

10. Марков В.А., Акимов В.С., Шумовский В.А. Анализ показателей бензинового двигателя, работающего на смеси пропана и бутана // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2010. – № 2. – С. 3-9.
11. Злотин Г.Н., Захаров Е.А., Кузьмин А.В. Регулировка бензинового ДВС при переводе его на сжиженный нефтяной газ // Двигателестроение. – 2007. – № 2. – С. 29-31.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Береснев Максим Алексеевич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: max_tr6@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634681894; кафедра электроники и мехатроники; ассистент.

Beresnev Maksim Alekseevich – Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: max_tr6@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634681894; the department of electronics and mechatronics; assistant.

УДК 669.539.57:620.22+621.793.6

В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, А.Д. Захарченко, Т.А. Рыбинская, Р.Г. Шаповалов
СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ИНЖЕНЕРИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

Рассмотрено состояние поверхностного слоя деталей в зависимости от изменения в нем внутренней энергии и установлена роль процесса накопления повреждаемости в микрообъемах материала поверхностного слоя детали на ее износостойкость и другие эксплуатационные показатели, которые могут быть использованы для разработки технологических методов повышения работоспособности изделий машиностроения. Получена формула для определения критического значения повреждаемости материала поверхностей деталей трибосистемы в зависимости от их физико-механических свойств.

Износостойкость; поверхностный слой; материал; энергия деформирования; дислокации; повреждаемость; трибосистема.

V.I. Butenko, D.S. Durov, A.D. Zakharchenko, T.A. Rybinskaya, R.G. Shapovalov
MODERN SIGHTS AT ENGINEERING OF THE BLANKET OF DETAILS

The condition of a blanket of details depending on change in it of internal energy is considered and the role of process of accumulation of damageability in micro volumes of a material of a blanket of a detail on its wear resistance and other operational indicators which can be used for working out of technological methods of increase of working capacity of products of mechanical engineering is established. The formula for definition of critical value of damageability of a material of surfaces of details tribosystem depending on their physicomachanical properties is received.

Wear resistance; blanket; material; energy of deformation; disposition; damageability; tribosystem.

От состояния поверхностного слоя детали зависят такие важнейшие ее эксплуатационные показатели, как износостойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость, контактная прочность и другие [1]. Именно поэтому применяемые в технологии машиностроении методы обработки условно делят по доминирующему управляющему воздействию на формообразующие и формирующие показатели качества детали, которые, в свою очередь, в значительной степени зависят от поверхностной энергии ΔE_n и скрытой энергии деформирования ΔE_c [2].

Считается, что приращение энергии материала поверхностного слоя ΔE_m в результате механической обработки детали определяется выражением

$$\Delta E_m = \Delta E_n + \Delta E_c. \quad (1)$$

При этом полная внутренняя энергия любого материала до механической обработки и после нее рассчитывается соответственно по формулам [3]:

$$E_o = E_r + E_{om}; \quad (2)$$

$$E = E_r + E_m, \quad (3)$$

где E_o , E – полная внутренняя энергия материала соответственно до и после механической обработки детали;

E_r – энергия Гиббса обрабатываемого материала;

E_{om} , E_m – внутренняя энергия материала, возникающая вследствие дефектности его строения (дислокации, неоднородности, разности фазового состава и т.д.), соответственно до и после механообработки.

В свою очередь, энергии E_m и E_{om} связаны выражениями

$$E_m = E_{om} + \Delta E_m; \quad (4)$$

$$E_{om} = E_{oc} + E_{on}, \quad (5)$$

где E_{oc} , E_{on} – скрытая энергия деформирования материала соответственно до и после механической обработки детали.

Подставляя в выражение (4) формулы (1) и (5), можно получить следующую зависимость для определения внутренней энергии материала поверхностного слоя детали:

$$E_m = E_{oc} + \Delta E_c + E_{on} + \Delta E_n = E_{om} + E_{nm}, \quad (6)$$

где E_{om} , E_{nm} – поверхностная энергия материала соответственно до и после механической обработки детали.

Известно [3–6], что поверхностная энергия материала определяется энергией атомов, расположенных на внешней границе поверхности, имеющих связи только с соседними и нижележащими атомами и находящиеся поэтому в неустойчивом состоянии. Благодаря этому, тонкий граничный слой, включающий в себя примерно два ряда атомов, толщиной $10^{-7} - 10^{-6}$ мм [7], обладает запасом свободной поверхностной энергии.

