

реабилитационного прогноза, реабилитационного потенциала, формирования индивидуальной программы реабилитации инвалидизированного лица.

#### Список литературы

1. Пузин С.Н. Проблемы формирования первичной инвалидности взрослого населения в российской федерации // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. – 2007. – № 2. – С. 1–6.
2. Концепция совершенствования государственной системы медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов (одобрена Правительством РФ 20 ноября 2010 г.).
3. Михайлов И.В., Халилов М.А., Курочкина О.А., Ярош Т.Г., Снимщикова А.Д. Анализ структуры заболеваний с временной утратой трудоспособности лиц, проживающих в условиях напряженного магнитного поля, формируемого Курской магнитной аномалией // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание). 2014. – № 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4934.pdf> (дата обращения 15.10.2014).
4. Михайлов И.В., Халилов М.А., Курочкина О.А., Ярош Т.Г., Снимщикова А.Д. Причины и структура первичного выхода на инвалидность лиц, проживающих в условиях напряженного магнитного поля // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание). 2014. – № 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4935.pdf> (дата обращения 15.10.2014).
5. Кириченко Ю.Н., Разиньков Д.В. К вопросу сохранения здоровья населения Курской области в XXI веке // Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье. 2013. №3. С. 71–77
6. Кириченко Ю.Н., Разиньков Д.В., Иванова С.И. Онкозаболеваемость и первичная инвалидность среди взрослого населения Курской области // Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье. – 2014. – № 1. – С. 105–109.
7. Михайлова Е.Н., Михайлов И.В., Разиньков Д.В., Халилов М.А. Медико-социальная экспертиза: современные аспекты правового регулирования // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание). 2014. – № 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4924.pdf> (дата обращения 15.10.2014).
8. Михайлов И.В. Закономерности обучения сложным целенаправленным движениям в зависимости от устойчивых свойств личности, сенсорной и моторной асимметрии: дисс. канд. мед. наук. – Курск, 2011. – С. 182–198.
9. Халилов М.А., Михайлов И.В., Улаева Е.А. Исследование тактильной чувствительности человека // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2013. – № 6. – С. 271–274.
10. Михайлов И.В., Евсеев В.С., Халилов М.А., Улаева Е.А., Евсеев М.В. Исследование вкусовой чувствительности человека // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2014. – № 3. – С. 236–239.

#### Технические науки

### ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ NI-P ПОКРЫТИЙ

Щербаков И.Н., Томазова Н.А., Иванов В.В.

*Южно-Российский государственный  
политехнический университет (Новочеркасский  
политехнический институт) им. М.И. Платова,  
e-mail: alivanov11@mail.ru*

Комплексная синергическая модель «концентрационной волны», описывающая трибологические свойства Р (в частности, скорость линейного износа  $I_{\text{л}}$  и коэффициент трения  $f$ ) поверхности однородных композиционных покрытий (КП), основана на одновременном учете параметра наноструктурности  $k_{\text{н}}$  и параметра  $k_{\text{r,s}}$ , характеризующего квазифрактальный характер конфигурации межфазных границ, следующим образом:

$$P = \alpha P_{\text{тв}} + (1 - \alpha) P_{\text{см}} + \delta_{\text{р}} (P_{\text{тв}} - P_{\text{см}}),$$

где  $\delta_{\text{р}} = 2(1 - \alpha) \alpha^2 [1 + k_{\text{н}} + \alpha k_{\text{r,s}}]$ ,  $\alpha$  – относительная объемная концентрация фаз твердой компоненты КП в двухкомпонентном приближении [1]. Значения регулировочных параметров модели обусловлены определенными концентрационными долями фаз твердой компоненты КП, которые по соответствующим причинам проявляют при трении свойства смазочных материалов. Соотношение этих параметров ( $k_{\text{н}} / \alpha k_{\text{r,s}}$ ) может принимать значения порядка  $10^{-1}$  и зависит от фазового состава КП, концентраций и индивидуальных характеристик фаз твердых и смазочных материалов.

В случае использования меди и медьсодержащих сплавов в качестве компоненты КП на-

блюдается явление избирательного переноса, сопровождающееся существенным улучшением трибологических характеристик покрытий [2]. Проанализируем возможные варианты учета этого явления в рамках модели «концентрационной волны».

