



---

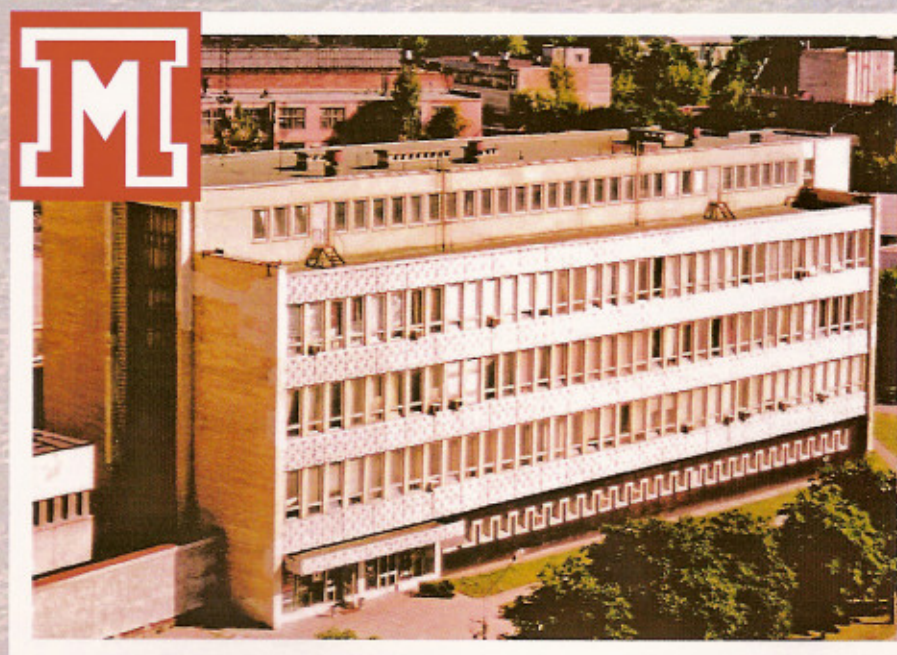
# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ:

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ,  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СВАРКА

---

*Материалы 10-й Международной  
научно-технической конференции  
(Минск, 12–14 сентября 2012 г.)*

**Посвящена 40-летию создания  
Института порошковой металлургии**



УДК [621.762 + 621.791/.795](082)

ББК 34.39я43

Н76

**Редакционная коллегия:**

руководитель аппарата НАН Беларуси, академик НАН Беларуси, доктор технических наук,  
профессор П. А. Витязь (главный редактор),

генеральный директор ГНПО порошковой металлургии, член-корреспондент НАН Беларуси,  
доктор технических наук, профессор А. Ф. Ильющенко (зам. главного редактора),  
директор ОХП «Институт сварки и защитных покрытий», кандидат физико-математических наук  
М. А. Андреев,

заведующий кафедрой БГАТУ, доктор технических наук, профессор В. М. Капцевич,  
первый заместитель директора Института порошковой металлургии, кандидат технических наук,  
доцент В. В. Савич,

директор ОХП НИИ ИП с ОП, доктор технических наук Л. В. Судник,

главный научный сотрудник ОХП НИИ ИП с ОП, доктор технических наук В. Г. Смирнов,  
заместитель академика-секретаря ОФТН НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор  
М. Л. Хейфец

**Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные**  
Н76 материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 10-й Междунар. науч.-техн.  
конф. (Минск, 12–14 сент. 2012 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.:  
П. А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 325 с.

ISBN 978-985-08-1467-8

В настоящий сборник включены материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» (Минск, 12–14 сентября 2012 г.). Тематика конференции: «Порошковые материалы на металлической основе. Композиционные порошковые материалы: триботехнические, электротехнические, пористые и специальные. Технологии и моделирование процессов их получения и применения», «Наноматериалы и нанотехнологии. Сверхтвердые и керамические материалы», «Инженерия поверхности. Защитные покрытия: материалы, технология и оборудование для нанесения», «Новые технологии и оборудование сварочного производства. Соединение и деструкция материалов. Нетрадиционные металлургические технологии».

