

322

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 322

**ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ
МЕТАЛЛОВ**

СБОРНИК СТАТЕЙ

V

Таллин 1972

Ep. 6.1

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 322

1972

УДК 620.178

ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

СБОРНИК СТАТЕЙ

V

Таллин 1972

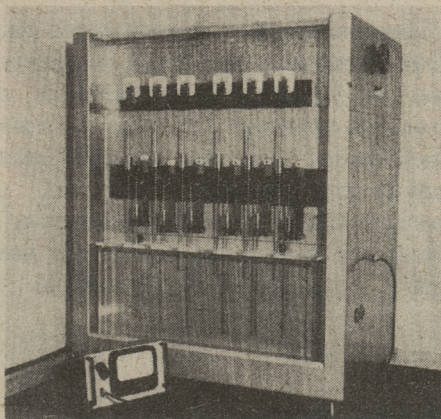


УДК 621.822.5

М.Э. Аяотс, Р.Х. Лээс, М.Х. Нанитс,
Я.Э. Сярак, Ю.М. Хандельсман

СТЕНД М-906 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕНИЯ В
МИНИАТЮРНЫХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

I. Назначение, схема и конструкция стенда



Фиг. 1. Шестипозиционный стенд М-906 для исследования трения в миниатюрных подшипниках скольжения.

Шестипозиционный стенд М-906 (фиг. I) предназначен для исследования фрикционных характеристик радиально нагруженных приборных подшипников скольжения при произвольных ско-

ростях вращения от 350 до 10000 об/мин. Универсальность стенда – бесступенчатое регулирование в широком диапазоне скоростей и величин радиальных нагрузок, возможность испытания подшипников разных диаметров и разной конструкции – допускает проводить различные исследования опор механизмов точной механики, в частности подшипников малогабаритных редукторов и микроэлектродвигателей.

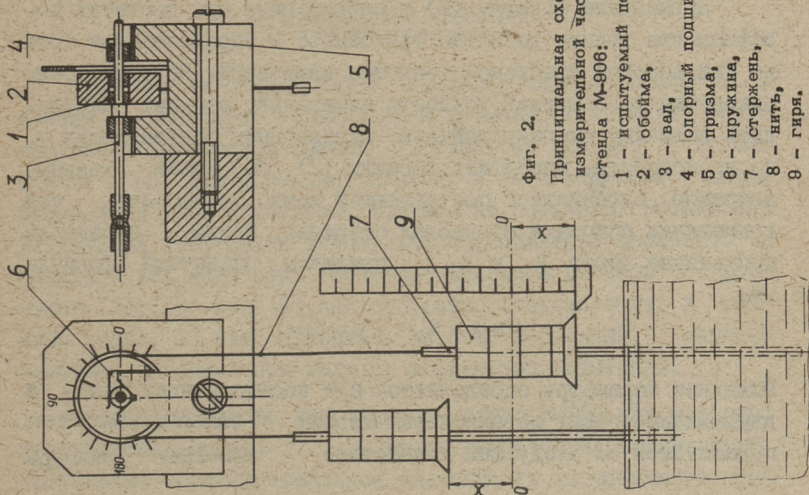
Стенд состоит из привода, испытательно-отсчетного устройства и тахометра. Испытуемый подшипник (или подшипники) I запрессовывается в обойму 2 (фиг. 2) и помещается вместе с валом 3 и опорными подшипниками 4 на призму 5. Опорные подшипники крепятся при помощи плоской пружины 6.

Кинематическая схема привода показана на фиг. 3. Вращение от асинхронного электродвигателя ($n = 1400$ об/мин) передается через клиноременную передачу I0, вариатор II, I2, фрикционную передачу I3, I4 и упругую муфту I5 на испытуемый вал I6. Скорости вращения валов на всех позициях одинаковы, равны скорости главного вала I7 и измеряются тахометром, датчик которого установлен на главном валу.

Измерение момента трения осуществляется гидравлическим способом, который отличается простотой конструктивного оформления, наличием демпфирующего устройства и обеспечивает при измерении высокую точность [1]. Момент трения в подшипнике уравнивается разностью давлений, оказываемых жидкостью на каждый из двух стержней 7 (фиг. 2), закрепленных на нити 8, перекинутой через обойму подшипника. Радиальную нагрузку на испытуемые подшипники составляет вес измерительных стержней 7, гирь 9 и обоймы; величина её определяется формулой

$$R = 2(G + Q - s\alpha\gamma_{ж}) + P, \quad (I)$$

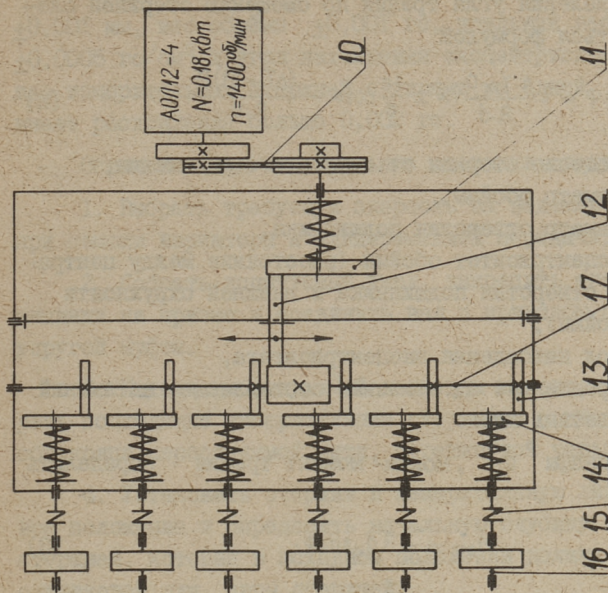
- где R – радиальная нагрузка на подшипники,
 G – вес гирь на одном стержне,
 Q – вес измерительного стержня,
 P – вес обоймы с подшипниками,
 s – площадь сечения измерительного стержня,
 α – исходная глубина погружения стержней,
 $\gamma_{ж}$ – удельный вес жидкости.



Фиг. 2.

Принципиальная схема измерительной части

- станда М-906:
- 1 - испытуемый подшипник,
 - 2 - вал,
 - 3 - обойма,
 - 4 - опорный подшипник,
 - 5 - призма,
 - 6 - пружина,
 - 7 - стержень,
 - 8 - нить,
 - 9 - гиря.



Фиг. 3. Кинематическая схема Стенда:

- 10 - клиноременная передача,
- 11, 12 - вариатор,
- 13, 14 - фрикционная передача,
- 15 - упругая муфта,
- 16 - испытательный вал,
- 17 - главный вал.

Для определения угла трения по смещению стержней следует пользоваться формулой

$$\sin \varphi = 2 \frac{s \cdot \gamma_{ж} \cdot D}{R \cdot d} \cdot x \pm \frac{2e}{d} \cos \alpha + \frac{(\Delta T + \Delta t) D}{R \cdot d}, \quad (2)$$

где x — смещение стержня от начального положения,
 D — диаметр обоймы,
 d — диаметр отверстия подшипника,
 e — эксцентриситет обоймы (расстояние между центрами отверстия подшипника и внешней окружности обоймы),
 α — угол нахождения эксцентриситета,
 ΔT и Δt — осредненные адгезионные составляющие натяжений в ветвях нити.

Зная диаметр цапфы d_u , можем момент трения определить из выражения

$$M_{тр} = \frac{1}{2} R d_u \sin \varphi. \quad (3)$$

Знак "+" в формуле (2) соответствует вращению вала против часовой стрелки, а знак "-" — по часовой стрелке [1], при испытаниях подшипников жидкостного трения — наоборот.

2. Подготовка стенда к опытам

Применение формулы (2) в полном виде при расчетах коэффициента трения довольно трудоемкое и оправдывается только при высокой требуемой точности измерений. Поэтому после выяснения необходимой точности измерений, следует определить величину эксцентриситета, адгезионных составляющих и, по возможности, упростить формулу (2). По нашим данным, например, адгезионной составляющей можно пренебречь при применении спирта и бронзовых стержней. Тогда, обозначив постоянные через K_1 и K_2 , придадим расчетной формуле вид

$$\sin \varphi = K_1 \cdot x \pm K_2 \cos \alpha. \quad (4)$$

Исходные параметры определяются при исследованиях одно- и двухмиллиметровых металлокерамических самосмазывающихся подшипников со следующей точностью: линейные размеры

$\pm 0,001$ мм, вес обоймы $\pm 0,001$ гс, удельный вес жидкости $\pm 0,0005$ гс/см³ и угол нахождения эксцентриситета $\pm 2,5^\circ$; вес измерительных стержней с гирями на одной позиции не имеет расхождения больше $0,002$ гс.

Остальные подготовительные операции следующие:

1. Выбрать требуемую скорость на ведомых валах стэнда при помощи вариатора и клиноременной передачи.

2. Собрать испытуемый узел, закрепить его опорные подшипники на призме и соединить вал с приводом при помощи упругой муфты.

3. Исходя из ожидаемой величины момента трения выбрать подходящие измерительные стержни и подвесить их на оба конца нерастяжимой нити, перекинутой через обойму.

4. Установить стержни и измерительную линейку в нулевое положение и определить начальную глубину погружения стержней, которая в исходном положении должна быть строго одинаковой для пары стержней.

5. Поместить на стержни необходимое количество нагружающих гирь и определить по формуле (1) радиальную нагрузку.

После этого стэнд можно включить в сеть.

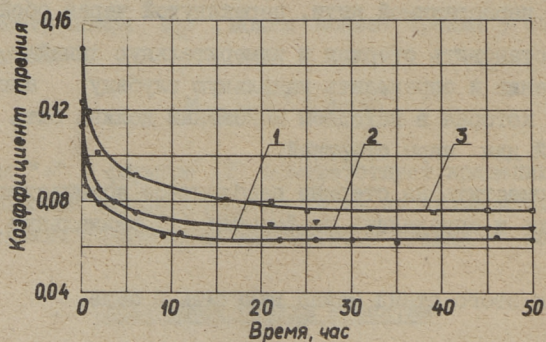
3. Проведение опытов

Опытами на стэнде М-906 определяется коэффициент и момент трения через определенный промежуток времени, обусловленный характером трения. Каждый раз следует делать отсчет X по измерительной линейке и по окружной шкале определять угол нахождения индекса на периметре обоймы. При длительных испытаниях желательно периодически проверять и удельный вес жидкости. Расчетные данные и расчеты по формулам (2), (3) или (4) целесообразно сосредоточить в таблицу (табл. I) или обработать на ЭВМ. Последний вариант наиболее выгодный при большом количестве испытаний.

Наиболее удобно использовать стэнд М-906 для массовых кратковременных (до 10...20 часов) испытаний подшипников. Полученные экспериментальные зависимости коэффициента тре-

Пример протокола результатов измерений

№ п.п.	Время отсчета	Смещение стержня, х	Угол, α	$K_1 \cdot x$	$\pm K_2 \cos \alpha$	$K_3 = \frac{(\Delta T + \Delta t) D}{R \cdot d}$	$\sin \varphi$	$\tan \varphi$	$M_{тр}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Фиг. 4. Полученные на стенде М-906 типичные кривые среднего коэффициента трения пористых подшипников при скорости $n = 2900$ об/мин и давлении $1,2$ кгс/см² (диаметр вала 2 мм; средний зазор $0,03 \dots 0,04$ мм; шероховатость вала $\nabla 8 \dots \nabla 9$; масло МН-60у);
 1 - железо (ПЖ1К); 2 - бронза (90 % Cu, 10 % Sn);
 3 - бронза (Бр.ОФ 10-1, порошок сферический).

ния от времени (фиг. 4) позволяют исследовать период приработки, начальную и установившуюся величину коэффициента трения в зависимости от скорости, давления, конструктивных и технологических параметров, применяемых антифрикционных и смазочных материалов и т. д. Ресурс подшипников целесообразнее исследовать на установках с автоматической записью момента трения.

Л и т е р а т у р а

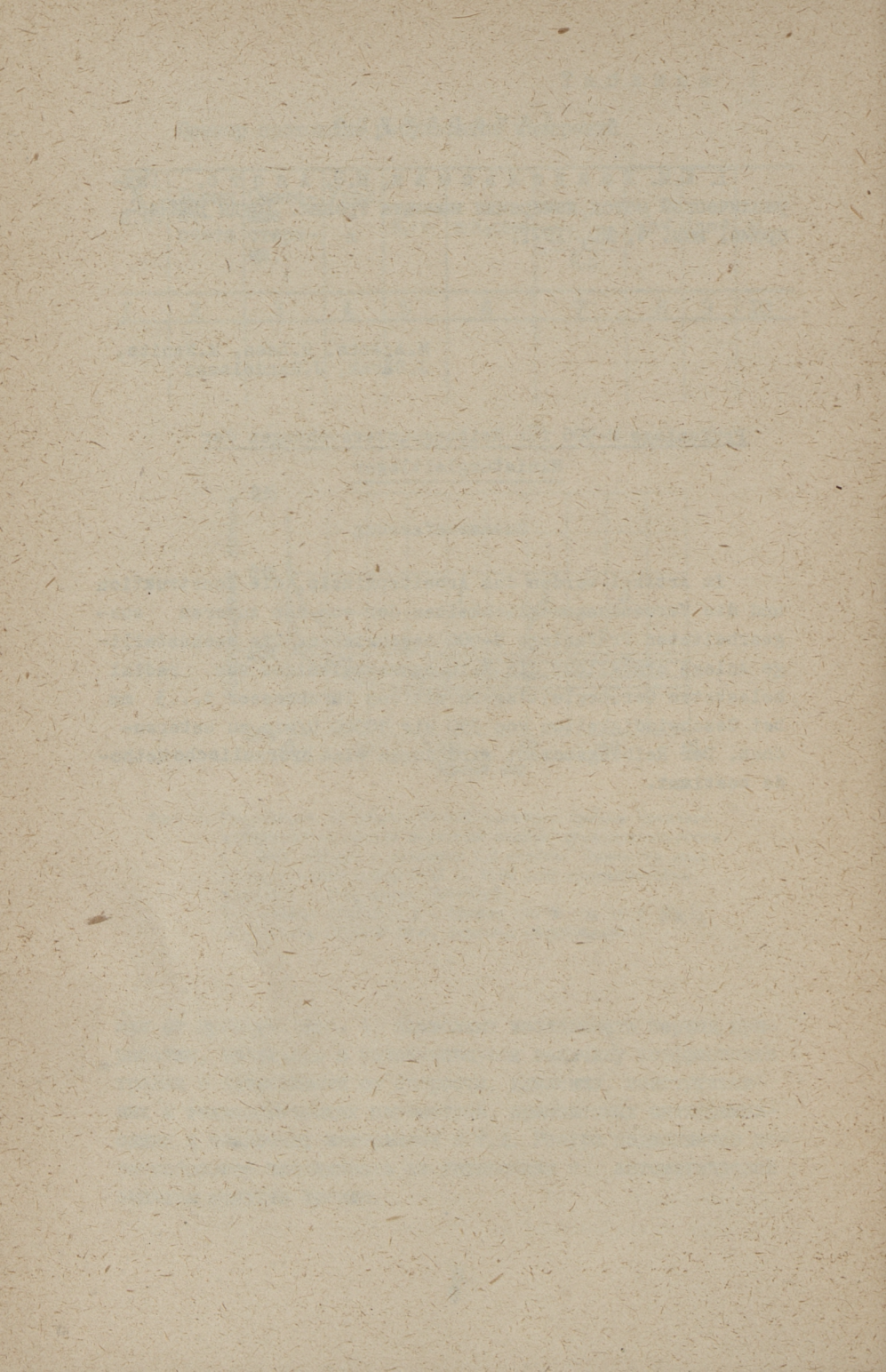
И. Ю. М. Х а н д е л ь с м а н, М. Э. А я о т с. Гидравлический метод измерения момента трения. Труды НИИЧаспрома, вып. 4, М., 1971.

M. Ajaots, R. Lees, M. Nanits,
J. Šárák, J. Handelsman

Prüfanlage M-906 für Reibungsuntersuchungen der Miniaturgleitlager

Zusammenfassung

Im Artikel werden das Arbeitsprinzip, die Konstruktion und die Verwendungsmöglichkeiten der von den Autoren ausgearbeiteten Prüfanlage M-906 beschrieben. Die sechsstellige Anlage ermöglicht die Reibungsverhältnisse von radial belasteten Gerätegleitlagern mit dem Durchmesser 1...3 mm bei Geschwindigkeiten von 350 bis 10000 U/min zu untersuchen. Der Reibungsmoment wird durch eine hydraulische Methode bestimmt.

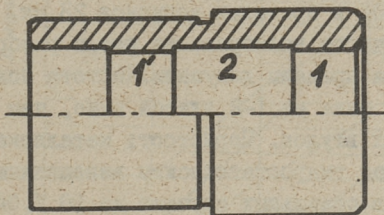


УДК 621.178.162

Р.К. Мозберг, П.О. Сяргва

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛО-
КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПРАВ-
ЛЯЮЩИХ ВТУЛОК ПРЕСС-ФОРМ И ШТАМПОВ

В настоящее время в качестве материалов направляющих втулок штампов и пресформ используют низкоуглеродистую сталь. Для получения необходимой износостойкости втулки подвергаются цементации, закалке и низкотемпературному отпуску. Недостатком такой технологии изготовления втулок является большой расход металла (более 50 %) на стружку и достаточно сложный технологический процесс изготовления.



Фиг. 1. Образец втулки:
1 и 1' - поверхность трения,
2 - сточенная поверхность (для увеличения
удельного давления на поверхности трения).

