

Открытое акционерное общество «АВТОВАЗ»

**Российская академия наук
Поволжский филиал ИМЕТ им. А. А. Байкова**

**Российская инженерная академия
АНЦТ «Материалы и технология» Поволжского отделения**

МАТЕРИАЛЫ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

**Сборник докладов
II международной
Научно-практической
Конференции**

Часть I (металлические материалы)

Тольятти 2004

Открытое акционерное общество «АВТОВАЗ»

**Российская академия наук
Поволжский филиал ИМЕТ им. А. А. Байкова**

**Российская инженерная академия
АНЦТ «Материалы и технология» Поволжского отделения**

МАТЕРИАЛЫ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

**Сборник докладов
II международной
Научно-практической
Конференции**

Часть I (металлические материалы)

Тольятти, Россия

Редакционная коллегия:

Д. т. н. Тихонов А. К.
К. т. н. Большаков С. В.
К. т. н. Аманов С. Р.
Триндюк Л. М.
Палагин Ю. М.
Морозова Г. В.

Материалы в автомобилестроении. Ч. 1. Металлические материалы. Сборник докладов II международной научно-практической конференции 10-11 июля 2003 г (отв. Ред. Тихонов А. К.). – Тольятти, издание ОАО «АВТОВАЗ», 2003. С 398.

Издание представляет собой сборник докладов, подготовленный на основании материалов второй международной научно-практической конференции. Посвящено проблемам освоения материалов для автомобилестроения.

Научное издание в авторской редакции. Позиция авторов в докладах отражает личные взгляды и не обязательно совпадает с мнением членов редакционной коллегии сборника.

ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ПАРЫ ТРЕНИЯ «ТОРМОЗНОЙ ДИСК–КОЛОДКА»

Д. А. Болдырев, М. М. Криштал, В. И. Полунин, Н. Б. Цалина
ОАО «АВТОВАЗ».

Для изготовления тормозных дисков в ОАО «АВТОВАЗ» используют серый перлитный чугун Gh190 (литьё 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». Ниже представлены результаты комплексного исследования материалов тормозных дисков Gh190 (литьё ОАО «АЛНАС») и его шести аналогов разных производителей, применяемых для различных автомобилей того же класса, что и автомобили ОАО «АВТОВАЗ». В работе оценивалось влияние состава и структуры материала тормозных дисков на его износостойкость, а также влияние материала колодок на износ тормозных дисков.

Химический состав и характерные особенности исследуемых чугунов приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1. Результаты химического анализа исследуемых чугунов.

Чугун (марка или условный номер)	Содержание элементов, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mo	V	Al	Ti	Fe
Gh190	3,15	1,99	0,55	0,028	0,022	0,16	0,09	0,57	0,013	0,005	0,005	0,001	0,015	основа
1	3,23	2,15	0,61	0,053	0,064	0,11	0,05	0,07	0,045	0,011	0,006	отс	0,014	основа
2	3,03	2,11	0,60	0,037	0,081	0,22	0,06	0,39	0,052	0,021	0,008	0,040	0,022	основа
3	3,18	2,04	0,51	0,082	0,068	0,06	0,03	0,06	0,018	0,008	0,010	отс	0,015	основа
4	3,21	1,95	0,58	0,038	0,087	0,24	0,14	0,15	0,014	0,256	0,008	отс	0,015	основа
5	3,39	1,84	0,56	0,077	0,105	0,09	0,09	0,15	0,033	0,044	0,015	отс	0,019	основа
6	3,50	1,95	0,55	0,070	0,120	0,13	0,07	0,16	0,020	0,018	0,015	отс	0,022	основа

Таблица 2. Механические характеристики исследуемых чугунов.