Предназначен для научных и инженерно-технических сотрудников, работающих в области порошковой металлургии и материаловедения, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

УДК [621.762 + 621.791/.795](082)

ББК 34.39я43

ISBN 978-985-08-1467-8

© ГНУ «Институт порошковой металлургии», 2012  
© Оформление. РУП «Издательский дом  
«Беларуская навука», 2012

## Международный программный комитет

Акименко В.	Директор ИПМ ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина, Москва, Россия
Анциферов В.	Научный руководитель НЦ ПМ ГОУ ВПО ПГТУ, Пермь, Россия
Витязь П.	Руководитель аппарата НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Довыденков В.	Генеральный директор ООО «Наномет», Йошкар-Ола, Россия
Дорофеев Ю.	Заведующий кафедрой МиТМ ЮРГТУ, Новочеркасск, Россия
Ильющенко А.	Генеральный директор ГНПО порошковой металлургии, Минск, Беларусь
Королев Ю.	Президент НТА «Порошковая металлургия», Москва, Россия
Баглюк Г.	Заместитель директора ИПМ НАН Украины им. И. Н. Францевича, Киев, Украина
Загашвили Ю.	Первый проректор БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия
Мионов В.	Профессор РТУ, Рига, Латвия
Нарва В.	Профессор МГИСИС (ТУ), Москва, Россия
Орлович В.	Председатель Научного совета – директор исполнительной дирекции БРФФИ, Минск, Беларусь
Роман О.	Академик НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Скорород В.	Директор ИПМ НАН Украины им. И. Н. Францевича, Киев, Украина

## Национальный организационный комитет

Витязь П. А. (председатель)  
Ильющенко А. Ф. (заместитель председателя)  
Яркович А. М. (ученый секретарь)

