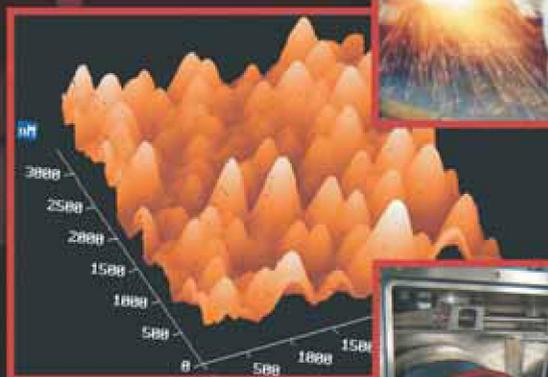


# УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ

МЕХАНИЧЕСКАЯ  
УПРОЧНЯЮЩАЯ  
ОБРАБОТКА



ТЕРМИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА



МЕТОДЫ  
НАНЕСЕНИЯ  
ПОКРЫТИЙ



КОМБИНИРОВАННАЯ  
ОБРАБОТКА

ПЕРСПЕКТИВНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ



КОНТРОЛЬ  
КАЧЕСТВА  
УПРОЧНЕНИЯ



Том 22  
1 (253) / 2026

# УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ

Том 22  
2026  
№ 1 (253)  
январь

Издается с января 2005 г.

**Главный редактор**  
д.т.н., проф.  
Ю.В. ПАНФИЛОВ

**Председатель редакционного  
совета**

д.т.н., проф., заслуженный  
деятель науки и техники РФ  
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ

**Заместитель главного редактора**

д.ф.-м.н., проф.  
В.Ю. ФОМИНСКИЙ

**Заместители председателя  
редакционного совета:**

д.т.н., проф. В.Ю. БЛЮМЕНШТЕЙН  
д.т.н., проф. А.В. КИРИЧЕК  
д.т.н., проф. О.В. ЧУДИНА

**Редакционный совет:**

Ю.П. АНКУДИМОВ, к.т.н., доц.

В.П. БАЛКОВ, к.т.н.

В.М. БАШКОВ, к.т.н., доц.

И.С. БЕЛАШОВА, д.т.н., проф.

А.И. БЕЛИКОВ, к.т.н., доц.

А.И. БОЛДЫРЕВ, д.т.н., проф.

С.Н. ГРИГОРЬЕВ, д.т.н., проф.

В.Е. ГРОМОВ, д.ф.-м.н., проф.

Н.К. КРИОНИ, д.т.н., проф.

В.П. КУЗНЕЦОВ, д.т.н., проф.

В.А. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., проф.

В.А. ЛЕВЧЕНКО, д.ф.-м.н., проф.

В.В. ЛЮБИМОВ, д.т.н., проф.

Е.Д. МАКАРЕНКО

Б.Я. МОКРИЦКИЙ, д.т.н., проф.

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, д.т.н., проф.

Б.П. САУШКИН, д.т.н., проф.

В.В. СЛЕПЦОВ, д.т.н., проф.

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, д.т.н., проф.

А.М. СМЫСЛОВ, д.т.н., проф.

Г.А. СУХОЧЕВ, д.т.н., проф.

В.П. ТАБАКОВ, д.т.н., проф.

В.А. ШУЛОВ, д.ф.-м.н., проф.

М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

Ян СУХАНЭК

Мариан СЧЕРЕК

Войтек ХОМИК

Ву ЦЗЯНЬБО, д.т.н., проф.

**Редакция:**

А.В. ОРЛОВА

Е.Д. МАКАРЕНКО

Журнал распространяется по подписке,  
которую можно оформить в любом  
почтовом отделении (индекс  
по каталогу "Пресса России" 39269)  
или в издательстве.  
Тел.: (499) 269-52-98,  
268-47-19.  
E-mail: realiz@mashin.ru, utp@mashin.ru

Журнал зарегистрирован  
в Роскомнадзоре.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-63956 от 09.12.2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ УПРОЧНЕНИЯ

Герасимов А.М., Пичхидзе С.Я. Сравнение поверхностных свойств оксидов тантала, гафния, сплава титан—цирконий—ниобий ..... 3

Шаяхметов У.Ш., Батршина Г.С., Гайсина А.Ш. Технология применения специальных покрытий для получения зеркал ..... 10

### МЕХАНИЧЕСКАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА

Смыслов А.М., Кузев И.Р., Селиванов К.С., Дубин А.И. Внутренние напряжения в поверхности лопаток компрессора газотурбинных двигателей из титановых сплавов после виброобразивной обработки ..... 16

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Муравьев Д.В. Моделирование условий получения мелкогольчатого мартенсита при закалке деталей из среднеуглеродистых сталей ..... 21

### ХИМИЧЕСКАЯ, ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Бутенко В.И. Трибологические свойства модифицированных упрочненных поверхностей деталей машин ..... 29

### УПРОЧНЯЮЩИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Панфилов Ю.В., Ван Ифань. Прочностные свойства соединений, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза ..... 35

Слезко М.Ю., Овчинников В.В., Бабуев М.А. Износостойкость и адгезионная прочность тонких магнетронных покрытий системы Cu—Mo, нанесенных на титановый сплав ВТ6 ..... 38

