

обрабатываемого материала в диапазоне скоростей резания от 1...28,1 м/мин.

3. Исследованы характер распространения остаточных напряжений и упрочнения поверхностного слоя в зависимости от режимов резания, твердости материала, геометрии протяжки.

Литература

1. Богуслаев, В. А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I. Монография [Текст] / В. А. Богуслаев, Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк, В. И. Колесников и др. — Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. — 396 с.
2. Чернышев, В. В. Протягивание и упрочнение хвостовиков газотурбинных двигателей [Текст] / В. В. Чернышев, М. С. Рахмарова, Г. Б. Дейч. — М.: Машиностроение, 1971. — 276 с.
3. Романов, В. В. Применение новых материалов при конвертации корабельных и авиационных ГТД в стационарные ГТУ [Текст] / В. В. Романов, В. А. Коваль // Современные технологии в газотурбостроении. — 2010. — С. 4–7.
4. Суслов, А. Г. Обеспечение качества обработанных поверхностей с использованием самообучающейся технологической системы [Текст] / А. Г. Суслов, Д. И. Петрешин // СТИН. — 2006. — № 1. — С. 21–24.
5. Баранчиков, В. И. Обработка специальных материалов в машиностроении [Текст]: справ. / В. И. Баранчиков, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов. — М.: Машиностроение, 2002. — 264 с.
6. Alberti, M. A system for optimizing cutting parameters when planning milling operations in high-speed machining [Text] / M. Alberti, J. Ciurana, M. Casadesu // J. Mater. Process. Technol. — 2005. — № 1(168). — P. 25–35.
7. Ozel, T. Modeling of high speed machining process for predicting tool forces, stress and temperatures using FEM simulation [Text] / T. Ozel, T. Altan // Processing of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. — Atlanta, Georgia, USA. — 1998. — P. 225–234.
8. Двирная, О. З. Исследование параметров качества поверхности при протягивании жаропрочной стали ЭП517-Ш [Текст] / О. З. Двирная, А. П. Шумилов // Наукові нотатки: міжвузівський збірник за напрямом «Інженерна механіка». — Вип. № 24. — Луцьк: ЛНТУ, 2009. — С. 162–170.
9. Двирная, О. З. Методика дослідження впливу швидкісного протягування на шорсткість обробленої поверхні [Електронний

ресурс] / О. З. Двирная, О. П. Шумилов // Вісник НУК. — Миколаїв: НУК, 2011. — № 2. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/ua/publication?publicationId=8382>

10. Двирная, О. З. Вплив технологічних умов протягування замкових пазів в дисках із сталі ЭП517-Ш на шорсткість обробленої поверхні [Текст] / О. З. Двирная, П. В. Скрипник // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв: НУК, 2011. — № 2(437). — С. 55–60.
11. Ивахненко, А. Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике [Текст] / А. Г. Ивахненко. — К.: Техника, 1971. — 372 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ГАЗОТУРБІНИХ ДИСКІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ОБРОБКИ

Представленні результати дослідження основних параметрів якості обробленої поверхні замкових пазів в дисках турбін і компресорів зі сталі ЭП517-Ш. Розроблена фізична модель протягування замкових пазів. В результаті експериментальних досліджень встановлені характер розподілення залишкових напружень, глибина і ступінь зміцнення поверхневого шару, запропонована модель залежності шорсткості обробленої поверхні від технологічних факторів протягування.

Ключові слова: технологічні фактори, параметри якості, замкові пази, фізична модель, високопродуктивна технологія.

Двирная Ольга Зениковна, асистент, кафедра системотехніки морської інфраструктури і енергетичного менеджменту, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна, e-mail: dvirnaolga@rambler.ru.

Шумилов Александр Павлович, кандидат технічних наук, професор, кафедра технології судового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна.

Двирная Ольга Зениковна, асистент, кафедра системотехніки морської інфраструктури і енергетичного менеджменту, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна.
Шумилов Александр Павлович, кандидат технічних наук, професор, кафедра технології судового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна.