Параметр	Чугун (марка или условный номер)						
	Gh190	1	2	3	4	5	6
НВ*	225±9	204±8	179±7	206±8	221±9	195±8	207±8
$\sigma_B \pm \Delta \sigma_B^{**}$, МПа	315±90	253±8	—***	—***	268±40	170±30	155±15

*) С учётом инструментальной погрешности измерения ±4% для прибора ТБ-5004.
 **) При доверительной вероятности 80%.
 ***) Не определяли.

Таблица 3. Особенности микроструктуры исследуемых чугунов.

Чугун (марка или условный номер)	Структура (по ГОСТ 3443-87)**	MnS, % _{об} *
Gh190	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180; ПГр7, 8) – Пт1 – П – ПД0,3...1,0	0,060
1	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180) – Пт1 – П92 – ПД0,3...1,0	0,174
2	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180; ПГр7, 9) – Пт1 – П85 – ПД0,3...1,0	0,221
3	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180; ПГр7) – Пт1 – П – ПД0,3...1,0	0,185
4	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180; ПГр7, 8) – Пт1 – П92 – ПД0,3...1,0	0,237
5	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180) – Пт1 – П96 – ПД0,3...1,0	0,286
6	ПГф1 – (ПГр1 – ПГд90...180) – Пт1 – П – ПД0,3...1,0	0,327

*) Рассчитано по стехиометрическому соотношению.
 **) ПГф1 – пластинчатая прямолинейная форма графита;
 ПГр1 – равномерное распределение графита;
 ПГр7 – розеточное распределение графита;
 ПГр8 – междендритное распределение графита (без преимущественного распределения);
 ПГр9 – междендритное распределение графита (с преимущественным распределением);
 ПГд – длина графитных включений, мкм;
 Пт1 – перлит пластинчатый;
 П – площадь, занятая перлитом в металлической основе, %; (например, П92: 92±2% перлита + 8±2% феррита);
 ПД – расстояние между пластинами цементита (дисперсность пластинчатого перлита), мкм.

Необходимо отметить следующее:

1. Основное отличие материалов аналогов по сравнению с материалом Gh190 сводится к тому, что они содержат в 3,0...5,5 раз больше серы (до 0,120% – табл. 1), что соответствует наличию в структуре чугунов сульфидов MnS глобулярной формы (рис. 2а) от 0,174 до 0,327%. В структуре чугуна Gh190 сульфидов практически нет (табл. 3). По остальным элементам существенных отличий не наблюдается, кроме чугуна 2, для которого следует отметить повышенное (до уровня легирующих элементов) содержание молибдена – 0,256%.

2. В структуре материалов аналогов присутствует феррит (кроме чугуна 6) (рис. 2б), количество которого составляет – от 2...6% (чугун 3) и 6...20% (чугуны 2, 4 и 5) (табл. 3). Исследованные образцы чугуна Gh190 имели чисто перлитную структуру.

3. Имеются отличия по типу графита (табл. 3, рис. 3). Для микроструктуры чугунов 1, 3 и 4 характерен графит типа ПГр1 (равномерное распределение графита). В исследованных образцах чугуна Gh190 и чугунов 2, 5 и 6 преобладает графит типа ПГр1, однако также имеется графит типов ПГр7 (розеточное распределение графита) и ПГр8 (междендритное распределение графита – без преимущественного направления). В чугуне 5 также выявлен графит типа ПГр9 (междендритное распределение графита – с преимущественным направлением).

4. Исследованные материалы аналогов по сравнению с чугуном Gh190 имеют существенно меньшую прочность на разрыв (табл. 2), что может быть обусловлено повышенным содержанием серы, оказывающей охрупчивающее воздействие. Причём по величине временного сопротивления σ_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).

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

Для сравнения исследуемых чугунов по износостойкости проводились триботехнические испытания чугунных образцов с девятью материалами тормозных колодок разных производителей (табл. 4). Материал тормозной колодки представляет собой композит, состоящий из фракций различной степени дисперсности и химического состава. Из исследуемых материалов наиболее грубой структурой обладает колодка I, а наименее – колодка А.

