

УДК 621.891:621.836.2

СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПАР ТРЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЖИДКОСТНОЙ И ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Люленков В.И., к.т.н., доцент (olgamatekhina@yandex.ru)

Полищук С.В., старший преподаватель кафедры механики

и машиностроения (sveta-polishuk@mail.ru)

Никитин А.Г., д.т.н., доцент, директор института машиностроения

и транспорта (nikitin1601@yandex.ru)

Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Разработана технология создания износостойких поверхностей пар трения, имеющих масляные карманы для удержания смазочного материала, которые находятся между валиками, образованными на плоских поверхностях с помощью быстровращающегося диска. Обработку поверхности трения осуществляют диском толщиной 6 – 15 мм с армированной рабочей поверхностью твердым сплавом ВК-8. Диск вращается с окружной скоростью 50 – 150 м/с, прижимается с давлением 1,2 – 40,0 МПа, перемещается по обрабатываемой поверхности со скоростью 3 – 30 мм/с. В локальной зоне обработки металл обрабатываемой поверхности, имеющий феррито-перлитную структуру, нагревается до температуры 1100 – 1200 °С и переходит в аустенитное состояние. Затем при движении диска за пределы зоны обработки нагретый слой резко охлаждается за счет отвода тепла в массу детали. Происходит структурное превращение аустенита в мартенсит с изменением кристаллической решетки из гранцентрированной кубической в объемно-центрированную тетрагональную с увеличением объема нагретого металла. Увеличившийся объем, ограниченный с трех сторон металлом детали, выдавливается над обрабатываемой поверхностью на высоту 0,3 – 1,5 мм и образует за движущимся диском выпуклый валик, металл которого имеет мартенситную структуру. В нем возникают напряжения сжатия, степень деформации составляет до 240 %. Валики создаются по всей поверхности от края до края в направлении, перпендикулярном движению изделия в процессе эксплуатации. Наклонные (клиновы) рабочие поверхности валиков обеспечивают гидродинамические силы поддержания при скоростях скольжения поверхностей трения более 2 – 3 м/с (жидкостная смазка), а опорные поверхности валиков выполнены из высокотвердого материала, позволяющего сохранять износостойкость в условиях граничной смазки при малых скоростях скольжения поверхностей трения (менее 2 м/с).

Ключевые слова: пары трения, валики, мелкоигльчатый мартенсит, масляный карман, гидродинамические силы, износостойкая опорная поверхность.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-2-124-127

В металлургической, строительной, горно-рудной и других промышленностях используется большое количество оборудования, в составе которого используются направляющие, ползуны, защитные планки и другие пары трения, изготовленные из конструкционных сталей. Такие пары трения работают в тяжелых условиях с возвратно-поступательным движением при различных смазочных режимах, а именно, при жидкостной или граничной смазке. При жидкостной смазке поверхности трения разделяются смазочным слоем, основное условие – надежное разделение поверхностей трения. Граничная смазка возникает при неустановившемся движении; при таком условии основное требование к поверхностям – износоустойчивость. В режим граничной смазки детали переходят при относительной скорости движения менее 2 – 3 м/с [1 – 3].

Для упрочнения поверхностей трения используют химико-термическую обработку с последующей закалкой [4, 5], цементацию [6, 7], силицирование [8, 9], азотирование [10 – 12], хромирование [13, 14] и др. Об-

работка этими способами требует применения термических печей, ванн, камер, характеризуется большим расходом энергии [15, 16]. Перед химико-термической обработкой неработающие поверхности деталей необходимо защитить пастами, омеднением. После обработки необходима последующая операция – закалка. То есть весь процесс многостадийный, длится, как правило, несколько часов и дает слои малой толщины.