Dvirnaia Olga, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, e-mail: dvirnaolga@rambler.ru.
Shumilov Aleksandr, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

УДК 621.8

**Тимофеева Л. А.,
Тимофеев С. С.,
Дёмин А. Ю.,
Ягодинский Е. С.**

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

В работе был исследован один из методов поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов, а именно химико-термическая обработка с использованием в качестве насыщающей среды перегретого пара водного раствора солей, состоящего из серы, молибдена, кислорода, фосфора. Применение данной технологии дает возможность повысить эксплуатационные свойства деталей и узлов машин и механизмов, работающих в условиях трения.

Ключевые слова: железоуглеродистые сплавы, упрочнение, химико-термическая обработка, парогазовая насыщающая среда.

1. Введение

Повышение долговечности и надежности деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения и изнашивания, обеспечивается:

- подбором пары трения с минимальным коэффициентом трения;
- увеличением твердости одной или обеих сопряженных деталей;
- созданием на поверхности специальных защитных слоев с требуемыми структурой и свойствами;

- улучшением чистоты обработки трущихся поверхностей;
- подбором соответствующей смазки.

С этой точки зрения необходимо рассматривать возможность применения того или иного метода поверхностного упрочнения [1, 2].

Так, как железоуглеродистые сплавы широко используются в машиностроении, именно они были взяты за основу исследований.

2. Постановка задачи исследования

Чугун, как и многие стали, содержит значительное количество углерода, который может находиться в виде цементита или графита шаровидной или пластинчатой форм. Обладая химической активностью в парогазовой насыщающей среде, он должен участвовать в формировании поверхностного слоя или взаимодействовать с его элементами.

Рассмотрим два случая: для чугунов, где большая часть углерода находится в графите пластинчатой формы и стали, где весь углерод находится в цементите.

Для простоты рассуждения принимаем, что графитные включения в матрице чугуна имеют форму неправильного цилиндра, где имеются впадины и выпуклости. Длина включения (l) и его диаметр ($2a$) связаны условием $l/2a \geq 1$. Пластинчатая форма включения неравновесна, и она при нагреве в той или иной степени должна стремиться к сфероидальной форме. Причина, обуславливающая перенос массы углерода, необходимой для этого, заключается в следующем. Допустим, что в одном месте включение графита оказалось суженным за счет сжимающего давления матрицы. В этом случае возникает градиент химического потенциала, который обусловит направленный перенос углерода от участка, где имеется сужение к выпуклым или даже цилиндрическим участкам. Этот процесс, сопровождающийся утончением включения, завершится его распадом в данном месте. Очевидно, при этом необходимо выполнение неравенства $\frac{1}{r} - \frac{1}{R} > \frac{1}{a}$ (рис. 1). Это условие дробления и сфероидизации графитного включения означает, что появление и сужение сопровождается уменьшением удельной поверхности. В чугунах такое условие как правило проявляется (рис. 2). Следует отметить, что несколько по иному обстоит дело со сталями. В сталях весь углерод находится в виде цементита.

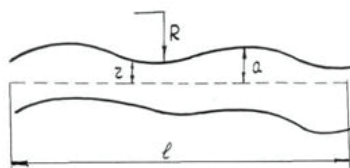


Рис. 1. Схема формирования сфероидальной формы графита в чугуне

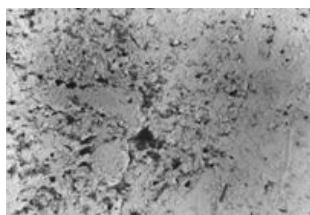
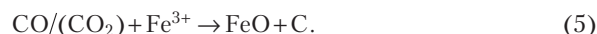
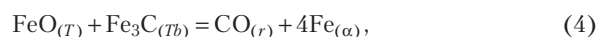
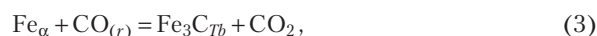
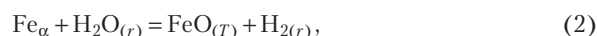
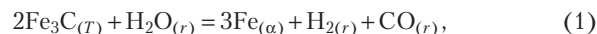


Рис. 2. Форма графита в приповерхностной зоне, $\times 5000$

В процессе формирования слоя наблюдается восходящая диффузия углерода.

