

**Акимов И.В.,
Кубич В.И.**

Запорожский национальный
технический университет,
г. Запорожье, Украина

E-mail: reibung1@mail.ru

ОЦЕНКА ФРИКЦИОННОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА МАЛОГАБАРИТНЫХ ОБРАЗЦАХ

УДК 62-592.112.002.3: 669.112.274.6

В работе проведена оценка совместимости пар трения графитизированная сталь - углеродистая сталь, определены значения силовых и тепловых нагрузок. Показана направленность влияния химического состава графитизированных сталей на проявление совместимости и фрикционности контакта со сталью 40Х. Установлено, что графитизированная сталь состава: С 1,54 %; Cu 0,85 %; Si 1,07 %; Al 0,22 %; Mn 0,41; Ni 0,13 %; Cr 0,15 %; S 0,022 %; P 0,018 % при скорости скольжения не менее 176 м/мин обуславливает лучшие совместимость и фрикционность контакта по сравнению с представленным рядом. При этом температурная напряженность контакта при его разгужении ниже, чем у эталонного чугуна марки АСЧ-2.

Ключевые слова: графитизированная сталь, структура, нагрузка, коэффициент трения, трибосопряжения, испытания.

Вступление

Графитизированные стали, как сплавы, содержащие графитовые включения в структуре, характеризуются рядом ценных свойств: термостойкостью и теплопроводностью [1, 2], достаточно высоким сопротивлением усталостному разрушению [3]. Кроме того, известно, что графитизированные стали достаточно широко используются как антифрикционный материал. По данным работ [2, 4 - 7 и др.] стали, благодаря включениям графита, выполняющего роль естественной смазки, отличаются низкой склонностью к адгезии, хорошей прирабатываемостью, теплопроводностью и стабильностью свойств при термодублировании. Это позволяет применять их для штампов холодной штамповки, волочильного инструмента, сепараторов подшипников качения, червячных колес, деталей стеклоформирующих машин, валкового инструмента и других изделий [9-11].

По данным Г. В. Коровиной [4], П. Я. Груздова [5], В. М. Жукова [7] и других авторов известные марки антифрикционных графитизированных сталей ЭИ293 и ЭИ336 успешно могут заменять такие антифрикционные материалы, как латуни ЛС59-1, дуралюмини Д16 и др. для деталей, работающих в условиях взаимного скольжения поверхностей. При этом долговечность износостойкой графитизированной стали марки ЭИ366, применяемой для просечных штампов, в 1,5 раза превышает стойкость стали марки Х12М [8].

Однако следует отметить следующее. Графитизированные стали, как класс конструкционных материалов, являются мало изученными. В литературных данных встречаются обрывочные сведения об их использовании для конкретных деталей, и нет четкого описания возможных областей их применения. Известные же марки сталей, на которые существуют технические условия, требуют длительного и энергозатратного графитизирующего отжига при производстве из них изделий. Указанные факторы значительно сдерживают широкое применение графитизированных сталей. В Украине производство таких сталей фактически не налажено, отсутствуют технические требования и государственные стандарты, которые регламентировали бы их составы и требования к качеству.

Анализ свойств графитизированных сталей показывает, что одной из возможных областей ее применения является изготовление тормозных колодок железнодорожного назначения. По данным работ [9, 10, 11] наиболее часто применяемые материалы для железнодорожных колодок являются серые фосфористые чугуны и композитно-полимерные материалы. Фосфористый чугун – наиболее дешевый и технологичный материал, имеющий хорошие теплофизические свойства, но он характеризуется низкой долговечностью (износостойкостью) и снижением фрикционных свойств при повышении температуры, выделяющейся при трении скольжении. Композитные колодки лишены указанных недостатков, но в то же время обладают низкой теплопроводностью и термостойкостью, что приводит как к снижению механических свойств колодочного материала, так и к сильному тепловому воздействию на железнодорожное колесо, что является нежелательным фактором. В этой связи обращают на себя внимание графитизированные стали, которые согласно [12] в отличие от чугунов не теряют своей фрикционной способности с увеличением температуры. Следует заметить, что определение фрикционно-температурных зависимостей указанных материалов от их химического состава с целью возможного применения графитизированных сталей в качестве материала железнодорожных тормозных колодок на сегодняшний день в литературе не описывались. В этой связи результаты таких исследований представляют научный и практический интерес.

