

УДК 621.893 + 621.833

Ю. РУСНАК, М. КАДНАР, З. ТКАЧ**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ АКТИВНОГО ЗУБА**

Описана можливість використання матеріалів таких, як чистий NP55 та суміші NP 20 і NP 40 з матеріалом CuSn10, нанесених на ковзні поверхні і на активну сторону зуба за допомогою технології плазмового термічного напылення. Результати експерименту підтвердили придатність усіх досліджуваних матеріалів та вказаної технології для застосування на ковзній поверхні та активній поверхні зуба.

Ключові слова: екологія, тертя, мастило, знос.

Описана возможность использования материалов таких, как чистый NP55 и смеси NP 20 и NP 40 с материалом CuSn10, нанесенных на поверхности скольжения и активную сторону зуба с помощью технологии плазменного термического напыления. Результаты эксперимента подтвердили пригодность всех исследуемых материалов и указанной технологии для применения на поверхности скольжения и активной стороне зуба.

Ключевые слова: экология, трение, смазка, износ.

This article describes the use of certain types of materials, which are applied to the sliding surface and the active surface of tooth. Applied technology of plasma thermal spraying on the surface of the working parts. The basis of the article is carried out the experiment with the processing of the results. Their assessment gives a complete overview of the main tribological properties of the materials and possible use in the slip node. The first test material it is pure NP55, and the second pair are a mixture of NP 20 and NP 40 with the material CuSn10. The experimental results confirmed the possibility of using all of the materials using the plasma thermal spraying technology to create a slip node and improve parameters the active surface of the tooth.

Keywords: ecology, friction, grease, wear.

Введение. Основной целью трибологии, как научной дисциплины, является применение трибологических закономерностей в строительстве и эксплуатации машин при повышении производительности, эффективности, надежности и оптимизации условий работы кинематических пар механизмов и деталей машин от всесторонней технико-экономической точки зрения.

Трение и износ являются побочными явлениями относительного движения по касательной к активной области деталей машин и среды. За очень небольшим исключением все движущиеся механизмы работают в условиях трения, что связано с износом. Это в значительной степени приводит к нарушению рабочих поверхностей компонентов, потере энергии, истиранию материала и, таким образом, существенно влияет на срок службы и надежность машин.

На практике часто бывают случаи, когда невозможно создать компоненты машин из материала с высокой устойчивостью к износу, так как это не удовлетворяет эксплуатационным нагрузкам, а также приводит к повышению стоимости. Функционирование детали можно обеспечить подходящей обработкой рабо-

чей поверхности. Следовательно, внедрение перспективных технологий обработки поверхностей является актуальной задачей. Они открывают путь для разработки и применения новых технологических процессов с новыми элементами конструкции, что в сочетании с инновационными материалами, обладающими особыми свойствами, формируют рабочие поверхности с требуемыми характеристиками. Такой технологией является и технология термического напыления.

Материал и методы. Мы установили: анализ трибологических свойств отобранных пар трения, в условиях моделирования тестированием истирания металла при помощи испытательной машины Tribotestor M'06 (рис. 1).

Эксперимент проводился с целью:

- определения коэффициента трения в зависимости от времени работы;
- определения температуры в зависимости от времени работы;
- статистической оценки измеренных данных;
- выработки рекомендаций для практики на основе оценки экспериментальных данных.