Источником последнего может быть окисление цементита перлита, в результате протекания реакций, что согласуется с термодинамическими характеристиками:



Образовавшийся углерод стремится выпасть в объеме новой фазы (покрытия) или выйти на поверхность слоя. Характерно при этом также формирование не пластинок графита, а глобулей (рис. 3).

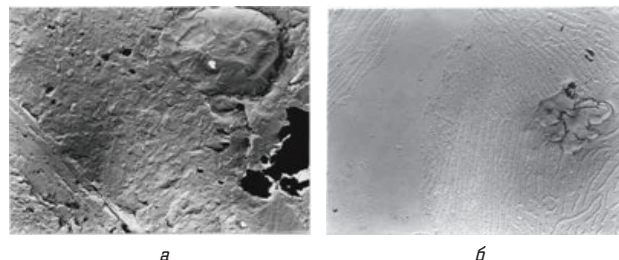


Рис. 3. Измененная форма графита, $\times 5000$: а — в объеме покрытия; б — в приповерхностной зоне

Рассмотрим кинетику выхода углерода на внешнюю поверхность покрытия. Поток углерода определяется разностью предельных его концентраций в железе и образующейся фазе:

$$j = D \Delta n / \delta, \quad (6)$$

где $\Delta n = n_c^{\text{Fe}} - n_c^{\Phi}$; n_c^{Fe} и n_c^{Φ} — предельная концентрация углерода в железе и в образующейся фазе соответственно; D — коэффициент диффузии углерода в пределах фазы; δ — толщина слоя.

Полагаем, что концентрация углерода n_c^{Φ} устанавливается на внешней поверхности, а концентрация n_c^{Fe} — на границе слой — основной металл.

Число атомов dN углерода, выходящих за время dt на единичную поверхность, может быть определено, как $dN = j d\tau = D \Delta n d\tau / \delta_{\tau}$, где δ_{τ} определяется из уравнения (6). Через время τ на поверхность выйдет следующее число атомов углерода:

$$N = \int_0^{\tau} D \frac{\Delta n d\tau}{K \tau^{1/2}} = 2D \frac{\Delta n}{K} \tau^{1/2}. \quad (7)$$

Эти атомы углерода и образуют зародыши в виде глобулей, которые растут со временем.

Средняя концентрация углерода, измеряемая на поверхности, может быть определена, если отнести число атомов углерода в новой фазе к числу N его атомов, находящихся в приповерхностном слое:

$$N = l/V, \quad (8)$$

где l — глубина зондирования при определении концентрации углерода; V — объем, приходящийся на 1 атом углерода.

Концентрация углерода должна расти по параболическому закону [3, 4], поэтому коэффициент диффузии углерода можно найти, преобразовав выражение (7) следующим образом:

$$D = \frac{K}{2\Delta n} \cdot \frac{N}{\tau^{1/2}} \quad (9)$$

Коэффициент диффузии углерода в объеме слоя можно оценить и по кинетике распада в перлите пластинчатых включений цементита на глобулы графита. Этот процесс можно представить происходящим по двум диффузионным механизмам: через матрицу и по границе раздела матрица-выделение. Характерное время распада по порядку величины может быть определено следующим выражением [5, 6]:

$$\tau = \frac{KTR^3}{\gamma V D_V C_o} \quad (10)$$

где T — температура; R — радиус сферы закругления графитного включения; γ — поверхностное натяжение на границе; D_V — коэффициент объемной диффузии; C_o — растворимость углерода в матрице.

