непосредственной близости от места закрепления на протяжении от 10 до 15 мм (см. фиг. 2).

Фиг. 11. Схема возникновения вертикального компонента P_v , вызванного конструкцией муфты



Фиг. 12. Схема расположения шнура АТСДИ:

а — на искателе, б — на испытательной машине. Буквами «А» и «В» отмечены зоны расположения изломов плющенки

Относительное распределение изломов на всей длине шнура-образца приведено в таблице 1.

Таблица 1

Ветвь	% изломов на местах		Всего %
	А	В	
Верхняя	40	11	51
Нижняя	35	14	49

В таблице 2 приведено относительное распределение изломов плющенки в местах А и В у искателя и у испытательной машины (по последней данные приводятся раздельно по верхней и нижней ветвям).

Таблица 2

Установка	% изломов на местах		Всего %	
	А	В		
Искатель	83	17	100	
Исп. машина	верхн. ветвь	79	21	100
	нижн. ветвь	71	29	100

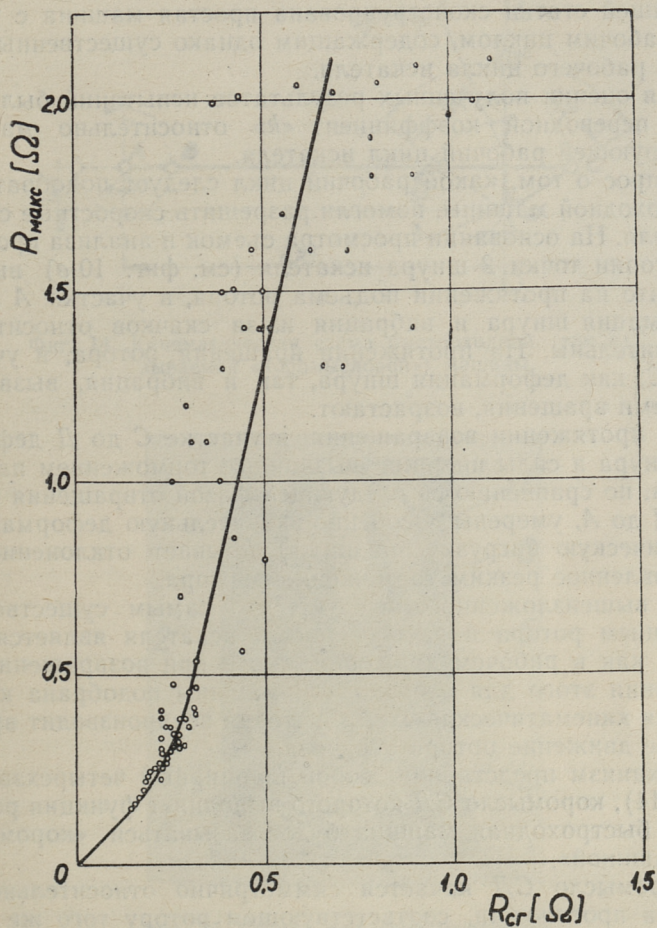
Таблицы 1 и 2 составлены на основании изучения 30-ти снятых с искателей автоматических станций и такого же количества испытанных на машине шнуров.

Из таблиц 1 и 2 видно, что обе ветви шнура-образца отдельно взятые, практически работают в одинаковых условиях по отношению друг к другу и к искателю. Процент излома несколько ниже в месте «А» нижней ветви, что вызвано меньшим загибанием из-за провисания шнура.

То обстоятельство, что при определении электрического сопротивления жилы, измерению фактически подвергаются две жилы при последовательном включении, при оценке полученных результатов трудностей не возникает, так как во-первых, увеличенная длина шнура-образца (560 мм) не имеет значения в связи с тем, что сопротивление цельной жилы, возникшее при изломе сопротивления, относительно ничтожно, а во-вторых, не следует забывать приведенных на фигуре 3 кривых усталости. Благодаря тому, что окончательное разрушение и вызванный этим крутой подъем сопротивления жилы происходят в области относительно ограниченного числа циклов и поровну в обеих ветвях (как это видно из таблицы 1), последовательное включение обеих ветвей не оказывает существенного влияния на результаты испытания.

