

УДК 621

Поверхностная энергия и процесс схватывания контактирующих поверхностей

Мусохранов М. В.^{1,*}, Антониук Ф. И.¹,

* marls77@ya.ru

Калмыков В. В.¹

¹Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Предлагается рассматривать поверхностную энергию как дополнительный инструмент для обеспечения в пространстве постоянства позиционирования, т.е. неподвижного состояния двух контактирующих деталей. Данное расположение рекомендуется получать с помощью такого явления как - эффект схватывания. Для создания определенного энергетического состояния контактирующих деталей, при котором возникают связи (мостики схватывания), предлагается использовать технологический процесс. Таким образом, контролируется процесс формирования энергетического состояния поверхностного слоя двух (и более) деталей с заранее заданными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: работа выхода электрона, поверхностная энергия, контактная разность потенциала, сопряжение, позиционирование, технологический процесс, мостики схватывания

Вопрос определения соответствующих коэффициентов трения для нужд машиностроения в процессе контактирования поверхностей, требует дополнительно рассмотрения. Основанием для этого служат данные о «химическом средстве» материалов, их совместимости, энергетическом средстве и др. [3,8]. Энергетическое состояние, контактирующих поверхностей, постоянно меняется и меняется коэффициент трения, но движение непременно наблюдается, при определенных же условиях движение прекращается полностью и возникает процесс «схватывания», «заедания» и пр.

Роль шероховатости в проблеме схватывания по-прежнему остается важнейшей, микронеровности играют роль своеобразного замка по отношению к контрмикронеровностям. Однако есть ряд эффектов машиностроительных соединений, когда явления нельзя объяснить только с позиций шероховатости.

В свете выше сказанного необходимо расширить понятие «направляющий элемент». То есть - это деталь, обеспечивающая в пространстве определенное (неподвижное) положение другой детали с соблюдением всех точностных показателей. Для таких пар необходим высокий коэффициент трения, и его обеспечение может произойти на основе выбора необходимой шероховатости и энергетических показателей поверхностных слоев.

Процесс схватывания дает еще одно важное доказательство действия энергетического состояния поверхностных слоев. При определенных условиях контактирования пары, когда наблюдается пластическое деформирование микровыступов, а смазка чаще всего отсутствует, возникают отдельные мостики связи и отдельные противостоящие микровыступы как бы свариваются и образуют монолит (рис.1). Очевидно, что такой эффект возможен при наличии в поверхностных слоях достаточного количества энергии, которая, объединяясь с энергией внешнего воздействия при соединении пары, способна создать многочисленные мостики связи.

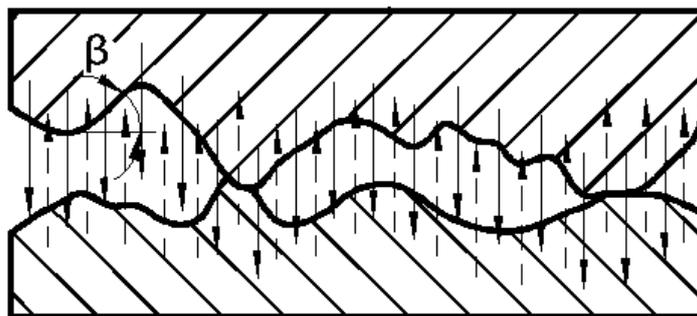


Рис.1. Схема взаимодействия микронеровностей

Таким образом, есть потребность ввести дополнительный параметр качества поверхностного слоя наряду с твердостью, точностью и шероховатостью поверхности, с возможностью обеспечить более надежное позиционирование сопрягаемых деталей. Выбирая соответствующий метод получения качества поверхности.

Для проявления схватывания необходимо, чтобы запасенная энергия в точках контактов поднялась выше определенного, для соответствующего металла уровня. Этот уровень можно определить как энергетический порог схватывания.