Материалы исследования были типа NP с применением технологии термического напыления плазмой

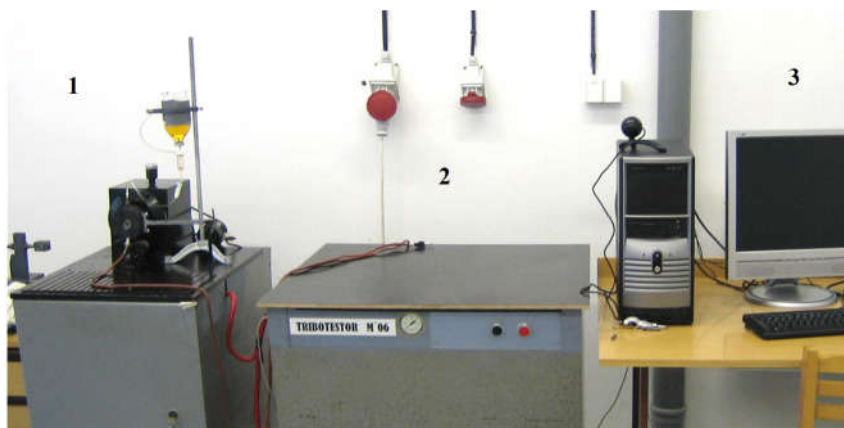


Рис. 1 – Общий вид испытательной машины Tribotestor M'06:
1 – механическая часть, 2 – блок электроники, 3 – персональный компьютер

© Ю. Руснак, М. Каднар, З. Ткач, 2016

на поверхности скольжения. Толщина напыленного материала составляла 0,2–0,8 мм. Первый тестовый материал был NP 20 + 40% CuSn10, второй NP 40 + 40% CuSn10, третий материал – NP 55. Материал NP 20 + 40% CuSn10 представляет собой сплав порошка на основе смеси Ni, В, Si, с материалом CuSn10. Материал NP 40 + 40% CuSn10 представляет собой смесь материалов NP с материалом CuSn10. Процентное соотношение смеси дано из расчета части оловянной бронзы в пропорции NP. NP 55 представляет собой сплав порошка на основе состава Ni, Cr, Si, В, W, Mo.

Скользкие свойства исследуемых материалов изучались с помощью процесса тестового истирания. Данный процесс тестирования стандартизирован по STN 02 3420. Испытание проводится с целью определения максимальной нагрузки до устойчивости скольжения материала, кривой границы (p, v) при измерении нагрузки "p" (МПа). Данный тест можно рассматривать как краткосрочный. Его цель состоит в том, чтобы определить зависимость коэффициента трения μ , температуры подшипника t_L в зависимости от постепенного измерения нагрузки F при определенной скорости скольжения v и определении максимальной нагрузочной способности подшипников F_{max} .

Работа подшипника была исследована в течении одного часа при давлении 0,5 МПа и скорости $0,3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Для подшипников диаметром 26,5 мм и длиной 20 мм (размеры исследуемых подшипников) была задана частота вращения вала $n = 286 \text{ мин}^{-1}$ и мощность нагрузки $F = 200 \text{ N}$. Затем следовал процесс истирания. Кривая процесса истирания определяется постепенным повышением нагрузочной силы на $\Delta F = 200 \text{ N}$, в каждом последующем интервале времени $\Delta t = 0$ минут, независимо от фиксации измеряемых величин (при постоянно заданной скорости скольжения, на $0,3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$).

Скользкий узел был смоделирован следующим образом (рис. 3): втулка с плазменным покрытием внешней поверхности (поз. 2) напрессована на вал, а ответная втулка запрессована в корпус и имеет внутреннюю поверхность скольжения с аналогичным покрытием (поз. 1).

