УДК 621.895; 621.892.8

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.А. Цеханов[1], И.В. Харченко[2], Р.М. Джемалядинов[2], В.В. Скакун[2]

[1]Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
[2]Крымский инженерно-педагогический университет, г. Симферополь, Россия

Аннотация: одним из актуальных направлений в области повышения эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) является модифицирование жидкостей ультрадисперсными порошками. Непосредственно коагуляция (агрегатирование) является основной проблемой при применении ультрадисперсных порошков, так как возникают трудности в их диспергировании, стабилизировании и однородном распространении в объёме смазки. Наиболее эффективным средством устранения указанных недостатков является интенсивное диспергирование частиц металлов с введением полимера (ПАВ), который в свою очередь активно покрывает поверхность защитной оболочкой, что препятствует их дальнейшему агрегатированию. Интенсивное диспергирование разрывает коагуляционную связь, а полимер создаёт сольватную оболочку вокруг частицы. В результате активного диспергирующего воздействия в присутствии полимера удаётся добиться стабилизации модификатора в дисперсном виде и предотвратить его коагуляцию. Приведены результаты влияния стабилизированных СОТС с ультрадисперсными модификаторами алюминия и молибдена на износ и силовые характеристики процесса точения металлов с различной химической активностью. Из гистограмм видно, что использование стабилизированных ультрадисперсных модификаторов способствует снижению сил резания и снижению износа инструмента по передней поверхности за счёт снижения удельного давления и изменения угла сдвига стружки. Применение техники минимальной смазки способствует экономической целесообразности процесса

Ключевые слова: ультрадисперсные модификаторы, смазочно-охлаждающие технологические средства, ультразвуковое воздействие, техника минимальной смазки, поверхностно-активные вещества, силы резания, коагуляция, износ

Введение

На сегодняшний день, несмотря на обширное разнообразие различных способов изготовления и формирования поверхности будущих деталей, основным остаётся обработка заготовок металлорежущим инструментом. Гарантом получения продукции высокого качества и стабильно высокой работоспособности обрабатывающего инструмента является выбор и правильное применение смазочных жидкостей.

Одним из направлений активации смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) является введение в состав различных антиокислителей, антифрикционных присадок, а также моющих и противокоррозионных добавок, которые могут значительно улучшить производительность при обработке резанием, а также благоприятно сказываются на качестве обработанной поверхности. Применение ультрадисперсных модификаторов технологических сред представляет большой интерес в развитии данной отрасли.

В последнее время уникальные свойства нанопорошков, а точнее их способность изменять контактные характеристики при воздействии различных операционных факторов вследствие химической активности, применяются для создания ультрадисперсных модификаторов смазок [1-3].

Известно, что в качестве смазочных плёнкообразующих присадок применяют полимеры, дисульфид молибдена, ультрадисперсные алмазы и порошки металлов и их оксидов и т.п. [4, 5].

Хорошо себя зарекомендовало применение ультрадисперсных порошков цветных металлов и сплавов. Так применение меди, цинка, бронзы в составе смазок значительно увеличивает их трибологические характеристики и способствует большей работоспособности узла трения [6].

Действие модифицированных ультрадисперсными порошками СОТС таково, что во время резания поверхность режущей кромки инструмента покрывается защитной плёнкой. Это обстоятельство способствует появлению

© Цеханов Ю.А., Харченко И.В., Джемалядинов Р.М., Скакун В.В., 2018

сразу нескольких положительных моментов. Во-первых, данная среда способствует появлению пластификации при обработке металла. Во-вторых, уменьшается энергия на поверхностном слое обрабатываемого металла. В-третьих, порошки способствуют снижению предела текучести на сдвиг, уменьшается сила трения и температура резания [4].

По результатам, отраженным в работах [7, 8], ультрадисперсные порошки меди, графита, дисульфида молибдена и т.п. обеспечивают максимальное структурирование полимерной матрицы и могут быть рекомендованы к применению в антифрикционных композитных материалах в качестве легирующей добавки.

Таким образом, выявлен селективный перенос атомов легирующего вещества на поверхность контртела, создающий эффект граничного трения и, как следствие, более равномерное распределение нагрузок по сопряженным поверхностям трения, за счет чего уменьшается износ и трение.