Анализ показывает, что молекулярное взаимодействие поверхностей в процессе трения приводит к их схватыванию (возникновение мостиков сварки). Подобное явление присуще для материалов с высоким уровнем энергии, что будет вызывать резкое возрастание молекулярной составляющей коэффициента трения, а в некоторых случаях может привести к заеданию.

Управление поверхностной энергией, позволяет управлять свойствами поверхностного слоя, а, следовательно, и комплексом механических свойств материала в целом. Несомненно, что формирование поверхностного слоя с заранее заданными свойствами экономически более целесообразно, чем модифицирование всего объема материала. Управляя глубиной поверхностного слоя путем создания определенной структуры, можно задавать энергетический уровень материала в целом, и обеспечивать комплекс необходимых для эксплуатации материала механических свойств.

Довольно часто цитируется энергетическая теория [2, 3]. Согласно этой теории размеры деформированных участков, т. е. фактическая площадь касания, определяются не

только процессом пластического деформирования, но и межповерхностным взаимодействием. Энергия адгезии W_{ab} межповерхностного взаимодействия находится из формулы [3, 4]:

$$W_{ab} = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab} \quad (1)$$

где γ_a , γ_b , γ_{ab} - соответственно поверхностная энергия тела a , тела b и межфазная поверхностная энергия.

Эта энергия направлена в сторону увеличения реальной площади контакта. Тогда эту площадь можно определить как:

$$A_2 = \frac{L}{p} \cdot \left[\frac{1}{1 - 2 \cdot W_{ab} \cdot \text{ctg} \theta / p \cdot r} \right] \quad (2)$$

где L — нормальная нагрузка; p — твердость зубцов микронеровностей более мягкой детали; W_{ab} — энергия адгезии; θ — угол наклона выступов более твердого металла к поверхности более мягкого; r — средний радиус деформированных выступов. Коэффициент трения определяется как:

$$f = \frac{S}{p} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot W_{ab} \cdot \text{ctg} \theta}{p} + \dots \right] \quad (3)$$

Анализируя формулу, видим, что если велика энергия адгезии контактирующих металлов, второй член в уравнении приобретает существенное значение. И здесь снова на первый план выходит технологическое воздействие на поверхность.

Таким образом, коэффициент трения при учете адгезионного взаимодействия всегда возрастает и зависит от соотношения Wab/p . В работе [5] испытывались образцы с различной твердостью и на рис. 2 показаны зависимости между работой трения при постоянной сжимающей нагрузке $N=100 \text{ Н}$, нагрузкой, вызывающей схватывание $P_{сх}$, и поверхностной энергией γ . Из графиков видно, что рост поверхностной энергии увеличивает $P_{сх}$ и уменьшает работу трения, несмотря на то, что рост поверхностной энергии должно увеличивать энергию адгезии Wab и соответственно снижать $P_{сх}$ и увеличивать работу трения A .

Однако следует учесть, что в процессе выбора материала необходим так же и учет механических свойств поверхности с последующим влиянием на него технологического процесса – “накачки” поверхностной энергии.

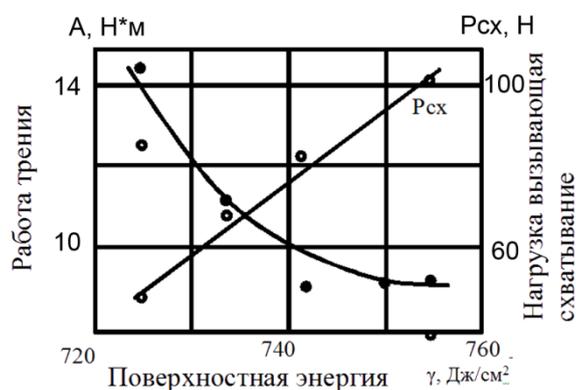


Рис.2 Графики изменение работы трения и нагрузки, вызывающей схватывание от поверхностной энергии