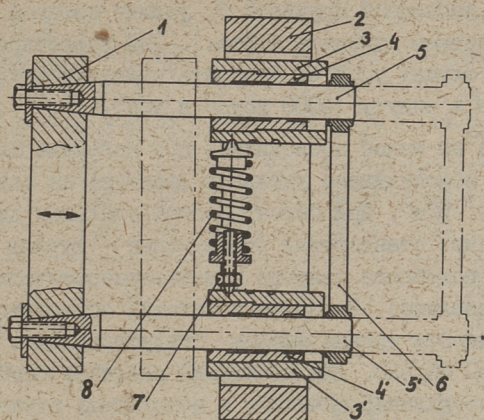
Так как направляющие втулки в процессе работы подвергаются изнашиванию, представляет интерес выяснить возможность использования металлокерамических антифрикционных материалов для изготовления направляющих втулок. Предполагалось, что недостаточная твердость металлокерамики компенсируется хорошей смазываемостью угла трения, благодаря чему уменьшается износ

пары трения. Для изучения свойств металлокерамических втулок изготавливались образцы-втулки с внутренним диаметром 25 мм (фиг. 1). В качестве материала для изготовления втулок были: 1) ЖГр-1; 2) ЖГр-3; 3) ЖГр3-Д2; 4) ЖЧ-30. Исходные порошковые материалы подвергались смешиванию в конусном смесителе в течение 3-4 часов.

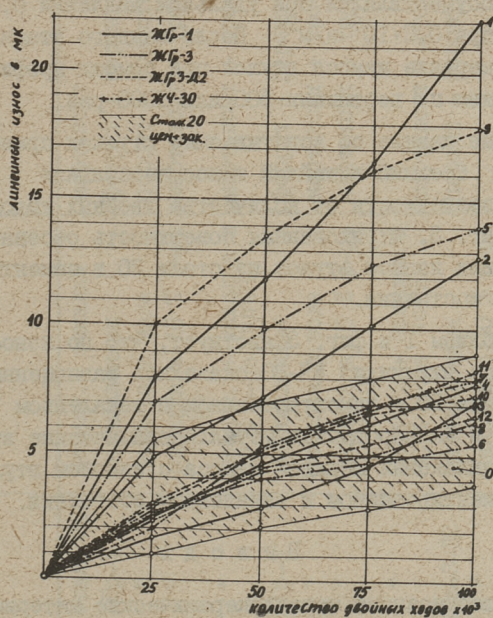
Прессование проводилось при давлении $6-8 \cdot 10^8$ н/м². Спекание происходило в среде водорода с выдержкой при температуре 1050-1100 °С в течение 2 часов. Спеченные втулки подвергались калибровке внутреннего отверстия. Часть втулок после калибровки подвергалась испытанию на износ, другая партия втулок подвергалась закалке; нагрев под закалку проводился в среде древесного угля, охлаждение при закалке проводилось интенсивным охлаждением в 10 % водном растворе едкого натрия. После закалки отверстия втулок подвергались вторичной калибровке.

Для определения изменения внутренних размеров втулок после каждой операции (прессование, спекание и калибровка) проводилось измерение внутренних отверстий втулок на приспособлении, специально изготовленном на базе индуктивного датчика самописца БМ-662. На основе проведенных замеров было установлено, что размеры калиброванных втулок до термообработки находились в пределах допусков 23 мк. Втулки после закалки и вторичного калибрования имели разброс размеров, иногда выходящий за пределы допусков. Чистота поверхности калиброванных втулок была на 1-2 класса выше, чем чистота шлифованных монолитных втулок. Пористость металлокерамических втулок, определенная гидростатическим взвешиванием, была в пределах 11-15 %, в отдельных случаях до 18 %. Окончательные размеры наружной посадочной поверхности втулки получили обточкой на токарном станке на оправке после окончательного калибрования внутреннего отверстия.

Испытание на износостойкость всех втулок проводилось на специально изготовленном приспособлении, где трущейся парой являются испытуемые втулки 4 и колонки 5 (фиг. 2). Приспособление устанавливалось на поперечно-строгальный станок, при этом плита 1 закреплялась к суппорту ползуна и рама 2 - к столу станка. Втулки впрессовывались в оправку 3 и необходимое боковое усилие втулок на колонки создавалось



Фиг. 2. Приспособление для испытания втулок на износ.



Фиг. 3. Средний линейный износ нескольких одинаковых испытанных втулок в зависимости от качества двойных ходов колонок.

тарированной распорной пружиной 8, усилие которой регулировалось посредством упорного болта 7. Для предотвращения изгиба колонок служил упор 6. Скорость движения втулок - 82 двойных ходов в минуту (5000 ходов в час).

Испытания на износ проводились при нагрузке на колонки 7000 н, что обеспечивало удельное давление на один конец втулки $0,2 \cdot 10^8$ н/м². При более высоком удельном давлении поверхность трения стандартных (монолитных) втулок сильно разрушалась (подобного явления у металлокерамических втулок не было установлено). Во время испытания осуществлялась смазка поверхности трения маслом "индустриальное 20" в количестве 40-50 мл/час. Для выявления различия особенностей изнашивания металлокерамических и монолитных втулок первые 10 испытаний осуществлялись с одновременным испытанием металлокерамических и монолитных втулок.

Испытания на износ проводились в четыре этапа по $2,5 \times 10^4$ двойных ходов при каждом этапе. Первый этап - приработки - осуществлялся при удельном давлении $0,1 \cdot 10^8$ н/м², остальные при $0,2 \cdot 10^8$ н/м². После каждого этапа осуществлялось измерение износа втулок при помощи профилометра 201, с увеличением по вертикали 500 или 1000 раз.

Сводные данные об испытываемых втулках приводятся в таблице I. Средний линейный износ нескольких испытанных втулок, в зависимости от количества двойных ходов, приводится на фиг. 3. Штрихованная поверхность обозначает область кривых износа втулок из стали 20 в цементированном и закаленном состоянии.

Из таблицы I и фиг. 3 явствует, что по износостойкости незакаленные втулки из ЖЧ-30 оказались равноценными с втулками из стали 20 в цементированном и закаленном состоянии. Закаленные и калиброванные металлокерамические втулки имеют примерно одинаковый порядок износа с износом втулок из стали 20 в цементированном и закаленном состоянии.

В ы в о д ы

I. Вышеописанные металлокерамические материалы с точки зрения износостойкости могут быть использованы для изготовления направляющих втулок штампов и пресс-форм в закаленном состоянии.

Т а б л и ц а 1

# на графика износа (фиг. 3)	Испытуемый материал	Термообработка	Микроструктура на поверхности трения	Твердость		Пределы линейного износа образцов в мк за 1·10 ⁵ двойных ходов
				НВ	НРС	
0	сталь 20	цемент. + закалка	мартенсит	62-65		3,5-9
1	ЖГр-1	незакаленная	феррит + перлит	70-90		20,5-23,5
2	"	закалка в воде	сорбит + троостит		5-25	12 - 13,5
3	"	закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит		25-35	7 - 7,5
4	"	цемент. + закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит		28-36	5 - 13,5
5	ЖГр-3	незакаленная	феррит + перлит + графит	80-100		8 - 19
6	"	закалка в воде	мартенсит + троостит + графит		20-40	4 - 6,5
7	"	закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит + графит		20-40	7,5 - 8,5
8	"	цемент. + закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит + графит		20-35	6 - 6,5
9	ЖГр-3-12	незакаленная	перлит + феррит + графит	90-110		17 - 19
10	"	закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит + графит		25-35	6,5 - 9
11	ЖЧ-30	незакаленная	перлит + цементит	90-120		7 - 9,5
12	"	закалка в 10 % р-ре NaOH	мартенсит + троостит + цементит		10-50	5 - 8

2. Материал типа ЖЧ-30 может быть применен для изготовления направляющих втулок и в незакаленном состоянии.

Л и т е р а т у р а

1. А.Д. Мошков. Пористые антифрикционные материалы. Машиностроение, М., 1968.

2. И.О. Радомысельский. Термическая и химико-термическая обработка в порошковой металлургии. Порошковая металлургия, № II, 1967.

3. И.М. Федорченко, Л.В. Заболотный. К вопросу о влиянии состояния поверхности на процесс схватывания металлокерамических антифрикционных материалов. Порошковая металлургия, № 3, 1968.

4. П.И. Бебелев. Коэффициент трения и износ пористого железного графита. Сб. ЦНИИТМАШ, кн. 56. М., 1953.

R. Mosberg, P. Särgava

Untersuchung der Möglichkeiten, Sintereisen zur Herstellung von Führungsbuchsen für Stanzen und Preßformen zu verwenden

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag werden Untersuchungsergebnisse der Verschleißfestigkeit einiger aus Sintereisen hergestellter Führungsbuchsen für Stanzen und Preßformen dargelegt. Aus den Untersuchungen geht hervor, daß bei bestimmter Zusammensetzung und thermischer Bearbeitung Sintereisen als Werkstoff zur Herstellung von Führungsbuchsen für Stanzen und Preßformen verwendet werden kann.

УДК 620.193.152+621.181.7:662.9

Л. Э. Вальдма, Ю. Ю. Пирсо

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ МАЗУТНЫХ ФОРСУНОК

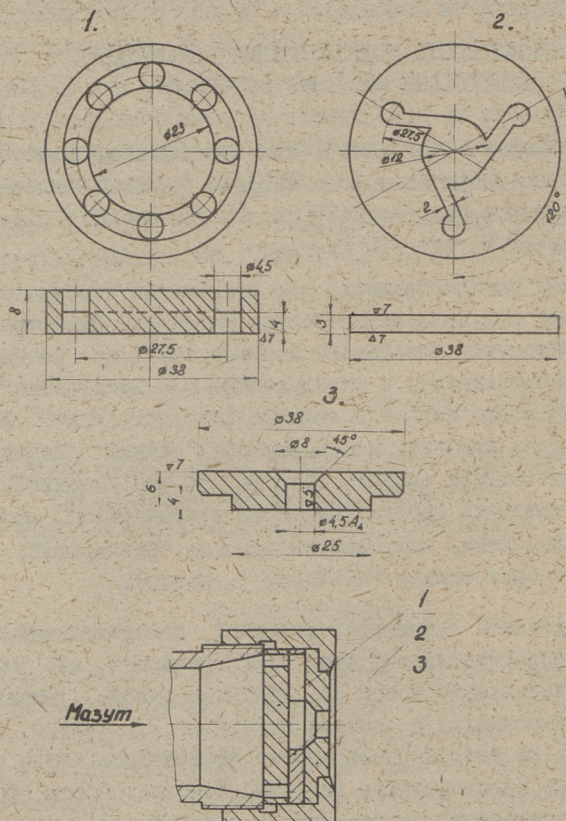
За последние десятилетия существенно изменилась структура топливно-энергетического баланса страны. Доля нефти и газа в топливном балансе СССР по директивам XXIV съезда КПСС достигнет к 1975 году 67 %.

Широкое распространение для распыления топочного мазута в энергетике получили центробежные форсунки. Несмотря на то, что такие форсунки показывают хорошее качество распыливания после их изготовления, в эксплуатации оно постепенно ухудшается в результате износа элементов форсунки. Износ форсунки в свою очередь вызывает нестабильность режима горения и значительные потери жидкого топлива. На это указывает также явно недостаточный гарантийный срок центробежных форсунок. Например, форсунки, выпускаемые заводом "Ильмарине", имеют гарантийный срок только 700 часов (1 месяц).

Исследование изношенных форсунок, изготовленных из закаленной инструментальной стали ХВГ, показало, что основной причиной, вызывающей износ их, являются удары минеральных частиц, содержащихся в составе мазута [1,2]. Только в редких случаях на рабочей поверхности наблюдались следы износа, напоминающие кавитационные каверны. Условия работы форсунок усложняют повышенная температура в рабочей зоне, достигающая при стабильном режиме форсунки 130 - 180 °С, а также агрессивная атмосфера топки парового котла. При установке форсунки в топку ее кратковременный нагрев может достигать 500 °С [3].

С целью выяснения износостойкости различных материалов в условиях работы мазутных форсунок они испытывались как в эксплуатационных условиях на Таллинской ТЭЦ, так и в моделированных условиях в потоке твердых частиц.^{х)}

I. Методика испытания материалов форсунки в эксплуатационных условиях



Фиг. 1. Центробежная форсунка типа ОН-547-03 производительностью 800 кг/час мазута при 20 ат.

^{х)} В экспериментальных работах принимали участие студенты ТПИ М. Варул и А. Сакариас.

Испытуемые форсунки работали в котлах попарно. Одна была изготовлена из стали ХВГ (серийная продукция завода "Ильмарине", но без закалки, см. фиг. 1), а другая из такого же материала, но в ее распределителе было просверлено отверстие для вставления пробки $\varnothing 18$ мм из испытуемого материала. Испытуемые форсунки отличаются от серийных также тем, что в их сопла вставлены штифты, а в завихрителе и в распределителе просверлены отверстия для фиксации их между собой (см. фиг. 2).



Фиг. 2. Форсунка для испытания материалов на износостойкость.

Такое изменение конструкции необходимо для выполнения длительных испытаний, когда для измерения износа форсунки ее необходимо периодически разбирать и снова собирать. Фиксирующие штифты при этом обеспечивают точное совпадение мест входных каналов на распределителе и сопле с каналами завихрителя. Этим избегается искажение картины износа. Сопрягаемые плоскости деталей форсунки шлифовали до 10-12 кл. чистоты. Испытуемые материалы и их свойства представлены в таблице 1.

Методика определения износа форсунок. Абсолютный износ деталей форсунок после работы их в топке в течение недели настолько мал по весу, что можно определить только линейный износ методом профилографирования. Для этих целей использовался профилограф модели 201 завода "Калибр".

Т а б л и ц а I

Износостойкость испытуемых материалов в эксплуатационных и моделированных условиях

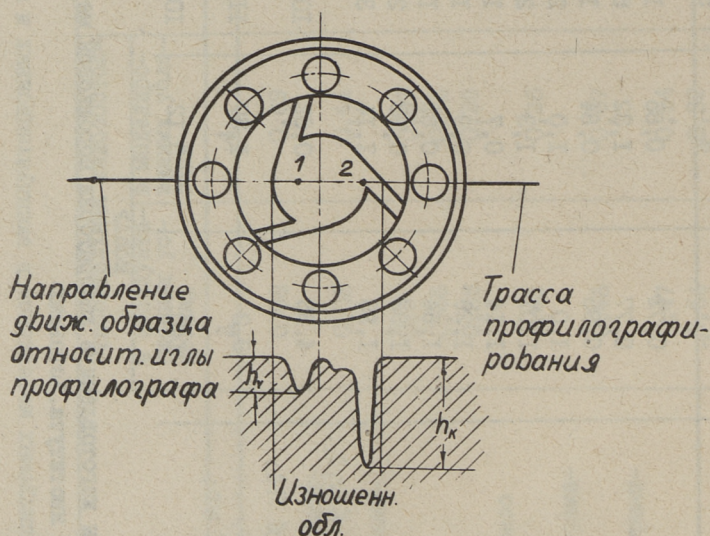
№ п.п.	Материалы	Относительная износостой- кость		Твердость по Виккерсу	Плот- ность, г/см ³	ГОСТ
		в эксплуа- ционных ус- ловиях	в моделиро- ванных усло- виях			
I	2	3	4	5	6	7
1	Сталь X25T	0,08	0,69	252	7,32	5632-6I
2	Алигированное металлокерами- ческое железо	0,08	0,44	62,6	6,8	x
3	Борированное металлокерами- ческое железо	0,3	0,09	927	5,95	x
4	Сталь Ст.3	0,36	0,73	206	7,64	380-60
5	Титан BTI-I	0,38	0,28	165	4,25	
6	Металлокерамическое железо +0,5% C	0,42	0,26	29,4	7,1	x
7	Нитрированное металлокерами- ческое железо	0,46	0,67	90,6	6,9	x
8	Хромированное металлокерами- ческое железо	0,47	0,54	67,7	6,2	x
9	Легунь Л62	0,54	0,32	120	8,2	1019-47
10	Сталь 45, закаленная	0,69	1,0	371	7,5	1050-60

I	2	3	4	5	6	7
II	Сталь XI8H9T	0,72	0,85	I94	7,6	5632-6I
I2	Сталь XBГ закаленная	0,77	I,32	579	7,73	5953-63
I3	Сталь 35X	0,95	0,84	I96	7,68	4543-6I
I4	Сталь XBГ	I,0	I,0	232	7,73	5950-63
I5	Сталь У8А	I,07	I,3	270	7,65	I435-54
I6	Сталь I8XIT	I,14	0,7	I7T	7,5	4543-6I
I7	Сталь 20	I,29	0,9	I84	7,65	I050-60
I8	Сталь 3X13	I,64	0,83	I74	7,55	5632-6I
I9	Сталь 45	I,93	0,93	2I4	7,5	I050-60
20	Сталь 3X13 закаленная	I,95	I,14	334	7,55	5632-6I
2I	Твердый сплав XH15B1 (84 % Cr, C ₂ ; 15 % Ni; I % W)	4,35	0,62	I000	6,75	x
22	Твердый сплав TH9M9 (82 % TiC; 9 % Ni; 9 % Mo)	9,2	I,37	I129	5,42	x
23	Твердый сплав BK15 (82 % WC; 15 % Co)	I40	5,12	I052	I3,7	x

x Металлокерамические материалы изготовлены в лаборатории порошковой металлургии
Таллинского политехнического института.

Применяемое увеличение изменяли от 1000 до 20 000 раз в зависимости от глубины износа. Скорость протягивания ленты профилограммы равнялась 40 мм/мин. Износ измерялся только на рабочей поверхности распределителя (на дне камеры завихрения), так как эта поверхность геометрически более проста (плоская) по сравнению с изношенными поверхностями завихрителя и сопла.

Трасса профилографирования выбиралась так, чтобы она проходила через середину одного входного канала и через центр форсунки (см. фиг. 3).

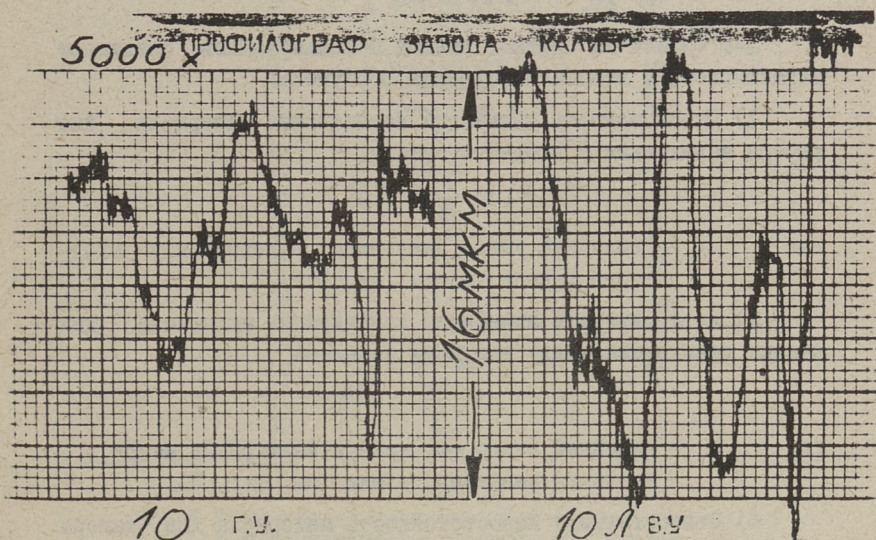


Фиг. 3. Трасса профилографирования и типичная профилограмма.

