

УДК 621.9, 621.891, 538.9

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Логутенкова Е.В., Сорокин С.П.

Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: marls77@yandex.ru

Показана структура поверхностного слоя деталей машин и механизмов и ее влияние на эксплуатационные свойства. Рассмотрено влияние шероховатости в сочетании с энергетическими параметрами на механизм трения в парах скольжения. Предложена методика формирования в некоторых пределах коэффициента трения в подвижных разъемных соединениях прецизионных механизмов. В качестве инструмента для управления значением требуемого коэффициента трения предложена энергия, «накаченная» в поверхностный слой сопрягаемых поверхностей. Насыщение энергией поверхностного слоя происходит во время реализации технологического процесса изготовления конкретной детали на всех стадиях производства, от создания заготовки до операции финишной обработки. Представлены зависимости величины поверхностной энергии от шероховатости рабочих поверхностей. Показаны экспериментально установленные вариации коэффициентов трения от марок сталей.

Ключевые слова: энергия поверхностного слоя, коэффициент трения, технологическое воздействие

STATE ENERGY SURFACES OF MACHINES

Musokhranov M.V., Kalmykov V.V., Logutenkova E.V., Sorokin S.P.

Moscow State Technical University n.a. Bauman, Kaluga Branch, Kaluga, e-mail: marls77@yandex.ru

It is shown that the structure of the surface layer of machine parts and its effect on the performance properties. The effect of surface roughness in combination with the energy parameters on the friction mechanism in sliding pairs. A method of forming in a certain range of the friction coefficient in the mobile releasable connections of precision mechanisms. As a tool for controlling the value of the required coefficient of friction offered energy, «inflated» in the surface layer of the mating surfaces. The saturation of the surface layer of the energy takes place during the implementation of the process of manufacturing the specific details at all stages of production, from the creation of the workpiece to finishing operations. Presents the dependence of the surface energy of the surface roughness of working surfaces. Showing experimentally determined variation of the coefficients of friction of steel grades.

Keywords: the energy of the surface layer, the coefficient of friction, impact process

Научный интерес к поверхностному слою деталей машин и их заготовок в последние годы существенно возрос [3, 4, 8, 9]. Несмотря на то, что шероховатость поверхности остается одним из основных показателей качества изделий [5], в литературе появляются и другие показатели качества. Одним из них является поверхностная энергия.

Если образно представить поверхностный слой состоящим в свою очередь из более тонких чередующихся поверхностных слоев [10, с. 7], то не только создается более полное и точное представление о структуре граничных зон деталей, но и о характере их взаимодействия с сопрягаемыми деталями. Воздействие среды на каждый элемент слоя в общем виде становится понятным.

На рис. 1 показана схема поверхностного слоя после механической обработки. Наружный слой поверхности, обозначенный на рисунке цифрой 1, представляет собой слой адсорбированных молекул жидкостей и газов, включая поверхностно активные вещества. Следующий за ним второй слой, толщиной в несколько нанометров, состо-

ит из оксидов металлов, включениях пыли, продуктов износа инструмента и пр. Третий слой состоит из подвергшихся пластическим и тепловым искажениям кристаллов. Он определяет эксплуатационные свойства деталей. Самый глубокий слой, обозначенный цифрой 4, представляет структуру, не затронутую механической обработкой при изготовлении детали. Чем глубже распространяется пластическая деформация, например при обработке резанием, раскатке, калибровке, тем толще слой 3.

Понятие «поверхностная энергия» представляет собой совокупность энергий различной природы. К ним относятся: энергия деформированной кристаллической решетки; энергия зоны дислокации; энергия движения вакансий; состояние ячеек Бернара; тепловая энергия; энергия электромагнитной природы и др. В любой момент времени энергетическая картина поверхностного слоя изменяется, а ее количественные показатели колеблются относительно некоторого среднего значения. Такие колебания объясняются взаимодействием слоя с окружающей средой.