Изменяются характеристики процесса схватывания и при изменении материала контртела. Если те же сплавы (см. рис. 3) [6] испытать в паре со сталью ШХ-15, то увеличиваются максимальные усилия разрушения мостиков схватывания P_{max} и соответственно увеличивается работа трения. Представленная на рис. 3 зависимость P_{max} от величины поверхностной энергии показывает, что увеличение твердости у более прочного материала, вызвало изменение сопротивляемости схватыванию. В работе же [3] учитывается твердость лишь мягкого металла, что явно не достаточно, и необходимо так же учитывать свойства твердого материала. Таким образом, с увеличением поверхностной энергии уменьшается сила на разрыв мостиков схватывания.

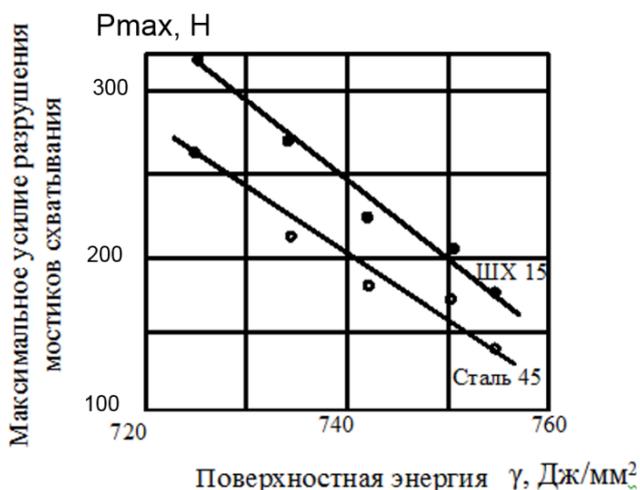


Рис. 3. Зависимость максимальных усилий разрушения мостиков схватывания от поверхностной энергии для различных сталей

Для увеличения коэффициента трения (вплоть до сцепляемости), в ходе выбора материала необходим так же и учет механических свойств поверхностного слоя, в частности способности материала “накачиваться” поверхностной энергией в процессе технологической обработки.

Таким образом, в процессе механической обработки материала, изменяя виды и режимы обработки, мы можем менять характер энергетического состояния поверхностного слоя направляющих элементов. А, контролируя процесс “накачки” энергии в поверхностный слой, мы сможем управлять процессом трения – коэффициентом трения.

Для практических целей можно рекомендовать конструировать пару деталей, которые непременно должны быть закреплены неподвижно относительно друг друга (на неограниченно продолжительное время), регламентируя, во-первых шероховатость контактирующих поверхностей традиционным путем. Во-вторых, необходимо выбрать пару материалов, у которых разность энергетических уровней оказывается наибольшей. Соответствующие коррективы энергетического уровня обеспечиваются технологическим воздействием.

Таким образом, аналогично тому, как технолог обеспечивает требуемые параметры шероховатости поверхности, проектируя технологический процесс, он будет создавать условия для требуемого значения поверхностной энергии, с целью обеспечения постоянства положения двух деталей.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение 1, 2003. 912 с.
2. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении // Трение и износ. 1985. Т. 6, № 2. С. 201-212.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев: Техніка, 1970. 395 с.
4. Поверхностные свойства расплавов: сб. науч. тр. / отв. ред. Ю.В. Найдич; Ин-т проблем материаловедения АН УССР. Киев: Наукова думка, 1982. 246 с.
5. Долговечность трущихся деталей машин: сб. статей / под общ. ред. Д.Н. Гаркунова. М.: Машиностроение, 1986. 262 с.
6. Кабалдин Ю.Г., Шпилев А.М. Синергетика. Управление процессами механообработки в автоматизированном производстве. Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комс.-на-Амуре гос. техн. ун-та, 1997. 260 с.
7. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
8. Мусохранов М.В. Роль поверхностной энергии при формировании деталей в прецизионном машиностроении // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. № 6. С. 9-11.
9. Контактное взаимодействие твердых тел при статических и динамических нагрузках / под ред. Э.В. Рыжова, Ю.В. Колесникова, А.Г. Суслова. Киев: Наукова думка, 1982. 172 с.