Измерение электрического сопротивления производилось на ходу машины. Сначала, в течение испытаний десяти шнуров, определялось соотношение между показаниями самопишущего прибора и фактическим максимальным сопротивлением (фиг. 13). Для этого машина через определенный промежуток времени останавливалась и измерялось сопротивление жил мостом постоянного тока. При этом машину раскручивали вручную с такой скоростью, чтобы было возможно определить максимальное сопротивление.

Испытания были доведены до возникновения максимального сопротивления 2 ома у самой выносливой жилы.



Фиг. 13. Соотношение между показаниями самопишущего прибора (R_{cr}) и фактическим максимальным сопротивлением (R_{\max})

Быстроходная испытательная машина

Необходимость ускоренного испытания была нами уже доказана. В интересах увеличения скорости следовало избегать рабочий цикл, имитирующий рабочий цикл искателя. Автором настоящей статьи сконструирована простая машина с условным рабочим циклом, содержащим однако существенные элементы рабочего цикла искателя.

Для оценки полученных результатов испытаний был определен переводной коэффициент « k » относительно машины, имитирующей рабочий цикл искателя.

Вопрос о том, какой рабочий цикл следует подобрать для быстроходной машины, помогли разрешить скоростные съемки искателя. На основании просмотра съемок и анализа проекции траектории точки 2 шнура искателя (см. фиг. 10-в) выяснилось, что на протяжении подъема ротора, в участке A до B , деформация шнура и вибрация из-за скачков относительно незначительны. На протяжении вращения ротора, в участке B до C , как деформация шнура, так и вибрация, вызванная скачками вращения, возрастают.

На протяжении возвращения, в участке C до D деформация шнура и силы инерции, вызванные торможением падения ротора, по сравнению со следующей фазой отворачивания в участке D до A , умерены. Особенно значительную деформацию и динамическую нагрузку на шнур вызывает отклонение « l », обусловленное резким торможением ротора.

Из вышеизложенного следует, что самым существенным движением ротора в рабочем цикле искателя является вращение как в рабочем движении, так и при возвращении. На основании этого для скороходной машины подобрана крайне простая кинематическая схема, которая воспроизводит вращательное движение ротора искателя.

Механизм представляет собой шарнирный четырехзвенник (фиг. 14), коромысло CD которого выполняет функции ротора. Ниже быстроходная машина будет называться «коромысловой машиной».

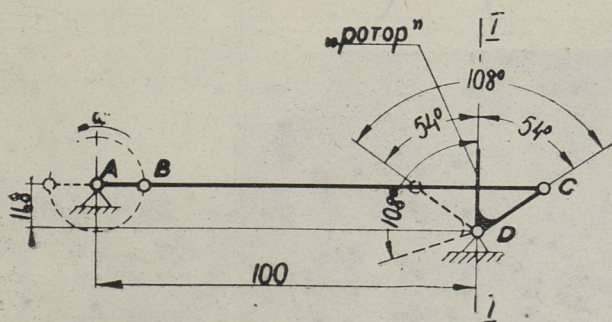
Коромысло CD качается симметрично относительно оси $I-I$ на протяжении, соответствующем ротору того же искателя.

Рабочая скорость коромысловой машины — 1 000 циклов в минуту — является предельной и установлена экспериментально; при больших скоростях шнуры-образцы будут вести себя неустойчиво: начинается их «бросание».