Существует технология химико-термической обработки металлических изделий вращающимся диском, поверхность которого содержит необходимый легирующий состав [17]. Однако указанный способ создает на изделии плоскую поверхность, плохо удерживающую смазочный материал. При этом не обеспечивается жидкостное трение даже при скоростях скольжения выше 2 – 3 м/с. Такая обработка характеризуется повышенным расходом энергии, так как места подвода и «хранения» смазки в поверхностном рабочем слое изделия не нуждаются в упрочнении, но подвергаются обработке.

В настоящее время актуальной задачей является создание износостойких поверхностей трения с меньшими энергетическими затратами и минимальным количеством технологических операций. Такие поверхности трения с масляными карманами для удержания смазочного материала образуются между «валиками», созданными на этих поверхностях трения. Наклонные (клиновидные) рабочие поверхности «валиков» должны обеспечивать гидродинамические силы поддержания при скоростях скольжения поверхностей трения более 2–3 м/с (жидкостная смазка), а опорные поверхности «валиков» должны быть выполнены из высокотвердого материала, позволяющего сохранять износостойкость в условиях граничной смазки при малых скоростях скольжения поверхностей трения (менее 2 м/с) [18].

Формирование валиков (шириной m) на плоских поверхностях пар трения (рис. 1) осуществляется за счет нагрева металла в локальной зоне на поверхности детали 1 при обработке диском 2 толщиной (B) от 6 до 15 мм, вращающимся с окружной скоростью $V = 50 \div 150$ м/с и прижатым к поверхности с силой Q , которая создает давление 0,12–40,0 МПа. Причем этот диск перемещается относительно поверхности детали со скоростью (скорость подачи диска) $U = 3 \div 30$ мм/с. По периферии диск армирован твердым сплавом ВК-8, что обеспечивает отсутствие схватывания обрабатываемой поверхности с диском.

В локальной зоне обработки металл обрабатываемой поверхности, имеющий феррито-перлитную структуру, нагревается до температуры 1100–1200 °С и переходит в аустенитное состояние. Затем, при движении диска за пределы зоны обработки, нагретый слой резко охлаждается за счет отвода тепла в массу детали. Происходит структурное превращение аустенита в мартенсит с изменением кристаллической решетки из гранцентрированной кубической в объемно-центрированную тетрагональную с увеличением объема нагретого металла. Увеличившийся объем, ограниченный с трех сторон металлом детали, выдавливается над об-

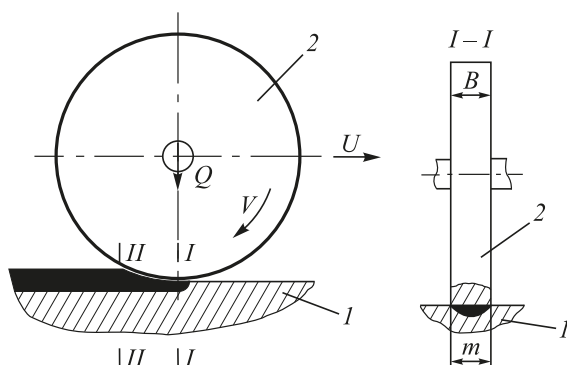


Рис. 1. Формирование валиков на плоских поверхностях пар трения:
1 – деталь; 2 – диск

Fig. 1. Formation of rollers on flat surfaces of friction pairs:
1 – detail; 2 – disk

рабатываемой поверхностью на высоту 0,3–1,5 мм и образует за движущимся диском выпуклый валик, металл которого имеет мартенситную структуру. В этом валике возникают напряжения сжатия, степень деформации составляет до 240 % (рис. 2, а).

