

Исследование триботехнических характеристик поверхностных покрытий при трении металла по металлу без смазки

**О. Ю. Елагина, Б. М. Гантимиров, К. О. Томский,
А. Н. Мазуркевич, С. В. Кислов**

Рассмотрены особенности трения поверхностных слоев разного химического состава, выполненных лазерной наплавкой и электроискровым легированием. Исследованы пары трения из стали 30 и поверхностных слоев из высоколегированных ферритных, аустенитных и мартенситных сталей, кобальтового и никелевого сплавов, бронзы и керамических покрытий на основе серпентинитов. Выявлено, что максимальную эффективность работы в условиях трения металла по металлу, обеспечивает кобальтовый сплав, что определяется сочетанием таких факторов, как высокая твердость поверхностного слоя, отсутствие скачкообразного увеличения коэффициента трения на этапе начала работы и низкая температура разогрева поверхности при трении.

Ключевые слова: трение, изнашивание, схватывание, заедание, коэффициент трения, температура нагрева, лазерная наплавка, комбинированные минеральные покрытия.

The article describes the features of the friction of the different chemical composition surface layers, made by the laser cladding and electric alloying. Investigated the friction pairs made of steel 30 and the surface layers of high-alloyed ferritic, austenitic and martensitic steels, cobalt and nickel alloys, bronze and ceramic coatings based on serpentinite. Revealed that the maximum efficiency in metal to metal friction provides cobalt alloy, which is explained by a combination of such factors as high hardness of the surface layer, the absence of an abrupt increase in the coefficient of friction on the initial stage and the low temperature of the friction surface.

Keywords: friction, wear, galling, friction coefficient, heating temperature, laser cladding, combined mineral coatings.

Введение

Изнашивание трущихся деталей при заедании представляет собой один из наиболее катастрофических процессов разрушения поверхностей, возникающих при трении. Этот вид изнашивания сопровождается развитием процессов схватывания в местах наиболее плотного контакта, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникающих при этом неровностей на сопряженную поверхность. Уменьшить или исключить заедание деталей можно путем правильного подбора материалов, не склонных к адгезии, а также путем создания поверхностных

слоёв трущихся тел, снижающих их молекулярное взаимодействие. Уменьшению заедания трущихся деталей способствует применение для их изготовления материалов, не имеющих химического родства с предполагаемым материалом контртела и обладающих высокой твердостью.

Цель данной работы — изучение особенностей трения и изнашивания поверхностных слоев разного химического состава без смазки об ответную поверхность образцов из стали 30. Исследованные поверхностные слои были выполнены лазерной наплавкой и новым способом формирования комбинированного минерального поверхностного слоя на металлических деталях по технологии НПО “Геоэнергетика”.

Методика эксперимента

Химический состав и структурно-фазовый состав поверхностных слоев образцов для испытания представлены в табл. 1. Разброс значений микротвердости поверхностей объясняется природой наплавленного слоя — наплавленный слой не однороден по структуре и механическим свойствам. Контроль в виде диска изготавливали из стали 30.

Испытания проводили на машине трения ПД-2010, реализующей трение торцевой поверхности образца по поверхности стального диска (схема — “палец-диск”). Скорость скольжения составляла 15,7 м/с, а время для одного цикла испытаний — от 150 до 600 с, статическая удельная нагрузка — 0,1 Н/мм².

В процессе испытаний регистрировали температуру разогрева испытываемого образца при трении о стальной диск с помощью термодатчика, закрепленного на боковой поверхности образца на расстоянии 1 мм от торцевой поверхности трения, а при помощи тензометрического устройства фиксировали силу трения, по которой вычислялся коэффициент трения. Величину износа определяли взвешиванием на аналитических весах и по результатам измерения потери массы образцов рассчитывали среднюю скорость изнашивания.

Для регистрации силы трения и температуры использовали компьютер, соединенный с датчиками машины трения при помощи специального осциллографа. Из полученных значений силы трения вычисляли соответствующие коэффициенты трения.

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний представлены на рис. 1 и 2 и в табл. 1, 2.

Анализ рис. 1 показывает, что все испытанные поверхностные слои можно разделить на две группы. Первая группа характеризуется резким нарастанием коэффициента трения, значения которого у поверхностного слоя из низкоуглеродистой высокохромистой стали SS 410L достигает 0,5 – 0,55, у аустенитной стали SS 316L — 0,55 – 0,62 и у инструментальной стали М2 — около 0,4.

У поверхностных слоев второй группы практически отсутствует период приработки. Значения коэффициента трения с начального момента и в течение всего времени испытаний сохраняют постоянный уровень. К этой группе относятся поверхностные слои, выполненные из кобальтового сплава 2537-10, из никелевого сплава 1560-00, оловянистой бронзы и комбинированные минеральные покрытия.