Из последнего выражения (10) следует, что

$$D_V C_o = \frac{KTR^3}{\gamma V \tau} \quad (11)$$

Для случая химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов в перегретом паре водного раствора солей, при подстановке рабочих значений в формулу (11) коэффициент диффузии углерода при распаде пластинчатой структуры цементита в α — фазе составляет 10^{-9} – 10^{-8} см²/с. Это совпадает с оценкой коэффициента диффузии при накоплении углерода на поверхности [7].

Проведенные исследования позволяют заключить, что при формировании поверхностного слоя в парогазовой среде имеет место восходящая диффузия углерода за счет распада пластинчатой структуры цементита перлита и дробления пластин графитных включений чугуна с накоплением его на поверхности слоя. Эти процессы неизбежны для железоуглеродистых сплавов в изотермических условиях с наличием парогазовой окислительно-восстановительной среды.

3. Экспериментальные данные и их обработка

Образование свободного углерода при химико-термической обработке и выход его на поверхность опи-

сано в литературе недостаточно. В связи с этим исследовалось формирование поверхностного слоя серого перлитного чугуна с пластинчатым графитом и стали с феррито-перлитной матрицей, следующего химического состава (табл. 1).

Образцы помещали в шахтную печь, нагревали до температуры ниже A_{c1} выдерживали от 40 мин до 1 ч в парогазовой среде и охлаждали на воздухе.

В качестве насыщающей среды использовали перегретый водяной пар, легированный теми или иными химическими соединениями.

Для выявления роли химических элементов, находящихся в парогазовой насыщающей среде, в выделении свободного углерода в поверхностном слое, использовали перегретый пар дистиллированной воды, технической воды, которая содержит соли кальция и магния с концентрацией их 18–20 г-экв/л, а также пар водного раствора аммония молибденовокислого с концентрацией 3–5 г/л.

Обработка образцов стали и чугуна разными по содержанию химических элементов парогазовыми средами, осуществлялась по одной технологической схеме.

Поверхностные слои, полученные в различных средах были исследованы на наличие в них свободного углерода с помощью современных методик [7, 8].

Выявлено, что в поверхностном слое и чугуна и стали, формирование которого проходило в присутствии только кислорода и железа (перегретый пар дистиллированной воды) свободного углерода нет (рис. 4, а).

Использование жесткой воды, приводит к появлению свободного углерода и изменению концентрации углерода по слоям поверхностного покрытия (рис. 4, б). Это наблюдается и для случая применения перегретого пара соли аммония (рис. 4, в).

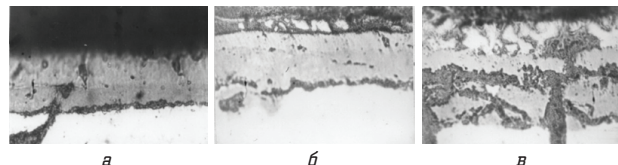


Рис. 4. Структура модифицированного поверхностного слоя, $\times 500$: а — с применением дистиллированной воды; б — с применением жесткой воды; в — с применением раствора солей аммония

Чтобы ответить на вопрос в какой форме находится графит в слое, были проведены металлографические исследования на электронном микроскопе до и после травления поверхностного слоя в 4-% растворе HNO_3 .

Следует отметить, что проведенные исследования позволили выявить, что в приповерхностном слое основного металла имеет место дробление пластинчатого цементита перлита с образованием мозаичной структуры (рис. 5). Такое явление имеет место и в случае применения перегретого пара водного раствора молибденовокис-

Таблица 1

Химический состав исследуемых материалов

Материал	Содержание химических элементов, %								
	C	Si	Mo	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti
Чугун серый СЧ-ХНМ	2,9—3,3	1,3—1,9	0,85—1,25	0,15	0,12	0,4—0,6	1,1—1,5	0,1—0,5	0,2—0,6
Сталь 38Х2МЮА	0,42	0,23	0,49	0,02	0,018	1,43	0,28	0,15	—