Толщина диска B варьируется от 6 до 15 мм, что позволяет получать отношение длин опорных поверхностей (c) и клиновидных поверхностей (d) к ширине валика m в пределах от 10 до 60 % (рис. 2, б). Оптимальные отношения определяются практикой работы изделия (условиями его смазки, герметичности узлов трения, скоростными режимами, длительными, кратковременными, повторно-кратковременными режимами работы). Значение толщины диска B меньше 6 мм приводит к уменьшению длины опорной поверхности валиков c и к увеличению контактного давления в условиях граничной смазки (при скоростях скольжения менее 2 м/с). Увеличение толщины диска B более 15 мм нецелесообразно в связи с образованием больших опорных поверхностей, что ведет к уменьшению длины масляных карманов и, соответственно, емкости (e) этих карманов (емкости масляной ванны). А это нежелательно, если деталь работает со скоростями перемещения выше 2–3 м/с и может работать в условиях жидкостной смазки.

Окружная скорость диска устанавливается в пределах 50–150 м/с. Скорость менее 50 м/с недостаточна для получения нужной тепловой мощности в локальной зоне обработки, определяемой произведением касательной силы трения и окружной скорости, а скорость выше 150 м/с связана с высокими напряжениями в теле диска, большими температурными градиентами в изделии и меньшей высотой (h) этих валиков. Кроме того, такие скорости диска требуют особых условий по охране труда.

Технология создания износостойких поверхностей трения осуществляется следующим способом (рис. 1). Деталь 1 (изделие) (пластина из стали 45) закрепляется

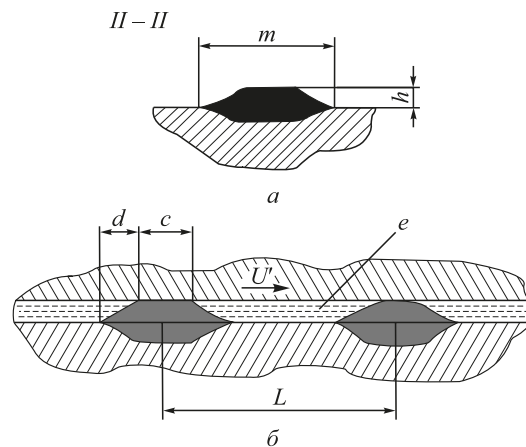


Рис. 2. Валики металла, имеющие структуру мелкоигльчатого мартенсита

Fig. 2. Metal rollers with fine-needled martensite structure

на тензометрическом столе, который позволяет контролировать силу прижатия Q , создающую давление на деталь в пределах $0,12 - 40,0$ МПа. Такое давление обеспечивает хорошие режимы нагрева-охлаждения металла изделия в зоне обработки, высокую (до 240 %) степень деформации металла валиков с мартенситной структурой с твердостью $900 - 1200$ НВ, в несколько раз повышающими износостойкость валиков при традиционных способах закалки (например, ТВЧ) [19, 20]. Тензометрический стол устанавливается на столешнице фрезерного станка, обеспечивающего подачу инструмента (диска) 2 со скоростью $3 - 30$ мм/с. Минимальная скорость 3 мм/с позволяет получать максимальную высоту валиков с мартенситной структурой над обрабатываемой поверхностью до $1,5$ мм. При скорости подачи меньше 3 мм/с увеличивается время нагрева изделия в локальной зоне, металл нагревается в большем объеме, ухудшается охлаждение за счет отвода тепла в массу изделия, происходит отпуск металла, теряются твердость и форма валиков. Скорость подачи больше 30 мм/с сокращает время нагрева металла изделия в локальной зоне и приводит к образованию валиков высотой h над поверхностью изделия менее $0,3$ мм и сокращению ширины валиков m (рис. 2). В этом случае уменьшаются площади опорных и клиновых поверхностей.

Для деталей с шириной, которая обеспечивает достаточный объем смазочного материала на созданной поверхности трения, валики с мартенситной структурой формируют от края детали до другого края параллельно друг другу на расстоянии $L = (1,5 \div 3,0)B$ (рис. 3, а). Такое расстояние обеспечивает стабильно-достаточную подачу смазки. Направление обработки выбирают перпендикулярным направлению движения изделия при эксплуатации, так как в этом случае при относительном перемещении трущихся поверхностей возникают масляные клинья.