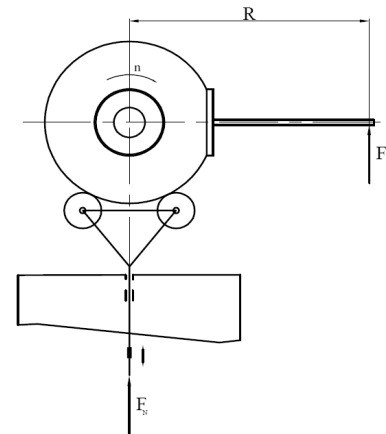


Рис. 2 – Кинематическая схема скользящего узла

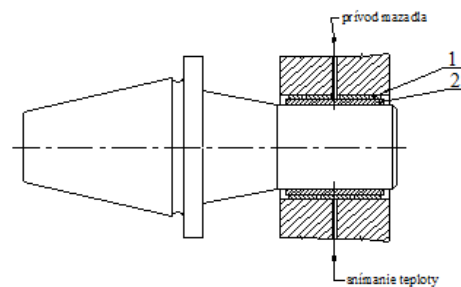


Рис. 3 – Устройство тестового узла

Это оригинальное решение узла скольжения, в котором вращаются композитные детали с плазменным напылением. В технологическом плане это более простой и дешевый способ нанесения специального покрытия на рабочей стороне, что означает, равномерный износ состава по всей площади и увеличение срока службы узла скольжения. Рабочие условия узла скольжения были выбраны на основе имеющихся знаний о трении скольжения:

- зазор в подшипнике 50 $\mu\text{м}$, с номинальным диаметром поверхностей скольжения 26,5 мм;
- масло PP 90 A;
- материал вала 11500;
- шероховатость поверхности находилась в диапазоне от 0,3 до 0,4 Ra.

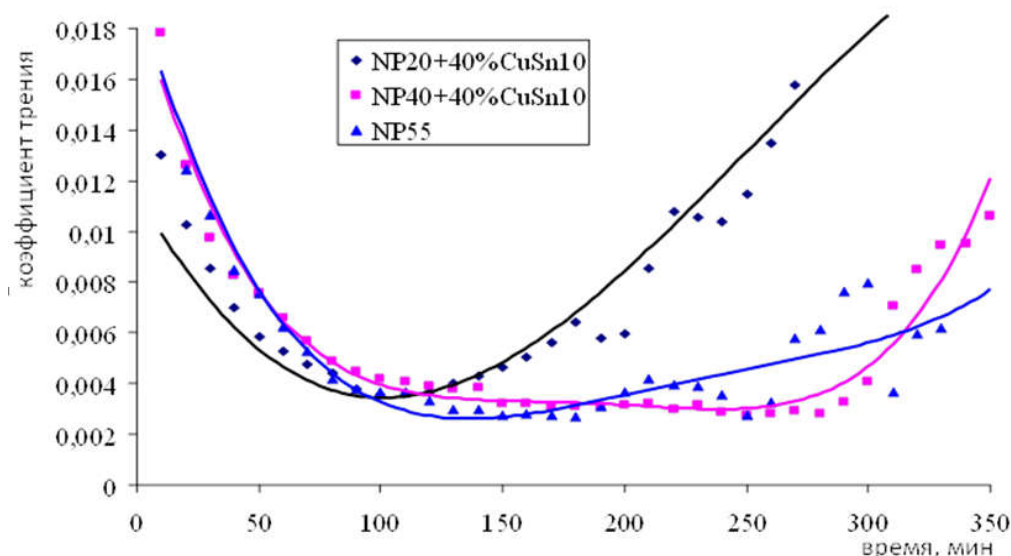


Рис. 4 – Сравнение форм коэффициента трения в зависимости от времени испытаний в отдельных измерениях