Параметр наноструктурности  $k_{\text{н}}$  в модели «концентрационной волны» рассматривался как регулировочный параметр, который был необходим для согласования расчетных и экспериментальных данных [3]. Учет этого модельного параметра при  $k_{\text{н}} \neq 0$  объясняет эффект синергизма и уточняет расчетные значения трибологических характеристик КП. Экспериментально установлено [3–5], что для КП разного фазового состава параметр  $k_{\text{н}}$  может принимать значения в интервале от 0,03 до 0,08 и характеризует объемную долю наночастиц (или микрочастиц) фаз твердых компонент КП и контр-тела со специфической формой, которые могут находиться в зоне трибоконтакта. Учет конфигурации межфазных границ в виде параметра  $k_{\text{r,s}}$ , характеризующего их поверхность, позволяет считать твердые фазы, находящиеся в приграничной зоне, как условный смазочный материал. Формально эффект синергизма в виде  $\delta = 2(1 - \alpha) \alpha^2 (1 + \alpha k_{\text{r,s}})$  также позволяет уточнить расчетные значения трибологических характеристик КП [1].

По совокупности трибологических свойств медьсодержащие фазы проявляют себя как «промежуточные» между фазами твердой и смазочной компоненты КП. Действительно, в соответствии с явлением избирательного переноса медь распределяется по поверхности покрытия и контртела, практически не подвергаясь значительному уносу из зоны трения. Процесс «накопления» ее при этом в поверхностных слоях материалов,

находящихся в трибоконтакте, происходит преимущественно на микродефектах (в основном на межфазных границах) и может быть конкурирующим с процессами накопления там же фаз смазочной компоненты КП. С другой стороны, противодействие износу поверхности КП ставит медь и медьсодержащие фазы в один ряд с фазами твердой компоненты покрытий.

В рамках синергической модели «концентрационной волны» можно рассматривать два варианта представления свойства КП [6, 7].

1. *Вариант представления в двухкомпонентном (твердая + смазочная) приближении:*

$$P = \alpha \langle P_{\text{тв}} \rangle + (1 - \alpha) \langle P_{\text{см}} \rangle \pm \delta_p (\langle P_{\text{тв}} \rangle - \langle P_{\text{см}} \rangle),$$

где относительный синергический эффект  $\delta_p = 2(1 - \alpha) \alpha^2 [1 + k_n + 2 \alpha k_{r,s}]$ , в котором член  $2\alpha k_{r,s}$  учитывает присутствие меди на обеих смежных поверхностях вследствие избирательного переноса, величина  $(1 - \alpha) = (\alpha_{\text{см}} + \alpha_{\text{Cu}})$ , параметр  $k_n$  [0,03...0,08] характеризует усредненную объемную долю нано и микрочастиц фаз твердых компонент КП и КТ со специфической формой в зоне трения, возможная поверхностная доля межфазных границ  $k_{r,s}$  [0,05...0,10] [1],  $\langle P_{\text{тв}} \rangle = (\alpha P_{\text{тв}} + \alpha_{\text{Cu}} P_{\text{Cu}}) / (\alpha + \alpha_{\text{Cu}})$ ,  $\langle P_{\text{см}} \rangle = (\alpha_{\text{см}} P_{\text{см}} + \alpha_{\text{Cu}} P_{\text{Cu}}) / (\alpha_{\text{см}} + \alpha_{\text{Cu}})$ .

2. *Вариант представления в трехкомпонентном (твердая + медьсодержащая + смазочная) приближении:*

$$P = \alpha \langle P_{\text{тв}} \rangle + \alpha'_{\text{Cu}} \langle P_{\text{Cu}} \rangle + \alpha_{\text{см}} \langle P_{\text{см}} \rangle \pm \delta_{\text{тв-см}} (\langle P_{\text{тв}} \rangle - \langle P_{\text{см}} \rangle) \pm \delta_{\text{тв-Cu}} (\langle P_{\text{тв}} \rangle - \langle P_{\text{Cu}} \rangle) \pm \delta_{\text{Cu-см}} (\langle P_{\text{Cu}} \rangle - \langle P_{\text{см}} \rangle),$$