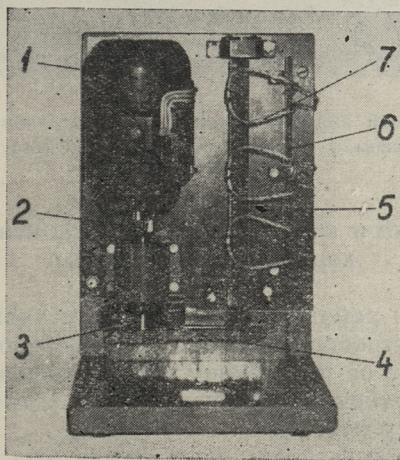
На 3-м Всесоюзном научно-техническом совещании по перспективам развития производства кабельной связи, проведенном в сентябре 1962 года в гор. Бердянске, продемонстрировался

кинофильм о «коромысловой» машине и были представлены данные о методике испытаний и о полученных результатах.

Вид «коромысловой» машины представлен на фигуре 15.



Фиг. 14. Кинематическая схема быстроходной (так называемой «коромысловой») машины

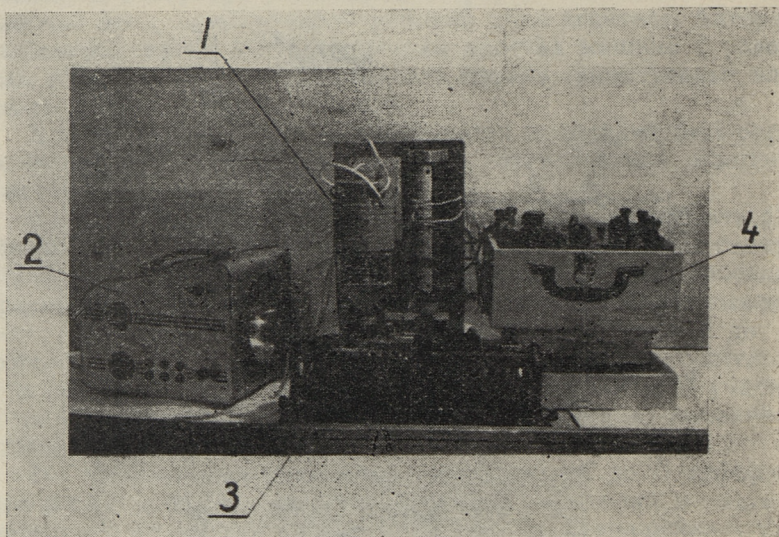


Фиг. 15. Общий вид «коромысловой» машины:

- 1 — двигатель, 2 — редуктор, 3 — маховик,
4 — шатун, 5 — ротор, 6 — рейка крепления,
7 — шнур-образец

Все вращающиеся детали «коромысловой» машины опираются на подшипники качения, обеспечивая высокую эксплуатационную надежность этой машины.

Для упрощения регулирования скорости машины, ее лабораторный образец снабжен двигателем постоянного тока. Общий вид лабораторной установки отображен на фиг. 16.



Фиг. 16. Общий вид лабораторной испытательной установки:
1 — коромысловая машина, 2 — стробоскоп, 3 — реостат возбуждения, 4 — мост постоянного тока

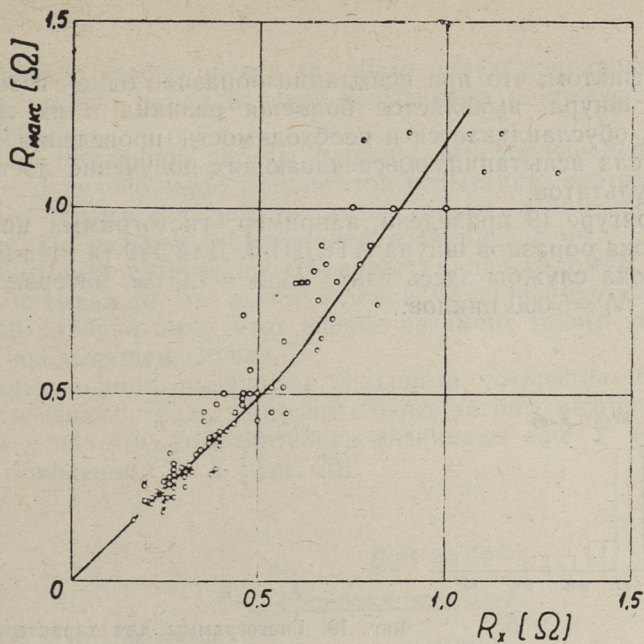
Методика и некоторые результаты испытания коромысловой машины

При изучении работы лабораторной установки применялся газоразрядный стробоскоп, с помощью которого были проведены наблюдения за поведением шнуров-образцов вообще и в зависимости от рабочей скорости машины, а также определена оптимальная скорость.