В рамках данной статьи приведены результаты экспериментальных исследований влияния ультрадисперсных модификаторов СОТС на силовые характеристики процесса точения конструкционных материалов и исследование износа по передней поверхности.

Применение ультрадисперсных порошков без предварительной обработки практически невозможно, в связи с процессом агрегатирования (коагуляции). В связи с чем процесс диспергирования и стабилизации порошков в объеме смазочного материала имеет ключевое значение. Известно о существовании нескольких способов борьбы с эффектом высокой поверхностной энергии частиц, а именно: пассивация, стабилизация коллоидными растворами, использование капсулирующих (обволакивающих) веществ и т.д. [9-13].

Чем выше концентрация ультрадисперсного модификатора, тем сложнее его деагломерация. Стабильность суспензии с высокой концентрацией частиц гораздо ниже.

Наиболее эффективным средством, на наш взгляд, устранения указанных недостатков является интенсивное диспергирование частиц металлов с введением полимера (ПАВ), который в свою очередь активно покрывает поверхность частиц защитной оболочкой, что препятствует их дальнейшему агрегатированию (рис. 1).

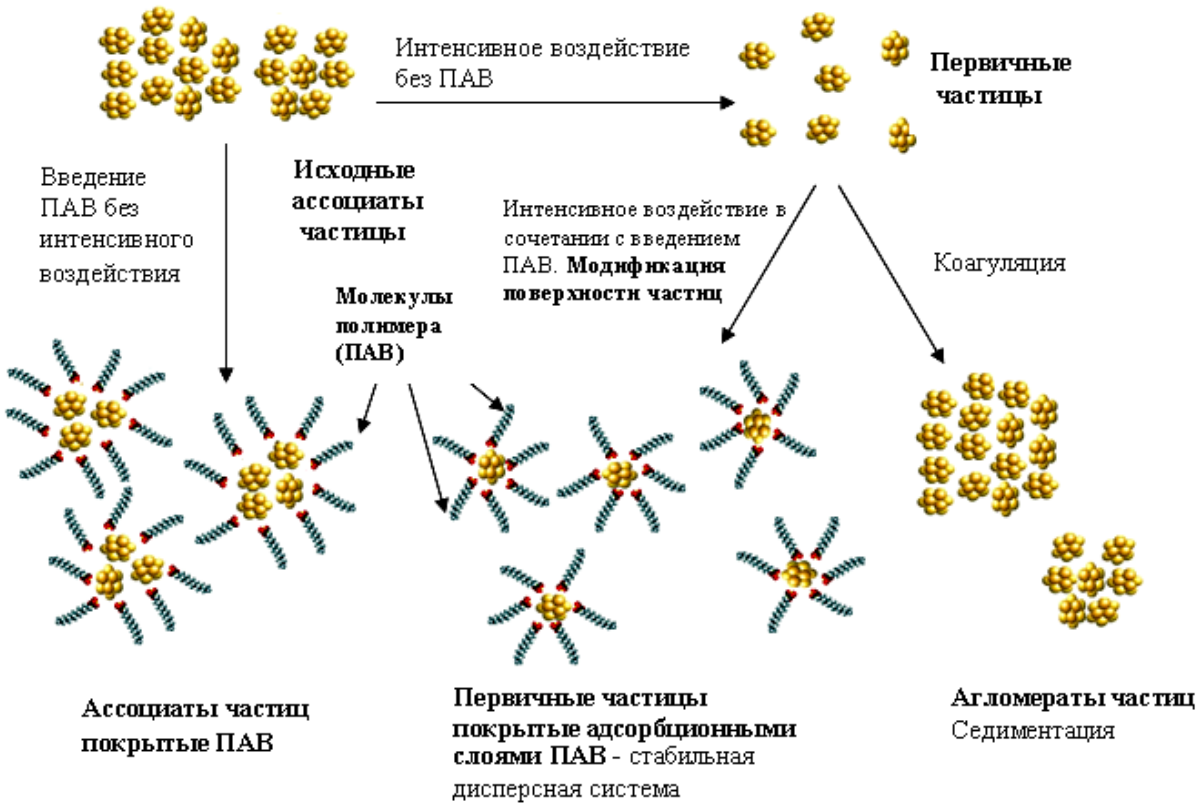


Рис. 1. Схема влияния интенсивного диспергирования частиц металлов с введением полимера и без