Цель и постановка задачи

В соответствии с ГОСТ 30480-97 первоочередным видом испытаний на износостойкость новых материалов являются лабораторные испытания малогабаритных образцов. Испытания рекомендуется проводить, варьируя нагрузочными режимами, моделируя при этом условия, обеспечивающие воспроизведение процесса изнашивания в натуральных трибосопряжениях. Это позволяет оценивать совместимость пар трения, определять значения силовых, тепловых нагрузок, после которых наблюдается заметное уменьшение износостойкости и их фрикционных характеристик при заданных условиях [13]. Причем, в соответствии с ГОСТ 23.224-86 проводятся сравнительные моделирующие испытания (группа А), которые предполагают испытание и эталонной поверхности материала [14].

В отношении рассматриваемых сплавов подобные исследования не проводились. Прогнозируемые физико-механические свойства разрабатываемого материала очевидны. Из чего, чтобы сузить до необходимой достаточности анализируемые параметры, принято следующее решение. На данном этапе исследований ограничиваемся контролем изменения следующих триботехнических величин: коэффициента трения и повышения температуры в пределах возможностей испытательного оборудования.

Цель работы - оценить влияние химического состава и структуры графитизированных сталей на совместимость и фрикционность контакта со сталью 40Х при трении скольжения без смазочного материала в условиях варьирования нагрузочным и скоростным режимами взаимодействия. Полученные результаты позволят, во-первых, определить наиболее оптимальный химический состав стали с высокими триботехническими свойствами, во-вторых, получить сравнительную оценку фрикционности полученных сплавов по отношению к промышленному сплаву в относительных условиях триботехнических испытаний, и, в-третьих, определиться с направлением дальнейшего исследования.

Изложение методов и материалов исследования

Поскольку рассматривается возможность применения разрабатываемого материала для изготовления тормозных колодок рельсовых транспортных средств, то близкой моделью по физическим процессам, протекающих при образовании тормозной силы между тормозной колодкой и бандажом колеса колесной пары, является модель взаимодействия вращающегося ролика и колодки, прижимаемой к его поверхности с определенной силой.

Экспериментальные графитизированные стали выплавляли в индукционной печи с последующей их разливкой в песчано-глинистые литейные формы. При этом были получены опытные слитки, химический состав которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав опытных сплавов и чугуна АСЧ-2

Номер образца	Химический состав, масс. %									Твердость НВ
	C	Si	Cu	Al	Mn	Ni	Cr	S	P	
1	1,21	1,69	3,95	0,22	0,42	0,17	0,19	0,024	0,022	283
2	1,27	1,65	2,01	0,24	0,64	0,18	0,18	0,016	0,025	268
3	1,54	1,07	0,85	0,22	0,41	0,13	0,15	0,022	0,018	254
4	1,78	2,25	3,19	0,23	0,64	0,15	0,17	0,016	0,029	271
5	1,95	1,66	1,94	0,22	0,50	0,12	0,14	0,030	0,030	240
6 (АСЧ-2)	3,10	0,20	1,18	-	0,41	-	0,10	0,12	0,20	230

Для проведения исследований использовались образцы - ролики (рис. 1, а, в), изготовленные из стали 40Х, наружный диаметр $D = 50$ мм, шириной $b = 10$ мм, твердость поверхностного слоя НВ 300. Образцы-колодки (рис. 1, б, г) размером $25 \times 11 \times 15$ изготавливались из слитков сплавов, образцы № 1 - 5 (табл. 1), твердость поверхностного слоя зависела от химического состава и приведена в табл. 1, а также из эталонного материала АСЧ-2, образец № 6. Контактная рабочая поверхность колодки выполнялась цилиндрической радиусом $R_k = 25$ мм. Исходя из приведенных материалов, испытаниям подвергались пять трибосопряжений № 1 - 5 с модифицированными сплавами и одно трибосопряжение № 6 - с эталонным материалом.

Триботехнические испытания проводились на машине трения модели СМЦ-2 при следующих условиях:

- схема трения «подвижный ролик - неподвижная колодка»;
- частоты вращения подвижного ролика: 300 мин^{-1} ; 500 мин^{-1} ; $n=1000 \text{ мин}^{-1}$;
- нагрузка в зоне трения постоянная, приложена к колодке через рычаг подвижной каретки: 165 Н, 188 Н, 210 Н, 235 Н.