Таблица 4. Результаты химического анализа материала тормозных колодок.

Тормозная колодка (условное обозначение)	Содержание элементов, %											
	C _{своб}	S	Al	Cu	Fe	Si	Zn	Pb	Ni	Ti	Sb	Ba
А	16,40	3,70	3,33	7,66	3,69	0,64	2,78	3,10	0,260	–	–	–
В	24,20	2,95	3,95	3,34	14,90	1,08	2,23	0,08	0,020	–	–	–
С	18,10	–	0,84	11,80	27,40	–	3,28	0,13	–	0,14	–	–
Д	22,70	–	1,97	5,84	14,30	1,12	3,67	0,16	0,023	0,14	–	–
Е	19,60	–	0,24	5,13	19,50	0,34	1,10	0,01	0,004	0,06	–	–
Ф	19,10	–	0,13	11,77	35,20	0,29	3,52	0,05	0,008	0,02	–	–
Г	22,30	–	0,31	0,23	30,90	0,21	0,07	2,08	0,001	0,06	–	–
Н	–	–	0,50	9,50	32,70	0,28	2,68	2,40	–	0,04	4,50	0,84
И	–	–	0,36	10,50	34,00	0,29	2,97	2,66	–	0,04	4,90	0,58

*) Связующий компонент – фенолформальдегидная смола.

Триботехнические испытания образцов из материалов исследуемой пары трения (не менее 6 испытаний на каждый вариант) проводили на универсальной машине для испытаний на трение и износ по схеме «ролик – пластина» (рис. 1). 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 минут. Износ образцов из материалов пары трения определялся весовым способом (средняя величина износа определялась при доверительной вероятности 80%). В конце испытания определялся коэффициент трения.

Результаты весового износа чугунов (средняя оценка по результатам испытаний с девятью типами материалов тормозных накладок) и изнашивающей способности фрикционных материалов (средняя оценка по результатам испытаний с восемью типами чугунов) приведены на рис. 4, 5.

По результатам испытаний на износостойкость необходимо отметить следующее:

1. Чугун 6 обладает наилучшими триботехническими свойствами: его износ, усреднённый по всем типам колодок, в 1,8 раза меньше, чем у чугуна Gh190 (рис. 4). В целом материалы-аналоги обладают большей износостойкостью, чем чугун Gh190.

2. Материал колодки А изнашивает исследованные варианты чугунов в несколько раз интенсивнее, чем материал колодки I (рис. 5). Это обусловлено крупным размером структурных составляющих материала А, а также заниженным содержанием вводимых для повышения антифрикционных свойств свободного углерода и меди в составе компонентов материала тормозной накладки.

3. Коэффициент трения пары также практически не отличается для разных вариантов и находится в пределах 0,32...0,53 для всех исследованных комбинаций чугунов и материалов тормозных колодок.

