

сентябрь 9/2003

# ТЯЖЕЛОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Международная промышленная неделя в «Сокольниках»



5-я юбилейная Международная выставка

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

www.mashinostroyenie.ru

Международные выставки

16-20 СЕНТЯБРЯ

2003 ГОДА

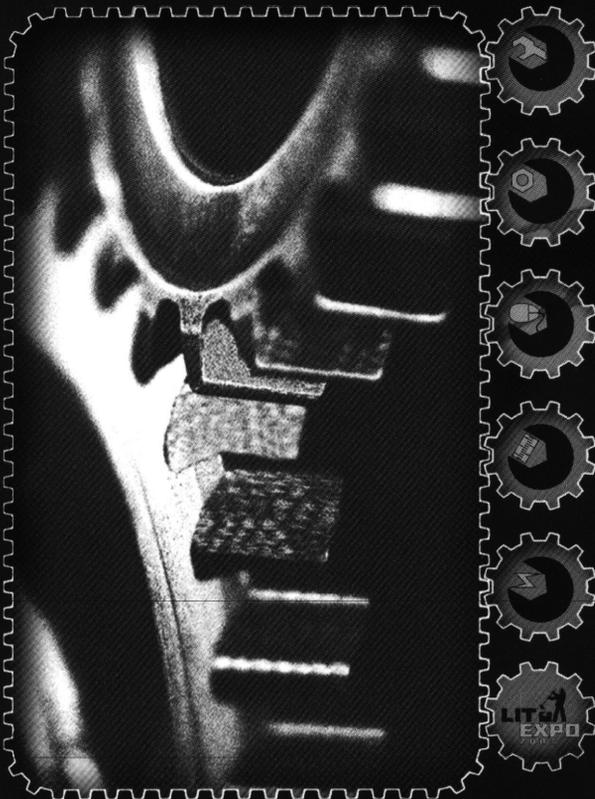
Россия, Москва,

КВЦ «Сокольники»

Организаторы:

**СОКОЛЬНИКИ**


 АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ  
ПРОДУКЦИИ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

 107113, Москва,  
Сокольнический вал, 1,  
павильон 4  
Тел./факс: (095) 105-3481,  
268-7605, 268-7603  
E-mail: arkhipova@exposokol.ru

 Р Е Т Е К М А Ш  
2 0 0 3

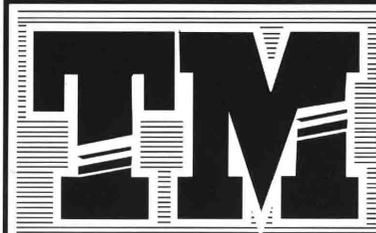
 М А Ш К О М П  
2 0 0 3

 И Н Т Е Х М А Ш  
2 0 0 3

 М Е Т Р М А Ш  
2 0 0 3

 Э Л Е К М А Ш  
2 0 0 3

 Л И Т Э К С П О  
2 0 0 3



СЕНТЯБРЬ 9 / 2003

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# ТЯЖЕЛОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Издается с октября 1955 г.

## Редакционная коллегия:

ИВАНОВА В. А.  
(главный редактор)

ВОРОНКОВ Ю. Н.  
ВИРЧЕНКО М. А.  
ЗУБЧЕНКО А. С.  
КОРИДЗЕ Р. Л.  
ЛОГАЧЕВ С. И.  
МЕЛЬНИК В. И.  
МИНТАХАНОВ М. А.  
МИРОНОВ Н. И.  
НЕМТИН А. С.  
НЕСТЕРОВ Э. И.  
ПАСЕЧНИК Н. В.  
СИВАК Б. А.  
СОЛОВЕЙ А. Г.  
СОТНИКОВ А. А.  
ФИЛИППОВ Г. А.  
ХРИСТИЧ Л. М.  
ЧАВЧАНИДЗЕ Е. К.  
ШИФЕРШТЕЙН Э. И.  
ЮХНЕВСКИЙ А. А.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ■ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОАККУМУЛИРОВАНИЯ И ЭКОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ