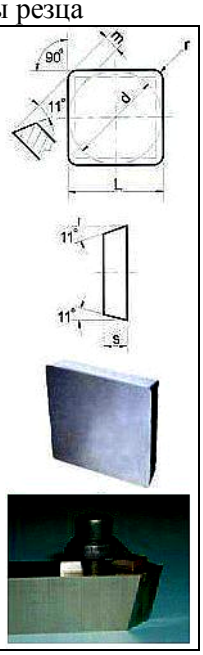
Методика экспериментов

Эксперименты по точению стали 45, стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ-22 проводились на базе лаборатории кафедры технологии машиностроения Крымского инженерно-педагогического университета. В ходе проведения экспериментов был рассмотрен процесс открытого точения как наиболее удобный с методической точки зрения способ исследований. Точение заготовок осуществлялось проходным резцом со сменными многогранными пластинами ISO: SPUN120308 из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия. При этом каждый проход осуществлялся новой гранью пластины.

В качестве оборудования для проведения лабораторных экспериментов был выбран токарный станок SAMAT 400 M с бесступенчатым приводом.

Скорость резания принималась согласно усредненным данным общемашиностроительных нормативов режимов резания и составляла при точении стали 45 v=50 м/мин., при точении нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т - v=25 м/мин., при точении титанового сплава ВТ-22 - v=10 м/мин. Величина глубины резания и подачи оставалась постоянной и составляла 0,5 мм и 0,2 мм/мин. соответственно. Постоянство скорости резания при изменении диаметра отрабатываемой заготовки достигалось за счет частотного преобразователя Altivar 71.

Конструкция и параметры резца

Наименование	Сменная многогранная пластина	
Материал	Р6М5	
Покрытие	Отсутствует	
Фирма-производитель	ОАО «Киржачский инструментальный завод»	
r	0,4	
γ	0°	
α	11°	
φ	45°	

В качестве СОТС использовались модифицированные ультрадисперсными порошками растворы олеиновой кислоты и масла индустриального И-20 (База).

Для предотвращения агломерации ультрадисперсных порошков раствор диспергировали с помощью ультразвукового диспергатора DADI DA-968. Олеиновая кислота в этом случае играет роль ПАВ. Доля ультрадисперсной присадки составляет 0,5% и 1% соответственно. Все СОТС были повторно диспергированы непосредственно перед применением. Подача СОТС в зону резания осуществлялась с помощью специального дозирующего устройства Noga Minicool MMS (рис. 2). Расход смазки составлял 5 мл/мин.

Измерение износа осуществлялось на инструментальном измерительном микроскопе ИМЦЛ 150х75(2)Б, погрешность при измерении линейных размеров которого составляет ±0,003 мм, а увеличение объектива микроскопа 40 крат.

За критерий износа была принята длина контакта по передней поверхности, оцениваемая по двузонной модели Зорева с учетом пластического Ln и упруго пластического Ly контакта, образующихся в течение одного и того же времени (пути) резания заготовки. Для большей достоверности данных эксперименты проводились не менее 5 раз для получения уровня надёжности доверительной вероятности 0,9 (метод малой выборки).

Определение энергосиловых составляющих процесса резания Px, Py, Pz являются основными показателями обрабатываемости материалов и позволяют оценить эффективность влияния СОТС.