Для проведения триботехнических испытаний предложен следующий цикл нагружения при фиксированных частотах вращения ролика:

- пуск ролика, плавное соприкосновение рабочих поверхностей ролика и колодки с выходом на статическое нагружение с силой $P = 165$ Н в течение 5 с, испытание в течение 2 мин;

- ступенчатое нагружение контакта нормальной нагрузкой в 188 Н, 210 Н, 235 Н, испытание на каждой в течение 2 мин;
- ступенчатое разгружение контакта нормальной нагрузкой в 188 Н, 210 Н, 165 Н, испытание на каждой в течение 2 мин;
- остановка ролика, раскрытие контакта, визуальный контроль состояния поверхностей трения.

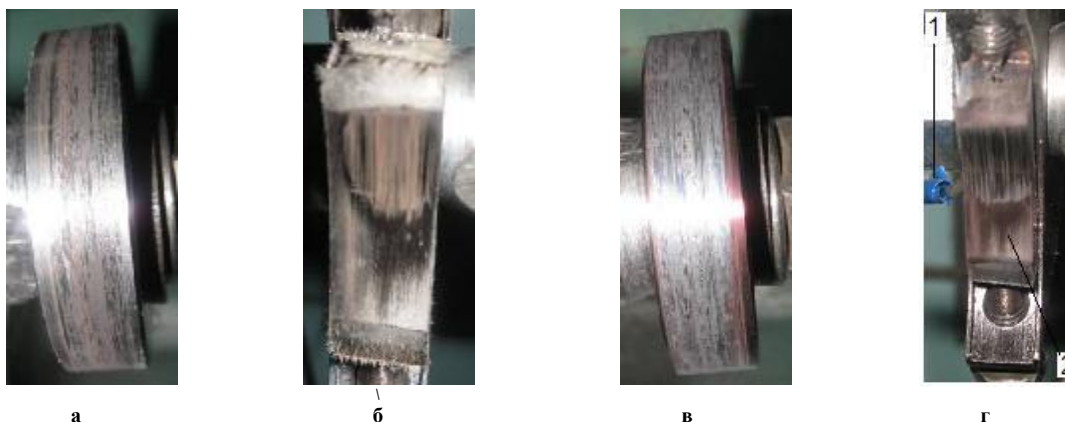


Рис. 1 – Вид образцов сопряжения № 2 после испытаний:
 а, б – ролик, колодка после 30 мин приработки при $P = 165$ Н;
 в, г – после ступенчатого нагружения, разгрузки зоны трения:
 1 – провод термодатчика; 2 – колодка

Образцы предварительно прирабатывались при нагрузке 165 Н в течение 10 мин каждый при частотах вращения ролика 300 мин^{-1} ; 500 мин^{-1} ; $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, что обеспечивало скорости скольжения пар трения соответственно 52 м/мин, 86 м/мин и 173 м/мин.

Средняя площадь трения поверхности колодки составила 135 мм^2 , при этом среднее расчетное давление в зоне трения изменялось в пределах 1,2 - 1,7 МПа.

Контролируемые параметры:

- сопротивление вращению ролика по изменению напряжения на выходе из моментоизмерителя, отображаемого в виде трибограм на самописце (сигнал в mV пересчитывался в коэффициент трения);
- относительная температура приповерхностного слоя колодки.

При фиксированных частотах опыты повторяли три раза.

Момент трения в соответствии с нагрузкой в контакте и геометрическими размерами ролика пересчитывался в коэффициент трения по формуле:

$$f = \frac{M_t}{Pr}, \quad (1)$$

где M_t – момент трения, Нм, в соответствии с тарировочными графиками: 1 деление сетки поля трибограмм - $0,18 \pm 0,001$ Нм;

r – радиус ролика, м.

Для измерения относительной температуры в зоне трения поверхности ролика и колодки (далее температуры) использовался мультиметр DT-835 с термопарой TP-01A.

Полученные численные значения коэффициента трения и температуры усреднялись и использовались для построения графических зависимостей с использованием компьютерной программы SigmaPlot. Среднее среднеквадратическое отклонение для коэффициентов трения составило $\sigma_f = 0,003$, для температуры $\sigma_T = 12$ °С.

Результаты исследований и обсуждение

По результатам обработки полученных данных построены графические зависимости изменения коэффициента трения в трибосопряжениях, и температуры колодок (рис. 2, а - в,3, а - в).

Визуализация процессов, происходящих на поверхности вращающегося ролика, позволила наблюдать следующую картину.