- Субботин В. И. Соображения о ядерной энергетике XXI века, место в ней реакторов на быстрых нейтронах . . . . . 2
- Проценко В. П. О переводе российской энергетики на интенсивный путь развития . . . 7
- Азатян В. В., Козляков В. В. Новые подходы использования химических методов в решении проблем водородной энергетики . . . . . 14
- Пшеничников А. Г., Мичри А. А., Колесниченко И. И., Мордвинов В. П., Алехин В. П. Электрохимия и энергетика будущего . . . . . 16
- Фролов С. М. Перспективы использования детонационного сжигания топлива в энергетике и на транспорте . . . . . 19

### ■ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- Багерман А. З., Кошкин Э. А., Леонова И. П. Виртуальные испытания на выносливость конструкционных материалов . . . . . 23
- Болдырев Д. А., Криштал М. М., Цалина Н. Б., Выбойщик М. А. Сравнительный анализ и пути уменьшения износа серых перлитных чугунов . . . . . 24
- Гуслякова Г. П., Корнев А. Б., Гусляков Д. С. Сопротивление износу металлических материалов при разных условиях нагружения . . . . . 27
- Тарарычкин И. А. Метод расчетного определения стабильности сварочных технологических процессов . . . . . 33
- Дрыга А. И. Вибростабилизирующая обработка крупногабаритного корпуса статора гидрогенератора с применением широкодиапазонных виброкомплексов . . . . . 37

\*\*\*

### На выставках и конференциях

- Гаврилов В. В. Седьмой международный Конгресс двигателестроителей . . . . . 40

## АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Россия, 125993,  
Москва, ГСП-3, Нижний  
Кисловский пер., 5  
Тел. (095) 203-4298  
Тел./факс: (095) 203-4304  
E-mail: [tiajmash@mtu-net.ru](mailto:tiajmash@mtu-net.ru)  
[www.tiajmash.ru](http://www.tiajmash.ru)

## УЧРЕДИТЕЛИ:

ЗАО "ТЭНМА", ЗАО "Трансмаш"

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати  
Свидетельство о регистрации № 017810 от 30 июня 1998 г.

ООО Издательство "Тяжелое машиностроение"

Оригинал-макет ООО фирма "АКИМ". 125190, Москва, а/я № 1

Печать тиража в типографии ООО "Дом печати "Столичный бизнес", Россия, 130062, Москва, ул. Покровка, 47/24

Корректор Л.Е. Мальцева

Сдано в набор 09.07.2003. Подписано в печать 25.08.2003. Формат 60×88 1/8.

Бумага мелованная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 4,9. Усл. кр.-отт. 8,82. Уч.-изд. л. 7,94. Заказ

© Предупреждаем о правовой защите наименования и авторских прав на публикуемые материалы. 2003.

Перепечатка материалов из журнала "Тяжелое машиностроение" только с согласия редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Тяжелое машиностроение" обязательна

ва ЭИ826 при температуре 700 и 800 °С, с частотой 100 Гц и разрушениях при  $N = 2 \cdot 10^6$  цикла, показало такое же соотношение растягивающих и изгибных напряжений при разрушении. В отличие от данных литературы [8], И. А. Одинг [1] приводит статистику соотношения указанных напряжений, которая составлена (0,5...1).

Рассмотрен также случай моделирования нагружения для имитации циклических испытаний на плоский изгиб, осуществляемый с двумя частотами и различными максимальными напряжениями в симметричном цикле. В [9] приведены результаты испытаний различных материалов на специально спроектированной установке, в которой перемещения концов плоского образца могло осуществляться с различной частотой и амплитудой.

Сравнение виртуальных испытаний с натурными выполнялось для гладких образцов из стали Ст.4. На основании испытаний на изгиб с частотой  $f = 3,3$  Гц была реконструи-

рована характеристика длительной прочности материала и далее имитировались испытания при двухчастотном нагружении с частотами 3,3 и 0,2 Гц. При наложении действующих по синусоидальному закону нагрузок в качестве разрушающих принимались нагрузки одного знака. При суммировании двух разрушающих нагрузок одного знака с учетом технологии проведения испытаний результирующая нагрузка оценивалась как разность действующих. Если знаки нагрузок были противоположными, то результирующая оценивалась как алгебраическая сумма действующих и использовалась в расчетах, если преобладала величина разрушающего знака. Полученные на ЭВМ результаты не вышли из поля разброса опытных данных. Соотношение растягивающих и изгибных напряжений было принято  $\sigma_{рас} = 0,7\sigma_{из}$ .