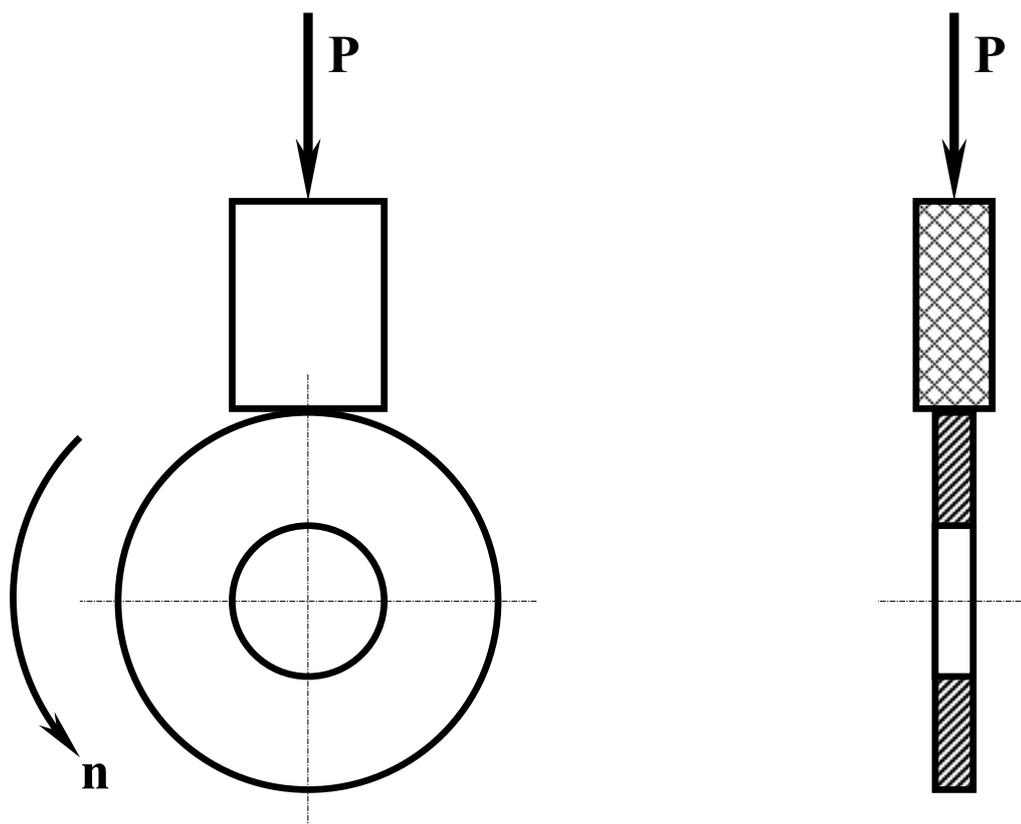


Рис. 1. Схема проведения испытаний.

По результатам триботехнических испытаний получена регрессионная зависимость весового износа чугуна от содержания MnS ($\%_{\text{мас}}$) при работе в паре с материалом колодки. Так, в исследованном диапазоне для средних значений весового износа чугунов имеется высокая корреляция ($R=0,96$) уровня износостойкости с содержанием сульфидов: в исследованном диапазоне концентраций S и Mn с повышением массовой доли сульфидов растёт износостойкость чугунов (рис. 6).

То есть, наличие сульфида марганца в структуре серого чугуна приводит к повышению его износостойкости при работе в условиях пары трения «тормозной диск – колодка». Хотя, следует отметить, что этот эффект несколько подавляется снижением твёрдости при повышении содержания феррита (табл. 3, рис. 6).

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 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 счёт:

- повышения уровня серы в составе чугуна до 0,120% с целью увеличения массовой доли сульфидов до 0,327% (при этом допустимо снижение прочности до уровня СЧ15 при сохранении твердости не ниже НВ190; повышение объёмной доли феррита более 6% недопустимо);

- оптимизации материала колодок (повышение дисперсности гранул наполнителя, увеличение количества медьсодержащих компонентов и свободного графита).