В трибосопряжениях №1 и 2 при перекрытии контактных поверхностей образцов при нагрузке в 165 Н в конце второй минуты испытаний имели место негармоничные звуковые эффекты, на фоне которых выделялись резкие и острые звуки, свидетельствующие о трении твердых включений по более мягким. При этом на поверхности ролика наблюдались следы образования борозд. По мере общего снижения звука и прекращения выделения на его фоне резкой составляющей на поверхности ролика формировался наращиваемый слой из компонентов переносимого материала колодки, материал заполнял образовавшиеся борозды. При по-

следующих увеличениях нагрузки толщина формирующегося слоя на поверхности ролика увеличивалась, о чем свидетельствовало изменение его визуализированной макроструктуры, ее цветности, и образования сплошности покрытия на рабочей поверхности ролика. С ростом относительной температуры колодки от 230 °С и выше, торцевые поверхности ролика, колодки - сплошно, а поверхность формирующегося слоя - фрагментально, приобретала темный бордово - фиолетовый оттенок.

В трибосопряжении №3 при нагрузке в 165 Н на поверхности ролика очагов схватывания практически не наблюдалось. Процесс трения сопровождался звуковым эффектом - шипением, без явно выраженных синкоп. На поверхности ролика имели место следы механического разрушения в виде мелких борозд, потертостей зеркала оттенка. Причем бороздки были заполнены темным продуктом взаимодействия - графитом.