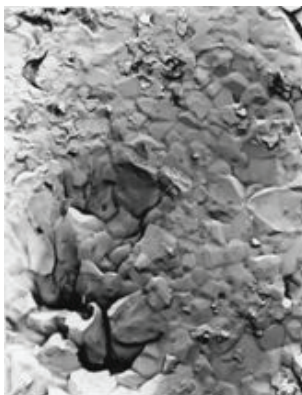
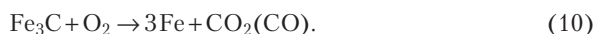


Рис. 5. Дробление пластинчатого цемента перлита, $\times 7000$

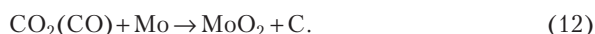
лого аммония. Мозаичная структура вероятней всего образуется под действием химических элементов и, наверно, внутренних напряжений, которые образуются в процессе формирования поверхностного слоя легирующими элементами.

Объяснить полученные результаты можно следующим образом. При комплексном действии легирующих элементов и кислорода на железноуглеродистые сплавы вначале происходит окисление

цементита перлита с образованием оксидов углерода по реакции:



Затем оксиды углерода вступают в реакцию с другими активными химическими элементами, образуя при этом оксиды и свободный углерод (с железом Fe^{3+} или молибденом).



Продукты реакции являются составляющими поверхностного слоя, что подтверждается исследованиями фазового состава слоя [9].

Ионы кальция и магния также могут взаимодействовать с кислородом, образуя их оксиды, которые будут хемосорбироваться поверхностью металла и быть при этом центрами зарождения и формирования графита глобулярной формы (рис. 6).

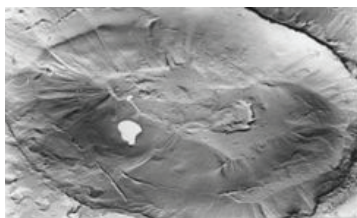


Рис. 6. Графитное включение в поверхностном слое с центром зарождения, $\times 10000$

Об этом свидетельствуют исследования распределения углерода, кислорода, кальция, магния в выделившемся включении (рис. 7), проведенные на сканирующем микроскопе 7BM-820. Здесь четко видно, что в центре графитного включения есть CaO . Углерод вероятней всего может взаимодействовать с магнием и кальцием при заданных технологических параметрах (температуре 600 ± 20 °C) с образованием нестабильных карбидов MgC , CaC , которые при этих температурах распадаются с образованием графита глобулярной формы.

Таким образом, установлено, что сфероидизация графита может происходить и в твердом состоянии под действием на железноуглеродистые сплавы перегретой окислительно-восстановительной среды при температурах ниже A_{c1} .

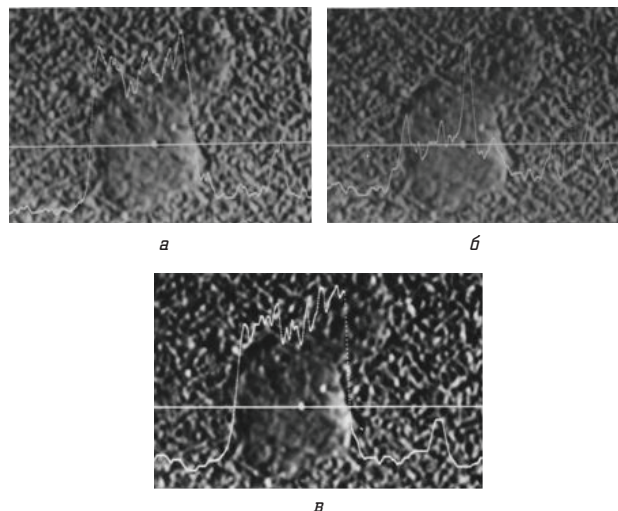


Рис. 7. Распределение химических элементов в графитном включении: а, б, в — соответственно углерода, кальция и магния

Основными стимуляторами изменения формы графита в чугунах являются кальций, магний и кислород, которые имеются в насыщающей среде.

Содержание свободного углерода в модифицированном поверхностном слое будет придавать ему новые свойства.