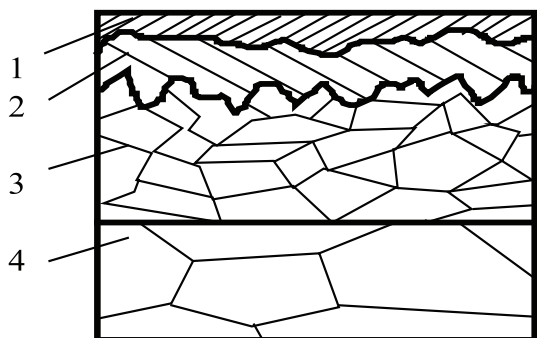


Рис. 1. Структура поверхностного слоя металлов

Совокупное влияние микрорельефа и энергетических параметров поверхности на трение

При анализе энергетической картины поверхностного слоя следует исходить из положения, что в слое аккумулируется примерно 25% общей энергии. Оставшиеся 75% энергии составляет тепло, которое приходит к слою и отходит от него по другим зависимостям [7]. Однако оставшиеся 25% энергии создают такие свойства, которые, несомненно, находятся в ряду свойств, определяющих качество изделия. Шероховатость в совокупности с субшероховатостью существенно влияет на поверхностную энергию [2, с. 212]. Величина поверхностной энергии изменяет величину и характер слоя адсорбированной зоны, а также зоны оксидов и пр. Под ее воздействием граничная зона может занимать различные положения относительно основного материала заготовки или детали.

Энергетическое состояние поверхностного слоя в наибольшей степени зависит от воздействия на него в процессе технологического изготовления детали. Такое воздействие оказывается весьма сильным в ходе заготовительных операций, когда сочетается действие деформирующих сил, теплоты, химического процесса и т.д. Таким образом, уместно говорить о технологическом формировании поверхностного слоя. При воздействии технологической среды на заготовку в ходе превращения ее в деталь такое воздействие немного ослабевает, но не отсутствует. Когда речь идет об изготовлении деталей нормальной точности, рассмотрение энергетической картины может оказаться мало оправданным, за исключением особых случаев. При изготовлении же прецизионных и специальных деталей энергетические показатели могут и должны рассматриваться наравне с основными свойствами изделия. В этом случае основные положения по влиянию

поверхностной энергии на служебные свойства детали сочетаются с положениями о технологической наследственности, дополняя и развивая ее.

Развивая связи и зависимости, описанные выше, нельзя ограничиться только констатацией общих положений. Необходимо практическое определение величины поверхностной энергии, разработка методики измерений и применение результатов для нужд конструирования и технологии машиностроения. В первую очередь полезно использовать значения энергии для управления коэффициентами трения сопрягаемых деталей, та же методика может быть использована и для таких деталей, взаимное перемещение которых должно быть затруднено или запрещено [8].

Предложено поверхностную энергию определять расчетом, после измерения непосредственно на образцах работы выхода электрона. Каждый образец, выполненный из определенного материала и обработанный на основе принятого технологического процесса, будет отдавать в окружающую среду определенную энергию, которая по существу и является своеобразной предисторией его состояния в данный момент. При определении работы выхода электрона используют контактную разность потенциалов. Последняя представляет собой величину, которая отличается от работы выхода электрона соответствующего эталонного образца, изготовленного, например, из серебра. Соответствующий электронный прибор [1] состоит из генератора биполярных импульсов, схемы выравнивания, согласующих сигналов, амплитудных детекторов, инвертора измерительного усилителя и измерительного прибора. Эталонный электрод с напыленным слоем диэлектрика и поверхность измеряемого образца представляет собой статический конденсатор. В таблице приведены результаты измерений контактной разности потенциалов Ст. 3 при фрезеровании:

- S1 = 1 мм/об с шероховатостью Ra 3,2;
 - S2 = 1,5 мм/об с шероховатостью Ra 3,2;
 - S3 = 0,5 мм/об с шероховатостью Ra 1,6;
 - S4 = 0,7 мм/об с шероховатостью Ra 1,6;
 - S5 = 0,2 мм/об с шероховатостью Ra 0,8;
 - S6 = 0,6 мм/об с шероховатостью Ra 0,8;
- при шлифовании:
- S1 = 0,041 мм/ход с шероховатостью Ra 1,6;
 - S2 = 0,051 мм/ход с шероховатостью Ra 1,6;
 - S3 = 0,029 мм/ход с шероховатостью Ra 0,8;
 - S4 = 0,036 мм/ход с шероховатостью Ra 0,8.