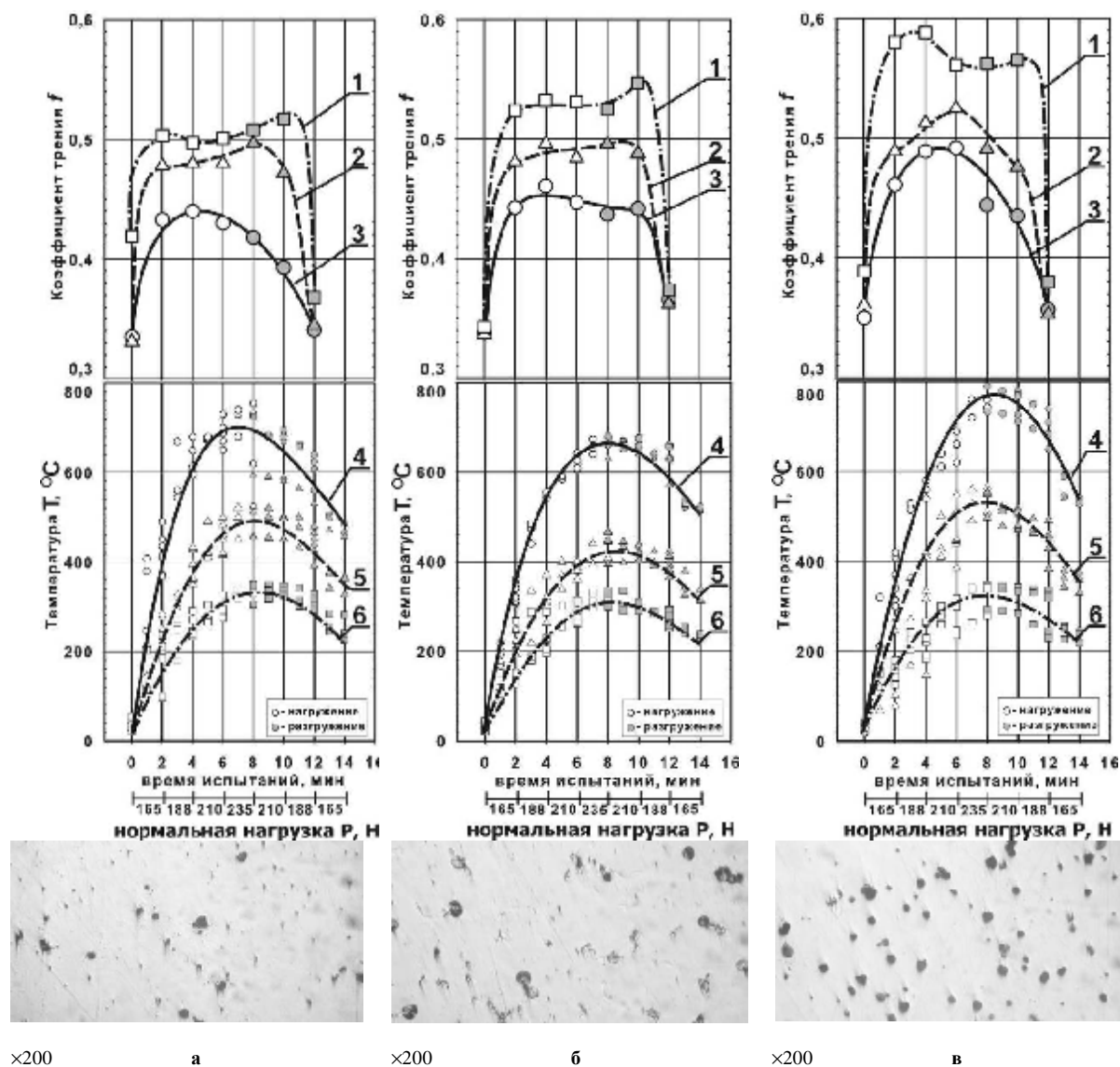


Рис. 2 – Зависимости коэффициента трения f (кривые 1-3) и температуры T °С (кривые 4 - 6) от нормальной нагрузки и скорости скольжения (кривые 1,4 - 52 м/мин; кривые 2,5 - 86 м/мин; кривые 3,6 - 173 м/мин) и микроструктуры экспериментальных сплавов колодок для трибосопряжений №1 (а), №2 (б), №3 (в)

В трибосопряжениях № 4, 5 на поверхности ролика после 8 минут приработки имели место очаги схватывания с материалом колодки. Перенесенный материал вытянутой формы, бугристого строения, однородного цвета по всей поверхности. При нагружении имело место изменение цветности поверхности (посинение), а также искрообразование. При достижении температуры свыше 850 °С колодка становилась багрово-красной, при этом коэффициент трения был стабилен, и очаги схватывания сравнились, поверхность наблюдалась гладкой с цветами побежалости. После цикла испытания поверхность ролика была фрагментально покрыта очагами перенесенного материала с поверхности колодки, причем их бугристость отсутствовала (сплющивание бугорков), строение оставалось вытянутой формы, покрытие поверхности не сплошное, порядка 50 %.