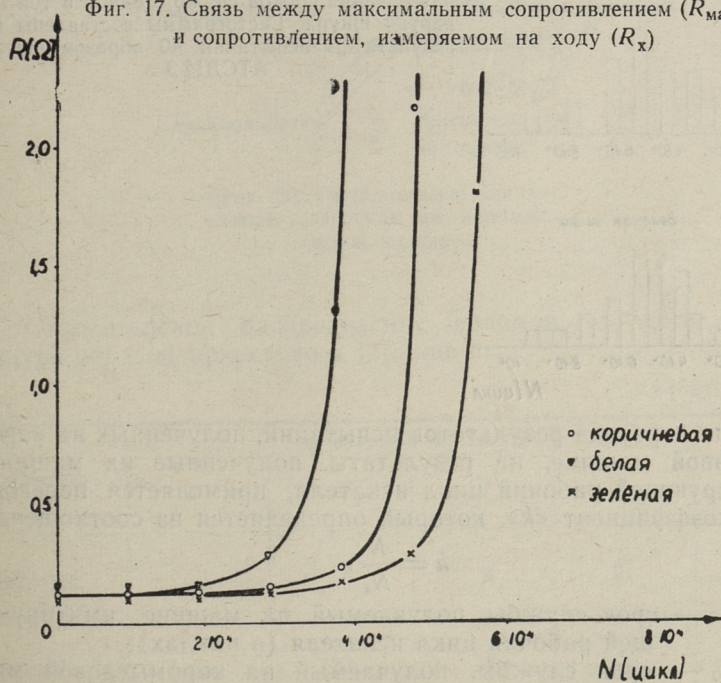
К сожалению осветитель стробоскопа был слишком слаб для съемки отдельных фаз движения шнуров-образцов.

Для измерения электрического сопротивления жил был применен мост постоянного тока. В целях определения максимального сопротивления на ходу машины, по вышеизложенной методике была установлена его связь с сопротивлением, измеряемом на ходу машины (фиг. 17).

Усталостные кривые, полученные на коромысловой машине и на машине, имитирующей рабочий цикл искателя, имеют одинаковый характер (см. фиг. 18).



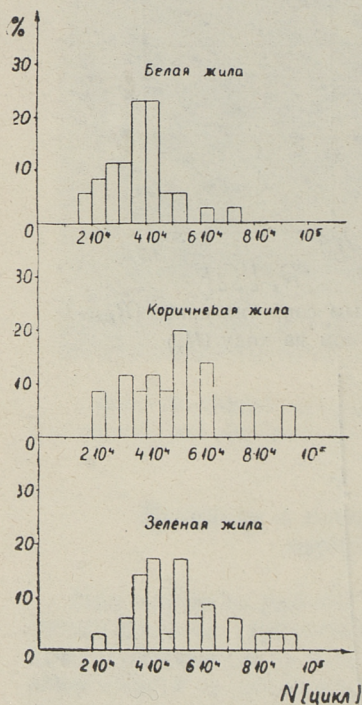
Фиг. 17. Связь между максимальным сопротивлением (R_{\max}) и сопротивлением, измеряемом на ходу (R_x)



Фиг. 18. Пример усталостных кривых, полученных на коромысловой машине

Тем фактом, что при испытании образцов одной и той же партии шнура выявляется большая разница в их сроках службы, обуславливается и необходимость проведения большого числа испытаний, обеспечивающих получение достоверных результатов.