Полезность представленного подхода к усталостным испытаниям авторы видят в следующем.

Рекомендуемый способ оценки усталостной зависимости позволяет экономить материальные и времен-

ные ресурсы, учитывать влияние условий работы материала (изменение температуры, чередование видов нагружения, влияние агрессивной среды и т. д.).

#### Список литературы

1. Одинг И. А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. М: Машгиз, 1962. 260 с.
2. Иванова В. С. // Известия АН СССР. ОТН. Серия "Металлургия и топливо". 1960. № 1.
3. Иванова В. С. Доклады АН СССР. 1958. Т. 119. № 1.
4. Багерман А. З. // Тяжелое машиностроение. 2001. № 10. С. 30—31.
5. Исканов И. Н., Муратаев Ф. И., Брауде Н. З. Технология производства и прочность деталей летательных аппаратов двигателей. Казань: КАИ, 1979. С. 56—68.
6. Маслеников С. Б., Масленикова Е. М. Стали и сплавы для высоких температур. Спав. Изд. Кн. 2. М.: Металлургия, 1991. 832 с.
7. Гецов Л. Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин. М.: Недра, 1996. 591 с.
8. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1951. 850 с.
9. Буглов Е. Г., Коликов Э. А. Усталость судостроительной стали при двухчастотной нагрузке. В сборнике НТО Судостроительной промышленности им. акад. А. Н. Крылова, вып. 131, строительная механика корабля. Л.: Судостроение, 1969. С. 182—189.

УДК 669.131.6

**Д. А. БОЛДЫРЕВ, М. М. КРИШТАЛ, Н. Б. ЦАЛИНА**, канд. физ.-матем. наук

(Исследовательский центр ОАО "АВТОВАЗ")

**М. А. ВЫБОЙЩИК**, д-р физ.-матем. наук, проф.

(Тольяттинский государственный университет)

## Сравнительный анализ и пути уменьшения износа серых перлитных чугунов

Для изготовления тормозных дисков в ОАО "АВТОВАЗ" используют серый перлитный чугун Gh190 (литье ОАО "АЛНАС"), соответствующий по механическим свойствам и микроструктуре марке СЧ25 (по ГОСТ 1412—85). В импортных аналогах также используют серые чугуны перлитного класса, соответствующие отечественным маркам СЧ25 и СЧ15. Однако импортные материалы имеют ряд характерных отличий по химическому составу, структуре и свойствам от материала, используемого в ОАО "АВТОВАЗ". В статье представлены результаты комплексного исследования материалов тормозных дисков Gh190 (литье ОАО "АЛНАС") и его шести аналогов разных производителей, применяемых для различных автомобилей того же класса, что и автомобили ВАЗ. Приведены оценка влияния состава и структуры материала тормозных дисков на его износостойкость, а также влияния материала колодок на износ тормозных дисков\*.

Химический состав и характерные особенности исследуемых чугунов приведены в табл. 1, 2.

Необходимо отметить следующее.

• Основное отличие материалов аналогов по сравнению с материалом Gh190 сводится к тому, что они содержат в 4—8 раз больше серы (до 0,080 % — см. табл. 1), что соответствует наличию в структуре чугунов сульфидов MnS глобулярной формы (рис. 1, а) от 0,11 до 0,22 %. В структуре чугуна Gh190 сульфидов практически нет (см. табл. 2). По остальным элементам существенных отличий не наблюдается, кроме чугуна 2, для которого следует отметить повышенное (до уровня легирующих элементов) содержание молибдена — 0,316 %<sup>1</sup>.

• В структуре материалов аналогов присутствует феррит (кроме чугуна 6) (рис. 1, б), количество которого варьирует от следового (чугун 1) до 5 % (чугун 3) и 10...15 % (чугуны 2, 4 и 5) (см. табл. 2). Исследованные образцы чугуна Gh190 имели чисто перлитную структуру.