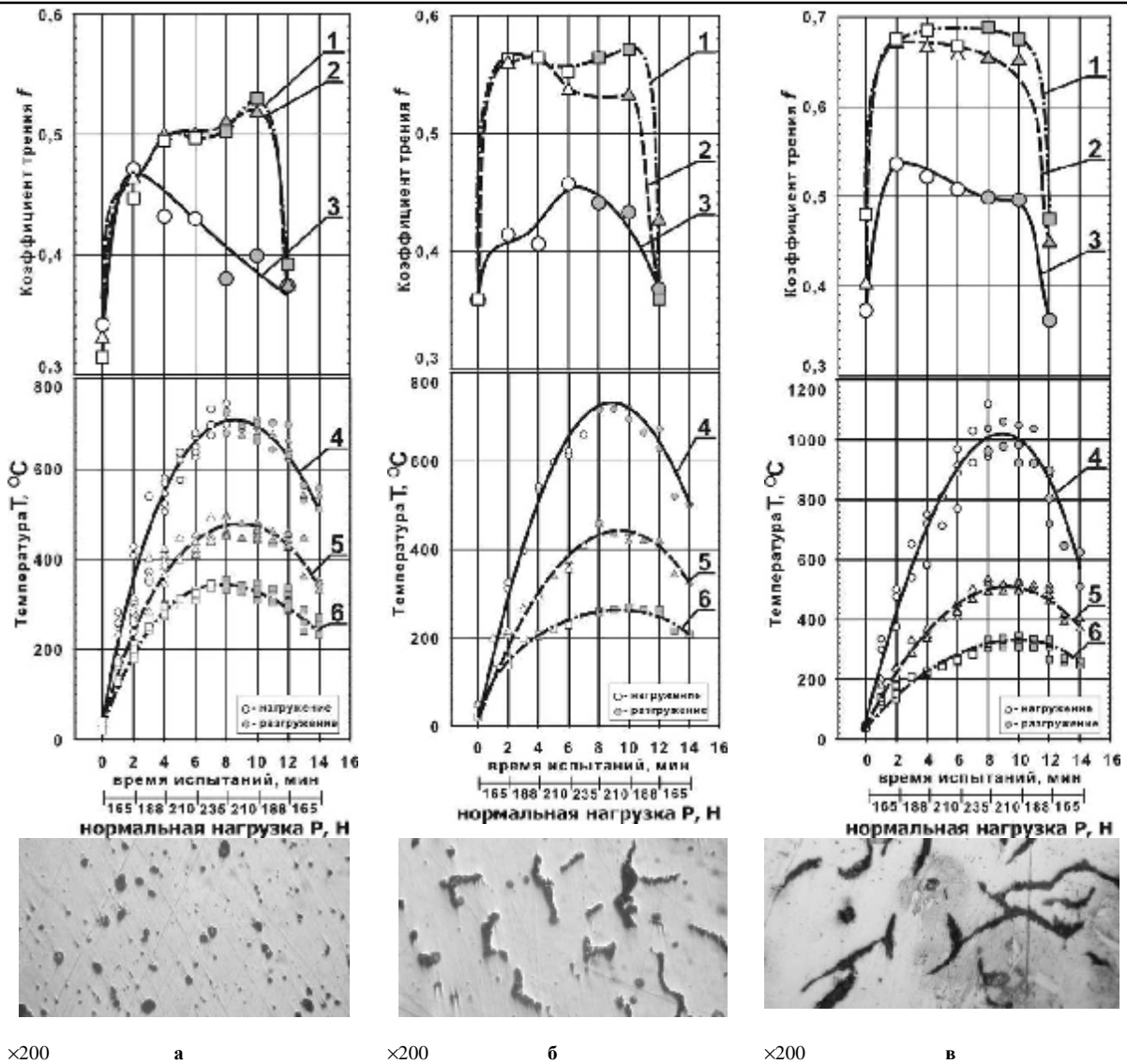


Рис. 3 – Зависимости коэффициента трения f (кривые 1 - 3) и температуры T °C (кривые 4 - 6) от нормальной нагрузки и скорости скольжения (кривые 1,4 - 52 м/мин; кривые 2,5 - 86 м/мин; кривые 3,6 - 173 м/мин) и микроструктуры экспериментальных сплавов колодок для трибосопряжений №4 (а), №5 (б), №6 (в)

В трибосопряжении №6 на поверхности ролика очагов схватывания не наблюдалось. Поверхность ролика при трении покрывалась темным налетом, который при остановке ролика с помощью ветоши легко вытирался. Однако, под ним имело место формирование локальных зон перенесенных компонентов фосфидной эвтектики сплошного строения, без наплывов, вырывов и наростов. Зоны занимали порядка 50 % площади трения. Остальная же площадь была без патологических повреждений с зеркальным оттенком.

В целом полученные результаты свидетельствуют о следующем. При данных условиях скоростного взаимодействия однозначно имеют место процессы схватывания, особенно при частотах 300 мин^{-1} (скорость скольжения 52 м/мин), 500 мин^{-1} (скорость скольжения 86 м/мин). Относительно большое время фрикционного контакта, при выбранных значениях нормальных нагрузок, создает благоприятные условия для протекания процессов адгезионного взаимодействия между компонентами структур исследуемых материалов. Тангенциальная прочность таких связей значительно выше, чем предел текучести основного материала, что и обуславливает активное протекание процессов массопереноса компонентов с поверхности графитизированных сталей на ролик, формируя при этом слой третьего тела с определенными физико-механическими свойствами. При этом, ведущую роль при этом играют более твердые фазы, посредством которых разрушаются поверхностные оксидные пленки и формируются микрозоны ювенильного контакта. Формирующееся третье тело обуславливает образование микропрофиля с выступами определенного радиуса закругления. Выступы же, под действием нормальной нагрузки внедряясь в поверхность ролика, определяют механическую составляющую силы трения. Таким образом, в процессе испытаний контактное взаимодействие при низких частотах осуществлялось через явно выражаемое третье тело. Исходя из наблюдаемого характера взаимодействия поверхностей испытываемых материалов следует, что высокие значения коэффициента трения определяли именно процессы формирования третьего тела. Наиболее близким по значению коэффициента трения к эталонному сплаву представлялись сплавы № 3, № 5.

При частоте вращения 1000 мин^{-1} (скорость скольжения 176 м/мин) также имел место массоперенос. Однако, по состоянию профиля, механическая составляющая коэффициента трения была значительно меньше, и это очевидно, т.к. в 2 раза уменьшилось время фрикционного контакта. Наиболее близким по значению коэффициента трения к эталонному сплаву представлялись сплавы №3. Но в тоже время эталонный сплав показывал снижение коэффициента трения при росте нагрузки с 188 Н до 235 Н , тогда как сплав № 3 обеспечивал увеличение коэффициента трения. При этом температурная напряженность в трибосопряжении №3 по сравнению с трибосопряжением № 6 (эталонное) при максимальной нагрузке была в 1,3 - 1,4 раза меньше. Самый нестабильный коэффициент трения наблюдался в трибосопряжении №4, в котором с увеличением нагрузки инициировались процессы снижения сдвиговых сопротивлений под действием тангенциальных сил, они же имели место при снятии нагрузки. Стабилизации коэффициента трения не наблюдалось.