Согласно данным, приведенным в работах [5, 6, 8], независимо от метода механической обработки детали поверхностная энергия материала E_m в процессе механической обработки практически не изменяется, то есть имеет место

$$\Delta E_n = 0. \quad (7)$$

Использование зависимостей величины скрытой энергии деформирования ΔE_c от плотности дислокаций, а также эмпирических данных по связи плотности дислокаций со степенью наклепа материала поверхностного слоя позволяет получать уравнения изменения скрытой энергии деформирования материала в процессе механической обработки детали, приемлемые для практического использования [8, 9].

Известно, что в результате внешних эксплуатационных воздействий на деталь трибосистемы формируется поверхностный слой, принципиально отличающийся по своим физико-механическим и трибологическим характеристикам от основного материала детали [9]. В связи с этим в каждом деформируемом элементе этого слоя в процессе эксплуатации зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения, определяющие, в конечном итоге, интенсивность изнашивания контактирующих материалов трибосистемы. При этом в кинетике процесса изменения состояния материала поверхностного слоя детали, сопровождающейся накоплением в нем дефектов и повреждений, отмечается два фактора, один из которых свидетельствует о статическом характере этого процесса, а второй – раскрывает его феноменологическую сторону.

Статически процесс изменения состояния материала поверхностного слоя детали может быть представлен следующим образом. Каждому моменту времени деформирования (или циклу взаимодействия) элемента поверхностного слоя при заданных условиях эксплуатации трибосистемы соответствует определенная степень его повреждаемости, обусловленная, например, накоплением дислокаций [2]. Как только повреждаемость материала (или плотность дислокаций) в локальном микрообъеме достигнет предельной (критической) величины, начинается процесс его разрушения с образованием продуктов износа.

В основе феноменологичности процесса лежит зависимость изменения микрообъемов материала поверхностного слоя детали от силовых параметров нагружения и времени их воздействия (скорости скольжения), из которой следует, что если два процесса взаимного контактирования материалов трибосистемы, сопровождающиеся внутренней повреждаемостью каждого элемента поверхности, протекают как при более высоких внешних силовых параметрах нагружения, так и при более низких, то разница в поведении деформируемого элемента поверхностного слоя будет зависеть только от скорости (степени) повреждаемости. Практически это может проявиться в размерах образующихся продуктов износа [9], а графически представляется в виде системы кинетических кривых (рис. 1), из анализа которых следует, что с увеличением параметра трения $p \cdot V_{ск}$ количественно повреждаемость деформируемого объема материала поверхностного слоя $N_{пм}$ увеличивается и это увеличение продолжается до тех пор, пока под действием касательных напряжений $\tau_{сд}^k$ не произойдет сдвиг этого микрообъема, его отделение от основного материала детали и превращение в продукт износа. Если обозначить через Π количественную меру повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя детали трибосистемы, а через V_{Π} – скорость накопления повреждаемости, то условие предельной повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя можно представить следующим образом:

$$\Pi = \Pi_0 + \sum_{i=\tau_{сд}^n}^{\tau_{сд}^k} \Pi_i = \Pi^k, \quad (8)$$

где Π_0 – начальный уровень повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя, накопленный в процессе механической обработки детали;

$\tau_{сд}^n$ – начальное значение величины технологических касательных напряжений сдвига в материале поверхностного слоя, полученное в результате механической обработки детали;

$\tau_{сд}^k$ – критическое значение величины касательных напряжений в материале поверхностного слоя, при котором происходит его сдвиг и образование продуктов износа;

Π_i – текущее значение образующейся повреждаемости за время $\Delta t = t_i - t_{i-1}$;

$$\Pi_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \Pi_i(p, V_{ск}) dt;$$