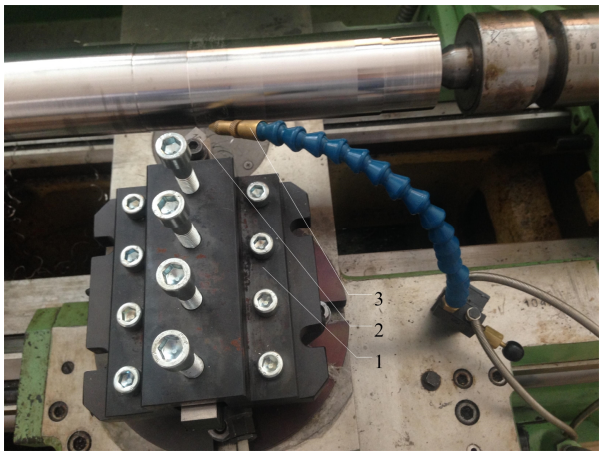


Рис. 2. Общий вид установки
1 - динамометр М-30-3-6к, 2 – резец, 3 - дозирующее устройство Noga Minicool MMS

Замеры составляющих сил резания осуществлялись с помощью динамометра М-30-3-6к (рис. 2), сигнал с сенсоров которого благодаря

четырёхканальному усилителю был преобразован и записан на персональный компьютер.

Результаты экспериментов

На гистограммах (рис. 3-8) показаны основные результаты влияния модифицированных СОТС на изменение составляющих сил резания и длин контакта по передней поверхности.

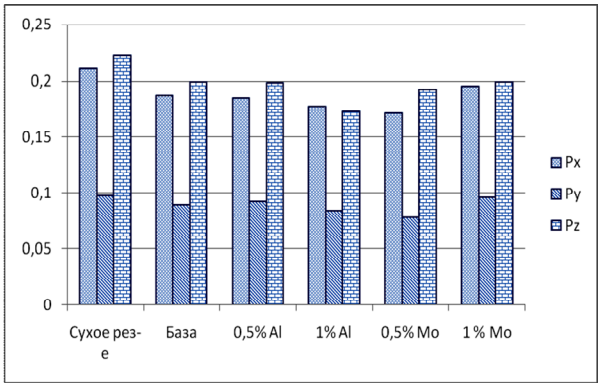


Рис. 3. Средние значения составляющих сил резания Px, Py, Pz при точении стали 45 (S=0,2 мм/об, V=50 м/мин.)

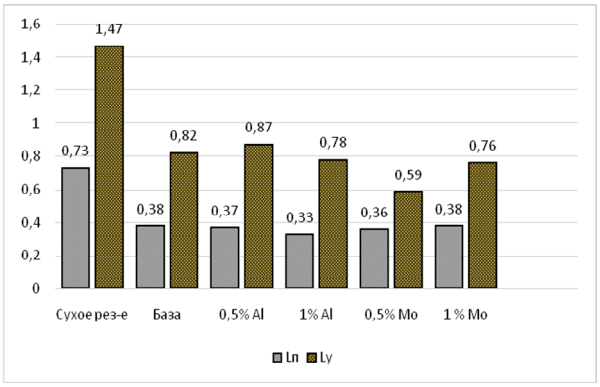


Рис. 4. Средние значения длины контакта по передней поверхности Ln и Ly при обработке стали 45 (T=7 мин.)

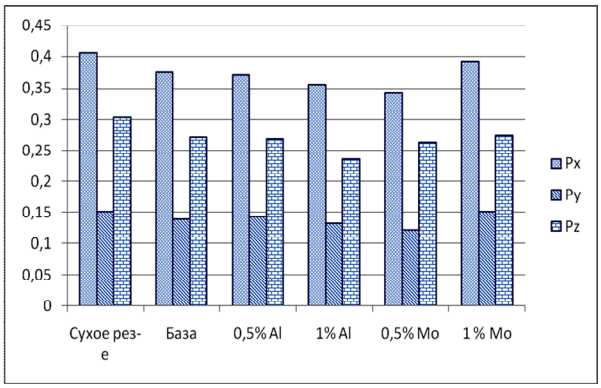


Рис. 5. Средние значения составляющих сил резания Px, Py, Pz при точении стали 12X18H10T (S=0,2 мм/об, V=25 м/мин.)

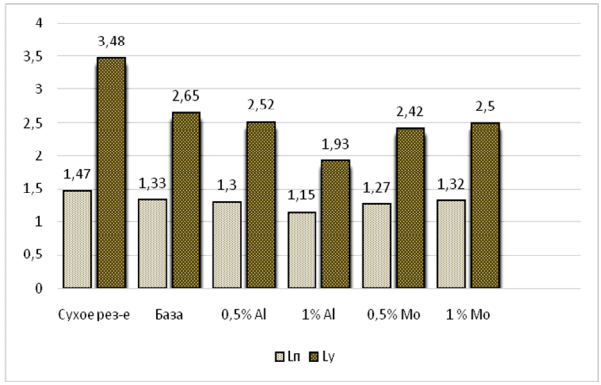


Рис. 6. Средние значения длины контакта по передней поверхности Ln и Ly при обработке стали 12X18H10T (T=7 мин.)