Для всех испытываемых трибосопряжений имело место наличие порогового значения нагрузки равное 165 Н , при котором коэффициент трения был в границах $0,32 - 0,42$ в начале испытаний, и в границах $0,33 - 0,37$ в конце испытаний. С ростом же нагрузки коэффициент трения увеличивался, и например, в трибосопряжении № 3 - 5 имел постоянные значения при разгрузке контакта. Это объясняется различными свойствами фазовых включений, образующих третье тело в поверхностных структурах сталей, и их изменением под действием силовых и температурных полей как при микросближении контактных зон, так и их расхождением - в условиях упруго-пластического деформирования. При этом, от характера когезионно-адгезионного взаимодействия компонентов третьего тела внутри себя и с «родственниками» ювенильных зон поверхностей основных материалов (сталь 40X, образцы № 1 - 6) зависит доля молекулярной и механической составляющей коэффициента трения.

Выводы

Результаты триботехнических испытаний графитизированных сталей позволили определить направленность влияния их химического состава на проявление совместимости и фрикционности контакта со сталью 40X. Установлено, что сталь состава: С 1,54 %; Cu 0,85 %; Si 1,07 %; Al 0,22 %; Mn 0,41; Ni 0,13 %; Cr 0,15 %; S 0,022 %; P 0,018 % при скорости скольжения не менее 176 м/мин обуславливает лучшие совместимость и фрикционность контакта по сравнению с представленным рядом. При этом температурная напряженность контакта при его разгрузке ниже, чем у эталонного чугуна АСЧ-2. Однако выявленные особенности формирования третьего тела в исследованных трибосопряжениях вызывают необходимость в проведении дополнительных триботехнических испытаний при больших скоростях скольжения.

Литература

1. Графитизированные стали в машиностроении / И. В. Акимов, С. Е. Бельский, И. П. Волчок и др. // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С. 55-57.
2. Акімов, І. В. Підвищення високотемпературної витривалості графітізованих сталей / І. В. Акімов, І. П. Волчок // *FIDES. Intern. Forum for the Development of Education and Science Proc.* - Norway : Lulu Press Inc., 2010. – P. 61.
3. Разрушение графитизированных сталей при циклических нагрузках / И. В. Акимов, И. П. Волчок, А. А. Митяев и др. // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С. 58-61.
4. Коровина, Г. В. Литая графитизированная сталь / Г. В. Коровина. – Свердловск : Машгиз, 1959. – 39 с.
5. Груздов, П. Я. Графитизированная сталь / П. Я. Груздов. – М. : Стандартиздат. – 1950. – 84 с.
6. Формирование оптимальной структуры графитизированной стали / В. М. Жураковский, Б. В. Самелик, В.Я. Садчиков и др. // *Технология и орг. пр-ва*. – 1986. – № 4. – С. 35-36.
7. Жуков, А. А. Литая графитизированная сталь / А. А. Жуков, В. М. Жураковский // *Литейное пр-во*. – 1993. – № 10 – С. 13-15.
8. Тодоров Р.П., Николов М.В. Структура и свойства отливок из графитизированной стали. – М.: Металлургия, 1976. – 168 с.
9. Асташкевич Б.М. Свойства и кинетика формирования вторичных структур на поверхностях трения фрикционных фосфористых чугунных тормозных железнодорожных колодок // *Трение и износ*. – 1998. – Т. 19. – № 1. – С. 75-85.
10. Tsujimura Taro, Arai Hiroshi, Fujiwara Naoya. Development of high performance special cast iron brake shoes // *Quart. Repts Railway Techn. Res. Inst.* – 1990. – № 4. – S. 218-224.
11. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава. – М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
12. Применение графитизированной стали в тормозных устройствах сухого трения / А.А. Боровиков, Л.Ш. Райнес и др. // *Вестник машиностроения*. – 1973. – № 8. – С. 46-48.
13. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. ГОСТ 30480-97. – М.: Изд. Стандартов, 1998. – 11 с.
14. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. ГОСТ 23.224-86. – М.: Изд. Стандартов, 1986. – 28 с.