4. Анализ влияния свободного углерода на свойства поверхностного слоя

Ввиду этого, наибольший интерес представляют эксплуатационные характеристики, а именно износостойкость и антифрикционные свойства.

Наиболее полную оценку этих свойств поверхностного слоя применительно к конкретным условиям работы пары трения дают эксплуатационные испытания. Получение характеристик эксплуатационных испытаний представляет собой длительный процесс. К недостаткам этих испытаний относится их дороговизна, трудность измерений и необходимость большого количества наблюдений.

Поэтому для выявления тенденций влияния состава и структуры поверхностного слоя на трение могут использоваться лабораторные испытания.

При лабораторных исследованиях можно получать сравнительные производственные характеристики материалов покрытия на износ в условиях, имитирующих службу деталей в эксплуатации, к которым относится давление, скорость, температура, вид и характер трения. Для проведения лабораторных испытаний могут быть использованы машины трения типа СМЦ и М-22М [10].

Для испытаний были выбраны контртела диаметром 40 мм и толщиной 12 мм, и образцы прямолинейной формы 16 мм с площадью рабочей поверхности $0,5 \text{ см}^2$. На машинах трения трудно фиксацию момента наступления задира по состоянию поверхности трения, поэтому в качестве характеристики противозадирных свойств поверхностных слоев была принята нагрузка, при которой появляются задиры и происходит резкое возрастание величины момента трения. Критерием износостойкости служила потеря веса испытываемых образцов. После каждого испытания определяли массовый износ контртела и образцов взвешиванием на аналитических

весах с точностью до 10^{-4} г. Коэффициент трения подсчитывали по формуле, согласно [11, 12], и фиксировали нагрузку при которой происходит изменение момента трения. Воспроизводимость экспериментов проверялась по критерию Кохрена [13].

При разработке нового направления в области химико-термической обработки поверхности железоуглеродистых сплавов за базовый метод обработки был взят процесс парогазового насыщения в атмосфере перегретого водяного пара, поэтому сравнение предлагаемого направления обработки проводилось в основном паротермическим оксидированием железоуглеродистых сплавов, другими традиционными методами поверхностного упрочнения [14, 15].

Проверялась прирабатываемость, задиростойкость, износостойкость, определялись значения коэффициента трения.

Проведенные исследования показали, что у образцов, прошедших обработку в атмосфере перегретого пара водного раствора солей, содержащих в своем составе такие химические элементы как сера, кислород, молибден, азот или азот, фосфор, кислород имеет место увеличение нагрузки схватывания как в условиях граничного, так и в условиях масляного голодания (табл. 2).

Таблица 2

Нагрузка схватывания образцов после обработки в атмосфереперегретого пара солей

Испытуемый материал	Содержание химических элементов в поверхностном слое	Нагрузка задиорообразования, Н	
		без масла	с маслом
Сталь/сталь	Fe, O, C	1020	1700
Чугун/чугун ВЧ	Fe, O, C	1030	1800
Сталь/чугун	Fe, O, C	1030	1800
Сталь/сталь	Fe, O, C, S	2000	3000
Чугун СЧ/чугун ВЧ	Fe, O, C, S	2200	3000
Сталь/чугун	Fe, O, C, S	2300	3400
Сталь/сталь	Fe, O, C, S, Mo	2400	4000
Чугун СЧ/чугун ВЧ	Fe, O, C, S, Mo	2600	4600
Сталь/чугун	Fe, O, C, S, Mo	2800	4400
Сталь/сталь	Fe, O, C, S, Mo, N	1900	3200
Чугун СЧ/чугун ВЧ	Fe, O, C, S, Mo, N	2000	3400
Сталь/чугун	Fe, O, C, S, Mo, N	1800	3600

Эффект повышения задиростойкости, достигаемый при применении перегретого пара водного раствора солей, сопровождается снижением сил трения, о чем свидетельствует изменение коэффициента трения. Для железоуглеродистых сплавов с оксидным поверхностным слоем характерны высокие значения коэффициента трения (до 0,61) и с увеличением нагрузки наблюдалось увеличение значения коэффициента трения.