### ИНФОРМАЦИЯ. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ

Указатель статей, опубликованных в журнале в 2025 г. .... 46

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Упрочняющие технологии и покрытия", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней по группам научных специальностей: 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки; 2.5.6 – Технологии машиностроения; 2.5.9 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды; 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов; 2.6.4 – Обработка металлов давлением; 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы; 2.6.6 – Нанотехнологии и наноматериалы; 2.6.17 – Материаловедение, в базу данных Chemical Abstracts, в Russian Science Citation Index на платформе Web of Science

# STRENGTHENING TECHNOLOGIES AND COATINGS

Vol. 22  
2026  
№ 1 (253)  
January

Since 2005, January

**Editor-in-Chief**

Dr. of Eng. Sci.  
Yu.V. PANFILOV

**Chair of Editorial Council**

Dr. of Eng. Sci., The honoured  
worker of a science and  
technics of the RF  
V.F. BEZYAZYCHNYI

**Editorial Assistant**

Dr. of Phys.-Math. Sci.  
V.Yu. FOMINSKY

**Chairman Assistants:**

Dr. of Eng. Sci. V.Yu. BLUMENSTEIN  
Dr. of Eng. Sci. A.V. KIRICHEK  
Dr. of Eng. Sci. O.V. CHUDINA

**Editorial council:**

Yu.P. ANKUDIMOV  
V.P. BALKOV  
V.M. BASHKOV  
I.S. BELASHOVA  
A.I. BELIKOV  
A.I. BOLDYREV  
S.N. GRIGORIEV  
V.E. GROMOV  
N.K. KRIONI  
V.P. KUZNETSOV  
V.A. LEBEDEV  
V.A. LEVCHENKO  
V.V. LYUBIMOV  
E.D. MAKARENKO  
B.Ya. MOKRITSKY  
F.I. PANTELEENKO  
B.P. SAUSHKIN  
V.V. SLEPTSOV  
V.P. SMOLENTSEV  
A.M. SMYSLOV  
G.A. SUKHOCHEV  
V.P. TABAKOV  
V.A. SHULOV  
M.L. KHEIFETS  
Jan SUCHANEK  
Marian SZCZEREK  
Wojciech HOMIK  
Wu JIANBO

**Edition:**

A.V. ORLOVA  
E.D. MAKARENKO

Journal is spreaded on a subscription,  
which can be issued in any post office  
(index on the catalogue "Pressa Rossii" 39269)  
or in publishing office.  
Ph.: (499) 269-52-98, 268-47-19.  
E-mail: realiz@mashin.ru, utp@mashin.ru

Journal is registered by  
Roskomnadzor. The certificate  
of registration ПИ № ФС 77-63956. 09.12.2015

## CONTENTS

### GENERAL QUESTIONS OF STRENGTHENING

**Gerasimov A.M., Pichkhidze S.Ya.** Comparison of surface properties of tantalum and hafnium oxides, titanium—zirconium—niobium alloy ..... 3

**Shayakhmetov U.Sh., Batrshina G.S., Gaysina A.Sh.** Technology of using of special coatings for obtaining of mirrors ..... 10

### MECHANICAL STRENGTHENING PROCESSING

**Smyslov A.M., Kuzeev I.R., Selivanov K.S., Dubin A.I.** Internal stresses in surface of gas turbine engine compressor blades made of titanium alloys after vibroabrasive treatment ..... 16

### THERMAL PROCESSING

**Muravyov D.V.** Simulation of conditions for obtaining of fine-needle martensite during quenching of medium-carbon steels parts ..... 21

### CHEMICAL, CHEMICO-THERMAL AND ELECTROCHEMICAL PROCESSING

**Butenko V.I.** Tribological properties of modified hardened surfaces of machine parts .. 29

### STRENGTHENING NANOTECHNOLOGY

**Panfilov Yu.V., Van Gyfan.** Strength compound properties made by selfspreading high temperature synthesis ..... 35

**Slezko M.Yu., Ovchinnikov V.V., Babuev M.A.** Wear resistance and adhesive strength of thin magnetron coatings of Cu—Mo system applied to titanium VT6 alloy ..... 38

### INFORMATION. PRODUCTION EXPERIENCE

**Index** of articles published in year 2025 ..... 46

Reprint is possible only with the reference to the journal  
"Strengthening technologies and coatings"

Journal is included in the List of the Highest Attestation Committee of Russian Federation (VAK RF) for publication of basic results of doctoral theses according to groups of science specialty: 2.5.5 – Technology and equipment of mechanical and physical-technique processing; 2.5.6 – Mechanical-engineering technology; 2.5.9 – Methods and devices for control and diagnostics of materials, products, substances and nature environment; 2.6.1 – Metal science and heat treatment of metals and alloys; 2.6.4 – Metal pressure treatment; 2.6.5 – Powder metallurgy and composite materials, 2.6.6 – Nanotechnology and nanomaterial; 2.6.17 – Materials science, Chemical Abstracts database, Russian Science Citation Index on Web of Science platform