Поступила в редакцію 31.03.2014

Akimov I.V., Kubich V.I. Evaluation of frictionality of modified graphitized steels on small-sized samples.

Graphitized steels as alloys, containing carbon partly in the shape of graphite inclusions, possess a number of valuable properties. Their analysis shows that one of the possible areas of application of such steels is using them as a structural material for manufacturing of railway brake blocks. It is required to carry out a number of researches in order to confirm this assumption. These researches have to include determination of frictional and temperature dependences of such steels on their chemical composition, as well as comparison of these data with the materials used for railway blocks nowadays - grey phosphorous cast irons.

Evaluation of compatibility of graphitized steel - carbon steel friction pairs has been conducted, values of power and thermal loads have been determined in this work. The direction of influence of graphitized steels' chemical composition on compatibility demonstration and frictionality of the contact with steel 40X has been shown. It has been established that the graphitized steel of the following composition: C 1.54 %; Cu 0.85 %; Si 1.07 %; Al 0.22 %; Mn 0.41 %; Ni 0.13 %; Cr 0.15 %; S 0.022 %; P 0.018 % has higher compatibility and frictionality of the contact as compared to the presented row at sliding speed not less than 176 m/min. At the same time the temperature stress level of the contact during its unloading is lower than the standard cast iron ACЧ-2.

Key words: graphitized steel, structure, loading, coefficient of friction, triboconjugation, tests.

References

1. Grafitizirovannye stali v mashinostroenii. I. V. Akimov, S. Ye. Belskiy, I. P. Volchok i dr. Lite i metallurgiya. 2010. № 4. S. 55-57.
2. Akimov, I. V. Pidvishchennya visokotemperaturnoi vitrivalosti grafitizovanih staley. I. V. Akimov, I. P. Volchok. FIDES. Intern. Forum for the Development of Education and Science Proc. - Norway : Lulu Press Inc., 2010. R. 61.
3. Razrushenie grafitizirovannykh staley pri tsiklicheskiykh zagruzkakh. I. V. Akimov, I. P. Volchok, A. A. Mityaev i dr. Lite i me-tallurgiya. 2010. № 4. S. 58-61.
4. Korovina, G. V. Litaya grafitizirovannaya stal. G. V. Korovina. Sverdlovsk: Mashgiz, 1959. 39 s.
5. Gruzдов, P. Ya. Grafitizirovannaya stal. P. Ya. Gruzдов. M. Standartizdat., 1950. 84 s.
6. Formirovanie optimalnoy struktury grafitizirovannoy stali. V. M. Zhurakovskiy, B. V. Samelik, V. Ya. Sadchikov i dr. Tekhnologiya i org. pr-va. 1986. № 4. S. 35-36.
7. Zhukov, A. A. Litaya grafitizirovannaya stal. A. A. Zhukov, V. M. Zhurakovskiy. Liteynoe pr-vo. 1993. № 10. S. 13-15.
8. Todorov R.P., Nikolov M.V. Struktura i svoystva otlivok iz grafitizirovannoy stali. M. Metallurgiya, 1976. 168 s.
9. Astashkevich B.M. Svoystva i kinetika formirovaniya vtorichnykh struktur na poverkhnostyakh treniya friktsionnykh fosforistykh chugunnykh tormoznykh zhelezodorozhnykh kolodok. Trenie i iznos. 1998. T. 19. N1. S.75-85.
10. Tsujimura Taro, Arai Hiroshi, Fujiwara Naoya. Development of high performance special cast iron brake shoes. Quart. Repts Railway Techn. Res. Inst. 1990. №4. S. 218-224.;
11. Asadchenko V.R. Avtomaticheskie tormoza podvizhnogo sostava. M. Marshrut, 2006. 392 s.
12. Primenenie grafitizirovannoy stali v tormoznykh ustroystvakh sukhogo treniya. A.A. Borovikov, L.Sh. Raynes i dr. Vestnik mashinostroeniya. 1973. № 8. S. 46-48.
13. Obespechenie iznosostoykosti izdeliy. Metody ispytaniy na iznosostoykost. Obshchie tre-bovaniya. GOST 30480-97. M.: Izd. Standartov, 1998, 11 s.
14. Obespechenie iznosostoykosti izdeliy. Metody otsenki iznosostoykosti vosstanovlennykh detaley. GOST 23.224-86. M.: Izd. Standartov, 1986, 28 s.