В то же время для материалов, содержащих модифицированный оксидный слой, легированный такими элементами как молибден, кислород, фосфор характерно низкое значение коэффициента трения [16]. С увеличением нагрузки и скорости скольжения значение коэффициента трения повышается незначительно и достигает величины (0,28–0,30), что свидетельствует о том, что

значение коэффициента трения при повышении нагрузки остается практически постоянным (табл. 3).

Таблица 3

Значение коэффициента трения

Испытуемый материал	Содержание химических элементов в поверхностном слое	Условия испытаний		Значение коэффициента трения
		P, МПа	V, м/с	
Сталь	Fe, O, C	2,50	1,0	0,30—0,36
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C			0,40—0,42
Сталь	Fe, O, C	5,0	2,0	0,50—0,56
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C			0,60—0,61
Сталь	Fe, O, C, Mo	2,50	1,0	0,28—0,29
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C, Mo			
Сталь	Fe, O, C, Mo	5,0	2,0	0,29—0,30
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C, Mo			
Сталь	Fe, O, C, P	2,50	1,0	0,28—0,30
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C, P			
Сталь	Fe, O, C, P	5,0	2,0	0,28—0,29
Чугун СЧ-ХНМ	Fe, O, C, P			

5. Вывод

Результаты исследования применения химико-термической обработки с использованием насыщающей среды перегретого пара водного раствора солей, имеющего в своем составе такие элементы как сера, молибден, кислород, фосфор, позволили заключить следующее:

- в результате применения данной технологии обработки, уменьшилось значение коэффициента трения оксидного слоя железа;
- увеличилась задиростойкость слоя покрытия, а как результат повысились эксплуатационные свойства деталей и узлов машин и механизмов работающих в условиях трения.

Полученные данные, дают основание для использования предложенного метода упрочнения в процессе восстановления работоспособности деталей и узлов машин и механизмов работающих в условиях трения.

Литература

1. Буше, Н. А. Перспективные антифрикционные материалы для подшипников транспортных двигателей [Текст] / Н. А. Буше // Тр. ВНИИЖТ. – 1967. – Вып. 227. – С. 27–30.
2. Wünnig, I. Zeitschrift für wirtschaftli Fertigung [Text] / I. Wünnig. – 1974. – Bd. 69, № 2. – P. 80–85.
3. Бокштейн, Б. С. Диффузия в металлах [Текст] / Б. С. Бокштейн. – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
4. Lin, Y. Oxidation Behavior of Multiphase Nb-Mo-Si-B Intermetallics [Text] / Y. Lin, M. J. Kramer, A. J. Thom and M. A. Kine // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2005. – V. 36. – P. 601–608.
5. Tatsuo Tabaru. Development of Mo – (Si, Al)₂ – Base Oxidation – Resistant Coating on Nb – Base Structural Materials [Text] / Tabaru Tatsuo et al. // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2005. – V. 36. – P. 617–626.
6. Протопопов, О. Д. Ожеспектроскопия в применении к исследованиям поверхности сложных элиттеров [Текст] / О. Д. Протопопов. – М.: Институт электроники, 1970. – 79 с.
7. Методы анализа поверхностей [Текст] : пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 582 с.