При измерении были обнаружены два характерных участка, где линейный износ оказался наибольшим. Точка 1 на фиг. 3 показывает глубину износа h_v примерно $1/2$ радиуса камеры завихрения; точка 2 - глубину износа h_k в середине входного канала.

Величины h_v и h_k приняты характеристиками линейного износа форсунки. Интересно отметить также, что в центре образца, где находится воздушное ядро и давление мазута равняется давлению окружающей атмосферы, износа не наблюдается.

Профилограммы, полученные после испытания одной пары форсунок — эталона и испытуемой, показаны на фиг. 4.



Фиг. 4. Профилограммы испытанных образцов:
10 — эталон из стали ХВГ; 10Л — исследуемый материал — латунь Л62.

2. Характеристики износа материалов форсунок. Чтобы связать показатели износа с эксплуатационными характеристиками форсунок, перед испытаниями и после них была определена их производительность (расход воды через форсунки). Для этой цели использовали водяной стенд Таллинской ТЭЦ.

Эксплуатационные характеристики форсунок, определявшиеся на нем, были следующие:

G_1 кг/час — расход воды в форсунке на водяном стенде перед испытанием ее в точке;

G_2 кг/час — расход воды в форсунке после испытания в точке,

G_k кг/час — средний расход $G_k = \frac{G_1 + G_2}{2}$;

q тонн - вес условно пропускаемой воды при испытании форсунки в топке $q = \frac{G_k \cdot t}{10^3}$;

t час - продолжительность испытаний форсунки в топке.

Для обработки опытных данных использовались следующие характеристики износа материалов форсунок:

1) Интенсивность линейного изнашивания материала дна камеры завихрения у входного канала

$$K_k = \frac{h_k}{q} \frac{\text{мкм}}{\text{т}},$$

где h_k - линейный износ дна камеры завихрения у входного канала, в мкм (см. фиг. 3).

2) Интенсивность линейного изнашивания материала дна камеры завихрения между входными каналами

$$K_v = \frac{h_v}{q} \frac{\text{мкм}}{\text{т}},$$

где h_v - линейный износ дна камеры завихрения между входными каналами, в мкм (см. фиг. 3).

3) Относительная износостойкость материала дна камеры завихрения у входного канала

$$\varepsilon_k = \frac{K_{k \text{ эт.}}}{K_{k \text{ исп.}}},$$

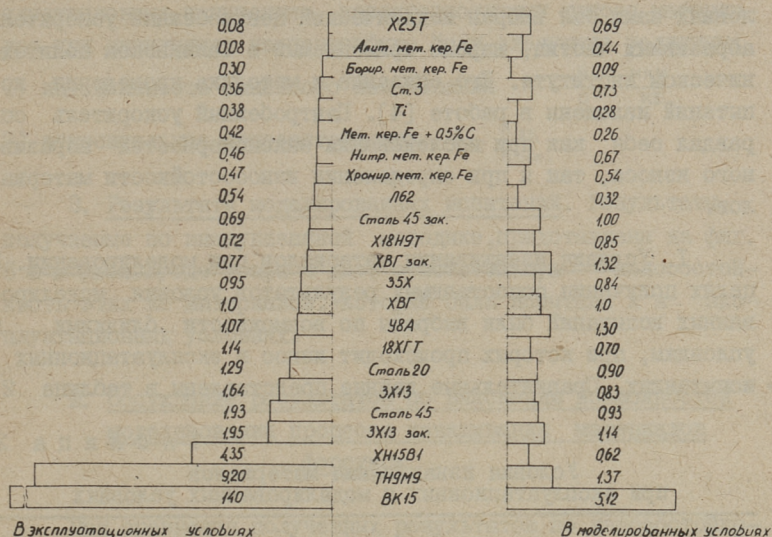
4) Относительная износостойкость материала дна камеры завихрения между входными каналами

$$\varepsilon_v = \frac{K_{v \text{ эт.}}}{K_{v \text{ исп.}}},$$

где $K_{k \text{ эт.}}$, $K_{v \text{ эт.}}$ и $K_{k \text{ исп.}}$, $K_{v \text{ исп.}}$ обозначают интенсивности линейного изнашивания соответствующих участков эталона и испытываемого материала.

3. Результаты эксплуатационных испытаний. Результаты, полученные по вышеуказанной методике, обрабатывались на ЭВМ "Минск-22" и представлены на фиг.5 и в табл.1, где графа 3 дает относительную износостойкость 23 различных материалов, определенную по ε_v , т.е. в условиях максимальных скоростей течения мазута в камере завихрения.

Относительная износостойкость



Фиг. 5. Относительные износостойкости материалов форсунки в эксплуатационных и моделированных условиях.

II. Методика испытания материалов форсунки в моделированных условиях

Из вышеизложенного ясно, что испытания материалов в эксплуатационных условиях представляют трудную задачу как по трудоемкости, так и по организационным причинам. Такие испытания оправдывают себя только для выяснения механизма износа и при окончательной проверке выбранных новых материалов.

Поэтому одновременно с испытаниями в эксплуатационных условиях были предприняты попытки найти подходящий способ, с помощью которого было бы возможно моделировать основные явления, вызывающие износ форсунки.

Поскольку такими явлениями оказались удары минеральных частиц мазута [1,2], то целесообразно изнашивать испытуемые материалы в потоке твердых частиц. По принципу ускорения частиц известны три группы установок: пневматические, гравитационные и механические.

Для испытания материалов форсунки в моделированных условиях нами был выбран механический центробежный ускоритель абразивных частиц, широко применяемый в Таллинском политехническом институте. Его описание и методика проведения испытаний изложены в работе [4]. Центробежный ускоритель оправдал себя как при исследовании закономерностей абразивного износа, так и при определении износостойкости материалов.

I. Условия изнашивания материалов при моделировании. В целях получения сопоставимых результатов условия моделированных испытаний были выбраны по возможности близкими к условиям, при которых происходит износ в эксплуатационных испытаниях. Сравнительные данные представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Условия изнашивания материалов
при эксплуатационных и моделированных условиях

№ п.п.	Эксплуатационные условия	Моделированные условия
1.	Скорость потока мазута, содержащего минеральные частицы, 17-66 м/сек	Скорость струи кварцевого песка 65 м/сек
2.	Угол атаки минеральных частиц мазута 0-90 °	Угол атаки кварцевого песка 45 °
3.	Абразивная среда: мазут с кварцитами и гематитами	Абразивная среда: кварцевый песок для испытания цементов ОСТ 6139-52
4.	Зернистость минеральных частиц мазута: 0,2-0,35мм	Зернистость кварцевого песка 0,4-0,63 мм
5.	Микротвердость минеральных частиц мазута: кварциты 500-1100 кгс/мм ² гематиты 200-400 кгс/мм ²	Микротвердость кварцевого песка: 1100-1200 кгс/мм ²
6.	Геометрическая форма минеральных частиц мазута: угловатые.	Геометрическая форма зерна песка: круглые

2. Характеристики износа материалов. Как и при эксплуатационных испытаниях, характеристиками износа материалов при испытаниях на центрифуге были следующие величины:

1) интенсивность линейного изнашивания $K = \frac{h}{q} \frac{\text{мм}}{\text{кг}}$,

2) относительная износостойкость $\xi = \frac{K_{\text{эт.}}}{K_{\text{исп.}}}$.

3. Результаты моделированных испытаний. Результаты, получаемые по вышеуказанной методике, представлены на фиг. 5 и в табл. I, где графа 4 дает относительную износостойкость этих же материалов, которые были испытаны и в эксплуатационных условиях.

III. Обсуждение результатов по выяснению возможностей моделирования процесса изнашивания материалов форсунок

При сравнении полученных результатов по износостойкости материалов при эксплуатационных и моделированных испытаниях можно заключить, что метод моделирования изнашивания материалов форсунки на центробежном ускорителе выбран правильно. Доказательствами этому служат следующие факты:

1. При эксплуатационных испытаниях скорость потока мазута изменяется в широких пределах: примерно от 20 до 70 м/сек, но на месте измерения износа имеется максимальная скорость; углы атаки, судя по следам износа на поверхности форсунки, имеют в основном малые величины. Поэтому выбранная в моделированных испытаниях скорость потока 65,7 м/сек и угол атаки 45° близки к реальным условиям работы форсунок.

2. Абразивным материалом при моделированных испытаниях служил кварцевый песок, твердость которого 1200 кгс/мм², что примерно в 2-3 раза выше твердости основных минеральных частиц мазута - гематитов (твердость 200-400 кгс-мм²). Поэтому относительная износостойкость твердых сплавов при моделированных испытаниях оказалась меньшей, чем в эксплуатационных испытаниях (см. табл. I и фиг. 5).

3. При моделированных испытаниях на центрифуге по литературным данным [5] получены аналогичные результаты, как

отмечено в пункте "2". Например, при испытании твердого сплава ВК15 стеклянным порошком (твердость 500 кгс/мм²) при угле атаки 45° полученная износостойкость в 193 раза больше, чем у стали Ст.3, а при испытании кварцевым песком в 27 раз больше.

4. В наших моделированных опытах получена износостойкость твердого сплава ВК15 в 5,12 раза большая, чем у стали ХВГ, а при эксплуатационных испытаниях в 140 раз большая (фиг. 5). Такое большое расхождение вызвано, по-видимому, уже отмеченной разницей твердости кварцевого песка и абразива мазута, а также их различной крупностью. Значение может иметь также химическая агрессивность мазута.

5. Кварцевый песок в качестве абразива нами был выбран для того, чтобы форсировать скорость моделированных испытаний.

6. Несмотря на различие механической агрессивности абразивных материалов в эксплуатационных условиях, наблюдается корреляция в данных, полученных обоими методами (см. фиг. 5).

7. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что для получения количественно сравнимых результатов по износостойкости материалов с различными физико-механическими свойствами необходимо моделировать все основные условия работы данного материала, имеющие место при эксплуатации, в том числе и гранулометрический состав, форму и твердость абразивных частиц как основные факторы, влияющие на механический процесс. В этом случае моделирование процесса изнашивания материалов форсунки на центробежном ускорителе для избежания длинных и трудоемких эксплуатационных испытаний целесообразно.

В ы в о д ы

1. Испытания материалов для центробежных мазутных форсунок на износостойкость в эксплуатационных и моделированных условиях показали, что перспективными износостойкими материалами являются металлокерамические твердые сплавы, которые могут повышать износостойкость форсунок до 140 раз.

2. Металлокерамическое железо с различными диффузионными покрытиями (алитирование, борирование, нитрирование, хро-

мирование) не повышает износостойкость мазутных форсунок.

3. Закалка стальных мазутных форсунок на их износостойкость практически не влияет, но предотвращает их от случайных повреждений при транспортировке и очистке.

Л и т е р а т у р а

1. Л.Э. В а л ь д м а, Р.К. М о з б е р г, Ю.Ю. П и р с о, Х.И. К а б р а л. Перспективные материалы для деталей форсунок жидкого топлива. Научно-техн.общество машиностроительной пром. ЭССР, Тезисы докладов респ. семинара по порошковой металлургии, Таллин, 1969.

2. Л.Э. В а л ь д м а, Р.К. М о з б е р г, Ю.Ю. П и р с о. Исследование гидроабразивного износа центробежных форсунок. ТПИ, НИИ силикатобетон. Респ. научн. коэф. "Абразивная эрозия", Тезисы докладов, Таллин, 1970.

3. З.И. Г е л л е р. Мазут как топливо. Изд. "Недра", М., 1965.

4. И. К л е й с. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом. Труды ТПИ, серия А, № 152, Таллин, 1958.

5. И. К л е й с. Исследование ударного износа металло-керамических твердых сплавов разной твердости. Труды ТПИ, серия А, № 219, Таллин, 1965.

Über die Möglichkeiten der Verschleißmodellierung
der Masutdüsenwerkstoffe

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Artikel werden Fragen der Modellierung des Verschleißprozesses für Drallmasutdüsen betrachtet. Es werden die Methodik und die Resultate der Verschleißversuche im Betrieb und unter modellierten Bedingungen im Abrasivstrahl dargelegt. Die erhaltenen Ergebnisse beweisen, daß für die Erhaltung quantitativer Angaben über die zusammenfallenden Verschleißfestigkeiten des Düsenwerkstoffes alle hauptsächlichen Betriebsbedingungen modelliert werden müssen. Hierher gehören außer Geschwindigkeit und Stoßwinkel der Abrasivkörner auch ihre granulometrische Zusammensetzung und die geometrische Form und Härte als Hauptfaktoren, die den mechanischen Prozeß beeinflussen. Es werden perspektive Werkstoffe für Masutdüsen bestimmt, d.s. Sinterhartmetalle, die die Verschleißfestigkeit der Düsen etwa auf das 100-fache steigern.

УДК 620.178.16:621.181.7:662.9

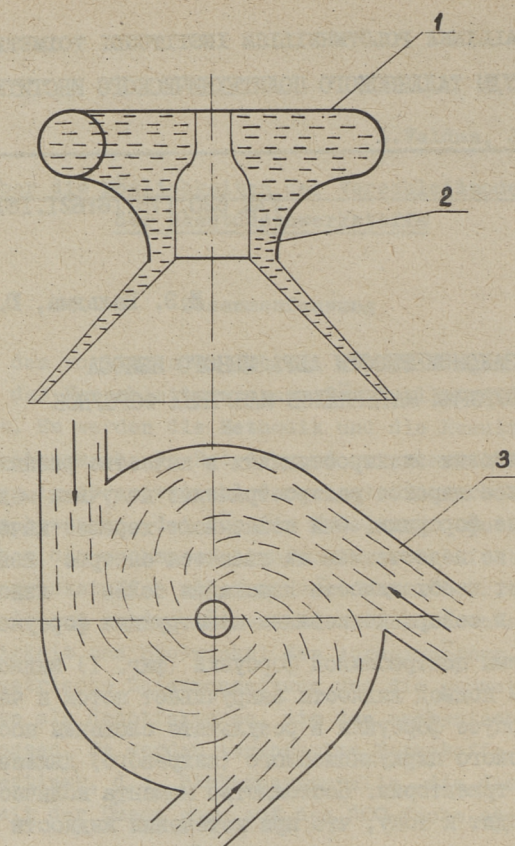
Л.Э. Вальдма, Ю.Ю. Пирсо

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА
НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ МАЗУТНЫХ ФОРСУНОК

На тепловых электростанциях в качестве распылителей мазута наиболее широкое распространение получили механические центробежные форсунки. Они показывают хорошее качество распыливания, но недостатком их является быстрое изнашивание, что вызывает необходимость изыскания более износостойких материалов и совершенствования конструкции форсунок.

Из схемы центробежной форсунки (фиг. 1) видно, что тангенциальный подвод жидкости закручивает поток и частицы жидкости в корпусе форсунки в результате сложения поступательного и плоского циркуляционного (вихревого) движения имеют спиральные траектории. Постоянство момента количества движения приводит к тому, что при истечении жидкости из центробежной форсунки в газовую среду (в топку) в ее спиральной части по оси форсунки возникает газовый вихрь. В результате жидкость вытесняют из сопла в виде пленки кольцевого сечения, внутренний радиус которого равен радиусу газового вихря, а внешний — радиусу сопла.

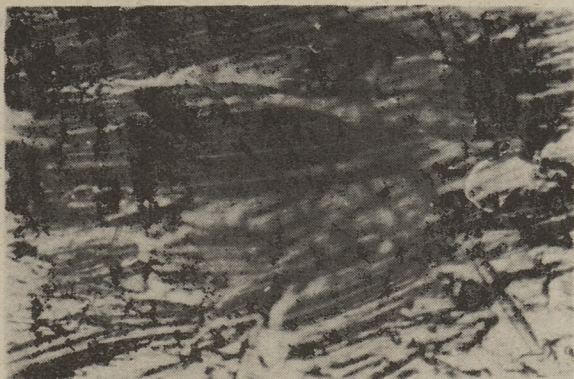
Внешний осмотр деталей форсунки, побывавшей в эксплуатации, показывает, что наиболее интенсивно изнашиваются камера завихрения и выходное отверстие сопла [1, 2]. На входных каналах износ почти незаметен.



Фиг. 1. Схема центробежной форсунки:
 1 - камера завихрения,
 2 - сопло, 3 - входной канал.

Причины износа форсунок

Для выяснения причин износа форсунок в период с 1969 по 1971 год был проведен ряд экспериментов на Таллинской ТЭЦ. При этом исследовались поверхности изношенных форсунок на металломикроскопе МИМ-8 и фотографировались наиболее характерные места. На всех фотографиях повреждения поверхностей имеют ярко выраженный механический характер. На фиг. 2



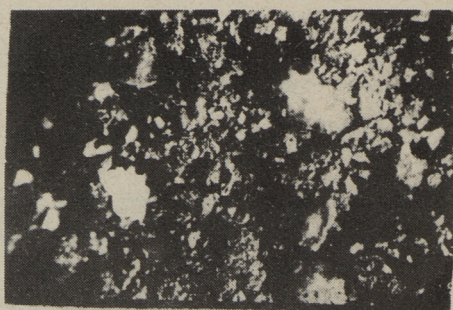
Фиг. 2. Изношенная поверхность дна камеры завихрения. (увеличение 1200 раз).