Π^k – критическое значение повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя, при котором касательные напряжения в нем достигают критической величины $\tau_{сд}^k$;

$$(P \cdot V_{ck})_1 > (P \cdot V_{ck})_2 > (P \cdot V_{ck})_3 > (P \cdot V_{ck})_4 > \dots$$

$$(Nn)_1 < (Nn)_2 < (Nn)_3 < (Nn)_4 < \dots$$

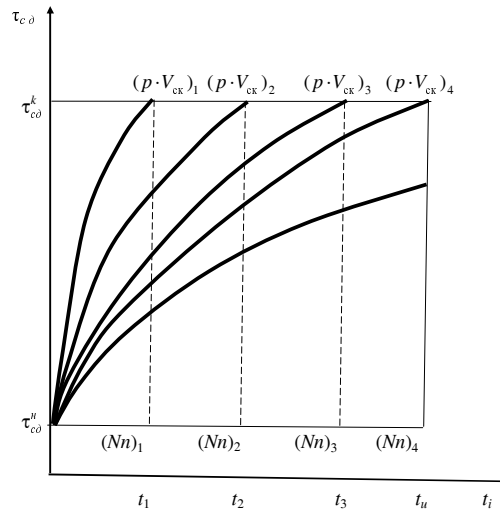


Рис. 1. Кинетические кривые накопления повреждаемости в микрообъемах материала поверхностного слоя детали трибосистемы

Для каждого материала критическое значение повреждаемости Π^k определяется его физико-механическими свойствами и условиями эксплуатации детали в трибосистеме. Предполагая, что в общем случае при отсутствии «залечивающего» эффекта в кластерных наноструктурах слоя [8, 9] повреждаемость в микрообъемах материала поверхностного слоя детали трибосистемы имеет необратимый характер и в них идет накопление (суммирование повреждаемостей), можно с достаточно высокой вероятностью принять, что предельная повреждаемость и, как следствие, образование продуктов износа произойдет тогда, когда сумма относительных повреждаемостей станет равной 1, т.е.

$$\frac{1}{\Pi^k} \sum_{i=\tau_{cd}^n}^{\tau_{cd}^k} \int_0^{t_i} \Pi_i(p, V_{ck}) dt = 1. \quad (9)$$

Зависимости (8) и (9) позволяют по заданным условиям эксплуатации (p , V_{ck} , Θ , виду смазки, направлению движения и т.д.) и начальному состоянию материала поверхностного слоя, определяемому величинами Π_0 и τ_{cd}^n , прогнозировать как интенсивность изнашивания деталей, так и их работоспособность в целом. В частности, эти зависимости были использованы для разработки технологических методов повышения контактной усталости зубчатых колес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутенко В.И., Гусакова Л.В., Дуров Д.С., Захарченко А.Д., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г. Материаловедческие и конструкторско-технологические направления повышения работоспособности изделий машиностроения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114). – С. 97-103.
2. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 296 с.

3. Федонин О.Н. Инженерия поверхности детали с позиции ее коррозионной стойкости // Приложение. Справочник: Инженерный журнал. – 2003. – № 10. – С. 17-19.
4. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. – М.: Машиностроение, 1989. – 332 с.
5. Бутенко В.И. Высокопрочные и сверхпрочные состояния металлов и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 219 с.
6. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 264 с.
7. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1963. – 427 с.
8. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2011. – 385 с.
9. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2010. – 275 с.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., профессор С.П. Голованова.

Бутенко Виктор Иванович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: mkk@egf.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634376122; кафедра механики; профессор.

Дуров Дмитрий Сергеевич – кафедра механики; заведующий кафедрой; к.т.н.; доцент.

Захарченко Анатолий Данилович – кафедра механики; ведущий инженер; к.т.н.

Рыбинская Татьяна Анатольевна – кафедра механики; ассистент.

Шаповалов Роман Григорьевич – кафедра механики; к.т.н.; доцент.

Butenko Victor Ivanovich – Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: mkk@egf.tsure.ru; 44 Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371622; the department of mechanics; dr. of eng. sc.; professor.

Durov Dmitry Sergeevich – the department of mechanics; department chair; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zakharchenko Anatoly Danilovich – the department of mechanics; cand. of eng. sc.; main engineer.

Rybinskaya Tatyana Anatolyevna – the department of mechanics; assistant.

Shapovalov Roman Grigoryevich – the department of mechanics; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.314.223

Т.В. Перинский, А.В. Клыков

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПУНКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПАРН СЕРИИ ВДТ/VR-32 В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–10 КВ

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) 6–10 кВ охватывают значительную часть территории России и имеют огромную протяженность. В связи с ростом энергопотребления перед распределительными сетевыми компаниями встает вопрос об увеличении их пропускной способности. Острой проблемой также становится увеличение длины существующих ВЛ для подключения новых потребителей, а также улучшение показателей качества электроэнергии. В связи с этим сетевые компании проводят ряд мероприятий по модерниза-