где составляющие относительного синергического эффекта:  $\delta_{\text{тв-см}} = 2\alpha_{\text{см}} \alpha^2 [1 + k_n + \alpha k_{r,s}]$ ,  $\delta_{\text{тв-Cu}} = 2\alpha_{\text{Cu}} \alpha^2 [1 + k_n + 2\alpha k_{r,s}]$  и  $\delta_{\text{Cu-см}} = 2\alpha_{\text{см}} \alpha_{\text{Cu}}^2 [1 + k_n + 2\alpha k_{r,s}]$ ,  $(\alpha + \alpha_{\text{Cu}} + \alpha_{\text{см}}) = 1$ , а эффективное значение поверхностной концентрации меди  $\alpha'_{\text{Cu}} = 2\alpha k_{r,s} > \alpha_{\text{Cu}}$ .

По заданным значениям скоростей линейного износа в режиме сухого трения для фаз твердой компоненты Ni и Ni<sub>3</sub>P (≅ 6 мкм/ч), Ni<sub>3</sub>Cu (≅ 5 мкм/ч) и фаз смазочной компоненты Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> и Ni<sub>2</sub>P (≅ 7,5 мкм/ч), Cu и NiCu (≅ 8,5 мкм/ч) и фторопласт (≅ 38 мкм/ч) рассчитаны I<sub>л</sub> (при k ≅ 0,5, k<sub>n</sub> = 0,03...0,08, k<sub>r,s</sub> = 0,05...0,10). Соответствующий учет усредненных значений коэффициента <f> в режиме трения без жидкого смазочного материала для твердых компонентов КП Ni и Ni<sub>3</sub>P (≅ 0,30), Ni<sub>3</sub>Cu (≅ 0,25) и фаз смазочной компоненты Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> и Ni<sub>2</sub>P (≅ 0,04), Cu и NiCu (≅ 0,18) и фторопласт (≅ 0,05) рассчитаны f (тоже при k ≅ 0,5, k<sub>n</sub> = 0,03...0,08 и k<sub>r,s</sub> = 0,05...0,10) [1, 3–5].

Установлено, что расчет по обеим вариантам представления свойств покрытий дает приблизительно одинаковые результаты (при увеличении концентрационного параметра α<sub>см</sub> от 0 до 0,30 отклонение величин свойств по трехкомпонентному представлению в сторону более

низких показателей возрастает, но не превышает 2,5–3% по сравнению с аналогичными значениями, полученными по двухкомпонентному представлению). Результаты расчета скорости линейного износа и коэффициента трения для некоторых КП на основе Ni-P покрытий с модифицирующими добавками в виде меркупрала [(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>NCSSSSCN(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>]Cu и фторопласта (C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sub>n</sub> (4МД) с учетом влияния характеристик поверхности контртела (Ст45) представлены в [3]. Очевидно, что трибологические характеристики покрытий существенно зависят от концентрационного параметра и закономерно изменяются по мере изменения модельных параметров, характеризующих особенности ультрадисперсных фаз твердой компоненты и конфигурации межфазных границ на смежных поверхностях трения.

Учет состава рабочего раствора для нанесения покрытий, возможного механизма совместного осаждения никель-, фосфор- и медьсодержащих частиц, вариантов соосаждения микрочастиц фторопласта при образовании КП, а также возможных процессов химического модифицирования при трении позволил оценить вероятный качественный и количественный фазовый состав твердой и смазочной компонент и величину α<sub>см</sub> [3–5]. Полученные результаты расчета удовлетворительно согласуются с соответствующими экспериментальными данными [3–6]. На основании сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных для анализируемых КП на основе Ni-P покрытий можно утверждать, что наиболее эффективным является вариант одновременного введения двух модификаторов в растворы для никелирования стальных деталей узлов трения. Эффективность действия этих модификаторов может быть обусловлена, по-видимому, двумя явлениями: 1) «накоплением» фаз смазочной компоненты на поверхности покрытия, которое находится в фазово-разупорядоченном состоянии, и 2) избирательным переносом меди на смежную поверхность трения для медьсодержащих фаз покрытия.

Возможно также, что для этих явлений реализуется своеобразный вторичный синергизм, приводящий к независимому друг от друга влиянию на трибологические свойства КП. На это указывают результаты расчета по трехкомпонентному представлению свойства покрытия, в соответствии с которыми влияние смазочной компоненты и избирательного переноса превышает приблизительно на 2–3% их же влияние, ожидаемое по аддитивной двухкомпонентной схеме.