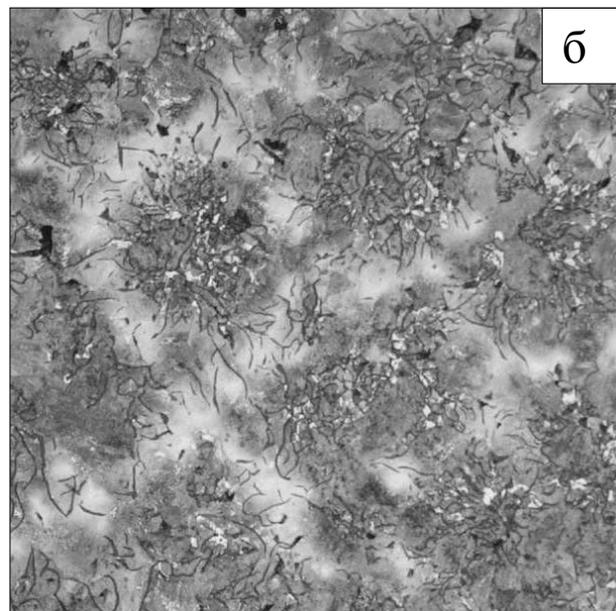
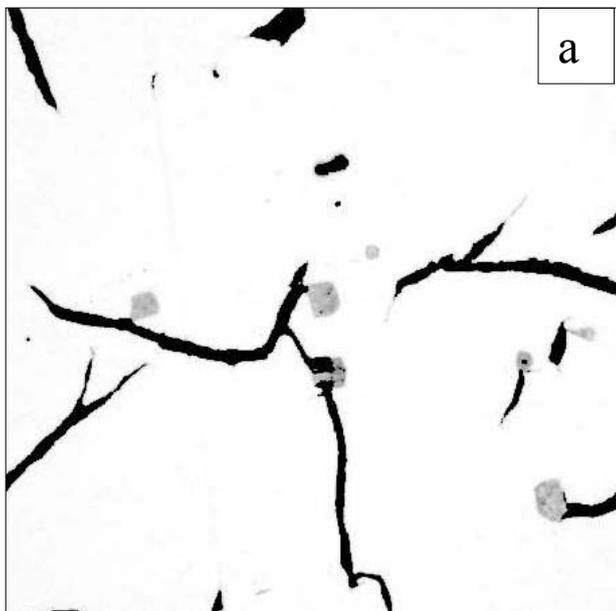


Рис. 2. Сульфиды (а) и феррит (б) в микроструктуре чугунов ($\times 500$).

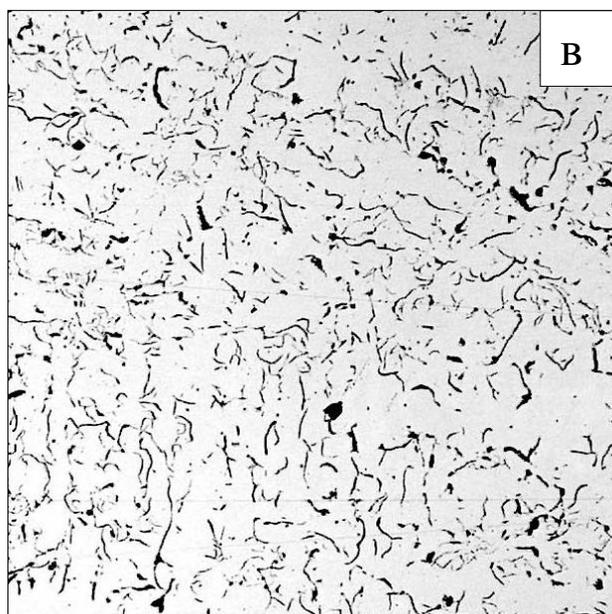
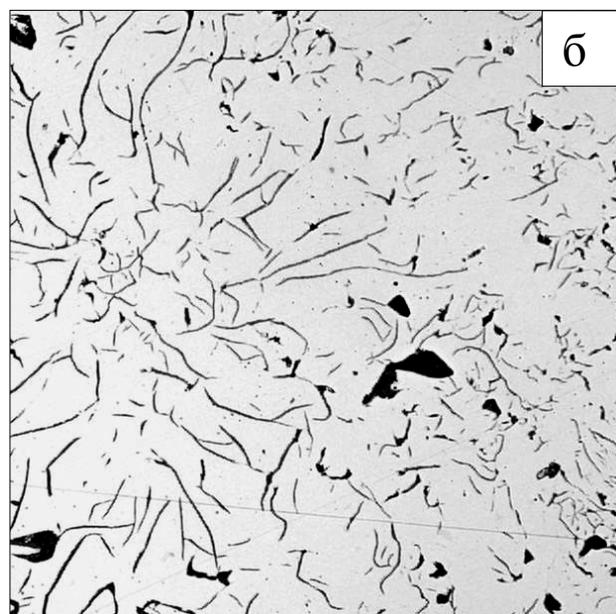
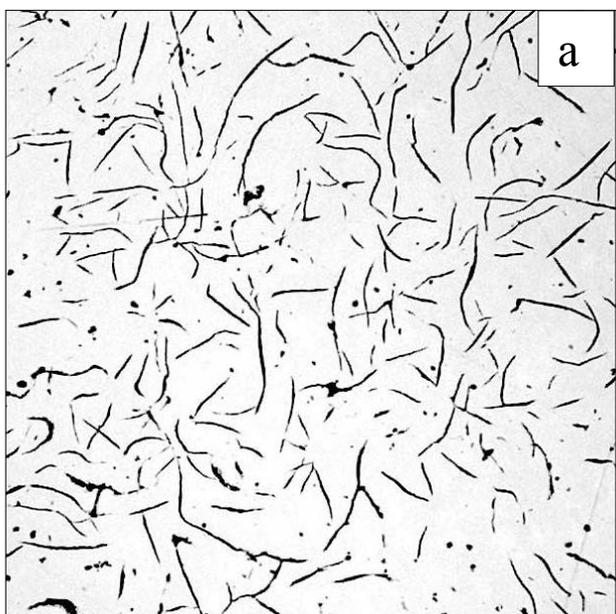