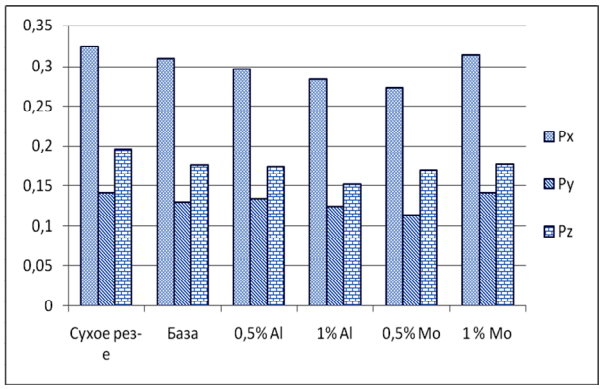


Рис. 7. Средние значения составляющих сил резания Px, Py, Pz при точении титанового сплава ВТ-22 (S=0,2 мм/об, V=10 м/мин.)

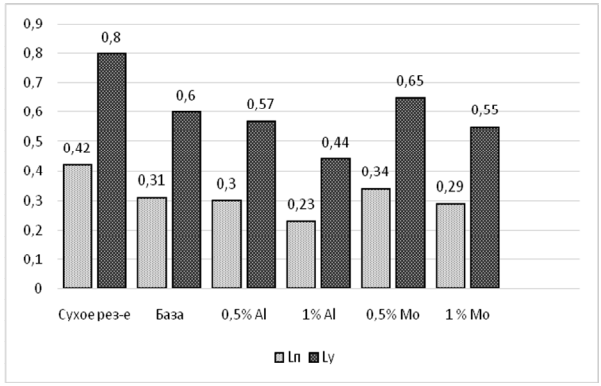


Рис. 8. Средние значения длины контакта по передней поверхности Ln и Ly при обработке титанового сплава ВТ-22 (T=7 мин.)

Выводы

Результаты влияния стабилизированных смазочно-охлаждающих технологических сред с ультрадисперсными модификаторами Al и Mo на износ и энергосиловые характеристики процесса точения различных по химической активности конструкционных материалов в

совокупности с техникой минимальной смазки свидетельствуют об уменьшении износа и сил резания. Это доказывает их эффективность и позволяет на порядок уменьшить расход СОТС, что благотворно влияет как на расходы, связанные с содержанием и утилизацией охлаждающих жидкостей, так и на здоровье рабочих и на экологию в целом.