При ширине изделия, не позволяющей удерживать достаточный объем смазочного материала на поверхности трения, формируется вторая система валиков с мартенситной структурой, расположенная перпендикулярно первой с расстоянием между валиками второй системы $L = (3 \div 10)B$ (рис. 3, б). В этом случае создаются замкнутые со всех сторон карманы с клиновыми бортами.

При повышенных требованиях к точности изготовления поверхности трения изделия вершины валиков (опорные поверхности) подвергаются шлифовке.

Выводы. Разработана технология создания износостойких поверхностей пар трения с малыми энергетическими затратами, минимальным количеством технологических операций с масляными карманами для удержания смазочного материала, образованными между валиками. Клиновые рабочие поверхности валиков обеспечивают возникновение гидродинамических сил, способствующих надежному разделению поверхностей трения жидкостной смазкой при скоростях скольжения более $2 - 3$ м/с, а опорные поверхности валиков состоят из высокотвердого материала и позволяют сохранять износостойкость в условиях граничной смазки при скоростях скольжения менее 2 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
2. Scieszka S.F. Tribological phenomena in steel composite brake material friction pairs // Wear. 1981. Vol. 64. No. 2. P. 367 – 378.
3. Thiesen P.A., Meyer K., Heinicke G. Grundlagen der Tribochemie. – Berlin: Akademie-Verlag, 1967. – 267 p.
4. Rose K. Which Process for Case-Hardening: Steel Carburizing, Nitriding or Carbonitriding // Materials and Methods. 1951. Vol. 33. No. 2. P. 11.
5. Захаров Б.П. Термическая обработка металлов. – М.: Машгиз, 1957. – 302 с.
6. Williams G.T. Selections of Carburizing Steel Case Depth and Heat Treatment. Metals Handbook, 1948.
7. Sykes W.P. Carburizing Iron by Mixtures of Hydrogen and Methan. Transactions Am. Soc. for Steel Treating, 1927. P. 12, XII.
8. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
9. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г.В. Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др.; под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
10. Wolter H. and Holcroft W.H. Carbo Nitriding of SAE Steel Parts. // Metal Progress. 1947. Vol. 52. No. 3. P. IX.
11. Valentin K.B. Structures and Properties of some Carbo Nitrided Gases // Metal Progress. 1953. Vol. 63. No. 6. P. VI.
12. Малушин Н.Н. Азотирование наплавленных деталей металлургического оборудования // Технология металлов. 2013. № 7. С. 26 – 28.
13. Защитные покрытия на металлах. Вып. 9. – Киев: Наукова думка, 1975. – 208 с.
14. Прогрессивные методы химико-термической обработки / Под ред. Г.Н. Дубинина, Я.Д. Когана. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с.
15. Garbarz-Olivier J. Etude des discharges electriques produites entre lielectrode et la solution lors des effets dianode et de cathode dans ies electrolytes aqueux / J. Garbarz-Olivier, C. Guilpin // J. Chim. phys. 1975. Vol. 72. No. 2. P. 207 – 214.
16. Weissgerber H., Bohme H., Bohme M. Elektrolytische Wärmebehandlung von Stahl // Technick. 1969. No. 6. P. 413 – 417.