Рис. 3. Типы графита ПГр1 (а), ПГр7 (б), ПГр8 и ПГр9 (в) в микроструктуре чугунов ($\times 100$).

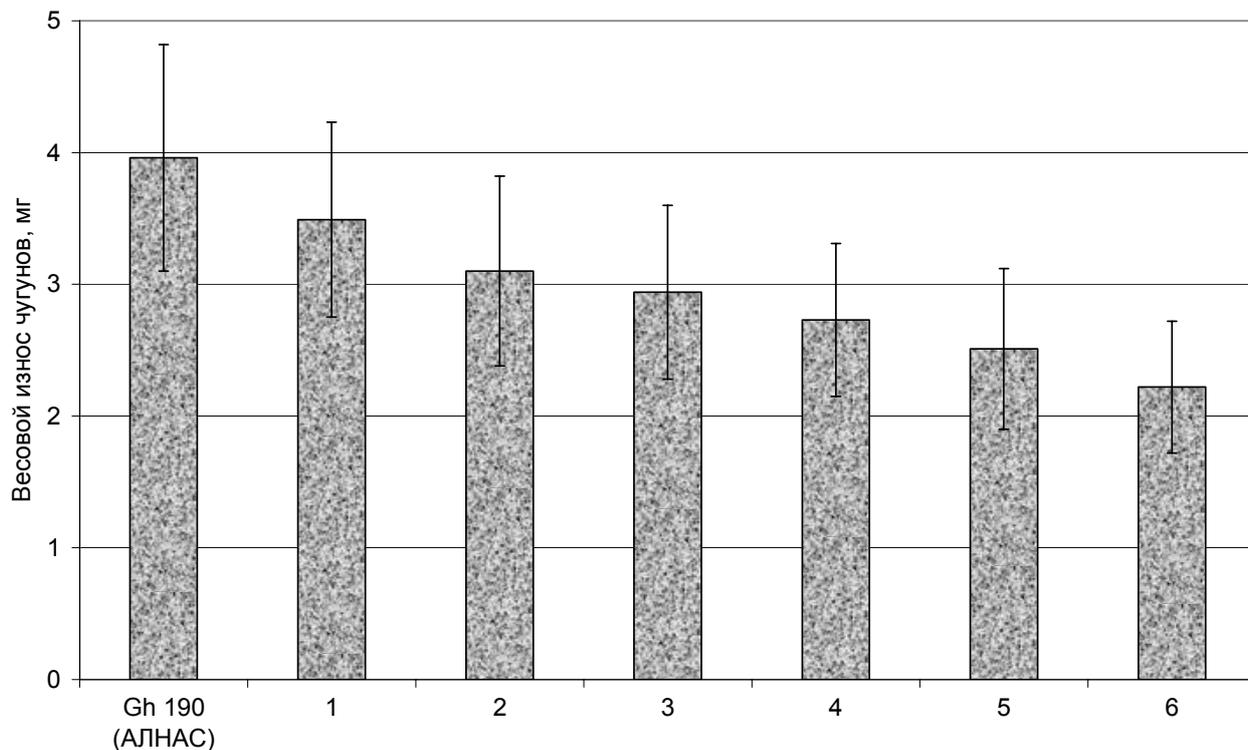


Рис. 4. Весовой износ чугунных образцов в паре с образцами из тормозных колодок А–І (при доверительной вероятности 