На фигуре 19 приведена, например, гистограмма испытаний сорока образцов шнура АТСДИ-3. Для 120-ти жил критерием срока службы здесь взято $R_{\max} = 1,0$ ом, интервалы по циклам $N_i = 5000$ циклов.



Фиг. 19. Гистограммы для характеристики рассеивания сроков служб в одной и той же партии шнура. Гистограммы составлены по результатам испытаний 40 образцов шнура АТСДИ-3

Для перевода результатов испытаний, полученных на коромысловой машине, на результаты, полученные на машине, имитирующей рабочий цикл искателя, применяется переводный коэффициент « k », который определяется из соотношения

$$k = \frac{N}{N_1},$$

где N — срок службы, получаемый на машине, имитирующей рабочий цикл искателя (в циклах);

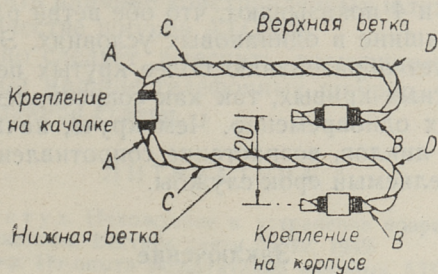
N_1 — срок службы, получаемый на коромысловой машине (в циклах).

Значение коэффициента « k » было определено прямым путем, а именно параллельным испытанием однокачественных шнуров.

Из-за медленной работы машины, имитирующей цикл искателя, получено мало результатов испытаний; поэтому в настоящее время « k » можно дать только ориентировочную оценку. По шнурам с оплетенной изоляцией $k \approx 4$.

Некоторый интерес представляет анализ изломов плющенок. Учитывая то, что коромысловая машина имеет лишь условный рабочий цикл, этот вопрос не имеет такого значения, как в предыдущем случае.

Силы инерции, вызванные большими ускорениями, вызывают, в свою очередь, дополнительные загибы между креплениями и поэтому дополнительно возникают еще 2 зоны излома плющетки C и D (фиг. 20).



Фиг. 20. Расположение зон изломов плющенок на коромысловой машине

Относительное распределение изломов по всей длине шнура-образца приведено в таблице 3.

Таблица 3

Ветвь	% изломов на местах				Итого %
	A	C	D	B	
Верхняя	11	8	4	21	44
Нижняя	15	11	5	25	56

В таблице 4 приводится относительное распределение изломов отдельно по верхней и нижней ветвям.

Таблица 4

Ветвь	% изломов на местах				Итого %
	А	С	Д	В	
Верхняя	26	18	8	48	100
Нижняя	26	20	8	46	100

Таблицы 3 и 4 составлены по данным анализа 20-ти шнуров АТСДИ-3.

Таблицы 3 и 4 показывают, что обе ветви работают на комысловой машине в одинаковых условиях. Это обстоятельство содействует образованию более крутых переходных участков усталостных кривых, так как сопротивление возрастает в обеих ветвях одновременно. Чем круче, начиная с определенного числа циклов, возрастание сопротивления, тем точнее будет и определяемый срок службы.

Заключение

Определение и повышение качества шнура марки АТСДИ, ГОСТ 7218-54, применяемого для подведения напряжения к щеткам ротора декадно-шагового искателя автоматической телефонной станции, тормозится главным образом несовершенной методикой испытания. В статье показано, с какими трудностями приходилось сталкиваться при испытании упомянутых шнуров, и что сделано в настоящее время для разрешения этого вопроса.

На кафедре детали машин Таллинского политехнического института создана имитирующая механическим путем рабочий цикл искателя испытательная установка. В связи с тем, что искатели не выдерживают непрерывной работы, выявлено косвенным путем, что сроки службы, полученные при рабочей скорости 90 циклов в минуту, соответствуют срокам службы, полученным на искателе.