показаны повреждения поверхности дна камеры завихрения форсунки из нержавеющей стали Х18Н9Т. Видны царапины (срезы), обусловленные ударами о поверхность форсунки под малым углом атаки твердых минеральных частиц, содержащихся в мазуте. Подобные повреждения появляются и на образцах из других материалов; лишь в одном случае были обнаружены лунки, напоминающие кавитационные каверны. Существует, однако, признак, по которому легко отличать механический износ от кавитационного, а именно: при кавитационном износе обычно наблюдается инкубационный период [3, 4, 5, 6, 7]; при гидроабразивном износе этого не происходит [3]. В наших испытаниях инкубационный период тоже не был обнаружен. Следовательно, причиной износа может являться только содержание механических примесей в мазуте.

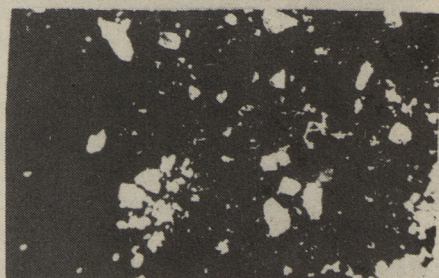
Рентгеновские, химические и механические исследования показали, что минеральная часть мазута на 75 % состоит из гематитов с твердостью 500–600 кгс/мм² и на 25 % из кварцитов с твердостью 1000–1200 кгс/мм²; средний размер минеральных частиц равен 0,36 мм. По форме они многогранники с многочисленными острыми выступами (см. фиг. 3).

Поскольку в мазуте по ГОСТ 10585–63 допускается содержание воды до 2 % и серы от 0,5 до 3,5 %, то для выяснения влияния коррозии на износ деталей форсунки были ис-

пытаны коррозионностойкие стали марок Х18Н9Т с аустенитной, Х25Т с ферритной, ЗХ13 с перлитной структурой и технически чистый титан. Лучшие результаты показала сталь ЗХ13, износостойкость которой в 2 раза больше, чем стали ХВГ. По механической прочности сталь ЗХ13 превосходит вышеуказанные материалы, но по коррозионностойкости в воде уступает им. Эти данные подтверждают, что высокая коррозионная стойкость при гидроабразивном износе в целом повышает общую износостойкость форсунки, работающей на мазуте, но имеет второстепенное значение.



а



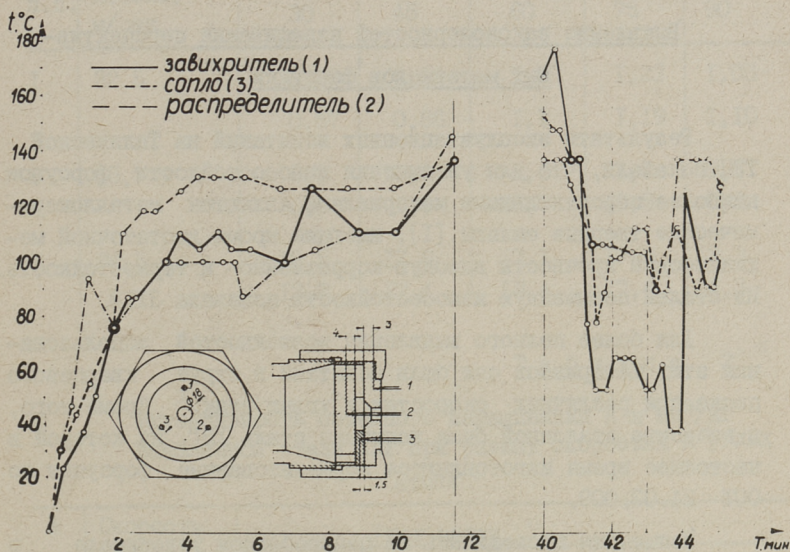
б

Фиг. 3. Минеральные частицы мазута:
а - все составляющие,
б - немагнитная фракция (кварциты)
(увеличение 15 раз).

Температурный режим форсунки

Для выяснения влияния температурного фактора на износ были проведены измерения температуры отдельных элементов форсунки в эксплуатационных условиях. Расположение хромель-

алюмелевых термопар в форсунке и результаты измерения температур на ней представлены на фиг. 4. На графике видно, что после нагревания температуры различных частей не превышают 160–170 °С. Из этого можно заключить, что такой нормальный тепловой режим не является опасным с точки зрения износостойкости стали.



Фиг. 4. Температура деталей форсунки.

Однако при забивании каналов форсунки загрязнениями, ввиду ухудшения отвода тепла мазутом, наблюдается существенное повышение температур в элементах форсунки и образование кокса в каналах, что в конечном счете выводит форсунку из строя. Коксование асфальто-смолистых веществ происходит при температуре около 360 ° [8]. Кроме засорения форсунки в процессе работы, приводящего к ее закоксованию, последнее может быть вызвано также резким повышением температуры форсунки (до 700 °С) в начальный период, при установке ее в топку. При этом, если последствия первого вида коксования можно устранить чисткой форсунки, то последний вид закоксования опасен не столько ухудшением рас-

пыливания, сколько сильным перегревом форсунки, приводящим ее в непригодность. Практика эксплуатации форсунок на Таллинской ТЭЦ показывает, что при быстрой установке форсунок в котел их перегрева не происходит и обычный температурный режим не может являться существенным фактором интенсификации процесса изнашивания мазутных форсунок.

Выявление закономерностей изнашивания перспективных материалов форсунки

Результаты эксплуатационных испытаний на Таллинской ТЭЦ показали, что для увеличения износостойкости форсунок наиболее перспективными материалами являются металлокерамические твердые сплавы [I], имеющие кроме достаточной механической прочности высокую коррозионно- и термостойкость. Из сталей повышенную износостойкость показала ЗХ13.

Для более полного выявления возможностей использования этих материалов они были испытаны в струе кварцевого песка при различных скоростях и углах атак.^x Кроме того, в качестве эталонной была испытана сталь ХВГ, из которой в настоящее время изготавливаются нормализованные форсунки по ОСТ 24.03.009.

Испытания проводились на центробежном ускорителе в моделированных условиях в потоке кварцевого песка (ОСТ 6139-52) зернистостью 0,4-0,6 мм. Методику испытания и схему установки см. в работе [9]. Скорости потока для сталей были выбраны равными 32,5; 65,7; 84,5 м/сек, а для твердого сплава ВК15 - 42,4; 65,7; 84,5 м/сек. Углы атаки составляли 30; 45; 60; 75; 90°. Результаты экспериментов представлены в таблицах 1, 2, 3, 4.

Результаты экспериментов обработали на ЭВМ "Минск-22" для получения эмпирических формул, где интенсивность изнашивания выражается функцией скорости и угла атаки потока

$$K = a \cdot v^b \cdot \alpha^{(c+d \ln v)} \quad \text{мм}^3/\text{кг},$$

^x В экспериментальных работах принимал участие студент ТПИ М. Варул.

Таблица 1

Интенсивность объемного изнашивания K в $\text{мм}^3/\text{кг}$ стали ХВГ при разных скоростях и углах атаки

№ п.п.	Скорость потока, м/сек	Угол атаки, °				
		30	45	60	75	90
1	32,5	0,59	0,89	1,09	1,23	1,03
		0,57	0,86	1,1	1,19	1,10
2	65,7	6,7	10,0	9,8	11,1	9,1
		6,5	9,9	10,3	10,5	8,8
3	84,5	12,5	17,8	17,1	17,0	13,8
		12,3	17,4	18,4	17,4	14,3

Таблица 2

Интенсивность объемного изнашивания K в $\text{мм}^3/\text{кг}$ закаленной стали ХВГ при разных скоростях и углах атаки

№ п.п.	Скорость потока, м/сек	Угол атаки, °				
		30	45	60	75	90
1	32,5	0,52	0,62	0,91	0,84	0,86
		0,41	0,52	0,82	1,00	0,98
2	65,7	6,3	8,4	9,4	9,2	11,4
		5,3	7,9	9,5	12,2	11,8
3	84,5	11,8	18,2	18,3	17,1	19,3
		11,4	17,4	18,4	19,0	21,6

где a, b, c, d — постоянные, характеризующие условия опыта;

v — скорость потока в м/сек;

α — угол атаки в °.

Результаты испытания материалов (табл. 1, 2, 3, 4) дали следующие формулы:

Т а б л и ц а 3

Интенсивность объемного изнашивания K в $\text{мм}^3/\text{кг}$
стали ЭХ13 при разных скоростях и углах атаки

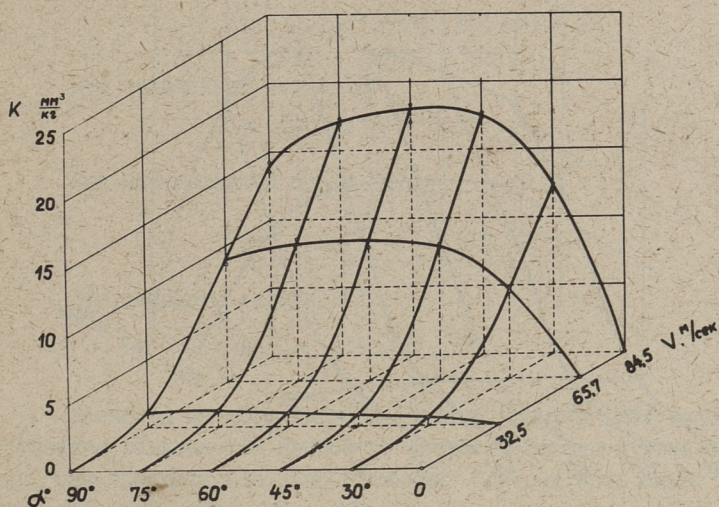
№ п.п.	Скорость потока, м/сек	Угол атаки, °				
		30	45	60	75	90
1	32,5	0,91	1,47	1,75	1,82	1,29
		0,88	1,18	1,73	1,73	1,59
2	65,7	9,2	11,7	12,9	12,6	11,5
		9,0	12,2	12,8	12,6	12,0
3	84,5	16,0	20,2	20,6	18,6	16,5
		16,5	21,0	20,0	18,4	16,4

Т а б л и ц а 4

Интенсивность объемного изнашивания K в $\text{мм}^3/\text{кг}$
металлокерамического твердого сплава ВК15 при
разных скоростях и углах атаки

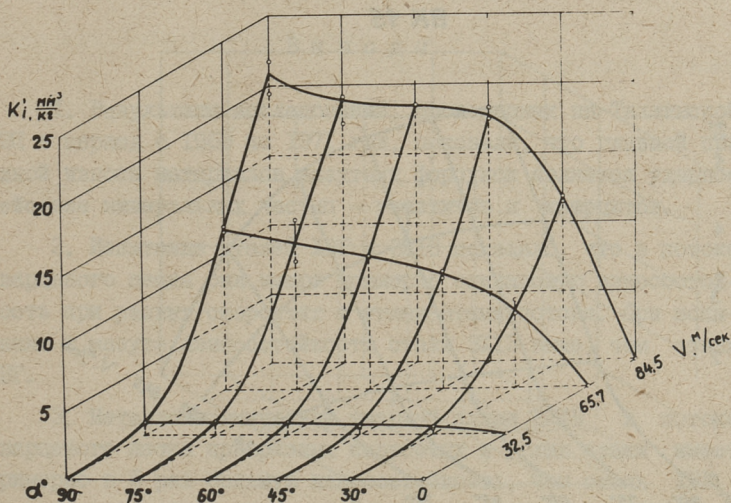
№ п.п.	Скорость потока, м/сек	Угол атаки, °				
		30	45	60	75	90
1.	42,4	0,4	0,85	0,89	0,87	0,86
		0,4	0,65	0,86	1,08	1,02
		0,47	0,43	1,00	1,02	1,26
2.	65,7	1,36	1,98	3,0	2,40	2,41
		1,60	1,94	2,82	3,56	2,58
		1,53	1,92	3,04	2,94	3,26
3.	84,5	1,94	2,96	3,52	3,35	3,66
		1,99	2,96	3,40	4,22	3,86
		1,77	3,38	3,78	4,20	4,32

ХВГ без закалки



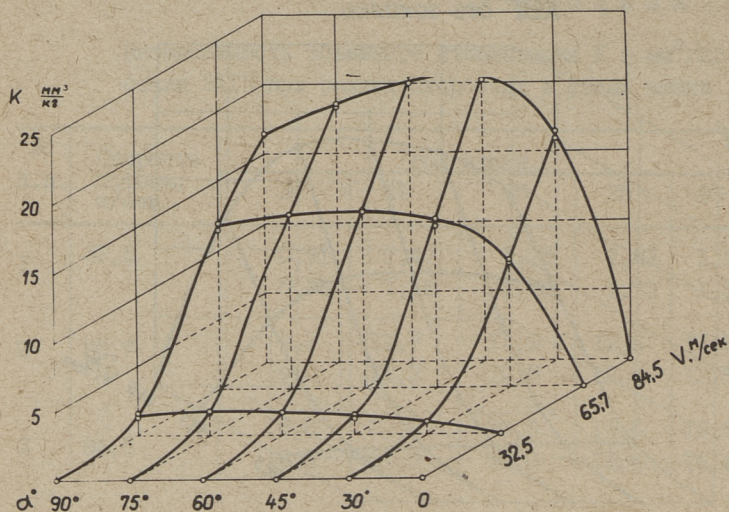
Фиг. 5. Интенсивность изнашивания стали ХВГ в зависимости от скорости и угла атаки потока.

ХВГ закаленный



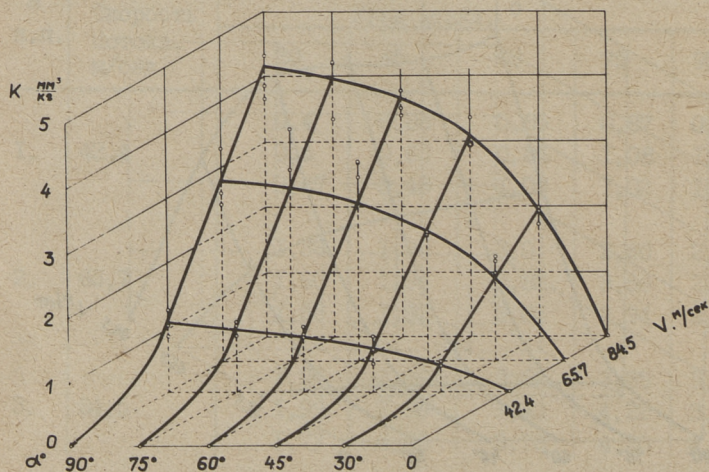
Фиг. 6. Интенсивность изнашивания закаленной стали ХВГ в зависимости от скорости и угла атаки потока.

3X13 без закалки



Фиг. 7. Интенсивность изнашивания стали 3X13 в зависимости от скорости и угла атаки потока.

ВК 15



Фиг. 8. Интенсивность изнашивания твердого сплава ВК15 в зависимости от скорости и угла атаки потока.

Для незакаленной стали ХВГ

$$K = 3,7 \cdot 10^{-9} \cdot v^{4,84} \cdot \alpha^{2,23 - 0,46 \ln v} \quad (1)$$

Для закаленной стали ХВГ

$$K = 7,7 \cdot 10^{-7} \cdot v^{3,27} \cdot \alpha^{0,59} \quad (2)$$

Для незакаленной стали ЗХ13

$$K = 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot v^{4,72} \cdot \alpha^{2,24 - 0,49 \ln v} \quad (3)$$

Для твердого сплава НК15

$$K = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot v^{2,14} \cdot \alpha^{0,72} \quad (4)$$

Несмотря на то, что эмпирические формулы дают количественные зависимости износа от скорости потока и угла атаки, они являются довольно сложными. Поэтому есть смысл для качественной оценки износа представить эти зависимости в виде объемных диаграмм. Последние приведены на фиг. 5, 6, 7, 8. Очевидно, что использование таких диаграмм дает более наглядное представление об износе в зависимости от скорости потока и угла атаки.

В ы в о д ы

1. Результаты исследований, проведенных на Таллинской ТЭЦ в период с 1969 по 1971 год, показали, что главной причиной износа материалов мазутных форсунок является ударное действие минеральных частиц — гематитов и кварцитов.

2. Испытание сталей ХВГ и ЗХ13 показало, что в потоке кварцевого песка они имеют примерно одинаковую износостойкость при разных скоростях и углах атаки потока. При испытании в мазуте износостойкость стали ЗХ13 выше, чем стали ХВГ.

3. Металлокерамический твердый сплав НК15 в потоке кварцевого песка при разных скоростях и углах атаки имеет примерно в 5 раз большую износостойкость, чем сталь ХВГ. До того, как обсудить вопрос о пригодности сплава НК15 для изготовления форсунок, надо выяснить его сопротивление коксованию.

Л и т е р а т у р а

1. Л.Э. В а л ь д м а, Р.К. М о з б е р г, Ю.Ю. П и р с о, Х.И. К а б р а л. Перспективные материалы для деталей форсунок жидкого топлива. Тезисы докл. республиканского семинара по порошковой металлургии, Научно-техническое общество маш.пром. ЭССР, Таллин, 1969.

2. Л.Э. В а л ь д м а, Р.К. М о з б е р г, Ю.Ю. П и р с о. Исследование гидроабразивного износа центробежных форсунок. Респ. научн. конф. "Абразивная эрозия". Тезисы докл., ТПИ, НИПИ-силикатобетон, Таллин, 1970.

3. С.П. К о з ь р е в. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. Изд. "Машиностроение", М., 1964.

4. В.В. Ф о м и н. Гидроэрозия металлов. Изд. "Машиностроение", М., 1966.

5. А.В. Р а т н е р, В.Г. З е л и н с к и й. Эрозия материалов теплоэнергетического оборудования. Изд. "Энергия", М., 1966.

6. М.И. Б о г а ч е в, Р.И. М и н ц. Повышение кавитационно-эрозионной стойкости деталей машин. Изд. "Машиностроение", М., 1964.

7. Л.А. Г л и к м а н. Коррозионно-механическая прочность металлов. Машгиз, 1955.

8. З.И. Г е л л е р. Мазут как топливо. Изд. "Недра", М., 1965.

9. И. К л е й с. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом. Труды ТПИ, серия А, № 152, 1958.