Surface Energy and Setting Process of Contacting Surfaces

M.V. Musokhranov^{1,*}, F.I. Antonyuk¹,
V.V. Kalmykov¹

* marls77@ya.ru

¹Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga,
Russia

Keywords: the electron work function, the surface energy, the contact potential difference, conjugation, positioning, process, gripe bridges

The paper deals with a challenge in terms of ensuring an accuracy of the relative position of the conjugated surfaces that is to determine a coefficient of friction. To solve it, there is a proposal to use the surface energy, as a tool that influences the contacting parts nature. Presently, energy of the surface layers at best is only stated, but not used in practice.

Analysis of the conditions of interaction between two contacting surfaces, such as seizing and setting cannot be explained only from the position of the roughness parameters. It is found that these phenomena are explained by the appearing gripe (setting) bridges, which result from the energy of interaction between two or more adjacent surfaces. The emerging phenomenon such as micro welding, i.e. occurring bonds, is caused by the overflow of energy, according to the theory of physics, from the surface with a high level of energy to the surface with the smaller one to balance the system as a whole.

The paper shows that through the use of process, controlling the depth of the surface layer and creating a certain structure, the energy level of the material as a whole can be specified. And this will allow us to provide the necessary performance and mechanical properties. It means to create as many gripe bridges as possible to ensure continuous positioning i.e. a fixed connection of the contacting surfaces.

It was determined that to increase a value of the friction coefficient, the physical and mechanical properties of the surface layer of the parts material must be taken into account, namely, in the part body accumulate the energy to be consumed for forming the surface.

The paper gives recommendations for including the parts of the surface energy in the qualitative indicators of characteristics. This will make a technologist, when routing a process, to choose such operations and modes to provide the designer-specified parameters not only of the accuracy and surface finish, but also of the surface energy, in particular, a value of the surface energy. However, neither contacting surfaces nor their energy states can be treated separately from each other.

References

1. Dal'skiy A.M., Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K., Suslov A.G., eds. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya. V 2 t. T. 2* [Handbook for mechanical engineering technologist. In 2 vols. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie 1 Publ., 2003. 912 p. (in Russian).
2. Kostetskiy B.I. Structural and energetic adaptability of materials at friction. *Trenie i iznos*, 1985, vol. 6, no. 2, pp. 201-212. (in Russian).
3. Kostetskiy B.I. *Trenie, smazka i iznos v mashinakh* [Friction, lubrication and wear in machines]. Kiev, Tekhnika Publ., 1970. 395 p. (in Russian).
4. Naydich Yu.V., ed. *Poverkhnostnye svoystva rasplavov: sb. nauch. tr.* [Surface properties of melts: coll. scientific papers]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1982. 246 p. (in Russian).
5. Garkunov D.N., ed. *Dolgovechnost' trushchikhsya detaley mashin: sb. statey* [Durability of rubbing parts: coll. scientific papers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 262 p. (in Russian).
6. Kabaldin Yu.G., Shpilev A.M. Sinergetika. *Upravlenie protsessami mekhanoobrabotki v avtomatizirovannom proizvodstve* [Synergetics. Control of machining processes in automated production]. Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-on-Amur STU Publ., 1997. 260 p. (in Russian).
7. Suslov A.G. *Kachestvo poverkhnostnogo sloya detaley mashin* [Quality of surface layer of machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 320 p. (in Russian).
8. Musokhranov M.V. The role of surface energy in the formation of parts in precision mechanical engineering. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*, 2005, no. 6, pp. 9-11. (in Russian).
9. Ryzhov E.V., Kolesnikov Yu.V., Suslov A.G., eds. *Kontaktirovanie tverdykh tel pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruzkakh* [Solids contacting under static and dynamic loads]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1982. 172 p. (in Russian).