8. Terao, N. New phases of niobium nitride [Text] / N. Terao // Less – Common Metal. – 1971. – V. 23, № 2. – P. 159–169.
9. Hauffe, K. Oxidation of metals [Text] / K. Hauffe. – New York: Plenum press, 1965. – 452 p.
10. Оценка износостойкости материалов на машине трения с возвратно-поступательным движением [Текст] // Трение и износ в машинах. – Тр. ХУМ: АН СССР, 1982. – С. 111–116.
11. Тимофеева, Л. А. Научные и практические основы экологически чистой химико-термической обработки железуглеродистых сплавов с применением водных растворов солей [Текст] : дис. ... д-ра. тех. наук / Л. А. Тимофеева. – Киев, 1993. – 229 с.
12. Чичинадзе, А. В. Расчет, испытание и подбор фрикционных пар [Текст] / А. В. Чичинадзе, А. Г. Гинзбург, Э. Д. Браун, З. В. Игнатова. – М.: Наука, 1979. – 216 с.
13. Ворошкин, Л. Р. Применение корреляционного и регрессивного анализов в ХТО [Текст] / Л. Р. Ворошкин // Защитные покрытия на металлах. – 1977. – Вып. 11. – С. 12–14.
14. Andersen, H. H. The stopping and ranges of ions in matter [Text] / H. H. Andersen, J. F. Ziegler. – New York, 1977. – 317 p.
15. Wilde, V. E. Corrosion [Text] / V. E. Wilde, C. D. Kim, E. H. Phelps. – 1980. – V. 36. – P. 625.
16. Тимофеев, С. С. Влияние технологических параметров алюмохромосфатирования на эксплуатационные свойства деталей цилиндропоршневой группы дизелей [Текст] / С. С. Тимофеев, И. И. Федченко, В. Н. Остапчук // Зб. наук. праць НТУ «ХПИ» Резание и инструмент в технологических системах. – 2007. – № 72. – С. 155–159.

ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

У роботі був досліджений один з методів поверхневого зміцнення залізвуглецевих сплавів, а саме хіміко-термічна обробка з використанням насичуючого середовища перегрітої пари водного розчину солей, що складається з сірки, молібдену, кисню та фосфору. Застосування даної технології дає можливість підвищити експлуатаційні властивості деталей і вузлів машин і механізмів, працюючих в умовах тертя.

Ключові слова: залізвуглецеві сплави, зміцнення, хіміко-термічна обробка, парогазове насичуюче середовище.

Тимофеева Лариса Андреевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

Тимофеев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

Демин Андрей Юрьевич, аспирант, кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина, e-mail: a.domin@mail.ru.

Ягодинский Евгений Сергеевич, аспирант, кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

Тимофеева Лариса Андреевна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри матеріалів і технологій виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, Україна.

Тимофеев Сергій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра матеріалів і технологій виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, Україна.

Демин Андрій Юрійович, аспірант, кафедра матеріалів і технологій виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, Україна.

Ягодинський Євген Сергійович, аспірант, кафедра матеріалів і технологій виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, Україна.

Timofeyeva Larisa, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ukraine, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

Timofeyev Sergey, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ukraine, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

Dyomin Andrey, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ukraine, e-mail: a.domin@mail.ru.

Yagodinskiy Yevgeniy, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ukraine, e-mail: fedcirina@yandex.ru.

УДК 675.026

**Козарь О. П.,
Мокроусова О. Р.,
Ліщук В. І.,
Кошовал В. П.**

РОЗКРІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ, НАПОВНЕНИХ МІНЕРАЛАМИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Рациональное використання шкір при проектуванні взуття в значній мірі визначається її розкрийними властивостями. Шкіри з мінеральним наповненням проходять додаткове формування структури дерми та ущільнення макропористої структури шкіри.

Стаття присвячена встановленню характеру розподілу мінерального наповнювача у топографічних ділянках шкіри, зміни їх товщини, розподілу видовжень по площі шкіри та оцінюванні розкрийних властивостей для деталей верху взуття.

Ключові слова: шкіра, топографічні ділянки, природні мінерали, монтморилоніт, цеоліт, видовження, розкрийні властивості.

1. Вступ

На сьогоднішній день велика кількість різних міжнародних виробників взуття постійно намагаються вдосконалити свої технологічні процеси для виготовлення якісної продукції. Жорстка конкуренція ринкових

відносин потребує від виробників взуття покращувати свої технології, щоб зайняти та утримувати свою нішу у даній галузі промисловості.

Зниження витрат шкіряних взуттєвих матеріалів може бути досягнуто шляхом покращення їх використання за площею і цільовому призначенню. Рациональне