\*Носкова Е. В., Солнцев Л. А., Журавлев Н. М. Повышение износостойкости тормозных дисков легковых автомобилей // Автомобильная промышленность. 1983. № 6. С. 28—29.

<sup>1</sup> Содержание молибдена в серых чугунах свыше 0,2 % может положительно влиять на образование модифицированных слоев при трении для тормозных дисков.

Результаты химического анализа исследуемых чугунов

Чугун	Результаты химического анализа													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mo	V	Al	Ti	Fe
Gh 190	3,30	2,25	0,61	0,021	0,011	0,17	0,09	0,48	0,004	0,007	0,002	0,005	0,020	Основа
1	3,38	2,28	0,61	0,043	0,072	0,13	0,07	0,16	0,038	0,013	0,003	0,006	0,031	
2	3,32	1,98	0,63	0,036	0,056	0,25	0,16	0,16	0,007	0,316	0,004	0,004	0,019	
3	3,31	2,02	0,69	0,048	0,067	0,09	0,10	0,16	0,027	0,054	0,014	0,004	0,029	
4	3,22	2,08	0,71	0,041	0,041	0,11	0,07	0,08	0,009	0,018	0,012	0,005	0,021	
5	3,29	2,18	0,57	0,083	0,069	0,06	0,03	0,06	0,010	0,006	0,010	0,006	0,018	
6	3,39	2,02	0,73	0,032	0,080	0,16	0,05	0,16	0,060	0,019	0,010	0,011	0,021	

Таблица 2

Характеристики исследуемых чугунов

Параметр	Чугун						
	Gh 190	1	2	3	4	5	6
Тип графита	A (преобладает), B и D	A	A (преобладает), B и D	A	A	A (преобладает), B и E	A (преобладает), B
MnS, мас. %	0,030	0,196	0,152	0,182	0,112	0,188	0,218
Феррит, об. %	—	Следы	≤10	≤5	≤10	≤15	—
HB ± 4 %	225 ± 9	207 ± 8	221 ± 9	195 ± 8	204 ± 8	179 ± 7	206 ± 8
$\sigma_B \pm \Delta\sigma_B$ ( $p = 0,8$ )	315 ± 90	155 ± 15	268 ± 40	170 ± 30	253 ± 8	—	—
Весовой износ, мг ( $p = 0,8$ )*	9,55 ± 1,55	4,92 ± 1,09	6,21 ± 1,03	5,56 ± 1,42	7,69 ± 1,36	7,08 ± 1,50	6,87 ± 1,15

\* Величина износа определялась как средняя при испытаниях с тремя типами колодок.  
— — не определяли.

• Имеются отличия по типу графита (рис. 2). Для микроструктуры чугунов 1, 3 и 4 характерен графит типа А (тонкие, без преимущественного направления, равномерно расположенные пластинки). В исследованных образцах чугуна Gh190 и чугунов 2, 5 и 6 преобладает графит типа А, однако также имеется графит типов В (пластинки, собранные без преимущественного направления в розетку, сердцевина розетки занята более тонкими пластинками) и D (очень мелкие без преимущественного направления пластинки, сгруппированные в древовидные зоны). В чугуне 5 также выявлен графит типа Е (мелкие с преимущественным направлением пластинки, сгруппированные в древовидные зоны).

• Исследованные материалы аналогов по сравнению с чугуном Gh190 имеют существенно меньшую прочность на разрыв (см. табл. 2), что может быть обусловлено повышенным содержанием серы, оказывающей охрупчивающее воздействие. Причем по величине временного сопротивления  $\sigma_B$  чугуны 1 и 3 соответствуют марке чугуна СЧ15 (по ГОСТ 1412–85,  $\sigma_B \geq 155$  МПа), а чугуны 2 и 4 — марке СЧ25 (по ГОСТ 1412–85,  $\sigma_B \geq 250$  МПа).

• Средняя твердость по Бринелю чугунов 1, 3, 4, 5 и 6 ниже, а твердость чугуна 2 находится примерно на том же уровне, что и у чугуна Gh190 (см. табл. 2).