Андреев М. А.	Директор ОХП НИКТИ СП, Минск
Астапчик С. А.	Заведующий отделом ФТИ НАН Беларуси, Минск
Гордиенко А. И.	Директор ФТИ НАН Беларуси, Минск
Капцевич В. М.	Заведующий кафедрой БГАТУ, Минск
Клубович В. В.	Главный научный сотрудник ИТА НАН Беларуси, Витебск
Кулак А. И.	Заместитель директора ИОНХ НАН Беларуси, Минск
Кундас С. П.	Ректор МГЭУ им. А. Д. Сахарова, Минск
Кухарев А. В.	Заместитель директора ГНУ ИПМ, Минск
Марукович Е. И.	Директор ИТМ НАН Беларуси, Могилев
Мышкин Н. К.	Директор ИММС НАН Беларуси им. В. А. Белого, Гомель
Пантелеенко Ф. И.	Первый проректор БНТУ, Минск
Петюшик Е. Е.	Заместитель генерального директора ГНПО ПМ, Минск
Реут О. П.	Директор ИПК и ПК БНТУ, Минск
Романюк Ф. А.	Проректор БНТУ, Минск
Савич В. В.	Первый заместитель директора ГНУ ИПМ, Минск
Свириденко А. И.	Заведующий лабораторией ГНУ НИЦ ПР, Гродно
Федосюк В. М.	Директор НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1. Порошковые материалы на металлической основе. Композиционные порошковые материалы: триботехнические, электротехнические, пористые и специальные. Технологии и моделирование процессов их получения и применения</b>	<b>10</b>
<i>Роман О. В., Витязь П. А., Ильющенко А. Ф.</i> Институту порошковой металлургии – 40 лет. Основные этапы становления и перспективы развития	11
<i>Linins O., Krizbergs J., Boiko I.</i> Determination of tribological characteristics using surface texture parameters	19
<i>Александров В. М., Шелег В. К., Лобачев В. А.</i> Исследование консолидации компактно-пористых материалов в процессе импульсного нагружения	21
<i>Архипов И. В., Шалунов Е. П.</i> Жаропрочные материалы на основе порошкового алюминиевого сплава с низким температурным коэффициентом линейного расширения	22
<i>Баглюк Г. А., Куровский В. Я.</i> Порошковые брикетированные модификаторы для внутрiformенной обработки расплавов высокопрочных чугунов	25
<i>Баглюк Г. А., Сосновский Л. А., Власова О. В.</i> Структура и свойства спеченных сталей с добавками силицида марганца	27
<i>Биран В. В., Сенатрев А. Н., Кушунина Н. А., Сергиенко В. П., Ахметов Т. А.</i> Разработка и исследование металлополимерных композитов триботехнического назначения	30
<i>Бобровский В. В., Яснов В. В., Коледа В. В., Юркевич С. Н.</i> Получение порошка титана, плакированного никелем, для газодинамического напыления	32
<i>Богинский Л. С., Реут О. П.</i> Развитие сухого изостатического прессования уплотняемых материалов	33
<i>Бойправ О. В., Неамах М. Р., Прудник А. М., Борботько Т. В.</i> Технология получения экранов электромагнитного излучения композиционного типа на основе шлама очистки ваграночных газов и бетона	34
<i>Голякова И. Г., Горохов В. М., Тарусов И. Н.</i> Опыт применения печи с шагающим подом WBSX-40-125/E для упрочнения порошковых низколегированных сталей в потоке холодного эндогаза	36
<i>Горанский Г. Г.</i> Влияние пластической деформации аморфизирующихся сплавов на основе железа на уровень их термодинамической стабильности	37
<i>Горохов В. М., Тарусов И. Н.</i> Порошковые композиционные материалы на основе вольфрама для применения в качестве электрических контактов и радиационно-защитных деталей	39
<i>Горохов В. М., Тарусов И. Н.</i> Порошковые композиционные материалы на основе алюминия с повышенными физико-механическими свойствами	41
<i>Григорьева Т. Ф., Дьячкова Л. Н., Восмериков С. В., Ковалева С. А., Ляхов Н. З.</i> Механохимическое получение композитов на основе вольфрама с низким содержанием железа и никеля	42
<i>Довыденков В. А., Зверева О. С.</i> Новые возможности формования порошковых изделий с применением высоконаполненных композиций из порошков металлов, их оксидов и связующего	45
<i>Дорофеев В. Ю., Кочкарова Х. С.</i> Влияние термической и термомеханической обработки на структуру и свойства горячедеформированных порошковых сталей, микролегированных натрием и кальцием	46
<i>Дорофеев Ю. Г., Бессарабов Е. Н., Ганшин А. В.</i> Оптимизация технологических параметров производства биметаллических горячештампованных порошковых изделий	50
<i>Дьячкова Л. Н., Витязь П. А., Воронецкая Л. Я.</i> Псевдосплавы сталь – медный сплав антифрикционного назначения	52
<i>Евтухов К. С., Петюшик Е. Е., Побережный С. В.</i> Влияние конструктивных особенностей порошковых деталей на алгоритм проектирования деформирующего инструмента	54
<i>Евтухова Т. Е., Романенков В. Е., Петюшик Е. Е., Афанасьева Н. А.</i> Пористый композиционный материал $Al/Al(OH)_3$ с углеродными волокнами	56
<i>Ильющенко А. Ф., Капцевич В. М., Якимович Н. Н., Кусин Р. А., Черняк И. Н., Ручай Н. С., Лембович А. И.</i> Композиционный фильтрующий материал и модуль на его основе для непрерывного сбрызгивания сула в производстве этанола	58

# DETERMINATION OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS USING SURFACE TEXTURE PARAMETERS

**O. Linins, J. Krizbergs, I. Boiko**

*Riga Technical University, Riga, Latvia,  
ph.: (+3712) 603-71-58, fax: (+3716) 708-97-39, e-mail: irinaboyko@inbox.lv*

The present methodology of lifetime prediction of details is based on approach for linear wear intensity determination using 2D roughness parameters. But in practical applications machine parts surface roughness behaves as a 3D object. Therefore it is necessary to create a new theoretical and practical basis for machine parts surface assessment as a 3D quantity [1, 2]. Recently a draft standard [ISO 25178-2] developed by the ISO Technical Committee proposes the definition of areal parameters as an extension of the well-known profile parameters.

However, only a few studies try to link the surface roughness with functional requirements [3-5]. The aim of this work is to propose a methodology of lifetime prediction of details by new approach for linear wear intensity determination using 3D surface roughness (texture) parameters. For qualitative evaluation of the wear process the linear wear intensity ( $l_h$ ), which may be determined separately for the plastic and elastic contact, is commonly used. Since the elastic contact is mainly required in pairs of details in mechanical engineering in these paper this kind of contact was examined.