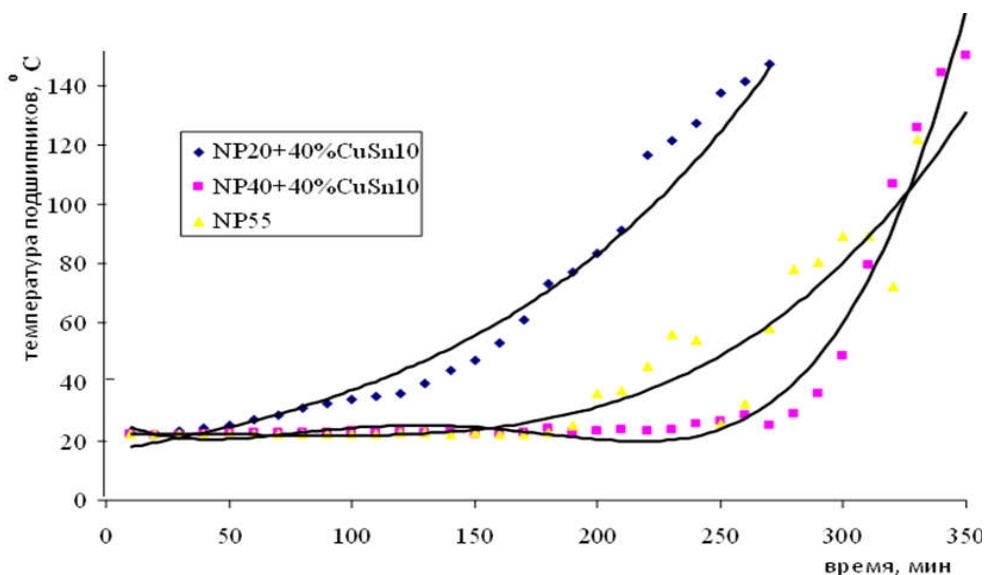


Рис. 5 – Сравнение температурной зависимости подшипников от времени испытаний в отдельных измерениях

Експериментальний аналіз був проведений на основі статистических виборок кожного з десяти серій справочних матеріалів.

Результаты эксперимента. При оценке испытанного истирания была установлена статистическая оценка значения F_{\max} , которая определяет достоверное значение максимальной нагрузки подшипника привода и переменной t_{\min} , которая определяет минимальный период для полного осуществления всех статистических операций. Были использованы инструменты для работы со статистикой, включенные в MS Excel. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

материал	t_{\min} , мин	F_{\max} , N
NP 20 + 40%CuSn10	170	3400
NP 40 + 40% CuSn10	181	3620
NP55	176	3520

Выводы. В данной работе были исследованы основные трибологические свойства выбранных материалов, нанесенных на поверхность технологией термического напыления плазмой. Особое внимание было уделено достоверному времени тестового истирания t_{\min} и гарантированной максимальной нагрузке F_{\max} для испытания истиранием, а также моделирование температуры и коэффициента трения в зависимости от времени испытаний.

Для пары трения материалов, в которых определялись показатели, выбранные для каждого образца, исследовалось количество шагов в области действия тестируемого образца, коэффициент трения в начале испытания, минимальный коэффициент трения, коэффициент трения в конце теста, температура N в конце испытания. Исследуемые параметры затем были обработаны с использованием описательной статистики.

На основе обработанных данных были созданы графические зависимости некоторых трибологических свойств выбранных материалов.

Общие понятия смешанного трения и предела показывают, что процессы, происходящие в этих типах трения, как правило, носят случайный процесс, что подтверждается существующими экспериментами.

Материалы могут быть проверены по своему происхождению и исследуемые смеси делятся на две категории. Первый материал является чистым NP 55, а вторая пара состоит из смеси NP 20 и NP 40 с материалом CuSn10.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что самые низкие значения гарантированного тестового истирания по времени t_{\min} и максимальной нагрузки F_{\max} достигает материал NP 20 + 40% CuSn10 в течении 170 минут и 3400 N. За ним следуют материалы NP 55 с временем нагружения 176 минут и силой 3500 N. Оставшийся материал NP 40 + 40% CuSn10 достигает наивысших качественных показателей – 181 минуту и 3600 N. Это заметно отличается от двух предыдущих материалов. Можно сделать вывод, что его состав и технологические данные отвечают высоким требованиям для практического использования в подшипнике скольжения.

Графики зависимостей коэффициента трения и температуры подшипника от времени испытания были построены для всех исследуемых материалов. На графиках показаны кривые для средних значений. При этом вид кривой зависимости для каждого материала имеет схожий характер для обоих типов исследований – коэффициент трения и температуры. Анализ полученных зависимостей показывает, что первоначально имеется тенденция к снижению значений, а после достижения минимума наступает значительное увеличение показателей.