Таким образом, проанализировано возможное влияние модифицирующих добавок в виде ультрадисперсного порошка меркупрала и политетрафторэтилена 4МД в раствор химического никелирования на трибологические свойства композиционных Ni-P покрытий на стальных деталях узлов трения. С использованием синергической модели «концентрационной волны»,

учитывающей особенности ультрадисперсных фаз твердой компоненты и конфигурации межфазных границ в покрытиях, установлено существенное снижение коэффициента трения и скорости линейного износа при одновременном введении указанных модифицирующих добавок по сравнению с вариантами введения только политетрафторэтилена или меркупрала. Эффективность использования этих модификаторов обусловлена, по-видимому, явлением «накопления» фаз смазочной компоненты на поверхности покрытия, которое находится в фазоворазупорядоченном состоянии, и явлением избирательного переноса на смежную поверхность трения для медьсодержащих фаз покрытия. Возможно, что для этих явлений реализуется своеобразный вторичный синергизм, приводящий к независимому друг от друга влиянию на трибологические свойства КП, превышающему влияние, ожидаемое по аддитивной схеме.

*«Компьютерное моделирование в науке и технике»,  
Доминиканская Республика, 17–27 декабря 2014 г.*

#### **Физико-математические науки**

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМ МЕТОДА ФОРДИАСИМПТ НА ПРИМЕРЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ**

Гольяпин В.В.

*ФГБУН «Институт математики им С.Л. Соболева  
Сибирского отделения Российской академии наук»,  
Омск, e-mail: golyapin@mail.ru*

На сегодняшний день артериальная гипертензия является одной из наиболее значимых меди-

#### **Список литературы**

1. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование антифрикционных свойств композиционных покрытий с учетом вероятных конфигураций межфазных границ // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3.
2. Кутков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
3. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. – 112 с.
4. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. Синергический эффект в композиционных материалах при трении и износе // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 3. – С. 46–49.
5. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М., Логинов В.Т. Анализ синергического эффекта в композиционных Ni-P-покрытиях на стали // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 4. – С. 42–44.
6. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/CM2 // International journal of experimental education, 2014. – № 4. – Part 2. – P. 58–59.
7. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/LL, /CM2 // International journal of experimental education, 2014. – № 4. – Part 2. – P. 59–60.

ко-социальных проблем Российской Федерации. Артериальная гипертензия – синдром повышенного артериального давления. Гипертоническая болезнь – это хронически протекающее заболевание, основным проявлением которого является артериальная гипертензия, не связанная с наличием патологических процессов. В табл. 1 представлена классификация уровней артериального давления (АД), включающей в себя значения систолического артериального давления (САД) и диастолического артериального давления (ДАД) при артериальной гипертензии и относительной нормы [1–2].

**Таблица 1**

Классификация уровней артериального давления

Категории артериального давления		
Оптимальное	< 120	< 80
Нормальное	120–129	< 84
Высокое нормальное	130–139	85–89
Артериальная гипертензия первой степени	140–159	90–99
Артериальная гипертензия второй степени	160–179	100–109
Артериальная гипертензия третьей степени	> 180	> 110
Изолированная систолическая артериальная гипертензия	> 140	< 90

Кровь в организме человека оказывает на стенки кровеносных сосудов давление. Движение крови осуществляется под влиянием разности давлений между различными отделами сосудистого русла, создаваемого сердцем. Давление в артериях в момент, когда сердце сжимается и выталкивает кровь в артерии, определяет систолическое артериальное давление, оно зависит от силы сокращения сердца. Давление в артериях в момент расслабления сердечной мышцы определяет диастолическое артериальное давление. В качестве исходных показателей

научного исследования используются альтернативные показатели, вторично характеризующие состояние артериальной гипертензии: приступы стенокардии, одышка, перебои в работе сердца (ПРС), головокружения и (или) обмороки (ГО), головные боли (ГБ), нарушения сна (НС), шум в ушах и (или) в голове (ШУГ). Данные показатели измерялись у лиц преклонного возраста с различной степенью артериальной гипертензии. Объем выборки составил 96 человек.

Построение алгоритма метода и его апробация на выше перечисленных показателях