Таблица 1

Химический и структурно-фазовый состав поверхностного слоя образцов

Материал покрытия	Структурно-фазовый состав	Микротвердость, МПа
Мартенситная нержавеющая сталь SS 410L (0X13)	Феррит + интерметаллиды	7000 – 8700
Аустенитная нержавеющая сталь SS 316L (X17H13M3T)	Аустенит + δ -феррит	3100 – 4100
Инструментальная сталь М2 (Р6М5)	Аустенитно-мартенситная с карбидной эвтектикой	8500 – 10300
Никелевый сплав (1560-00)	Твердый раствор (никелевый аустенит) + выделения карбидов, боридов, силицидов	5500 – 9500
Кобальтовый сплав (2537-10)	Аустенитно-ледобуритная с карбидами (CrW23C6)	7000 – 10000 МПа
Оловянистая бронза (CuSn11)	Твердый раствор с эвтектикой по границам зерен	800 – 970
Комбинированные минеральные покрытия	Твердый раствор с керамическими микровключениями	6660 – 7890 4980 – 7780 6680 – 8960

Таблица 2

Диапазоны изменения коэффициента трения скорости изнашивания поверхностных слоев разного состава

Состав поверхностного слоя	Коэффициент трения	Скорость изнашивания, мг/с
Мартенситная нержавеющая сталь SS 410L	0,30 – 0,25	0,13 – 0,18
Аустенитная нержавеющая сталь SS 316L	0,30 – 0,25	0,14 – 0,19
Кобальтовый сплав 2537-10	0,36 – 0,34	0,02 – 0,07
Инструментальная сталь М2	0,22 – 0,20	0,14 – 0,16
Оловянистая бронза CuSn11	0,44 – 0,42	2,98 – 3,35
Никелевый сплав 1560-00	0,48 – 0,40	0,14 – 0,16
Комбинированные минеральные покрытия	0,32 – 0,36	0,16 – 0,24

