

## ПРОЧНОСТНОЙ АСПЕКТ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

*А.В. ДУДАН*

*Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь*

*О.А. МИКОСЯНЧИК, Р.Г. МНАЦАКАНОВ, О.В. РАДЬКО*

*Национальный авиационный университет, Киев, Украина*

*Т.И. ИВЧЕНКО*

*Херсонская государственная морская академия, Херсон, Украина*

*В работе показано, что прочность поверхностных слоев материала элементов конструкций и их сопротивление разрушению в процессе эксплуатации решающе влияет на долговечность и надежность изделия в целом. Проблема прочности и разрушения приповерхностных слоев материала имеет ряд особенностей из-за физико-химических процессов, которые имеют место при взаимодействии контактирующих тел. В работе рассмотрены характерные особенности прочностного аспекта поверхностного слоя материала, которыми являются неоднородность физико-механических свойств и локальность силового взаимодействия контактирующих тел.*

Важнейшим вопросом прочности современного машиностроения, безусловно, является прочность поверхностных слоев материала элементов конструкции и их сопротивление разрушению в процессе эксплуатации. Прочность поверхностного слоя материала во многих случаях решающе влияет на долговечность и надежность не только отдельных деталей и узлов, но и изделия в целом.

Известно, что разрушение любой детали начинается с поверхности. Проблема прочности и разрушения приповерхностных слоев материала из-за физико-химических процессов, которые имеют место при взаимодействии контактирующих пар, имеет ряд особенностей.

Характерными особенностями рассмотрения прочностного аспекта поверхностного слоя материала являются неоднородность физико-механических свойств и локальность силового взаимодействия контактирующих тел. Характерная особенность такого взаимодействия — отсутствие сплошного контакта, который имеет место по отдельным площадкам

в виде малых пятен, суммарная площадь которых составляет малую часть номинальной площади, что является причиной высоких давлений в местах контакта. Учитывая большое отличие структуры и напряженного состояния поверхностного слоя металла от основного металла, из которого изготовлена деталь, представляется существенным рассмотреть более детально структуру приповерхностного слоя, начиная от поверхности до основного материала детали.

Схему поверхностного слоя можно представить четырьмя слоями:

- приповерхностная зона толщиной порядка 1—10 мм, содержащая адсорбированные из окружающей среды молекулы и атомы органических и неорганических веществ;

- вторая зона (толщиной порядка - 3 мкм), представляющая собой продукт химического взаимодействия металла с окружающей средой (чаще всего соединения с кислородом);

- третья зона (толщиной в несколько межатомных расстояний), имеющая кристаллическую и электронную структуру и отличается от основного металла;

- четвертая зона (толщиной порядка 0,01—0,1 мм) определяется микроструктурой трущихся материалов.

При обеспечении прочности поверхностного слоя важно иметь представление о структуре и взаимосвязи поверхностного слоя с физико-химическими процессами, сопутствующими реальным условиям эксплуатации. Картину такого рода взаимодействия можно представить следующим образом: в субмикроскопических масштабах механизм деформирования поверхностного слоя отличен от механизма деформирования лежащих ниже слоев, благодаря чему его фазовый и химический состав изменяется под влиянием физико-химических процессов, обусловленных технологией изготовления и условиями эксплуатации.

Поверхностный слой материала элементов конструкции всегда существенно влияет на ее прочность и долговечность. Рассмотрение структуры поверхностного слоя материала элементов конструкции позволяет проанализировать процесс его деформирования и разрушения во времени. Схему процесса деформирования и разрушения поверхностного слоя материала можно представить следующим образом:

- первый, выходящий на поверхность слой рассматривают как некоторое «третье тело», на поверхности которого имеют место механический, масштабный и поверхностные эффекты. Механический эффект можно определить тем, что из-за микроскопических очагов деформаций скорости

деформаций в поверхностных слоях чрезвычайно велики —  $103^{-10}$  е в секунду. Поэтому микрообъемы в поверхностном слое с высокими деформациями и их скоростями существенно отличаются от основы как физическим состоянием, так и микромеханизмом деформирования и разрушения. Под масштабным эффектом понимают соизмеримость масштабов приложения внешних сил с масштабами параметров неоднородности материалов. Поверхностный эффект вызван тем, что субмикроскопические очаги деформации находятся в поле действия неоднородности, обусловленной состоянием поверхности и окружающей средой, определяющими микромеханизм их деформирования. Субмикроскопический масштаб этого процесса обуславливает разрушение поверхностного слоя;

– второй слой, подповерхностный, по толщине значительно превосходит первый поверхностный и имеет микроскопические размеры. Нагруженность зависит от его механических свойств и распределения внешних нагрузок. Масштабный эффект в нем проявляется значительно меньше, а нагруженность значительно ниже, чем в первом слое. При этом изменения состояния второго слоя соизмеримы со временем эксплуатации изделия.

Следует иметь в виду, что процессы поверхностного и подповерхностного разрушения находятся в тесной взаимосвязи, а потому их нельзя рассматривать изолированно друг от друга несмотря на то, что происходят они на разных уровнях. Учитывая значительное влияние материалов на протекающий процесс, в зоне контакта, по-видимому, правильнее говорить не об свойствах материала, а об их совместимости. Разрушение подповерхностного слоя происходит в результате накопления дефектов. Процесс разрушения во времени носит ярко выраженный циклический характер, механизм разрушения — усталостный характер.

Следует заметить, что проблема разрушения в условиях упругопластического деформирования практически, не изучена, главным образом из-за отсутствия моделей, описывающих эволюцию физико-механических свойств подповерхностных слоев, обусловленную физико-химическими процессами. При разработке эффективных моделей необходимо более глубоко изучить процесс пластической деформации в поверхностном слое тел, использовать феноменологические зависимости, выраженные в термических напряжениях и деформациях, и энергетические методы, основанные на использовании термодинамических подходов, в частности на термодинамике необратимых процессов открытых систем.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОАО «НПО «ЦЕНТР  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК  
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

## **Инновационные технологии в машиностроении**

Электронный сборник материалов международной  
научно-технической конференции,  
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей  
и 15-летию научно-технологического парка  
Полоцкого государственного университета  
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)



**ИnnТехМаш**

Под редакцией  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;  
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 621(082)

*Редакционная коллегия:*

Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),  
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

***Инновационные технологии в машиностроении*** [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются [титulyные листы презентаций докладов](#) участников конференции.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

**№ госрегистрации 3141815008****ISBN 978-985-531-691-7**

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуровой*  
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

---

Подписано к использованию 23.04.2020.  
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>