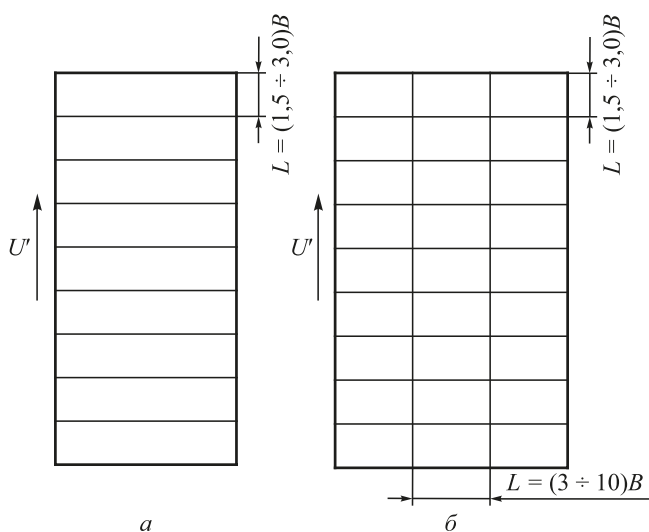


Рис. 3. Направления формирования валиков на поверхностях трения

Fig. 3. Direction of rollers formation on the friction surfaces

17. А.с. 1603822. Способ химико-термической обработки металлических изделий / В.И. Люленков, В.С. Чалков, А.С. Шинкаренко; заявл. 25.01.1989; опубл. 10.05.2011. Бюл. № 13.
18. Пат. 2466002 РФ. Способ создания износостойких плоских поверхностей пар трения / В.И. Люленков, С.В. Полищук; заявл. 01.06.2011; опубл. 10.11.2012. Бюл. № 31.
19. Глазов В.М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов и полупроводников. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
20. Williams S.R. Hardness and Hardness Measurements. – Cleveland: ASM, 1942.

Поступила 14 сентября 2016 г.

IZVESTIYA VUZov. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. Vol. 60. No. 2, pp. 124–127.

CREATION OF WEARPROOF SURFACES OF FRICTION PAIRS WORKING IN THE CONDITIONS OF LIQUID AND BORDER GREASING

V.I. Lyulenkov, S.V. Polishchuk, A.G. Nikitin

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper describes the developed technology of the creation of wear-resistant surfaces of friction pairs, which have oil pockets for the holding of lubricants, which are situated between rollers, formed on flat surfaces with the help of a fast-rotating disk. The treatment of friction surface is performed by the disk of the thickness of 6 – 15 mm with reinforced working surface of solid VK-8 alloy. The disk rotates with the surface velocity of 50 – 150 m/c, it is pressed with the pressure of 1.2 – 40.0 MPa. It also shifts along the treated surface with the velocity of 3 – 30 mm/c. In the local treatment zone the metal of the processed surface, which has a ferrite-pearlite structure, is heated up to the temperature of 1100 – 1200 °C and transfers into an austenitic condition. Then the disk is moving beyond the treatment zone, the heated layer is chilled sharply by means of heat transfer into the mass of the detail. The structural transformation of austenite into martensite happens with the change of crystal lattice from the face-centered cubical lattice into a body-centered tetragonal one with the increase of the volume of heated metal. The increased volume, limited with the metal from three sides of the detail, is pressed above the treated surface up to the height of 0.3 – 1.5 mm and forms a buckled roller of martensite behind the moving disk. Here one can observe compressing stress and the degree of deformation up to 240 %. The rollers are formed along the whole surface from the edge to the edge in the direction, which is perpendicular to the motion of the workpiece during the operation process. Inclined (wedge-like) working surfaces of rollers provide the hydrodynamic supporting forces at sliding velocity of friction surfaces, which is more than 2 – 3 m/c (liquid lubrication), but supporting surfaces of rollers are made of a very hard material, allowing keeping wear-resistance in the conditions of boundary lubrication at slow sliding velocities of friction surfaces (less than 2 m/c).