		Показания КРП, в								$V_{крп}, В$
		1	2	3	4	5	6	7	8	
фрезерование										
Ra 3,2	S1	0,545	0,54	0,438	0,545	0,55	0,549	0,56	0,548	0,5344
	S2	0,532	0,535	0,532	0,53	0,498	0,532	0,532	0,53	0,5276
Ra 1,6	S3	0,478	0,486	0,485	0,475	0,479	0,483	0,485	0,486	0,4821
	S4	0,464	0,464	0,471	0,466	0,470	0,466	0,464	0,468	0,4666
Ra 0,8	S5	0,431	0,430	0,428	0,434	0,432	0,434	0,430	0,429	0,4310
	S6	0,412	0,415	0,415	0,415	0,421	0,42	0,413	0,41	0,4151
шлифование										
Ra 1,6	S1	0,424	0,419	0,428	0,424	0,425	0,428	0,429	0,426	0,4254
	S2	0,395	0,39	0,41	0,38	0,413	0,415	0,387	0,396	0,3983
Ra 0,8	S3	0,382	0,378	0,386	0,385	0,388	0,388	0,385	0,388	0,3850
	S4	0,358	0,36	0,364	0,368	0,368	0,37	0,366	0,365	0,3649

Результаты измерения контактной разности потенциалов ст. 3 при фрезеровании:

Поверхностная энергия определяется по следующему алгоритму: зная величину работы выхода электрона эталонного электрода, и измерив контактную разность потенциалов, из соответствующего соотношения определяют поверхностную энергию исследуемого образца (рис. 2) [6].

Описанная методика позволяет определить поверхностную энергию любой металлической детали, и становится возможным определить пару сопряжения, обеспечивающую требуемый (наибольший или наименьший из возможных) коэффициент трения. Такие задачи ставятся, например, применительно к взаимно перемещающимся деталям.

Практическое использование информации о поверхностной энергии может быть сведено к следующему. На определенном предприятии те материалы, из которых будут в последующем изготавливать сопрягаемые прецизионные детали, собираются в единую группу. Из данных материалов должны быть изготовлены об-

разцы, которые могут быть использованы в течение длительного периода времени. Для последующего конструирования изделий и корректировки технологических процессов строят график-схему, подобный показанному на рис. 3. По вертикальной оси располагают числовые значения поверхностной энергии в диапазоне, характерном для выбранных материалов. По горизонтальной оси располагают значения шероховатости, характерные для изготавливаемых деталей, а также возможные данные по режимам обработки (например, подача) и для каждого материала строят ломаные линии. Так, если одна деталь изготавливается из ст. 3, шлифуется соответствующей подачей с получением шероховатости Ra 0,8 и поверхностной энергией $\gamma = 1944 \text{ Дж/м}^2$, то сопрягаемые детали могут быть изготовлены по следующим вариантам: 40X, X12M, ст. 45.

Каждый из этих образцов должен пройти механическую обработку с режимами резания и шероховатостями, указанными на графике, и результаты измерений их коэффициента трения представлены на рис. 4.

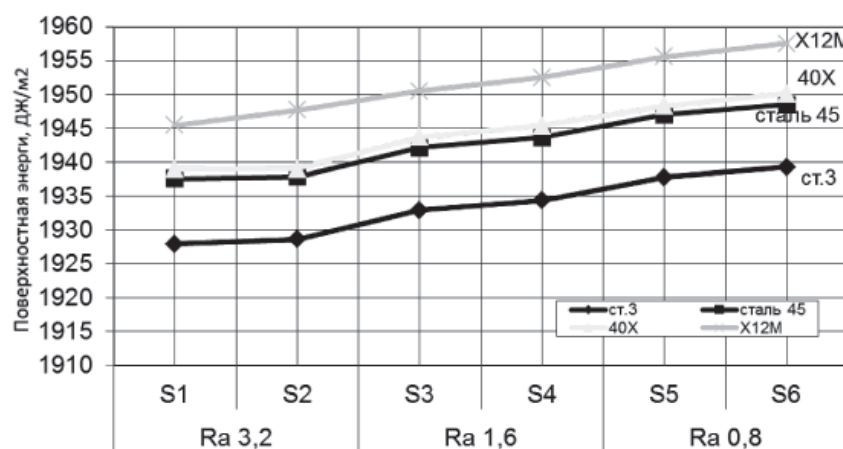


Рис. 2. Поверхностная энергия: ст. 3, сталь 45, 40X, X12M при фрезеровании $S_1 = 1 \text{ мм/об}$; $S_2 = 1,5 \text{ мм/об}$; $S_3 = 0,5 \text{ мм/об}$; $S_4 = 0,7 \text{ мм/об}$; $S_5 = 0,2 \text{ мм/об}$; $S_6 = 0,6 \text{ мм/об}$