Для сравнения исследуемых чугунов по износостойкости проводились триботехнические испытания чугунов

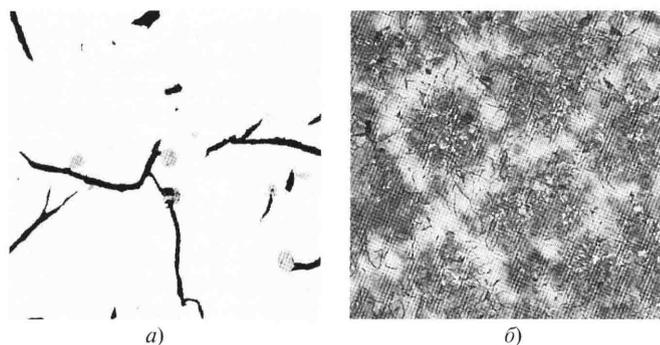


Рис. 1. Сульфиды (а) и феррит (б) в микроструктуре чугунов ( $\times 500$ )

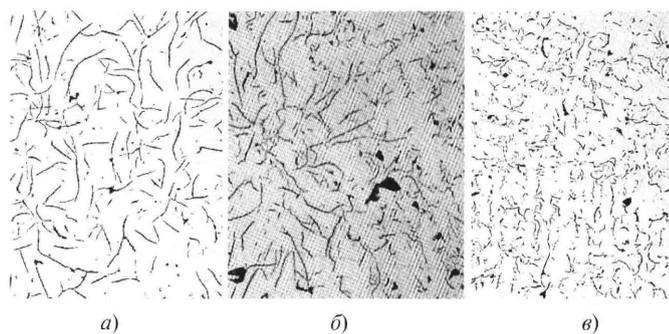


Рис. 2. Типы графита в микроструктуре чугунов ( $\times 100$ ): а — тип А; б — тип В; в — типы D и E.

Результаты химического анализа материала тормозных колодок

Тормозная колодка	Содержание элементов, %									
	C <sub>своб</sub>	S	Cu	Ni	Zn	Si	Al	Pb	Ti	Fe
A	18,10	Отсутствует	11,80	Отсутствует	3,28	Отсутствует	0,84	0,13	0,14	27,40
B	24,20	2,95	3,34	0,02	2,23	1,08	3,95	0,08	Отсутствует	14,90
C	16,40	3,70	7,66	0,26	2,78	0,64	3,33	3,10	Отсутствует	3,69

Примечание. Связующий компонент — фенолформальдегидная смола.

ных образцов с тремя материалами тормозных колодок — А, В и С. Материал тормозной колодки представляет собой композит, состоящий из фракций различной степени дисперсности и химического состава. Из исследуемых материалов наиболее грубой структурой обладает колодка С, а наименее — колодка А. Поэлементный химический анализ материала тормозных колодок (см. табл. 3) показал, что в составе материала А, в отличие от материалов В и С, отсутствуют S, Ni и Si, но присутствует небольшое количество Ti. Химический состав материалов В и С представлен одним и тем же набором элементов, однако материал В имеет большее содержание железа и свободного углерода и несколько меньше — меди.

Триботехнические испытания образцов из материалов исследуемой пары трения (не менее шести испытаний на каждый вариант) проводили на универсальной машине для испытаний на трение и износ по схеме "ролик—пластина". Из материалов тормозных колодок были изготовлены образцы в виде пластин, а из чугунов — образцы в виде роликов. Режим испытаний: нормальная нагрузка — 36 Н, линейная скорость — 6,23 м/с, время проведения одного испытания — 10 мин. Износ образцов из материалов пары трения определялся весовым способом (средняя величина износа определялась при доверительной вероятности 80 % ( $p = 0,8$ )). Также определялся коэффициент трения.

При анализе результатов триботехнических испытаний сравнение проводилось между отдельными парами "материал диска—материал колодки" (см. табл. 2, рис. 3—5). Также определялась средняя износостойкость материала дисков как усредненная величина для различных типов колодок (см. табл. 2, рис. 3—5).

По результатам триботехнических испытаний необходимо отметить следующее:

1. Чугун 1 в паре с материалом колодки А обладает наилучшими триботехническими свойствами: его износ в 8 раз меньше, чем у чугуна Gh190 в паре с материалом колодки С (рис. 3).