Keywords: friction pair, rollers, fine-needled martensite, oily pockets, hydrodynamic forces, wearproof underlayment.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-2-124-127

REFERENCES

- Garkunov D.N. *Tribotekhnika* [Tribotechnology]. Moscow: Mashinostroenie, 1985, 424 p. (In Russ.).
- Scieszka S.F. Tribological phenomena in steel composite brake material friction pairs. *Wear*. 1981, vol. 64, no. 2, pp. 367–378.
- Thieseen P.A., Meyer K., Heinicke G. *Grundlagen der Tribochemie*. Berlin: Akademie-Verlag, 1967, 267 p. (In Germ.)
- Rose K. Which Process for Case-Hardening: Steel Carburizing, Nitriding or Carbonitriding. *Materials and Methods*. 1951, vol. 33, no. 2, pp. 11.
- Zakharov B.P. *Termicheskaya obrabotka metallov* [Heat treatment of metals]. Moscow: Mashgiz, 1957, 302 p. (In Russ.).
- Williams G.T. *Selections of carburizing steel case depth and heat treatment. Metals Handbook*. 1948.
- Sykes W.P. Carburizing iron by mixtures of hydrogen and methane. *Transactions Am. Soc. for Steel Treating*. 1927, pp. 12.
- Lakhtin Yu.M. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov* [Chemical and thermal treatment of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1985, 256 p. (In Russ.).
- Borisenok G.V., Vasil'ev L.A., Voroshnin L.G. etc. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov i spлавov: spravochnik* [Chemical and thermal treatment of metals and alloys: Reference book]. Lyakhovich L.S. ed. Moscow: Metallurgiya, 1981, 424 p. (In Russ.).
- Wolter H., Holcroft W.H. Carbonitriding of SAE steel parts. *Metal Progress*. 1947, vol. 52, no. 3, pp. IX.
- Valentin K.B. Structures and properties of some carbonitrided gases. *Metal Progress*. 1953, vol. 63, no. 6, pp. VI.
- Malushin N.N. Nitriding of welded details of metallurgical equipment. *Tekhnologiya metallov*. 2013, no. 7, pp. 26–28. (In Russ.).
- Zashchitnye pokrytiya na metallakh. Vyp. 9* [Protective coverings on metals. Issue 9]. Kiev: Naukova dumka, 1975, 208 p. (In Russ.).
- Progressivnye metody khimiko-termicheskoi obrabotki* [Advanced methods of chemical and thermal treatment]. Dubinin G.N., Kogan Ya.D. eds. Moscow: Mashinostroenie, 1979, 184 p. (In Russ.).
- Garbarz-Olivier J., Guilpin. C. Etude des charges electriques produites entre l'electrode et la solution lors des effets d'anode et de cathode dans les electrolytes aqueux. *J. Chim. phys.* 1975, vol. 72, no. 2, pp. 207–214. (In French)
- Weissgerber H., Bohme H., Bohme M. Elektrolytische Wärmebehandlung von Stahl. *Technick*. 1969, no. 6, pp. 413–417. (In Germ.)
- Lyulenkov V.I., Chalkov V.S., Shinkarenko A.S. *Sposob khimiko-termicheskoi obrabotki metallicheskikh izdelii* [Ways of chemical and thermal treatment of metal products]. Certificate of authorship USSR no. 1603822. *Byulleten' izobretenii*. 2011, no. 13. (In Russ.).
- Lyulenkov V.I., Polishchuk S.V. *Sposob sozdaniya iznosostoikikh ploskikh poverkhnostei par treniya* [Way of creation of wear-resistant flat surfaces of friction pairs]. Patent no. 2466002 RF. *Byulleten' izobretenii*. 2012, no. 31. (In Russ.).
- Glazov V.M., Vигдорovich V.N. *Mikrotverdost' metallov i poluprovodnikov* [Microhardness of metals and semi-conductors]. Moscow: Metallurgiya, 1969, 248 p. (In Russ.).
- Williams S.R. *Hardness and hardness measurements*. Cleveland: ASM, 1942.

Information about the authors:

V.I. Lyulenkov, Cand. Sci. (Eng.) (olgamatekhina@yandex.ru)
 S.V. Polishchuk, Senior Lecturer of the Chair of Mechanics and Mechanical Engineering (sveta-polishuk@mail.ru)
 A.G. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Director of Institute of Mechanical Engineering and Transport (nikitin1601@yandex.ru)

Received September 14, 2016