Анализируя коэффициент трения материала CuSn10 BS-20, было обнаружено, что минимум наступает после 100 минут при шероховатости не ниже 0,004, а после этого быстро возрастает. Можно сделать вывод о том, что практическая применимость только к этой области минимальна. Материал NP 40 + 40% CuSn10 достиг минимального значения коэффициента трения в диапазоне 100-270 минут времени испытания. Наиболее сбалансированным материалом в результате анализа оказывается NP 55.

Подытоживая частичные результаты показателей выбранных свойств трибологических материалов, можно составить порядок приоритетности их использования на практике следующим образом:

- NP 40 + 40% CuSn10;
- NP 55;
- NP 20 + 40% CuSn10.

Результати експеримента підтвердили можливість створити скользящий вузол з використанням технології при всіх испытанных матеріалах, в том числі створення скользящей поверхності на активній стороні зуба.

Предлагаемая статья является частью проекта VEGA 1/0227/15.

Список литературы

1. *Rusnák J.* Štúdium tribologických vlastností materiálov nanosených na povrch nekonvenčnými technológiami / *Rusnák J.* // Monografia. MF SPU Nitra – 2005, – 67 s.
2. *Bošanský M.* Non-Standard Gearing, / *Bošanský M., Vereš M., Tököly P., Vanya A.* // STU Bratislava, – 2012, – 159 s.
3. *Tököly P.* Stanovenie hrúbky vrstvy povrchovej časti boku zuba z hladiska odolnosti voči opotrebeniu / *Tököly P.* // Dizertacna práca – Bratislava: – STU Sjf v Bratislave – 2009, – 130 s.
4. *Tököly P.* Geometrické parametre ozubenia a ich vplyv na hrúbku tvrdenej vrstvy boku zuba / *Tököly P., Ličková M.* // In: Transfer 2014: – Zborník prednášok z 15 medzinárodnej vedeckej konferencie, – Trenčín: TnUAD, – 2014, – 7 s., CD-ROM.
5. *Tóth F.* The study of geometrical changes of a given sliding couple caused by the influence of operation. Methods, devices, interpretation. Scientific monograph. / *Tóth F., Rusnák J., Hristo B., Kadnár M., Aleš D.* // Angel Kanchev University of Ruse Agrarian and Industrial Faculty, – 2014, – 82 s.
6. *Kučera M.* Analysis of the information from the test of tribological characteristics of selected materials. / *Kučera M.* // In: Zborník. "Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie 2004", – Nitra: SPU, – 2004, – 4 s.
7. *Kučera M.* Analysis of Friction Marks and Wear Products / *Kučera M., Pršan J.* // In: Acta technologica agriculturae 2008, – č. 2, s. 7.

8. *Kučera M.* The study of the effect of dynamic loading process on the properties of tribological system: methods, devices, interpretation / *Kučera M. Kučera M. Beloev C.I.* // 1st ed. Ruse: Angel Kanchev University of Rouse, – 2015, – 86 s.

References (transliterated)