2. Чугун 1 является наиболее износостойким материалом: его средняя для различных типов колодок износостойкость примерно в 2 раза выше, чем у чугуна Gh190 (рис. 3).

3. В целом материалы-аналоги обладают большей износостойкостью, чем чугун Gh190.

4. Материал колодки С изнашивает исследованные варианты чугунов в 3 раза больше, чем материал колодки А (рис. 4). Это обусловлено крупным размером структурных составляющих материала С, а также заниженным содержанием вводимых для повышения антифрикционных свойств свободного углерода и меди в составе компонентов материала тормозной колодки.

5. В пределах погрешности определения износ колодок различных видов был приблизительно одинаков и не отличался для отдельных чугунов (рис. 5).

Коэффициент трения пары также практически не отличается для разных вариантов и находится в пределах 0,40...0,57 для всех исследованных комбинаций чугунов и материалов тормозных колодок.

По результатам триботехнических испытаний получены регрессионные зависимости весового износа чугуна от содержания MnS (мас. %) при работе в паре с каждой из колодок. Так, в исследованном диапазоне для средних значений весового износа чугунов в паре с материалом колодки В имеется достаточно высокая корреляция

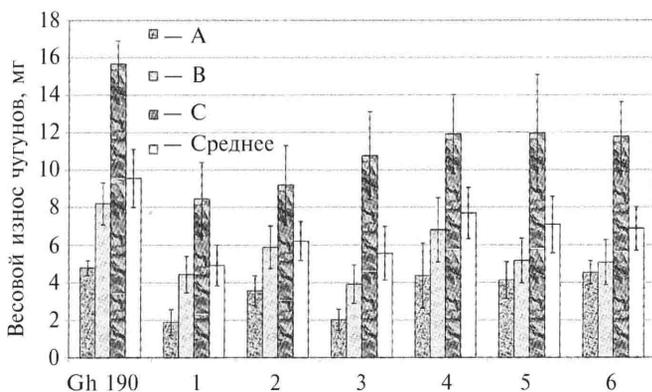


Рис. 3. Весовой износ чугунных образцов в паре с образцами из тормозных колодок А, В и С ( $p = 0,8$ )

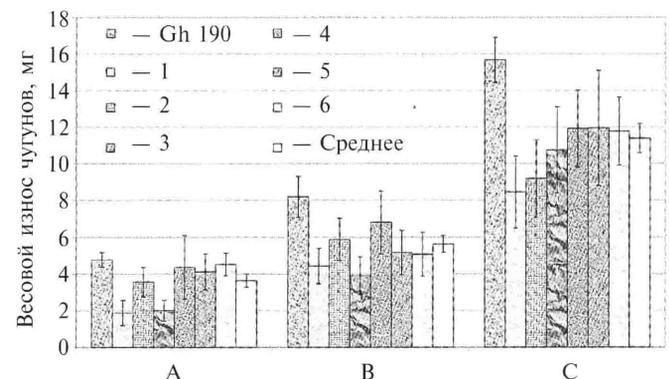


Рис. 4. Изнашивающая способность тормозных колодок ( $p = 0,8$ )

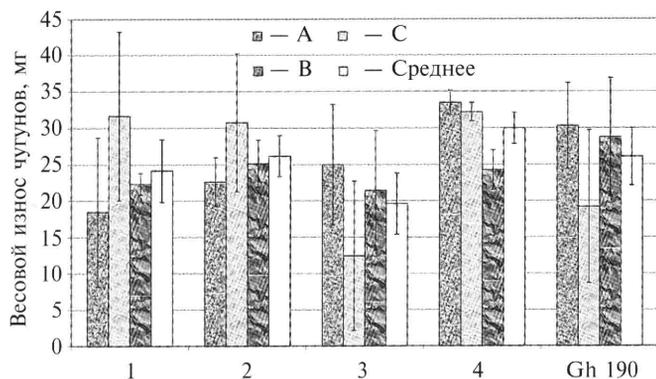


Рис. 5. Весовой износ образцов из тормозных колодок (серия из трех испытаний) при работе в паре с образцами из чугунов тормозных дисков 1, 2, 3, 4 и Gh190 ( $p = 0,8$ )

( $R = 0,91$ ) уровня износостойкости с содержанием сульфидов: с повышением массовой доли сульфидов растет износостойкость чугунов (рис. 6). Эта тенденция подтверждается для остальных испытанных типов тормозных колодок, т. е. наличие сульфидов в структуре серого чугуна приводит к повышению его износостойкости при работе в условиях "тормозной диск—колодка". Хотя следует отметить, что этот эффект несколько подавляется снижением твердости при повышении содержания серы.