80%). Порядковые номера соответствуют номерам чугунов по табл. 1.

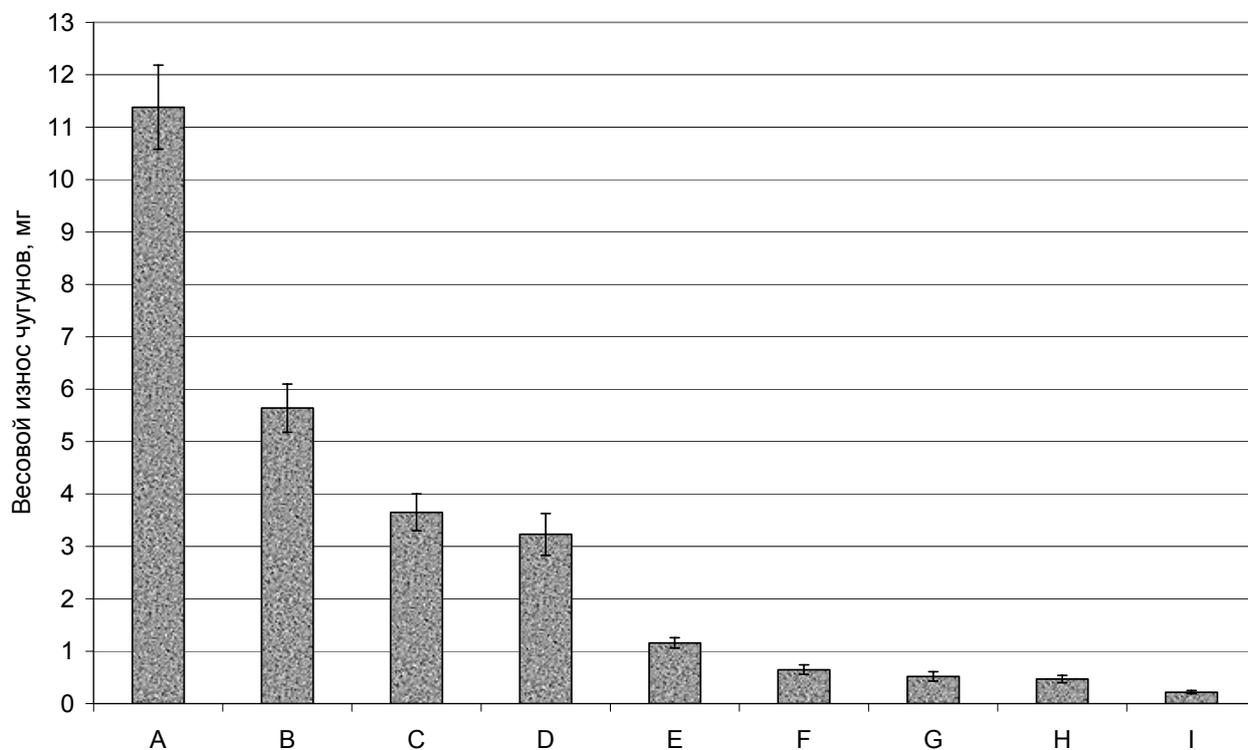


Рис. 5. Изнашивающая способность тормозных колодок А–І (при доверительной вероятности 80%). Порядковые номера соответствуют номерам чугунов по табл. 1.