In our research, the random surface model was used. The surface machined with abrasive instruments (grinding, polishing, honing, etc.) has the irregular shape of surface roughness, which can be described with random function. Irregular surface is expressed by a random field  $h(x, y)$  of two variables  $x$  and  $y$  which are Cartesian coordinates of a surfaces point, where the height of roughness asperity  $h(x, y)$  has a normal probability distribution.

In wear research the probability theory was used. Further in deformed volume calculation, as well as in determination of the length of the surface's contact the 3D surface roughness parameters we used. The strong correlation between 3D roughness parameters  $Sa$  (average absolute deviation of the surface) and  $Str = Rsm_1/Rsm_2$  (texture aspect ratio of the surface) was revealed.

As a result of research, the methodology of lifetime prediction of details by new approach for linear wear intensity determination using 3D surface roughness parameters was elaborated and proposed. The formula which is on the base of elaborated methodology is the following:

$$E(l_h) = \frac{1}{A_s} \cdot \frac{E\{Vm(mr)\} \cdot E\{Spd\}}{E\{n\} \cdot E\{Smr(c)\}} \quad (1)$$

where  $E$  – mathematical expectation;  $A_s$  – nominal area of contact;  $Vm(mr)$  – deformed material volume of the detail;  $n$  – number of loads until material will be damaged;  $Spd$  – peak density;  $Smr(c)$  – surface bearing area ratio.

After some simplifications we obtain following formula for engineering calculation:

$$l_h = k_f \left( \frac{Sa \cdot Str \cdot f}{Rsm_1 \cdot \sigma_0} \right)^t \Theta^{1-t} q \frac{A_c}{A_s} \quad (2)$$

where  $A_c$  – contour area of contact;  $\sigma_0$ ,  $t$  – material fatigue strength parameters;  $f$  – friction coefficient;  $k_f$  – coefficient

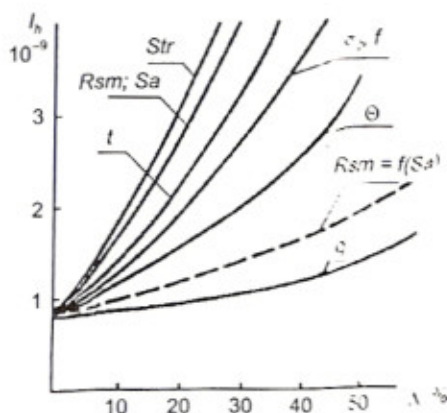
depending on  $Str$  and  $t$ ;  $q$  – load;  $\mu$  – Poisson coefficient,  $E$  – Young's modulus and  $\Theta = \frac{1-\mu^2}{E}$  – elastic constant of a material.

Analysis of (Eq. 2) shows, that more influential on wear intensity are the surface roughness parameters. But since the strong correlation between 3D roughness parameters  $Sa$  (arithmetic mean height) and  $Str = Rsm_1/Rsm_2$  (texture aspect ratio of the surface) was revealed in [6], for example  $Rsm = 35 \cdot e^{2a}$ ,  $0,1 < Sa < 2,5$ , this influence practically decrease and more important role play mechanical properties of surface material (Figure).

Correlation between friction coefficient and surface roughness parameters exist as well. Friction coefficient according to [6] can be found for one asperity as follows:

$$f = \frac{T}{N} = \frac{2A_1 \cdot \sigma_t}{A_2 \cdot \sigma_N} \quad (3)$$

where:  $T$  – tangential load;  $N$  – normal load;  $A_1$  – cross-sectional area of surface asperity;  $A_2$  – longitudinal section area of surface asperity;  $\sigma_t$  – tangential stress;  $\sigma_N$  – normal stress.



Influence of parameter change ( $\Delta\%$ ) on the wear intensity  $l_h$  for the elastic contact

Taking into account that  $Sq = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot Sa$ , we have combined formulas characterized the (Eq. 3) and obtained the following expression for friction coefficient:

$$f = \frac{\left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\gamma^2}{2}} - \gamma [1 - \Phi(\gamma)] \right\} \cdot \pi \cdot (1 + Str^2)}{k_n \cdot [1 - \Phi(\gamma)]} \cdot \frac{Sa}{Rsm_1} \quad (4)$$

Eq. 4 shows, that the decreasing of arithmetic mean height  $Sa$  or increasing of  $Rsm_1$ , which leads to more flat asperities, i. e. smoother surface, at the same time leads to decreasing of the friction coefficient  $f$ . It is known, that decreasing of friction coefficient decreases the wear intensity and increases the lifetime of details respectively (Figure).