Die Gesetzmäßigkeiten des Abrasiv-
verschleißes einiger Masutdüsenwerkstoffe

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag werden die Gründe des Schnellverschleißes der Erdölmasutdüsen erforscht. Das sind im allgemeinen die Stöße der harten hematiten (HV 500-600) und quarziten (HV 1000 - 1200) Masutteilchen gegen die Düsenflächen. Die perspektivischen Werkstoffe für die Masutdüsen mit hoher Verschleißfestigkeit sind gehärteter Stahl 3X13 und Sinterhartmetalle. Es wurden empirische Formeln und Raumdiagramme der Abhängigkeit des Verschleißes im Quarzsandstrahl von der Partikelgeschwindigkeit und dem Abstrahlwinkel für Stähle XBГ, 3X13 und für Hartsintermetall BK15 zusammengestellt.

УДК 620.178.167

Ю.А. Тадольдэр, А.И. Ингерма

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКРАТНО МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКИ
ОБРАБОТАННОЙ СТАЛИ Ст.3 НА АБРАЗИВНУЮ ЭРОЗИЮ

Для повышения прочности металлов успешно применяются механико-термические обработки, разновидностью которых является многократная механико-термическая обработка (ММТО) [1, 2]. ММТО заключается в последовательном многократном деформировании металла, чередующимся с искусственным старением. Такая обработка за 4-6 циклов позволяет в 1,5 - 2 раза повысить статическую прочность при сохранении удовлетворительной пластичности [3].

Проведенные исследования наклепанных металлов на абразивную эрозию показали, что твердость, полученная в результате деформации, очень мало или в некоторых случаях вообще не повышает их износостойкости [4].

Нужно было выяснить, как будет вести себя многократно механико-термически обработанная сталь в условиях абразивной эрозии, так как многие механические свойства стали в результате такой обработки повышаются.

Испытанию подвергалась сталь Ст.3. ММТО производили по методике, изложенной в работе [3]. Режимы обработки и полученные механические свойства (σ_b и НВ) после ММТО приведены в таблице 1. Испытание на абразивную эрозию при скорости струи 82 м/сек производили на машине ЦУК-1, а при скорости струи 12 и 6 м/сек - на машине ЦУК-3. Методика, по которой производили испытание на абразивную эрозию, описана в работе [5]. Углами атаки выбрали 20 и 90°. В качестве абразива, при скорости струи 82 м/сек, применялся нормальный кварцевый песок для испытания цементов (ОСТ 6139-52). Размер фракции 0,4...0,62 мм.

Т а б л и ц а I

№ образ-ца	Режим искусствен-ного старения		Предельное число циклов ММГО	Механические свойства после циклов ММГО		Весовая интенсивность изнашивания (г/кг)					
	темпера-тура, °С	продол-жительность, в часах		σ _b	НВ	скорость абра-зива		скорость абра-зива		скорость аб-разива	
						α = 82 м/сек	α = 90 °	α = 20 °	α = 90 °	α = 20 °	α = 90 °
1	-	-	-	30	101	0,175	0,160	0,002	0,0009	0,00041	0,00026
2	100	1,0	5	45,2	156	0,162	0,150	0,0019	0,0011	0,00043	0,00026
3	100	10	5	41,9	146	0,168	0,150	-	-	-	-
4	100	10	5	42,2	143	0,166	0,160	-	-	-	-
5	100	1,0	5	41,2	137	0,172	0,155	-	-	-	-
6	100	20	5	42,2	135	0,157	0,150	-	-	-	-

Результаты этих опытов приведены в таблице I.

Как видно из приведенных данных в таблице I, в результате ММТО σ_b стали Ст.3 повысился на 50 %, твердость НВ на 54 %. Несмотря на такое значительное повышение σ_b и НВ, интенсивность абразивной эрозии ММТО стали Ст.3 практически не отличается от необработанной стали. Предполагалось, что причиной такого поведения является то, что режим испытания на абразивную эрозию выбран слишком жесткий. При скорости соударения 82 м/сек и при применяемом абразиве в зоне удара возникающие напряжения намного превышают разрушающие напряжения материала. Поэтому 2-ая и 3-ья серии опытов были проведены на сравнительно легких режимах – скорость абразива 12 и 6 м/сек, а в качестве абразива применялся кварцевый песок карьера "Мяннику", фракции 0,1–0,2 мм. Как можно судить по полученным данным, приведенным в таблице I, и при таких легких режимах ($v = 6$ м/сек, $d_c = 0,1–0,2$ мм) изменения механических свойств металла путем ММТО не влияют на их износостойкость.

Следовательно, на основании проведенных опытов можно заключить, что повышение механических свойств стали Ст.3 путем ММТО, не влияет на ее эрозионную стойкость.

Л и т е р а т у р а

1. И.А. О д и н г, В.С. И в а н о в а, Л.К. Г о р д и е н к о. Докл. АН СССР, 1965, 1960, стр. 57.
2. Роль дислокаций в упрочении и разрушении металлов. Под. ред. В.С. Ивановой. Изд. "Наука". М., 1965.
3. А.И. И н г е р м а. Исследование влияния многократного деформирования с промежуточным старением на прочность железоуглеродистых сплавов. Труды ТПИ, серия А, № 271, Таллин, 1969.
4. Ю.А. Т а д о л ь д е р. Исследование изнашивания наклепанных технически чистых металлов в струе абразива. Труды ТПИ, серия А, № 237, Таллин, 1966.
5. И. К л е й с. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом. Труды ТПИ, серия А, № 152, Таллин, 1958.

J. Tadolder, A. Ingerma

Determination of the Effect of Repeated
Straining and Aging on the Erosion of
Steel

Summary

This paper deals with the results of testing mechanically strained and thermally aged steel for erosion. The experimental results show that the increase of strength properties of steel after the above treatment has no effect on erosion resistance.

УДК 620.178.32

Э.И. Раннат, А.И. Ингерма

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ
ДЕФОРМАЦИИ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ ПРИ
АСИММЕТРИЧНЫХ ЦИКЛАХ НАГРУЖЕНИЯ РАСТЯЖЕНИЯ-СЖАТИЯ

Многими исследователями [1,2,3,4,5] изучено влияние предварительной пластической деформации на циклическую прочность металлов. В этих работах обнаружено снижение предела усталости различных металлов в области малых пластических деформаций ($\epsilon = 1...2,5\%$).

Следует отметить, что все подобные исследования проводились в основном на циклическом изгибе. При изгибающей нагрузке, как известно, сечение образца неоднородно напряжено и поэтому состояние поверхностных и подповерхностных слоев (шероховатость, наклёп, остаточные напряжения от механической обработки и пластической деформации) существенно влияет на циклическую прочность.

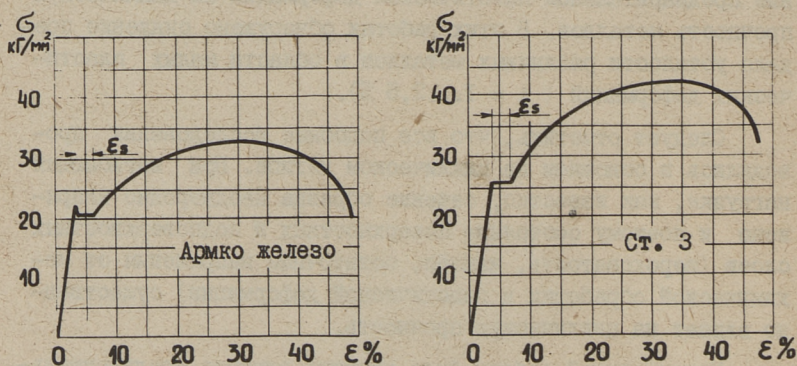
Целью данной работы было изучить влияние предварительных малых деформаций на циклическую прочность сталей при симметричном и асимметричном циклах нагружения растяжения-сжатия. По имеющимся литературным данным подобные исследования еще не проводились, и поэтому результаты данной работы должны бы представлять некоторый интерес.

Образцы изготавливались из стали марки Ст.3 (0,12% С; 0,8% Si; 0,55% Mn; 0,045% P) и армо железа (0,04% С; 0,4% Si; 0,15% Mn; 0,033% P, 0,03% S). Заготовки подвергались термической обработке; из этих заготовок потом изготавливались гладкие цилиндрические образцы диаметром 5 мм и длиной рабочей части 18 мм. Режим термообработки: Ст.3 - нормализация при температуре 930 °С, охлаждение в

воздухе; армко-железо — отжиг при температуре 930...940 °С в течение двух часов, охлаждение с печью в течение 24 часов. Механические свойства после термической обработки были следующие: Ст.3 — $\sigma_T = 26 \text{ кг/мм}^2$ и $\sigma_B = 42 \text{ кг/мм}^2$; армко-железо — $\sigma_T = 21 \text{ кг/мм}^2$ и $\sigma_B = 33 \text{ кг/мм}^2$.

Испытания на усталость проводились на сконструированном авторами механическом пульсаторе [6] при симметричном и асимметричном циклическом нагружении растяжения-сжатия. Частота нагружения 1500 циклов в минуту.

Для предварительной пластической деформации образцов и определения механических свойств (фиг. 1) использовали испытательную машину растяжения типа ИМ-4Р,



Фиг. 1. Условные диаграммы растяжения:

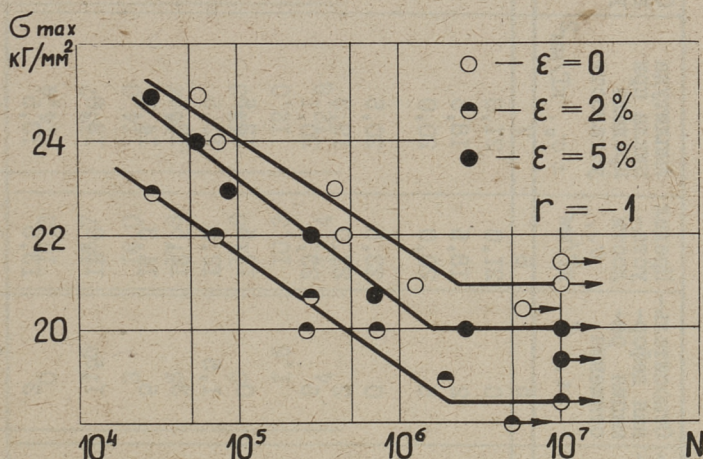
- Армко железо — предел текучести $\sigma_T = 21 \text{ кг/мм}^2$;
 предел прочности $\sigma_B = 33 \text{ кг/мм}^2$;
 длина площадки текучести $\epsilon_s = 2,8 \%$.
- Сталь 3 — предел текучести $\sigma_T = 26 \text{ кг/мм}^2$;
 предел прочности $\sigma_B = 42 \text{ кг/мм}^2$;
 длина площадки текучести $\epsilon_s = 2,5 \%$.

Образцы подвергались предварительной пластической деформации перед испытанием на усталость соответственно $\epsilon = 1,5; 2,0; 3,0; 4,0$ и $5,0 \%$.

У армко-железа исследовали также влияние искусственного старения после пластической деформации на предел уста-

лости. Образцы, деформированные пластически ($\varepsilon = 1,5$ и $3,0\%$), подвергались непосредственно после деформации старению при температуре 250°C в течение двух часов.

Результаты опытов сосредоточены в таблице I. По результатам опытов построены графики $\sigma_{-1p} = f(\varepsilon)$; $\sigma_{-0,75p} = f(\varepsilon)$; $\sigma_{-1,25p} = f(\varepsilon)$ (фиг. 2...8).



Фиг. 2. Кривые усталости для стали марки Ст.3 при симметричном цикле растяжения-сжатия:
 $\varepsilon = 0 - \sigma_{-1p} = \pm 21 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 2\%$ -
 $\sigma_{-1p} = \pm 18,5 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 5\%$ - $\sigma_{-1p} = \pm 20 \text{ кг/мм}^2$.

По полученным результатам можно сделать следующие основные выводы:

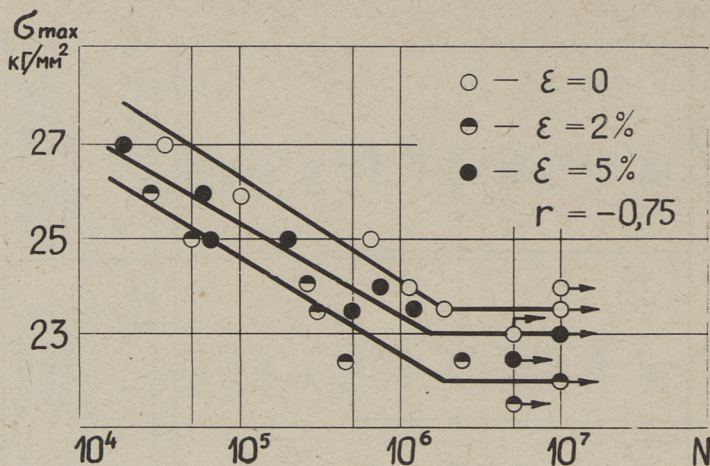
1. Предел усталости сталей снижается в области малых пластических деформаций, причем максимальное снижение происходит при деформации $\varepsilon = 1,5 \dots 3\%$.

2. При асимметричном цикле растяжения-сжатия снижение предела усталости в области малых пластических деформаций зависит от среднего напряжения цикла σ_m . Если среднее напряжение цикла растягивающее, то снижение предела усталости по сравнению с симметричным циклом нагружения уменьшается; средним сжимающим напряжением цикла, наоборот, снижение предела усталости увеличивается (фиг. 7 и 8).

Таблица I

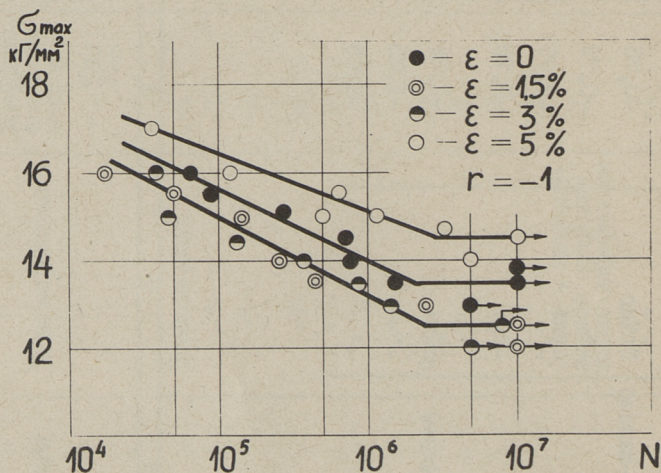
№ п. п.	Материал	Термообработка	Коэффициент асимметрии $\Gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$	Относительная деформация растяжения $\epsilon, \%$	Предел усталости $\sigma_w, \text{кг/мм}^2$	Амплитуда цикла при пределе усталости $\pm \sigma_a, \text{кг/мм}^2$	Относительная величина предела усталости $K = \frac{\sigma_a(\epsilon)}{\sigma_a(\epsilon=0)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Ст. 3	Нормализация	-I	0	21,0	21,0	100
2.	Ст. 3	"	-I	2	18,5	18,5	88
3.	Ст. 3	"	-I	5	20,0	20,0	95
4.	Ст. 3	"	-0,75	0	23,5	20,5	100
5.	Ст. 3	"	-0,75	2	22,0	19,3	94
6.	Ст. 3	"	-0,75	5	23,0	20,1	98
7.	Армко-железо	Отжиг	-I	0	13,5	13,5	100
8.	"	"	-I	1,5	12,5	12,5	93
9.	"	"	-I	3	12,5	12,5	93
10.	"	"	-I	5	14,3	14,3	107
11.	"	Отжиг + искусственное старение после деформации	-I	1,5	13,0	13,0	96
12.	"	"	-I	3	13,5	13,5	100

I	2	3	4	5	6	7	8
I3.	Армко-железо	Отжиг	-0,75	0	I6,3	I4,4	I00
I4.	"	"	-0,75	I,5	I5,7	I3,7	95
I5.	"	"	-0,75	3	I6,0	I4,0	97
I6.	"	"	-0,75	5	I7,3	I5,2	I05
I7.	"	"	-I,25	0	II,8	I3,3	I00
I8.	"	"	-I,25	I,5	I0,3	I2,0	9I
I9.	"	"	-I,25	4	II,4	I2,8	96



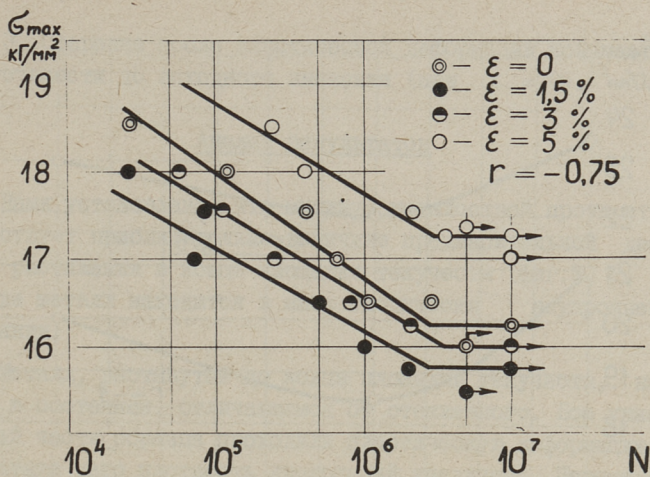
Фиг. 3. Кривые усталости для стали марки Ст.3 при асимметричном цикле растяжения-сжатия со средним растягивающим напряжением:

$$\begin{aligned} \varepsilon = 0 & - \sigma_{-0,75p} = 23,5 \text{ кг/мм}^2, & \varepsilon = 2\% & - \sigma_{-0,75p} = 22,0 \text{ кг/мм}^2; \\ \varepsilon = 5\% & - \sigma_{-0,75p} = 23,0 \text{ кг/мм}^2. \end{aligned}$$