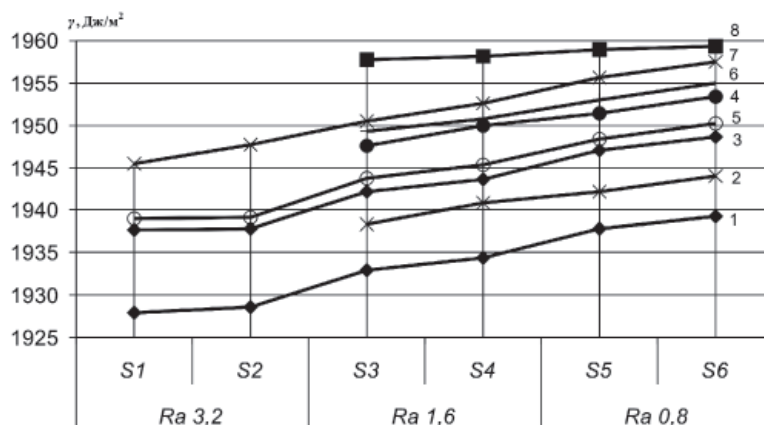


Рис. 3. Схема для определения коэффициента трения:
 при фрезеровании: 1 – ст. 3; 2 – сталь 45; 3 – 40X; 4 – X12M, $S_1 = 1$ мм/об; $S_2 = 1,5$ мм/об;
 $S_3 = 0,5$ мм/об; $S_4 = 0,7$ мм/об; $S_5 = 0,2$ мм/об; $S_6 = 0,6$ мм/об;
 при шлифовании: 5 – ст. 3; 6 – сталь 45; 7 – 40X; 8 – X12M, $S_3 = 0,041$ мм/ход; $S_4 = 0,051$ мм/ход;
 $S_5 = 0,029$ мм/ход; $S_6 = 0,036$ мм/ход

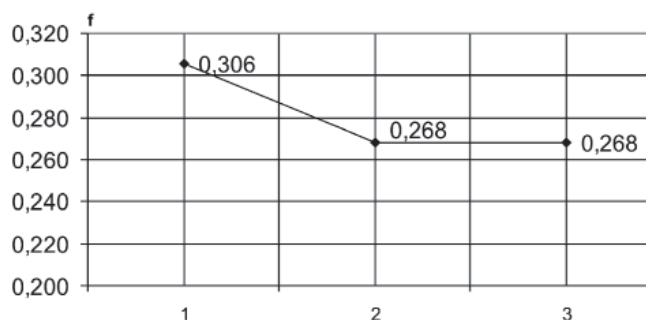


Рис. 4. Изменение коэффициента трения по стали ст. 3:
 1 – X12M фрезерование $S = 1$ мм/об Ra 3,2; 2 – сталь 45 фрезерование $S = 0,7$ мм/об Ra 1,6;
 3 – 40X фрезерование $S = 0,5$ мм/об Ra 1,6

Заклучение

При использовании схем основной является существующая рабочая гипотеза: чем меньше оказывается разность поверхностных энергий сопрягаемых деталей, выполненных из разных материалов и при разных технологических воздействиях, тем меньше будет коэффициент трения при их взаимном перемещении, и наоборот. Если на схеме провести прямую, параллельную оси абсцисс, то она пересечется с наклонными прямыми в ряде точек. Это означает, что разность поверхностных энергий образцов и, следовательно, деталей, обрабатываемых в конкретных условиях, оказывается равной нулю.

Работа, проведенная по указанным правилам, может послужить созданию соответствующей библиотеки образцов.

Список литературы

1. Албагачиев А.Ю. Технологическое обеспечение качества и повышения работоспособности деталей машин на основе энергетической концепции: дис. ... д-ра техн. наук – М., 2001.
2. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия 1974. – 416 с.

3. Калмыков В.В., Логутенкова Е.В., Мусохранов М.В. Определение параметров шероховатости не стандартизованных в России // Научный альманах. – 2015. – № 10–3 (12). – С. 108–111.

4. Малышев Е.Н., Никитич В.Т., Антонюк Ф.И. Исправление некрутлости формы при шлифовании валов на неподвижных центрах // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – № 3 (7). – С. 12–15.

5. Малышев Е.Н., Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Антонюк Ф.И. Распределение энергии технологического воздействия при формировании рабочих поверхностей деталей машин из металлических материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17560>.

6. Мусохранов М.В., Антонюк Ф.И., Калмыков В.В. Определение значения поверхностной энергии через работу выхода электрона // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/120-16036> (дата обращения: 15.01.2015).

7. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Сорокин С.П. Энергетические показатели качества деталей машин и методы их измерения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–1. – С. 43–49.

8. Мусохранов М.В. Поверхностная энергия как показатель качества поверхностного слоя // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – № 12. – С. 62–64.

9. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Зенкин Н.В. Энергия поверхностного слоя металлов как инструмент воздействия на величину коэффициента трения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–2. – С. 251–254.

10. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000.