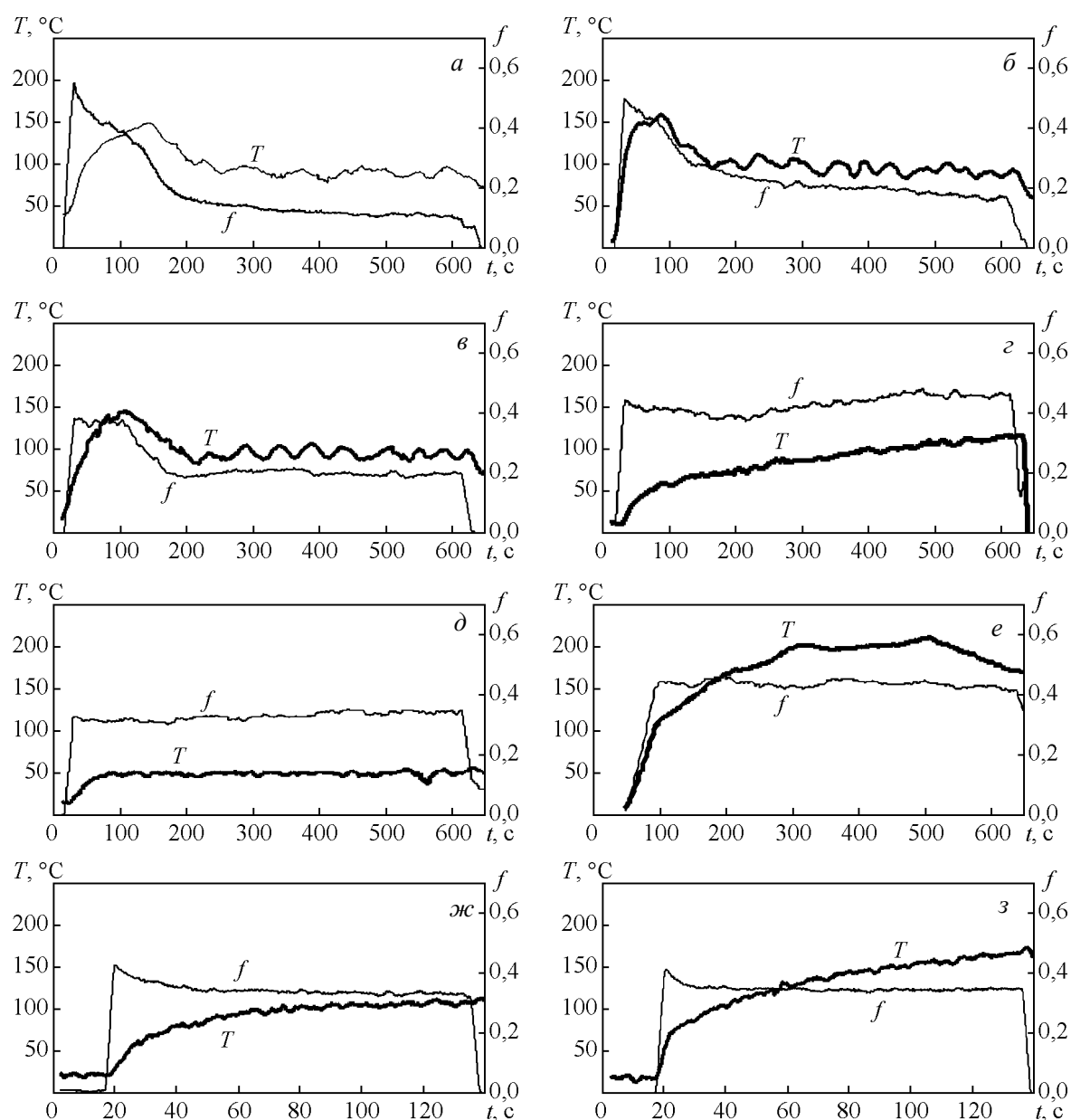


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f и температуры покрытия T от времени испытаний для материалов покрытия: а – мартенситная нержавеющая сталь SS 410L (0X13), б – аустенитная нержавеющая сталь SS 316L (X17H13M3T), в – инструментальная сталь M2 (P6M5), г – никелевый сплав (1560-00), д – кобальтовый сплав (2537-10), е – оловянистая бронза (CuSn11), ж – комбинированные минеральные покрытия (состав №1), з – комбинированные минеральные покрытия (состав №2).

На этапе установившегося трения у большей части образцов наблюдается снижение и стабилизация коэффициента трения. Диапазоны изменения коэффициента трения на этапе установившегося трения представлены в табл. 2.

Температура в зоне трения образцов с высоким начальным значением коэффициента трения характеризуется резким нарастанием значений в начальный

момент и достигает 150–170°C у поверхностных слоев из сталей SS 410L, SS 316L и M2. Затем на этапе установившегося трения следует ее снижение до значений 80–100 °C, которые сохраняются на протяжении второго периода единичного цикла испытаний.

Для поверхностного слоя из кобальтового сплава температура разогрева стабильна в течение всего времени испытаний и составляет около 50°C.