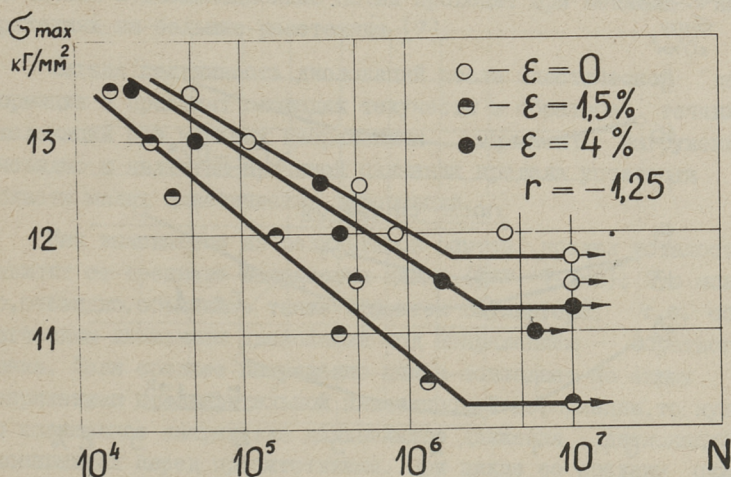
Фиг. 4. Кривые усталости для армо железа при симметричном цикле растяжения-сжатия:

$$\begin{aligned} \varepsilon = 0 & - \sigma_{-1p} = \pm 13,5 \text{ кг/мм}^2; & \varepsilon = 1,5\% & - \\ \sigma_{-1p} & = \pm 12,5 \text{ кг/мм}^2; & \varepsilon = 3\% & - \sigma_{-1p} = \pm 12,5 \text{ кг/мм}^2; \\ \varepsilon = 5\% & - \sigma_{-1p} = \pm 14,3 \text{ кг/мм}^2. \end{aligned}$$



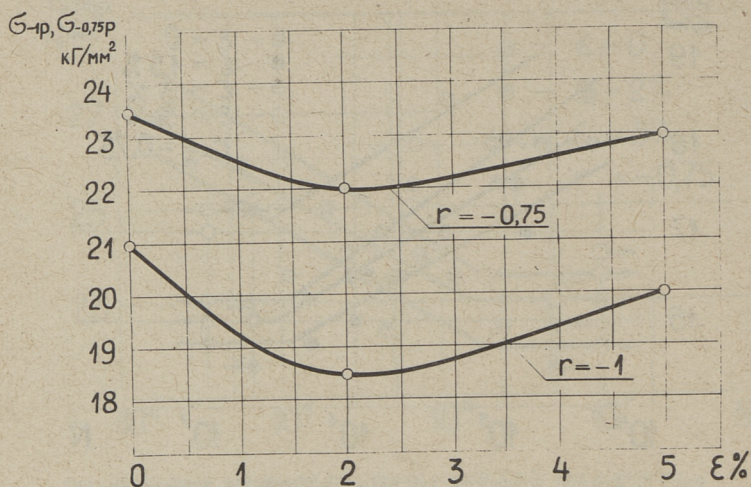
Фиг. 5. Кривые усталости для армо железа при асимметричном цикле растяжения-сжатия со средним растягивающим напряжением:

$\varepsilon = 0 - \sigma_{-0.75p} = 16,3 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 1,5\% - \sigma_{-0.75p} = 15,7 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 3\% - \sigma_{-0.75p} = 16,8 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 5\% - \sigma_{-0.75p} = 17,3 \text{ кг/мм}^2$.

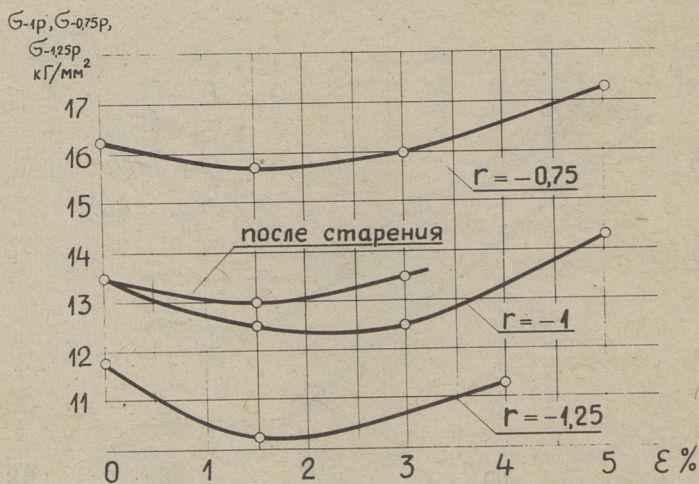


Фиг. 6. Кривые усталости для армо железа при асимметричном цикле растяжения-сжатия со средним сжимающим напряжением:

$\varepsilon = 0 - \sigma_{-1.25p} = 11,8 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 1,5\% - \sigma_{-1.25p} = 10,3 \text{ кг/мм}^2$; $\varepsilon = 4\% - \sigma_{-1.25p} = 11,4 \text{ кг/мм}^2$.



Фиг. 7. Влияние предварительной пластической деформации на предел усталости стали марки Ст.3.



Фиг. 8. Влияние предварительной пластической деформации на предел усталости армко железа.

3. Старение после пластической деформации повышает предел усталости до исходного значения (при $\epsilon = 0$).

Анализ результатов

Нами установлено, что минимум усталостной прочности соответствует приблизительно величине предварительной деформации растяжения в конце площадки текучести (фиг. 1, 2, 8 и 9), где металл находится в макроскопически неупрочненном состоянии.

Металл, растянутый до конца площадки текучести, находится в состоянии, отличающемся от отожженного. Все участки рабочей части образца проходили пластическую деформацию, в результате чего плотность дислокаций увеличена. Перемещение некоторой части дислокаций под циклической нагрузкой облегчается тем, что они оторваны от окружающих их атмосфер или вообще являются свежими. В результате пластической деформации в некоторых плоскостях скольжения образуются скопления дислокаций перед препятствиями. При нагружении обратного знака в этих скоплениях обратное скольжение дислокаций облегчается и дислокационные петли проходят при меньших напряжениях на большие расстояния [7].

Легкая подвижность дислокаций после пластической деформации в пределах площадки текучести и обратное течение дислокаций при меньших напряжениях обратного нагружения очевидно и является причиной снижения предела усталости в области малых пластических деформаций.

Как выясняется из результатов опытов, предел усталости зависит от среднего напряжения цикла (фиг. 7 и 8). Это можно, очевидно, объяснить также эффектом Баушингера, т.е. облегченным движением дислокаций под напряжением обратного знака. Если среднее напряжение цикла совпадает по знаку с напряжением предварительной пластической деформации, то нужно повышенное напряжение дальнейшего движения дислокаций, скопившихся перед препятствиями. При цикле со средним сжимающим напряжением происходит обратное явление - течение дислокаций возможно при меньших напряжениях.

Повышение предела усталости предварительно деформированных сталей после искусственного старения лучше всего мож-

но объяснить дислокационной теорией деформационного старения, согласно которой восстановление механических свойств металла после пластической деформации связано как с блокировкой дислокаций атомами углерода и азота, так и с образованием выделений.

В соответствии с этой теорией атомы внедрения с большим радиусом склонны концентрироваться в растянутых областях дислокаций, оторванных от своих прежних атмосфер пластической деформацией. Так как дислокация является линейным дефектом, внедренные атомы образуют цепочку непосредственно под ней, если каждый из этих атомов связан с атомной плоскостью решетки, пересеченной дислокацией. Если в это построение включается больше чем один атом на каждую атомную плоскость, то появляется некоторое равновесное распределение атомов около дислокации. Образуется так называемая "атмосфера".

Таким образом, в процессе искусственного старения все оторванные дислокации снова блокируются атомами углерода и азота, в результате чего их движение под циклической нагрузкой может произойти при повышенном напряжении.

Л и т е р а т у р а

1. Н.И. Черняк. Механические свойства стали в области малых пластических деформаций. Изд-во АН УССР, Киев, 1962.

2. А.И. Ингерма. Влияние малых пластических деформаций на предел усталости металлов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, Таллин, 1966.

3. S i r e S a t o. The effect of tensile preworking on the fatigue strength of S40C steel containing non-metallic inclusions. I. Soc. Mater. Sci., Japan, 1968, 17, No.172, 31-36.

4. Т о м а к а д з у М а т а к е. Effect of pre-strain of the fatigue limit of 7:3 brass specimens. I. Soc.Sci., Japan, 1967, 16, No. 168,(732-735).

5. G. F a n i n g e r. Über das Verformungsverhalten eigenspannungsbehafteter Stähle bei statischer und dynamischer Beanspruchung. Berg- und hüttenmännische Monatshefte, 1967, 112, Nr. 11, 331-347.

6. Э.И. Р а н н а т, А.И. И н г е р м а. Опытная установка для испытания образцов при осевых знакопеременных циклах нагружения. Труды ТПИ, серия А, № 294, Таллин, 1970.

7. Х.Г. В а н Б ю р е н. Дефекты в кристаллах. Изд-во иностр. лит., М., 1962.

Untersuchung des Einflusses der plastischen Verformung auf die Wechselfestigkeit der Metalle bei dem asymmetrischen zyklischen Zugdruckverfahren

Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel werden Untersuchungsergebnisse der plastisch-zugverformten Stähle auf Dauerfestigkeit dargestellt.

Es wurden kohlenstoffarme Stähle untersucht. Die Proben wurden vor den Dauerfestigkeitsversuchen mit bleibender Zugverformung beansprucht, bei $\varepsilon = 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0\%$.

Dauerfestigkeitsprüfungen wurden auf mechanischem Pulsator mit Zugdruckbeanspruchung bei symmetrischem und asymmetrischem Zyklus durchgeführt.

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse wurde eine Verminderung der Dauerfestigkeit im Bereich kleiner plastischer Verformungen (bei $\varepsilon = 2,5 \dots 3,0$) fixiert. Bei Überschreitung der erwähnten Verformungswerte nimmt die Dauerfestigkeit zu und erreicht den Anfangswert ($\varepsilon = 0$).

УДК 621.762.5

А. Ю. Валликиви, Р. А. Сиймар

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Металлокерамические антифрикционные материалы получают в настоящее время все более широкое распространение в машиностроении.

Известно, что для улучшения антифрикционных свойств металлокерамического пористого железа в него вводят графит и сульфиды, играющие роль сухой смазки в процессе трения.

Установлено, что оптимальными по отношению к антифрикционным и прочностным свойствам является введение в материал 1-3 % графита, 0,4-1 % сульфидов и 15-25 % объемных пор при содержании в спеченном материале приблизительно равных количеств феррита и перлита [1].

Для материалов с указанным выше оптимальным составом установлены также пределы основных технологических параметров: удельное давление прессования $3-6 \text{ т/см}^2$ в зависимости от задаваемой пористости и прессуемости исходной порошковой смеси, температура спекания $1000-1150 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдержка 1-2 часа, в качестве защитной среды при спекании, как установлено исследованиями и практикой производства, можно использовать водород, диссоциированный аммиак, конвертированный природный газ, а также вакуум, нейтральные газы и др. Однако в литературе из-за отсутствия систематических исследований нет убедительных сведений для выбора той или иной конкретной среды спекания для антифрикционных материалов.

В настоящей работе исследованием антифрикционных свойств, микроструктуры и химического состава материалов ти-

на Жпор, ЖГр1, ЖГр2, ЖГр3, ЖК1 и ЖГрК1, спеченных в вакууме, аргоне, водороде, диссоциированном аммиаке и в конвертированном природном газе, сделана попытка решить проблему выбора защитной среды при спекании для металлокерамических антифрикционных материалов на основе железа.

Все исследуемые материалы были изготовлены на основе железного порошка ПЖИМ (ГОСТ 9849-61), к которому в соответствии с маркой материала добавлялись порошки карандашного графита ТКА (ГОСТ 4404-58) и молотой серы (ГОСТ 127-64). Исходная шихта с добавкой 1 % стеарата цинка смешивалась в течение 6 часов в конусном смесителе с применением пружин.

Удельное давление при прессовании образцов выбиралось опытно таким, чтобы пористость всех исследуемых образцов после спекания была одинаковой - 20 ± 1 %. Для различных материалов и сред спекания оно оставалось в интервале $4-5$ т/см².

Все материалы были спечены при температуре 1100 °С и выдержке 2 часа. Точки росы газовых сред были следующие: у аргона - 40 °С, у водопода - 30 °С, у диссоциированного аммиака - 35 °С и у конвертированного газа - 28 °С.

Температурные режимы спекания совпадали полностью при спекании в аргоне, в диссоциированном аммиаке и в водороде (печь ОКБ-333С). При спекании в конвертированном газе (печь ОКБ-210А) и в вакууме (печь ТВВ-4) температурные режимы были близкие к предыдущим.

Состав конвертированного природного газа был следующим: Н₂ - 76,4 %; СО - 17 %; СО₂ - 0,8 %; СН₄ - 4,4 %; N₂ - 1,2 %; О₂ - 0,2 %.

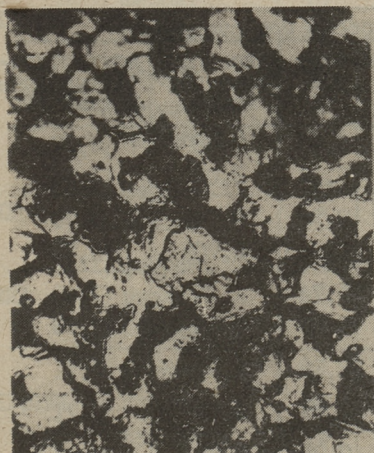
Испытания на трение и износ проводились на машине дискового типа, в которой с контртелом на диаметре 100 мм контактировались одновременно 3 стержневых образца диаметром 10 мм, удельная нагрузка и скорость скольжения были соответственно $8,5$ кг/см² и 2 м/сек с отклонением не более ± 5 %, а длительность испытания - 8 часов. Для достижения большей стабильности испытаний цилиндрические образцы подрезались с 15 до 12 мм высоты.



Фиг. 1. Структура Жлор, спеченного в конвертированном газе (увеличено 400 раз)



Фиг. 2. Структура ЖГр2, спеченного в диссоциированном аммиаке (увеличено 400 раз)



Фиг. 3. Структура ЖК1, спеченного в конвертированном газе (увеличено 400 раз)



Фиг. 4. Структура ЖГр1К1, спеченного в конвертированном газе (увеличено 400 раз)

Перед испытанием на трение и износ образцы пропитывались машинным маслом при атмосферном давлении и при температуре 130 °С в течение 2 часов. Во время испытания дополнительной подачи смазки не производилось.

Дисковые контртела были изготовлены из стали 45, закаленные до твердости 46 ± 1 HRC и шлифованы до 8 кл. чистоты поверхности. Контртело менялось после испытания каждой серии образцов.

В процессе трения 24-точечным самопишущим потенциометром ЭПШ регистрировались температура трения на расстоянии 1 мм от поверхности трения и момент трения. Погрешности измерения температуры и момента не превышали соответственно 1 и 4 %.

Т а б л и ц а I

Содержание углерода и серы после спекания, %

Материал	Характеристика	Защитная среда при спекании				
		вакуум	аргон	водород	диссоциированный аммиак	конвертированный природный газ
Жпор	C _{общ.}	0,09	0,07	0,15	0,08	0,37
	C _{связ.}	0,08	0,05	0,14	0,06	0,35
ЖГр1	C _{общ.}	0,74	0,79	0,78	0,74	0,75
	C _{связ.}	0,725	0,76	0,765	0,705	0,72
ЖГр2	C _{общ.}	1,75	1,90	1,74	1,86	1,61
	C _{связ.}	0,31	0,66	0,54	0,76	0,98
ЖГр3	C _{общ.}	2,66	2,81	2,63	2,63	2,71
	C _{связ.}	2,25	0,32	0,77	0,73	0,71
ЖК1	C _{общ.}	0,08	0,23	0,26	0,26	0,47
	C _{связ.}	0,05	0,18	0,20	0,24	0,43
	Сера	0,21	0,48	0,51	0,48	0,51
ЖГрК1	C _{общ.}	0,94	1,07	1,11	1,15	1,28
	C _{связ.}	0,81	1,00	1,02	1,08	1,20
	Сера	0,35	0,77	0,67	0,79	0,77

Линейный износ измерялся методом искусственных баз. Ниже приводятся основные результаты проведенных исследований.

В таблице I приведены результаты химического анализа исследованных материалов. Из таблицы следует, что в материалах имеется различное количество свободного графита, более всего свободного графита в материале ЖГр3.

Т а б л и ц а 2

Структура материала после спекания

Материал	Структурная составляющая	Защитная среда при спекании				
		вакуум	аргон	водород	диссоциированный аммиак	конвертированный природный газ
Эпор	феррит	90	90	85	90	60
	перлит	10	10	15	10	40
ЖГр1	феррит	10	5	5	10	10
	перлит	90	95	95	90	90
ЖГр2	феррит	50	20	30	10	10
	перлит	50	80	70	90	80
	цементит	-	-	-	-	10
ЖГр3	феррит	60	50	10	10	15
	перлит	40	50	90	90	85
ЖК1	феррит	92	73	75	65	43
	перлит	5	20	20	30	50
	сульфиды	3	7	5	5	7
ЖГр1К1	феррит	10	10	5	5	5
	перлит	82	78	85	85	78
	сульфиды	3	7	5	5	7
	цементит	5	5	5	5	10

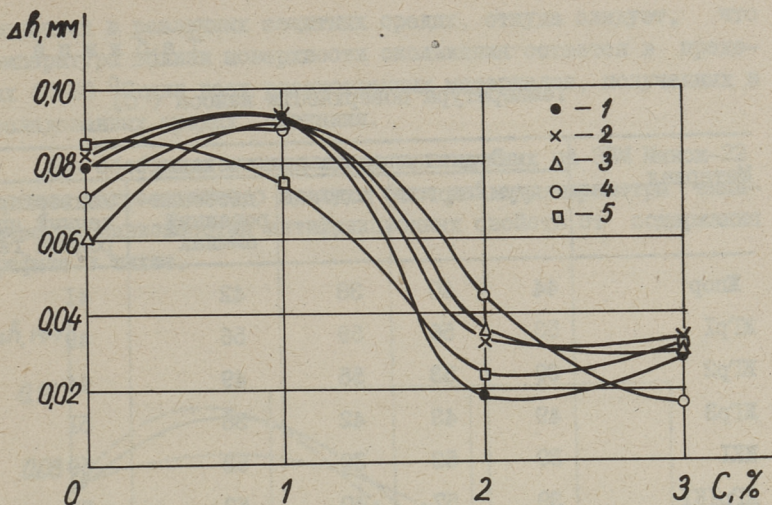
Путем металлографического анализа установлено образование феррито-перлитной структуры с преобладанием феррита у железных образцов (табл. 2). У железографитовых материалов образуется перлитно-ферритная структура с преобладанием перлита. В материале ЖКІ образуется ферритно-перлитная структура с небольшим количеством перлита и сульфидов (3-7 %), а в материале ЖГрКІ - перлитно-ферритная структура с небольшим количеством феррита, цементита и сульфидов (5-7 %) (фиг. I-4).