After calculation of linear wear intensity  $I_h$ , it is possible to estimate lifetime of wearing details. We propose to use the following methodology:

1. It is necessary to define the 3D surface roughness parameters and mechanical properties of surface materials of friction details.
2. Then the wear and fatigue characteristics have to be defined.
3. It is necessary to establish design characteristics of friction surfaces.
4. After analyzing of exploitation conditions of details the maximal allowable value of linear wear  $h_{max}$  should be defined.
5. Then the linear wear intensity  $I_h$  should be calculated using (Eq. 2) and taking into account correlation between 3D roughness parameters  $Sa$  and  $Str = Rsm_1/Rsm_2$  as well as correlation between friction coefficient and surface roughness parameters (Eq. 4).

6. After calculating of linear wear intensity  $I_h$ , it is possible to estimate the wear path  $L$ .

7. Knowing the wear path  $L$  for each specific friction pair with constant moving speed  $V$  the lifetime of wearing details  $T_l$  can be calculated.

It is obvious that in proposed methodology only standard surface roughness parameters as well as physical and mechanical properties of surface materials are used. Together with 3D roughness parameters applying this aspect is build up main advantages of proposed methodology. The results of this work have wide practical application, for example in design, texture specification on drawings etc.

The example of calculation according to proposed methodology is offered below. Goal of calculation is the lifetime prediction for face surface of a pin and disk (material – steel C45, «steel on steel») in the case of elastic contact:

1. Parameters of microgeometry of a finger surface:  $Sa = 0.5 \mu\text{m}$ ,  $Rsm_1 = 0.15 \text{ mm}$ ,  $Str = 0.25$ . Physical and mechanical properties of a finger material are the following:  $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\mu = 0.27$ , thus:  $\Theta = \frac{1 - \mu^2}{E} = \frac{1 - 0.27^2}{2.1 \cdot 10^5} = 0.44 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ .

2. Wear and fatigue characteristics of friction surfaces:  $\sigma_0 = 1050 \text{ MPa}$ ,  $t = 8$ ,  $f = 0.05$ .

3. Design characteristics of friction surfaces: rated pressure  $q = 1.3 \text{ MPa}$ ,  $Ac \approx 0.1 Aa$ ,  $V = 0.15 \text{ m/min}$ .

4. Maximal allowable value of linear wear:  $h_{max} = 0.10 \text{ mm}$ .

5. Linear intensity of wear:

$$I_h = k_f \left( \frac{Sa \cdot Str \cdot f}{Rsm_1 \cdot \sigma_0} \right)^t \Theta^{-t} q \frac{A_c}{A_s} = 141 \cdot 10^{13} \cdot \left( \frac{0.5 \cdot 0.25 \cdot 0.05}{150 \cdot 1050} \right)^8 \cdot (0.44 \cdot 10^{-5})^{-7} \cdot 1.3 \cdot 0.1 = 1.35 \cdot 10^{-10}$$

6. Wear path:  $L = \frac{h_{max}}{I_h} = \frac{0.10}{1.35 \cdot 10^{-10}} = 7 \cdot 10^8 \text{ mm}$ .

7. Lifetime of wearing details:  $T_l = \frac{L}{V} = \frac{7 \cdot 10^8}{0.15} = 4660000 \text{ min} \approx 20 \text{ years}$ .

This work has been supported by the Latvian Council of Science within the Project Nr. 10.009 «Elaboration of technology for obtaining of the multicomponent nanostructured protective coatings for the industrial products»

## References

1. Rudzitis, J. Surface roughness analyses of air compressor cylinders / J. Rudzitis, G. Konrads // RTU Scientific proceeding: 2007. – Vol. 6. – P. 54–58.
2. Enamel wear and surface roughness characterization using 3D profilometry / E. B. Las Casas [et al.] // Tribol International. – 2008. – Vol. 41. – P. 1232–1236.
3. Quinsata, Y. Characterization of 3D surface topography in 5-axis milling / Y. Quinsata, S. Lavernhea, C. Lartigues // We: 2011. – Vol. 271. – P. 590–595.