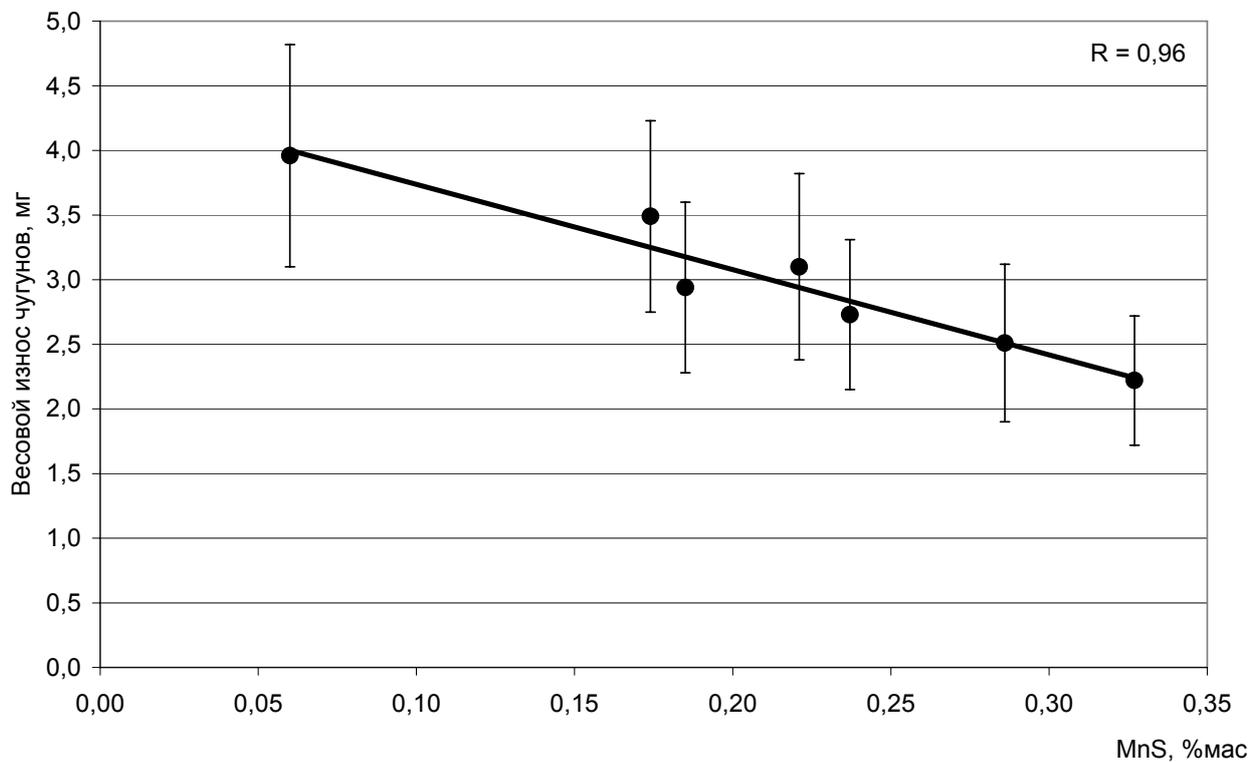


Рис. 6. Зависимость весового износа чугунов I_B от содержания MnS при испытаниях с материалами тормозных колодок (при доверительной вероятности 80%):

$$I_B = -6,6(\%MnS) + 4,4; \text{ коэффициент корреляции } R = 0,96.$$