Результаты исследований антифрикционных свойств приводятся по 2 - 4 сериям испытаний (6-12 образцов).

На фиг. 5 приведена зависимость износа за 8 часов работы от содержания графита в шихте, откуда следует, что максимальный износ имеет материал ЖГрI для всех исследуемых сред спекания. Износ ЖГр2 и ЖГр3 значительно меньше износа ЖГрI, что объясняется наличием свободного графита в этих материалах. Если ЖГрI содержится в зависимости от среды спекания свободного графита 0,015-0,035 %, то в ЖГр2 свыше 1 %, а в ЖГр3 - около 2 %. В чистом железе наличие свободного графита 0,01-0,02 %, в ЖКІ - 0,03-0,06, а в ЖГрКІ - 0,07 - 0,13 (табл. I). Из фиг. 5 и табл. 3 видно, что введение серы в железо и в железографит ЖГрI значительно уменьшает износ, что объясняется наличием сульфидов (3-7 %) в структуре этих материалов и образованием защитной пленки на поверхности контртела [2]. Для железных образцов наименьший износ получается при их спекании в водороде. Для остальных материалов наименьший износ наблюдается при спекании в вакууме и в среде конвертированного природного газа.

На фиг. 6 приведена зависимость коэффициента трения от содержания графита в шихте, откуда следует, что изменение величины коэффициента трения для различных материалов имеет такой же характер, как и изменение величины износа. Незначительно выше коэффициент трения у образцов, спеченных в аргоне. Среда спекания влияет на антифрикционные свойства, но не является решающим фактором. Железные образцы и материалы ЖГр2 и ЖГр3 и ЖКІ имеют весьма малые значения коэффициента трения. Несколько выше они у ЖГрI и ЖГрКІ. Введение серы в железо незначительно увеличивает коэффициент трения (фиг. 6 и табл. 3).

В таблице 4 приведены значения температуры на расстоянии I мм от поверхности скольжения для различных материалов,



Фиг. 5. Зависимость износа от содержания графита в шихте для различных сред спекания: 1 - вакуум, 2 - аргон, 3 - водород, 4 - диссоциированный аммиак, 5 - конвертированный природный газ.

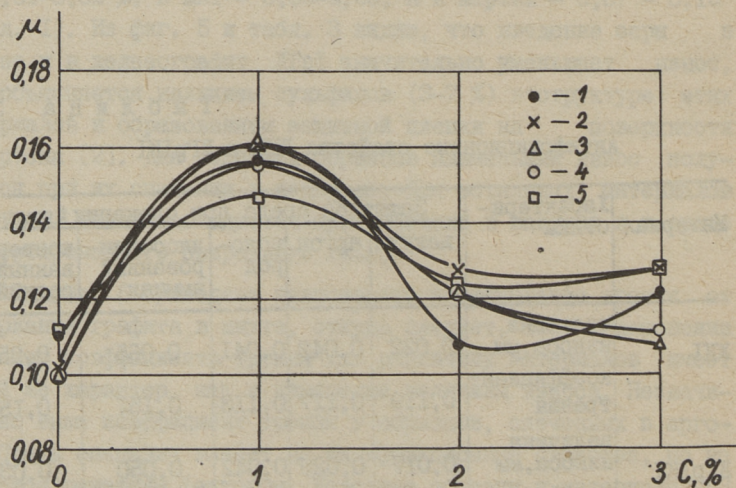
Т а б л и ц а 3

Антифрикционные свойства ЖКІ и ЖГрІКІ

Материал	Характеристика	Защитная среда при спекании				
		вакуум	аргон	водород	диссоциированный аммиак	конвертированный природный газ
ЖКІ	величина износа, мм	0,022	0,042	0,041	0,065	0,058
	коэффициент трения	0,119	0,117	0,113	0,151	0,158
ЖГрІКІ	величина износа, мм	0,017	0,029	0,042	0,050	0,032
	коэффициент трения	0,115	0,146	0,147	0,159	0,159

Температура поверхности износа ($^{\circ}\text{C}$)

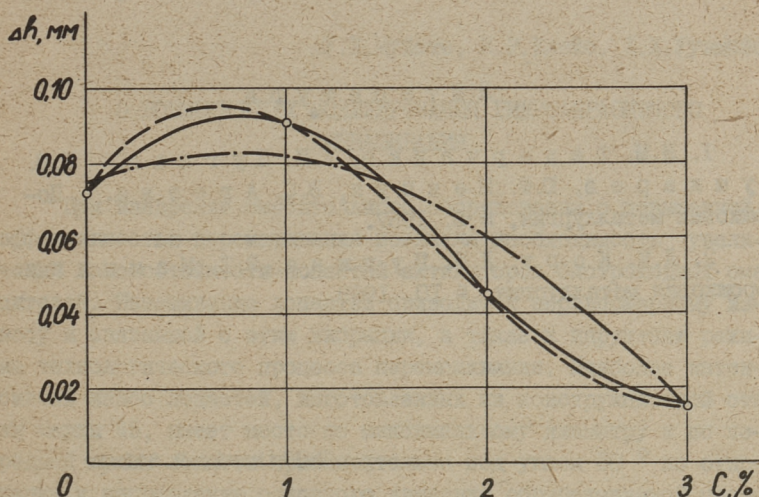
Материал	Защитная среда при спекании				
	вакуум	аргон	водород	диссоции- рованный аммиак	конвертиро- ванный при- родный газ
Жпор	44	40	38	42	41
ЖГр1	53	56	59	56	49
ЖГр2	39	53	55	49	44
ЖГр3	49	43	42	38	51
ЖК1	39	52	39	52	59
ЖГрК1	39	57	40	52	55



Фиг. 6. Зависимость коэффициента трения от содержания графита в шихте для различных сред спекания: 1 - вакуум, 2 - аргон, 3 - водород, 4 - диссоциированный аммиак, 5 - конвертированный природный газ.

спеченных в различных защитных средах, откуда следует, что температура вблизи поверхности скольжения остается в пределах 40–60 °С для всех рассмотренных материалов, полученных в исследованных средах спекания.

Для обобщения экспериментальных данных на ЭВМ Минск-22 методом регрессионного анализа были найдены параметры эмпирических зависимостей антифрикционных свойств от содержания графита в шихте.



Фиг. 7. Зависимость износа от содержания графита в шихте для образцов, спеченных в диссоциированном аммиаке:

- экспериментальная кривая,
- расчетная кривая по кубической зависимости,
- · — расчетная кривая по квадратичной зависимости.

Выяснилось, что они хорошо описываются зависимостью третьей степени. Для материалов, спеченных, например, в диссоциированном аммиаке, зависимость износа от содержания графита в шихте имеет следующую формулу:

$$\Delta h = 0,080 C - 0,075 C^2 + 0,014 C^3 + 0,072,$$

где Δh — линейный износ в мм за 8 часов,
 C — содержание графита в шихте в %.

Выяснилось также, что квадратичной зависимостью имеющиеся экспериментальные данные удовлетворительно описать невозможно (фиг. 7).

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) не было обнаружено ярко выраженной зависимости антифрикционных свойств от защитной среды при спекании;
- 2) из исследованных материалов наилучшую износостойкость проявляют материалы марок ЖГр2, ЖГр3 и ЖГр1К1;
- 3) подтвердилось, что введение серы в железо и железографит приводит к улучшению износостойкости материала.

Л и т е р а т у р а

1. И.М. Федорченко, Л.И. Пугина, В.В. Пушкарёв, Ю.Ф. Шевчук, В.С. Агеева. Порошковая металлургия, № 8, 1967.

2. Л.М. Корх, Л.И. Пугина, Э.Т. Мамкин. Порошковая металлургия, № 10, 1969.

A.Vallikivi, R.Siimar

An Investigation of Antifriction Properties of Metal-Ceramic Materials Based on Iron

Summary

The influence of various protective sintering atmospheres on the value of wear and friction coefficient of antifriction materials based on iron with addition of graphite and sulphur in the mixture is studied. The protective atmospheres were vacuum, argon, hydrogen, dissociated ammonia and converted natural gas. The introduction on sulphur into iron and ferrogaphite leads to the improvement of wear resistance of the materials. ЖГр2, ЖГр3 and ЖГр1К1 have the vest antifriction properties.

УДК.620.178.1

У.Х.Муйсте, И.Р.Клейс, Х.Х.Ууемйис

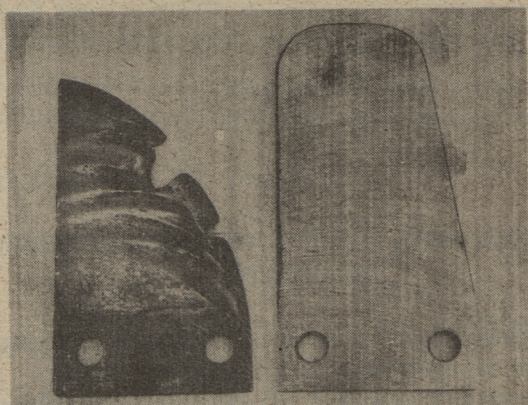
О ВОЗМОЖНОСТЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОГО
ИЗНАШИВАНИЯ

При внедрении смесительного оборудования с повышенной эффективностью перемешивания возникла необходимость увеличения износостойкости лопастей активаторов быстроходных смесителей. Изнашивание лопастей приводит к неравномерному износу и связанной с этим вибрации, а также к нарушению режима технологического процесса перемешивания. Наиболее интенсивный износ лопастей, изготовленных из конструкционной стали марки 45, имеет место по максимальному диаметру и по передней грани лопасти приблизительно под углом 30° по отношению к направлению основного движения обрабатываемой массы. Исключительно активно изнашиваются лопасти в показанных на фиг. 1 местах, где по мере углубления поверхностных дефектов образуются завихрения смеси и местные потоки смеси высокой плотности.

При выяснении возможности моделирования процессов изнашивания, происходящих в быстроходном смесителе, мы исходили из того, что при сходстве рядов относительной износостойкости, полученных в лабораторных и эксплуатационных условиях, и сами процессы изнашивания должны быть сходными [1].

Сравнительными испытаниями на центробежном ускорителе ЦУК-2 [2], на испытательной машине И-1 [3] и на быстроходном промышленном смесителе определили относительную износостойкость различных материалов.

В числе нестандартных материалов применяли белый чугун (содержит углерода - 3 %, хрома - 15 %, молибдена - 3 %), который рекомендуется в качестве износостойкого материала [4],



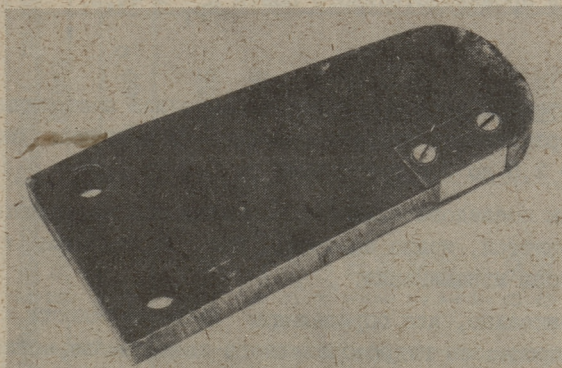
Фиг. 1. Справа - новая лопасть активатора; слева - изношенная сверх нормы лопасть из стали 45.

и разработанная в институте ВНИИГС наплавка КБХ (химический состав: феррохром - 60 %, железный порошок ПЖ-1К - 30 %, карбид хрома ЦМТУ № 98т-45-68 - 5 %, борид хрома ЦМТУ № 08т-46-68 - 5 %).

Образцы для всех опытов были изготовлены из одного и того же прутка металла. В качестве эталонного материала использовали сталь 45. В ходе лабораторных опытов применяли гидроабразив с водотвердым отношением 0,5 по СН 277-70, приготовленный из размолотого в шаровой мельнице песка со средней удельной поверхностью $2100 \text{ см}^2/\text{г}$.

Средняя линейная скорость вращения образцов на установке И-1 была 5,8 м/сек; средняя скорость потока гидроабразива на ЦУК-2 составляла 65 м/сек. Испытания на ЦУК-2 проводили при углах атаки 30° и 60° . Угол атаки 30° характерен для условий изнашивания передней грани, а величина угла атаки 60° - для условий изнашивания боковой поверхности лопасти активатора быстроходного смесителя.

Для определения относительной износостойкости материалов в эксплуатационных условиях были использованы пластинчатые образцы, вмонтированные в лопасть, как показано на фиг. 2.



Фиг. 2. Лопасть активатора с вмонтированным образцом.

Износ образцов определили при обработке смеси сланцезольного ячеистого силикатобетона с водотвердым отношением 0,5. Скорость образцов в лопастях активатора - 25 м/сек.

В результате проведенных испытаний получены 4 ряда относительной износостойкости, которые приведены в таблице I. Как видно, в рядах последовательность относительной износостойкости материалов сохраняется соответственно очередности первого ряда и коэффициенты инверсии равняются нулю.

$$K_{и2} = 0, K_{и3} = 0 \text{ и } K_{и4} = 0.$$

Анализ рядов показывает, что величины относительной износостойкости сталей, полученные в лабораторных установках, на 15 % меньше результатов испытаний, проведенных в смесителе. При таких же условиях у металлокерамических твердых сплавов разница трехкратная. Это вызвано тем, что в производственных условиях на интенсивность изнашивания влияет ряд дополнительных факторов, свойственных процессу перемешивания в смесителе.

Этим обусловлена разница между величинами характеристик рядов лабораторных испытаний $K_{P_2} = 16,4$; $K_{P_3} = 11,9$; $K_{P_4} = 17,4$ и производственного опыта $K_{P_I} = 44,5$.

Показатели абразивности рядов оказались постоянными. У металлокерамических твердых сплавов эти величины были в пределах от 2,5 до 3,5 и у сталей от 0,8 до 1,3.

Так как последовательность расположения материалов в рядах не меняется, можно полагать, что сохраняется сходство процессов изнашивания.

Следовательно, для определения износостойкости и исследования процессов гидроабразивного изнашивания, можно применять установки ЦУК-2 и И-1. Однако, учитывая обстоятельство, что на ЦУК-2 можно моделировать процесс изнашивания при различных углах атаки и провести исследования в более широких диапазонах варьирования других параметров, то при выборе лабораторной установки для моделирования процесса гидроабразивного изнашивания предпочтение следует отдать установке ЦУК-2. Для определения лишь относительной износостойкости можно применять и установку И-1.

Результаты испытаний (табл. I) показывают, что повышение твердости сталей термической обработкой лишь незначительно влияет на износостойкость при гидроабразивном изнашивании.

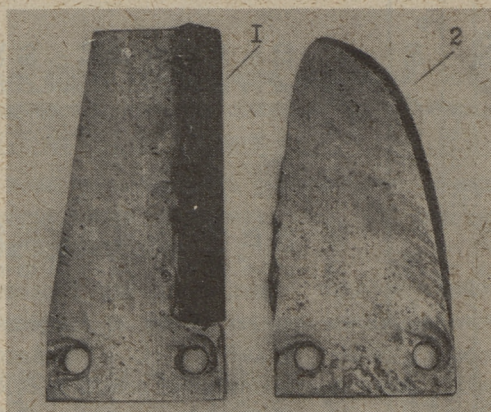
Трехкратная относительная износостойкость белого чугуна и наплавки типа КБХ указывает на перспективность применения белого чугуна и наплавки стальных лопастей электродами КБХ для изготовления лопастей быстроходного активатора смесителя.

Металлокерамические твердые сплавы имели в производственных условиях до 35-кратную относительную износостойкость. Соответствующие расчеты подтверждают экономическую целесообразность применения металлокерамических твердых сплавов при изготовлении лопастей активатора.

РЯДЫ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Наименование материала	Марка	Твердость Н _V кг/мм ²	Относительная износостойкость ε по объему				
			I ряд на быстрохолдном смесителе	II ряд	III ряд		IV ряд на машине И-1
					на ЦУК-2	α = 60 °	
			α = 30 °				
1. Металлокерамический твердый сплав	ВК-6	89 до 90 НРА	35,6	12,50	10,55	14,05	
2. То же	ВК-15	86 до 87 НРА	24,1	8,05	6,15	9,32	
3. Белый чугун	встанд.	650 до 700	3,45	3,12	2,60	-	
4. Наплавка	КБХ	800 до 830	2,75	3,04	2,32	3,85	
5. Сталь	У8А	350 до 400	1,47	1,10	1,23	1,70	
6. Сталь	У8А	860 до 900	1,17	1,08	1,20	1,45	
7. Сталь	IX13	200 до 260	1,15	1,05	1,15	1,30	
8. Сталь	45	470 до 500	1,10	1,01	1,10	1,14	
9. Сталь	45	180 до 210	1,0	1,0	1,0	1,0	
10. Сталь	У8А	180 до 200	0,98	0,92	0,97	0,99	
11. Сталь	IX13	140 до 190	0,90	0,90	0,95	0,95	
12. Серый чугун	Сч 21-40	180 до 210	0,84	0,88	0,90	0,86	
13. Сталь	XI8H9T	160 до 180	0,82	0,76	0,89	-	
14. Сталь	Ст. 3	130 до 160	0,80	0,76	0,88	0,81	

Как видно на фиг. 3, применение лопасти с армированной металлокерамическими твердыми сплавами передней гранью приводит к значительному увеличению межремонтного времени быстрого смесителя.



Фиг. 3. Изношенные лопасти активатора быстрого смесителя:

- 1 - армированная с металлокерамическим твердым сплавом,
- 2 - эталон из стали 45.

На основании результатов опытов можно сделать следующие выводы:

1. Для определения относительной износостойкости материалов и для исследования закономерностей изнашивания рабочих органов в быстроходном смесителе можно рекомендовать центробежный ускоритель типа ЦУК-2. Для определения относительной износостойкости металлов можно применять также испытательную машину И-1.