При двухсменной работе для совершения 1 000 000 циклов требуется 13 суток. Однако для оперативного контроля производства и для разработки новых конструкций шнуров и этот срок испытаний не приемлем.

При определении переводных коэффициентов для условных рабочих циклов новых, более скорых машин, эта машина является совершенно незаменимой.

На основании исследования деформаций шнура АТСДИ на искателе была сконструирована быстроходная испытательная машина (так называемая «коромысловая») с условным рабочим циклом, содержащим однако существенные элементы движения ротора искателя. Скорость работы коромысловой машины — 1 000 циклов в минуту, что придает ей большую оперативность, так как испытание шнуров с оплетенной изоляцией длится от 0,5 до 1,5 часов.

На машине можно одновременно испытывать 6 образцов.

В настоящее время ориентировочно определен переводной коэффициент относительно машины, имитирующей рабочий цикл искателя.

На следующем этапе исследовательской работы предусматривается выяснить влияние конструктивных и технологических факторов на качество шнуров АТСДИ.

Одновременно следует выяснить возможности испытания на коромысловой машине телефонных шнуров, упомянутых в вводной части данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Э л е н т у х. Нахождение и устранение повреждений на АТС декадно-шаговой системы. Вестник связи № 12, 1949.
2. Н. И в а н о в. Из опыта эксплуатации шаговых АТС. Вестник связи № 10, 1950.
3. Ю. М. К о р о б о в, Л. И. С а г а н о в и ч. Метод определения неисправного декадно-шагового искателя. Вестник связи № 1, 1953.
4. Р. В. Л и й к, Е. М. Р а й т е н б е р г. Автоматическая телефонная станция декадно-шаговой системы АТС-54. Связиздат, Москва, 1959.
5. НИИКП. Испытания на срок службы шнура марки АТСДИ на установке НИИКП. Протокол № 2384. Москва, 1959.
6. Х. Р и й к о я. Установка для испытания шнуров декадно-шагового искателя. ТПИ, договор № 10/1956.
7. ГОСТ 7218-54. Провода и шнуры для автоматических телефонных станций.
8. ГОСТ 2932-53. Шнуры телефонные и коммутаторные.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. А. Ингерма. Влияние малых пластических деформаций на предел выносливости стали 12ХН2	3
2. И. Клейс. Исследование ударного износа металлокерамических твердых сплавов разной твердости	11
3. И. Клейс. Анализ схем установок для испытания материалов на ударный износ	17
4. Б. Саар, Х. Лепиксон. Исследование изнашивания в массе уплотненного абразива	27
5. Л. Вальдма. Расчет абразивного износа металлов по диаграммам трения	43
6. Л. Мере. Установка и методика ускоренного испытания шнуров марки АТСДИ декадно-шагового искателя на срабатывание	49



ИРИОС КОСТАГОЧИ И КОПРОСА

МЕТАЛОС

САБИНИК ТАТИИ

Ташкентский государственный университет

История X-XI вв.

Лекция профессора Р. М. Мухоморова

Лекция в объеме 10 часов. Курсовая работа

на тему: "История Ташкента в X-XI вв."

Место лекции: Ташкентский государственный университет

Дата лекции: 10.10.2010 г.

Место лекции: Ташкентский государственный университет

Лекция в объеме 10 часов. Курсовая работа

на тему: "История Ташкента в X-XI вв."

Место лекции: Ташкентский государственный университет

ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ
МЕТАЛЛОВ
СБОРНИК СТАТЕЙ

Таллинский политехнический институт

Редактор Х. Хольм

Технический редактор Я. Мыттус

Сдано в набор 13 II 1965. Подписано к
печати 31 V 1965. Бумага 60×90, 1/16.
Печатных листов 4,75. Учетно-издатель-
ских листов 4,0. Тираж 500 экз.
МВ-06003. Заказ № 490.

Типография «Юхисэду», Таллин.
ул. Пикк 40/42.

Цена 28 коп.

8.1067

Цена 28 коп.

89