1. *Rusnák J.* Štúdium tribologických vlastností materiálov nanosených na povrch nekonvenčnými technológiami / *Rusnák J.* // Monografia. MF SPU Nitra – 2005, – 67 p.
2. *Bošanský M.* Non-Standard Gearing, / *Bošanský M., Vereš M., Tököly P., Vanya A.* // STU Bratislava, – 2012, – 159 p.
3. *Tököly P.* Stanovenie hrúbky vrstvy povrchovej časti boku zuba z hladiska odolnosti voči opotrebeniu / *Tököly P.* // Dizertacna práca – Bratislava: – STU Sjf v Bratislave – 2009, – 130 p.
4. *Tököly P.* Geometrické parametre ozubenia a ich vplyv na hrúbku tvrdenej vrstvy boku zuba / *Tököly P., Ličková M.* // In: Transfer 2014: – Zborník prednášok z 15 medzinárodnej vedeckej konferencie, – Trenčín: TnUAD, – 2014, – 7 p., CD-ROM.
5. *Tóth F.* The study of geometrical changes of a given sliding couple caused by the influence of operation. Methods, devices, interpretation. Scientific monograph. / *Tóth F., Rusnák J., Hristo B., Kadnár M., Aleš D.* // Angel Kanchev University of Ruse Agrarian and Industrial Faculty, – 2014, – 82 p.
6. *Kučera M.* Analysis of the information from the test of tribological characteristics of selected materials. / *Kučera M.* // In: Zborník. "Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie 2004", – Nitra: SPU, – 2004, – 4 p.
7. *Kučera M.* Analysis of Friction Marks and Wear Products / *Kučera M., Pršan J.* // In: Acta technologica agriculturae 2008, – part. 2, p. 7.
8. *Kučera M.* The study of the effect of dynamic loading process on the properties of tribological system: methods, devices, interpretation / *Kučera M. Kučera M. Beloev C.I.* // 1st ed. Ruse: Angel Kanchev University of Rouse, – 2015, – 86 p.

Поступила (received) 15.03.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження трибологічних властивостей матеріалів, отриманих за допомогою плазмової технології термічного напилення для активного зуба / Ю. Руснак, М. Каднар, З. Ткач // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 138–141. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0791.

Исследование трибологических свойств материалов, полученных с помощью плазменной технологии термического напиления для активного зуба / Ю. Руснак, М. Каднар, З. Ткач // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 138–141. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0791.

Research the tribological properties of the materials obtained by the plasma thermal spraying technology for active tooth / J. Rusnák, M. Kadnar, Z. Tkáč // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 138–141. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Юрій Руснак – проф., к.т.н., кафедра конструювання машин, Технічний факультет, Словацький сільськогосподарський університет в Нітрі, Нітра, Словаччина; тел. 0910212501; e-mail: juraj.rusnak@uniag.sk.

Юрьий Руснак – проф., к.т.н., кафедра конструювання машин, Технический факультет, Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, Нитра, Словакия; тел. 0910212501; e-mail: juraj.rusnak@uniag.sk.

Juraj Rusnák – Prof. Ing., PhD., professor CSc./PhD., Department of Machine Design, The Faculty of Engineering Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia; tel. 0910212501; e-mail: juraj.rusnak@uniag.sk.

Мілан Каднар – доц., к.т.н., кафедра конструювання машин, Технічний факультет, Словацький сільськогосподарський університет в Нітрі, Нітра, Словаччина; тел. 0903849857; e-mail: milan.kadnar@uniag.sk.

Милан Каднар – доц., к.т.н., кафедра конструювання машин, Технический факультет, Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, Нитра, Словакия; тел. 0903849857; e-mail: milan.kadnar@uniag.sk.

Milan Kadnar – Doc. Ing., associate professor CSc./PhD., Department of Machine Design, The Faculty of Engineering Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia; tel. 0903849857; e-mail: milan.kadnar@uniag.sk.

Зденко Ткач – проф., к.т.н., кафедра транспорту та маніпуляції, Технічний факультет, Словацький сільськогосподарський університет в Нітрі, Нітра, Словаччина; тел. 0911880199; e-mail: zdenko.tkac@uniag.sk.

Зденко Ткач – проф., к.т.н., кафедра транспорту та маніпуляції, Технический факультет, Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, Нитра, Словакия; тел. 0911880199; e-mail: zdenko.tkac@uniag.sk.

Zdenko Tkáč – Prof. Ing., PhD., professor CSc./PhD., Department of Transport and Handling, The Faculty of Engineering Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia; tel. 0911880199; e-mail: zdenko.tkac@uniag.sk.