2. Перспективными и наиболее износостойкими материалами для армирования передней грани лопасти активатора быстрого смесителя являются металлокерамические твердые сплавы типа ВК.

3. Мартеновский белый чугун и наплавки типа КВХ обладают в среднем трехкратной относительной износостойкостью по сравнению со сталью 45.

Л и т е р а т у р а

1. М.М. Т е н е н б а у м. Абразивная износостойкость материалов. Автореферат докторской диссертации, М., 1969.

2. И.Р. К л е й с. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом. Труды ТПИ, серия А, № 152, Таллин, 1958.

3. У.Х. М у й с т е, Х.Х. У у е м н ы й с. Авторское свидетельство № 310160. Установка для определения износостойкости твердых материалов. Бюллетень № 23 от 26/УП 1971.

4. Т. Н о р м а н, Г. О т т. Neuere Entwicklungen verschleißfester Gußwerkstoffe für die Hartzerkleinerung. Gießerei, Nr. 16/17, 1959.

U. Muiste, I. Kleis, H. Uuemõis

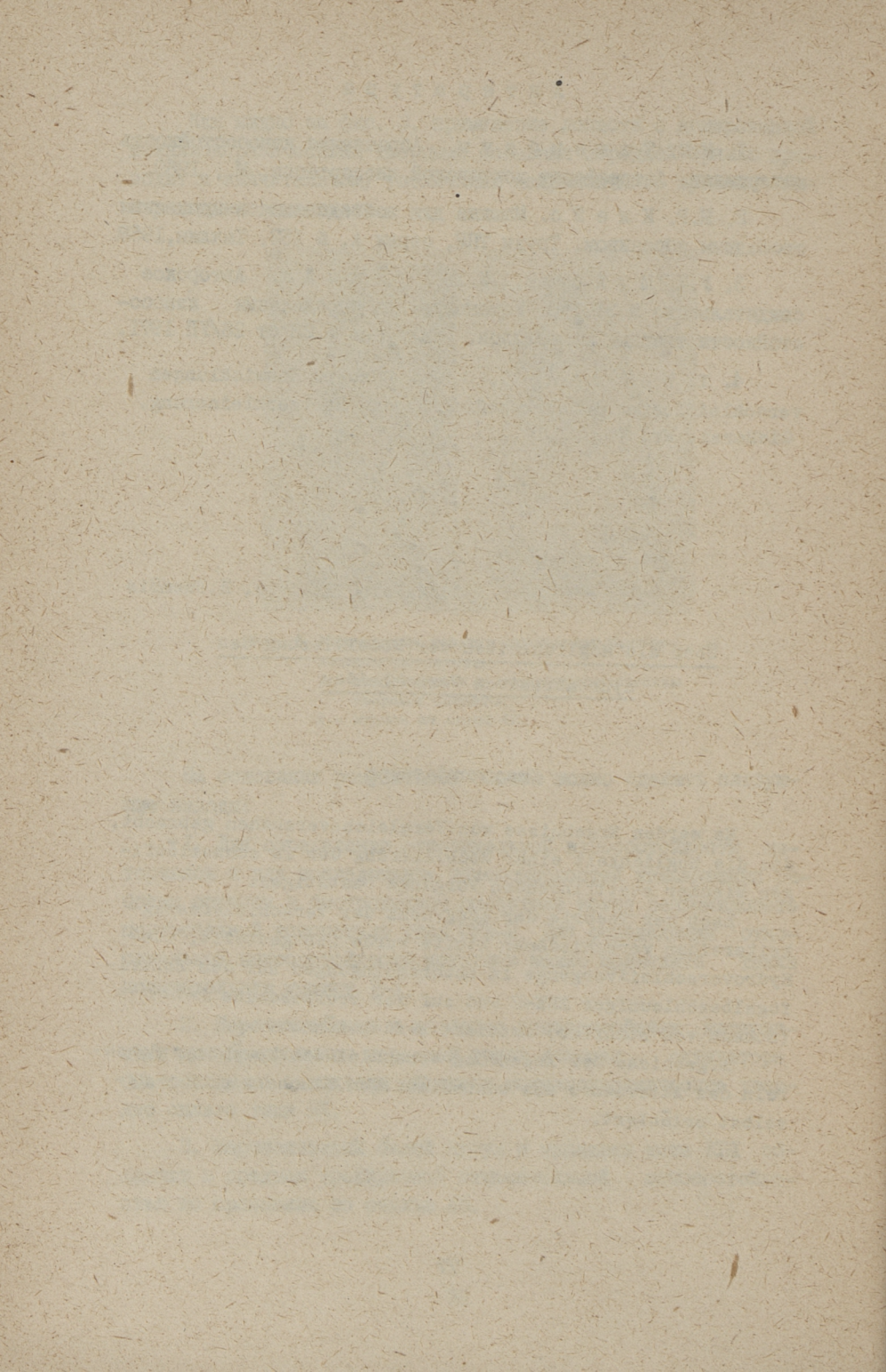
Über die Möglichkeiten der Modellierung des hydroabrasiven Verschleißes

Zusammenfassung

Es werden Ergebnisse von Vergleichsversuchen gebracht, die die Möglichkeit einer Modellierung der im schnellläufigen Mischer stattfindenden Vorgänge bestätigen.

Laut der Theorie der Kongruenz der Verschleißfestigkeitsreihen verschiedener Stoffe wurde festgestellt, daß Hydroverschleißvorgänge in Laborbedingungen auf dem Zentrifugalbeschleuniger ZUK-2 und auf der Prüfmaschine J-1 (Schema von Stauffer) imitiert werden können.

Ergebnisse der Anwendung verschleißfestbewährter Schaukeln des Aktivators des schnellläufigen Mixers sind da selbst erläutert.



УДК 665.5:546.261:620.193.1

Л. Э. Вальдма, Л. Р. Паккас,
Э. Х. Арумээль, В. А. Козьяков

АБРАЗИВНОСТЬ ТОПОЧНОГО МАЗУТА

Исследования, выполненные на кафедре технологии металлов и в лаборатории порошковой металлургии Таллинского политехнического института, показали, что эрозия центробежных форсунок котельных топок, работающих на нефтяном мазуте, вызвана, главным образом, ударами твердых частиц мазута о стенки камеры завихрения и отверстия сопла, которые покрываются парашинами и вдавленными лунками.

Исследование твердых примесей мазута под микроскопом показало наличие в основном трех видов твердых частиц:

1. Черные и серые частицы, обладающие развитой сеткой микротрещин и мелкой пористостью. Они имеют матовый цвет, являются немагнитными, хрупкими и мягкими. Такие свойства позволяют считать их частицами кокса.

2. Серые магнитные частицы, напоминающие окалину.

3. Белые стекловидные частицы с блестящей поверхностью, угловатые с острыми ребрами и вершинами. Напоминают чистый кварц. Также встречаются частицы, прокаленные с поверхности. Эта группа частиц является немагнитной, прочной и хрупкой.

По цветовым признакам, описанным в литературе [1], можно назвать преобладающую магнитную фракцию минеральных частиц окислами железа.

Второй вид частиц (немагнитная фракция) похож на кварц. Для оценки абразивности мазута был определен состав механических примесей с помощью рентгеновского и химического анализов; кроме того, определялся их гранулометрический состав и геометрическая форма.

1. Рентгеновский фазовый анализ механических
примесей

Рентгеновский фазовый анализ, проведенный на установке УРС-50ИМ со сцинтиляционной регистрацией Fe излучения, показал, что исследованные пробы механических примесей дают очень сложные рентгенограммы, во многих случаях с перекрывающимися линиями. В нашем случае удалось обнаружить больше десяти различных фаз и модификаций минеральных составляющих. Данные, полученные при анализе проб мазута марки М 100 (ГОСТ 10585-63), представлены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Результаты рентгеновского фазового анализа
механических примесей

№ п.п.	Межплоскостное расстояние, кХ	Соединение
1	2	3
I.	3,829	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$
2.	3,622	Cr_2O_3
3.	3,352	SiO_2 (α -кварц)
4.	3,330	$\beta\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
5.	2,967	SiO_2 (α -тридимит)
6.	2,844	SiO_2 (α -кристобалит)
7.	2,795	SiO_2 (α -тридимит)
8.	2,799	SiO_2 (α -тридимит)
9.	2,696	Fe_2O_3
10.	2,671	Cr_2O_3
11.	2,631	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
12.	2,560	MnO
13.	2,539	SiO_2 (β -кристобалит)
14.	2,497	SiO_2 (α -тридимит)
15.	2,200	Fe_2O_3

I	2	3
16.	2,191	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{MgO}$
17.	2,158	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
18.	1,915	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
19.	1,859	FeMn_3
20.	1,829	FeMn_3
21.	1,690	Fe_2O_3
22.	1,684	Fe_3C
23.	1,479	MgO
24.	1,447	SiO_2 (β -кристобалит)

2. Химический анализ твердых частиц мазута

Как показали исследования, в жидком мазуте содержится около 0,03 % по весу твердых частиц. Эти частицы содержат органическую (коксовую) и минеральную (зольную) составляющие. Количество последней равняется 0,01 % по весу.

После удаления кокса из твердого остатка мазута при 500 °С получена зола следующего состава:

Fe_2O_3 ...	74,5 %	Cr_2O_3 ...	0,8 %
MnO ...	0,3 %	SiO_2 ...	12,9 %
CaO ...	4,7 %	MgO ...	0,9 %

Недостающий остаток ... 5,9 %

(по-видимому, негоревший кокс).

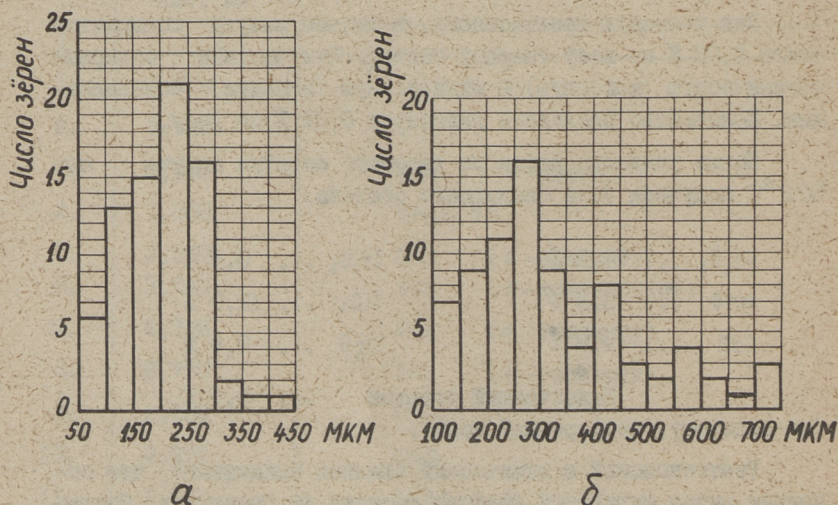
Рентгеновский и химический анализы показывают, что основная масса магнитной фракции состоит из гематитов. Состав немагнитной фракции соответствует кварцитам, которые, кроме кварцевых частиц, являющихся основным минералом кварцита, содержат также разные его модификации, как, например, α - и β -кристобалит и α -тридимит. По литературным данным [2] микротвердость кварцитов составляет 1100-1145 кгс/мм² и гематитов 576-630 кгс/мм².

Такие же результаты получены нами при измерении твердости минеральных частиц мазута. Экспериментальная проверка показала микротвердость магнитных частиц от 200 до 600 кгс/мм². Микротвердость у немагнитных белых стекловидных частиц достигала 500–1200 кгс/мм².

Известно, что износ материалов усиливается с повышением твердости абразивных зерен. Особенно сильный износ вызывают абразивные зерна, твердость которых превышает твердость конструкционного материала.

Следовательно, наиболее агрессивными абразивными зернами в мазуте являются белые стекловидные частицы с большой твердостью. С учетом этого было проведено определение геометрических характеристик стекловидных частиц.

3. Гранулометрический состав немагнитных стекловидных минеральных частиц



Фиг. 1. Гистограммы зернистости минеральных частиц немагнитной фракции мазута;

- а) размер зерна по меньшей оси зерна,
- б) размер зерна по большей оси зерна.

Для определения гранулометрического состава твердых частиц их сфотографировали под микроскопом. По результатам измерения были построены гистограммы, показывающие разброс размеров частиц (см. фиг. 1). Размеры большей части немагнитных частиц, измеренных по наименьшей оси, лежат в пределах 150 – 300 мкм. При измерении размеров частиц по наибольшей оси основная часть имеет размеры 200 – 350 мкм.

4. Геометрическая форма немагнитных стекловидных минеральных частиц

Многие исследователи указывают на важную роль формы абразивных зерен на износ материалов. Наиболее интересные результаты по исследованию влияния формы зерен на их абразивность получены в работе [3].

Характеристикой геометрической формы принят коэффициент формы абразивного зерна

$$M = \frac{N_{cp}}{r_{cp}}$$

где N_{cp} – среднее число выступов,

r_{cp} – средний радиус закругления вершины зерна.

В данной работе для определения коэффициента формы частицы фотографировались. Затем использовались зарисовки, полученные с помощью проектора ЛЭТИ при увеличении в 850 раз. Типичная геометрия частиц немагнитной фракции показана на фиг. 2.

Для исследования использована основная фракция твердых частиц мазута размером 150 – 300 мкм. Средняя величина коэффициента формы M немагнитных частиц составляет 1308. Для сравнения были определены коэффициенты формы у кварцевого песка и молотого стекла зернистостью 150 – 300 мкм, которые оказались равными соответственно 932 и 1197.

Анализ полученных результатов показал, что существует определенная тенденция к увеличению коэффициента формы с уменьшением величины частиц. Средний радиус закругления вершины растет с увеличением размера абразивной частицы. Кроме того, было замечено, что коэффициент формы частиц,

который безусловно наиболее полно связывает интенсивность изнашивания с геометрией зерна, не является постоянной величиной для абразивного материала. Он зависит от способа измельчения абразива и абсолютной величины зерна, а также от конкретных условий его определения (например, от увеличения, применяемого при определении N_{cp} и r_{cp}).



Фиг. 2. Геометрия минеральных частиц немагнитной фракции мазута.

Вышеприведенные результаты показали, что геометрическая форма немагнитных частиц мазута близка к форме стеклянного порошка и отличается от формы кварцевого песка.

В ы в о д ы

Рентгеновский и химический анализы твердых частиц нефтяного мазута, изучение их цветовых и геометрических характеристик приводит к заключению, что абразивность топочного мазута вызвана, главным образом, частицами минералов гематитов и кварцитов. Более твердыми из них являются кварциты (до 1200 кгс/мм^2), которые имеют геометрическую форму многогранника и похожи на частицы стеклянного порошка. По-видимому, именно наличие кварцитов в составе механических примесей вызывает сильный износ закаленных стальных форсунок.

Для существенного повышения износостойкости деталей форсунок, применяемых для распыления мазута, необходимо использование материала, обладающего твердостью большей, чем 1200 кгс/мм^2 . Такими материалами являются, например, твердые сплавы.

Л и т е р а т у р а

1. К.В. О л е с е в и ч. Износ элементов газовых турбин при работе на твердом топливе. Машгиз, М., 1959.

2. М.М. Х р у щ о в, М.А. Б а б и ч е в. Исследования изнашивания металлов. Изд. АН СССР, М., 1960.

3. Ю.А. Т а д о л ь д е р. Влияние геометрии абразивного зерна на интенсивность изнашивания металлов в потоке абразивных частиц. Труды ТПИ, серия А, № 237, Таллин, 1966.

Die Abrasivität des Heizmasuts

Zusammenfassung

Die zahlreichen röntgenographischen, chemischen und granulometrischen Analysen der Hartteilchen des Heizmasuts zeigen, daß die Erosion der Zerstäuber durch die Mineralteilchen des Masuts bedingt ist. Die Mineralteilchen bestehen aus etwa 75% Hematiten mit einer Mikrohärtigkeit von 200-600 kp/mm² und aus 25% verschiedener Quarzmodifikationen wie α und β Kristobalit, α -Tridymit und α -Quarz mit einer Mikrohärtigkeit von 500-1200 kp/mm². Die Quarziteilchen sind vieleckige Polyeder mit einer durchschnittlichen Korngröße von 0,25 - 0,35 mm.

С о д е р ж а н и е

		Стр.
1.	М.Э. Аяотс, Р.Х.Лээс, М.Х.Нанитс, Я.Э.Сярак, Ю.М.Хандельсман. Стенд М-906 для исследования трения в миниатюрных подшипниках скольжения.	3
2.	Р.К.Мозберг, П.О.Сяргава. Исследование возможности использования металлокерамических материалов для изготовления направляющих втулок пресс-форм и штампов	II
3.	Л.Э.Вальдма, Ю.Ю.Пирсо. О возможности моделирования изнашивания материалов мазутных форсунок.	I7
4.	Л.Э. Вальдма, Ю.Ю.Пирсо. Закономерности абразивного износа некоторых материалов мазутных форсунок.	3I
5.	Ю.А.Тадольдер, А.И. Ингерма. Исследование многократно механико-термически обработанной стали Ст.3 на абразивную эрозию	45
6.	Э.И. Раннат, А.И. Ингерма. Исследование влияния предварительной пластической деформации на усталостную прочность стали при циклическом нагружении растяжения-сжатия . .	49
7.	А.Ю. Валликиви, Р.А. Сиймар. Исследование антифрикционных свойств металлокерамических материалов на основе железа.	6I
8.	У.Х. Муьсте, И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмьис. О возможностях моделирования гидроабразивного изнашивания.	7I
9.	Л.Э.Вальдма, Л.Р. Паккас, Э.Х.Арумээль, В.К. Козьяков. Абразивность топочного мазута. . .	79

ИЗНОС, УСТАЛОСТЬ И КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ
Сборник статей У

Таллинский политехнический институт

Редактор Ю.А. Тадольдс

Технический редактор Л. Лоопер

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 17/XI 1971г.

Подписано к печати 25/1У 1972 г. Бумага 60x90/16.

Печ.л. 5,5 + 0,5 прилож. Уч.-издл. 4,25. Тираж 350.

МВ-04138. Зак. №363 .

Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/8.

Цена 43 коп.



Цена 43 коп.

РК