Необходимо отметить, что добавки Mo и V в исследованном диапазоне не оказывают существенного влияния на износостойкость чугунов. При этом только для чугунов 2 и 3 содержание Mo находится на уровне легирующих элементов. В остальных случаях содержание Mo

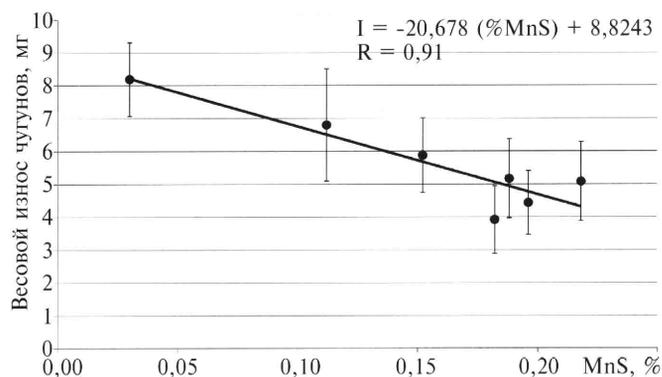


Рис. 6. Зависимость весового износа чугунов от содержания MnS при испытаниях с материалом колодки В ( $p = 0,8$ )

находится на уровне примесей, а содержание V находится на уровне примесей во всех случаях.

Таким образом, снижение износа тормозных дисков и улучшение эксплуатационных характеристик пары трения "тормозной диск—колодка" возможно за счет:

- повышения уровня серы в составе чугуна до 0,08 % с целью увеличения массовой доли сульфидов до 0,22 % (при этом допустимо снижение прочности до уровня СЧ15 при сохранении твердости не ниже 190 НВ; повышение объемной доли феррита более чем до 5 % недопустимо);
- оптимизации материала колодок (повышение дисперсности гранул наполнителя, увеличение количества медьсодержащих компонентов и свободного графита).

УДК 669.017+629.122

**Г. П. ГУСЛЯКОВА**, д-р техн. наук, проф.;

**А. Б. КОРНЕВ**

(Волжская государственная академия водного транспорта)

**Д. С. ГУСЛЯКОВ**, канд. техн. наук

(Нижегородский государственный технический университет)

## Сопротивление износу металлических материалов при разных условиях нагружения

**Р**азработка способов повышения износостойкости поверхности деталей основывается главным образом на возможности снижения взаимного внедрения металлов, действия абразива, интенсивности окисления, а также реализации процессов избирательного переноса.

Смазочные материалы значительно уменьшают износ деталей чаще всего при малых деформациях, когда в соответствии с эффектом Ребиндера они окисляют и пластифицируют металл, хотя на стадии приработки иногда способствуют развитию микротрещин. При этом окисленные пленки предохраняют поверхности от схватывания, особенно когда их твердость ниже твердости основного металла, и они могут деформироваться вместе с металлом, не разрушаясь.

При действии механизма избирательного переноса наличие в зоне контакта металлоплакирующего смазочного материала в виде слабо окисляющейся тонкой пластичной металлической пленки обуславливает эффект износостойкости деталей при трении [1].

Установлено [2, 3], что склонность металлов и сплавов к избирательному переносу возрастает с понижением их способности к деформационному упрочнению при статическом нагружении, оцениваемой показателем  $A$  в уравнении кривой  $\sigma = \sigma_0 \varepsilon^A$ , где  $\varepsilon = \ln(1 + \delta)$  — степень истинной пластической деформации;  $\delta$  — относительное удлинение. При сопоставлении показателя  $A$  материалов [4, 5] с адгезионной составляющей коэффициента трения скольжения  $f_a$  (по данным [6]) обнаружена прямая их