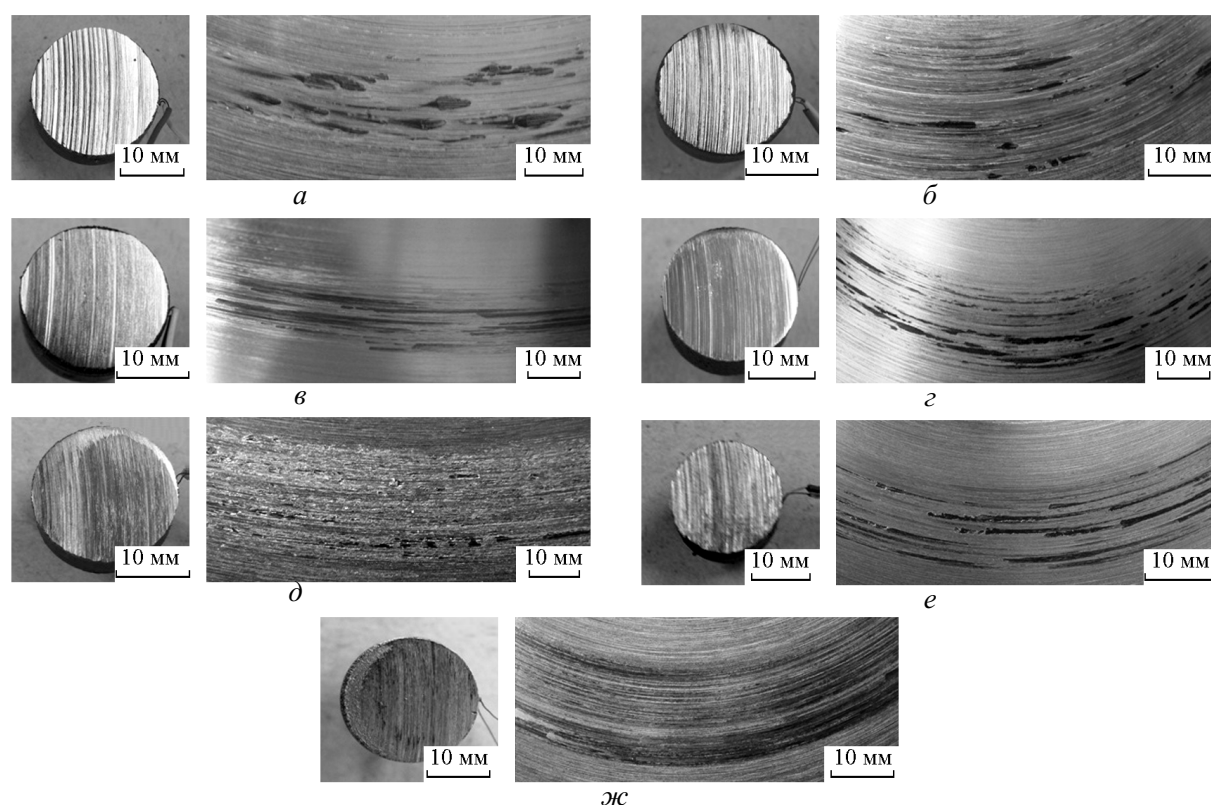


Рис. 2. Поверхность контртела и образца с поверхностным слоем из: *а* — мартенситной нержавеющей стали SS 410L (0X13), *б* — аустенитной нержавеющей стали SS 316L (X17H13M3T), *в* — инструментальной стали M2 (P6M5), *г* — никелевого сплава (1560-00), *д* — кобальтового сплава (2537-10), *е* — оловянистой бронзы (CuSn11), *жс* — комбинированного минерального покрытия, после одного цикла испытаний, в течение: *а* — *е* — 600 с, *жс* — 120 с.

Поверхностные слои, изготовленные из оловянистой бронзы, никелевого сплава 1560-00 и керамики характеризуются ростом температуры в процессе испытаний, величина которой к моменту их окончания достигает соответственно 200, 160 и 120°C.

Рельеф поверхностного слоя всех образцов с металлическим поверхностным слоем характеризуется наличием направленных царапин с разной глубиной внедрения. На поверхности стального диска (контртела) присутствуют многочисленные следы схватывания с последующим вырыванием металла. Участки разрушения поверхности диска представлены в виде глубинных повреждений поверхности, следов налипания частиц металла, рисок и задигов. Поверхность образцов с комбинированным минеральным покрытием характеризуется сглаженным рельефом, сохраняющим следы царапин небольшой глубины. Поверхность стального диска имеет более выраженные следы царапин в сочетании с участками переноса материала поверхностного слоя на ответную стальную поверхность (рис. 2).

Как видно из представленных данных, наименьшую скорость изнашивания имеет образец из кобальтового сплава, средняя величина которой составляет 0,04 мг/с. Образцы с поверхностью из высоколегированных сталей, никелевого сплава и комбинированного минерального покрытия показывают примерно одинаковую скорость изнашивания в диапазоне от 0,15 до 0,16 мг/с. Наихудшую износостойкость показал образец с поверхностным слоем из оловянистой бронзы — 3,16 мг/с.

Выводы

1. Исследования поверхностным слоем, выполненных из сталей и сплавов разного состава, в условиях трения металла по металлу показали, что максимальная эффективность работы характерна для кобальтового сплава и определяется сочетанием следующих факторов: высокой твердостью поверхностного слоя, отсутствием скачкообразного увеличения коэффициента трения на этапе начала

работы, низкой температурой разогрева поверхности в процессе трения.

2. Наилучшее состояние ответной поверхности трения наблюдается при контакте с комбинированным минеральным покрытием, выполненном

по технологии НПО “Геоэнергетика” на основе минералов природного происхождения, что определяется их физической разнородностью и относительно средним коэффициентом трения.

Статья поступила в редакцию 6.11.2012 г.

Елагина Оксана Юрьевна — РГУ Нефти и газа имени И.М. Губкина (г. Москва), доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой. Специалист в области процессов и оборудования для создания защитных покрытий, сварочных технологий, материаловедения (машиностроения). E-mail: elaguina@mail.ru.

Гантимиров Багаудин Мухтарович — РГУ Нефти и газа имени И.М. Губкина (г. Москва), кандидат технических наук, доцент. Специалист в области долговечности деталей машин и оборудования (машиностроение). E-mail: bmg-rgu@mail.ru.

Томский Кирилл Олегович — РГУ Нефти и газа имени И.М. Губкина (г. Москва), ассистент. Специалист в области трения и изнашивания деталей машин. E-mail: kirilltom@mail.ru.

Мазуркевич Андрей Николаевич — ОАО “ВНИИавтогенмаш”, директор по развитию. Специалист в области разработки технологий и производства износостойких комбинированных минеральных покрытий на рабочих поверхностях деталей пар трения. E-mail: Andrey m.torg@mail.ru.

Кислов Станислав Валентинович — ООО “Научно-производственное объединение “Геоэнергетика”, генеральный директор. Специалист в области разработки технологий и производства износостойких комбинированных минеральных покрытий на рабочих поверхностях деталей пар трения. E-mail: kislov@geoen.ru.