Литература

1. Поляков С.А. Нанотехника в трибологии // Нанотехника. 2006. № 1. С. 42-51.
2. Образцов Л.Н. Наноалмазы в смазочных композициях // Вестник Полоцкого государственного университета. 2010. С. 83-91.
3. Харченко, И.В. Применение наномодификаторов для повышения эффективности СОТС при резании металлов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. Ч. 2. С. 121-124.
4. Говорова О.В., Петров В.М., Сойту Н.Ю. Возможность применения активных мелкодисперсных модификаторов трения в современных СОТС // ТРАНСТРИБО-2005: сб. статей, 2005. С. 192-196.
5. Additive Schmiers und Arbeitssigkeit / K. Matsuo, U. Maede, M. Kurabashi, M. Miuva // 5th Int. Kolog., Esslingen, Germany, 14-16 jan.. 1986. Esslingen. 1986. Bd. 2. P. 5.417-5.418.
6. Функциональные технологические смазочные материалы, структурированные нанопорошками цветных металлов, для повышения эффективности обработки деталей транспортных средств / Г.И. Шульга, А.О. Колесниченко, Е.В. Скринников, Т.Г. Шульга // Вестник ДГТУ. 2011. Т. 11. № 10 (61). С. 1867-1873.
7. Анисимов А.В., Бахарева В.Е., Рыбин В.В. Модификация антифрикционных полимерных композиционных материалов на различных масштабных уровнях // Вопросы материаловедения. 2009. № 1 (57). С. 9-16.
8. Исследование наноразмерных самосмазывающихся соединений дисульфида молибдена и графита / А.П. Краснов, А.С. Голубь, В.Н. Адериха, А.В. Наумкин и др. // Поликомтриб-2013: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Гомель: ИММС НАНБ, 2013. С. 305.
9. Петров В.М., Сойту Н.Ю., Петров Ю.В. Результаты испытаний наноструктурированных СОТС, содержащих активные фуллероидные наномодификаторы, на операциях сверления конструкционных материалов, применяемых в машиностроении // Вестник СГТУ. 2010. № 3 (46). С. 49-55.
10. Вейц В.Л., Зубарев Ю.М., Петров В.М. Перспективы развития технологий на основе фуллероидных наномодификаторов // Инструмент и технологии. 2007. № 26-27. С. 15-23.
11. Зубарев Ю.М., Петров В.М., Никити В.А. Решение частных триботехнических задач энергомашиностроения за счёт наноструктуризации технологических сред // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 3 (41). Вып. 2. С. 179-184.
12. Сойту, Н.Ю. Повышение эффективности процесса сверления металлов за счёт фуллеренсодержащих СОТС: Автореф. дис… на канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2006. 23 с.
13. Булычев Н.А. Модификация дисперсных систем полимерами при механическом воздействии: автореф. дис. … канд. хим. наук. Москва, 2006. 23 с.
14. Цеханов Ю.А., Сторчак М.А. Development of analytical model for orthogonal cutting // Production Engineering. Research and Development. Germany, Springer, April. 2015. V. 9 (2). P. 56.

Поступила 20.10.2018; принята к публикации 30.11.2018

Информация об авторах

Цеханов Юрий Александрович - д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет (394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, 14), e-mail: tsekhanov@yandex.ru

Харченко Илья Владимирович - аспирант, Крымский инженерно-педагогический университет (295015, Россия, г. Симферополь, пер. Учебный, 8), e-mail: ilya.kharchenko.33@mail.ru

Джемалядинов Руслан Марленович - аспирант, Крымский инженерно-педагогический университет (295015, Россия, г. Симферополь, пер. Учебный, 8), e-mail: rus.dzhemalyadinov@mail.ru

Скакун Владимир Владимирович - аспирант, Крымский инженерно-педагогический университет (295015, Россия, г. Симферополь, пер. Учебный, 8), e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru

INFLUENCE OF ULTRADISPERSED MODIFICATORS OF FLUIDS ON POWER CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF CUTTING CONSTRUCTION MATERIALS

Yu.A. Tsekhanov[1], I.V. Kharchenko[2], R.M. Dzhemalyadinov[2], V.V. Skakun[2]

[1]Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
[2]Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Russia

Abstract: one of the current areas in the field of improving the performance properties of lubricant agents (LCA) is the modification of liquids with ultrafine powders. Directly coagulation (aggregation) is the main problem when using ultra-fine powders, as there are difficulties in their dispersion, stabilization and uniform distribution in the volume of lubricant. The most effective means of eliminating these disadvantages is the intensive dispersion of metal particles with the introduction of a polymer (surfactant), which in turn actively covers the surface with a protective sheath, which prevents their further aggregation.

Intensive dispersion breaks the coagulation bond, and the polymer in turn creates a solvation shell around the particle. As a result of the active dispersing effect in the presence of a polymer, it is possible to achieve stabilization of the modifier in a dispersed form and prevent its coagulation. The results of the influence of stabilized LCA with ultrafine aluminum and molybdenum modifiers on wear and the power characteristics of the process of turning metals with various chemical activities are presented. It can be seen from the histograms that the use of stabilized ultrafine modifiers contributes to reducing cutting forces and reducing tool wear on the front surface by reducing the specific pressure and changing the chip shear angle. The use of minimal lubrication technology contributes to the economic viability

Key words: ultrafine modifiers, lubricant cooling agents, ultrasonic treatment, minimal lubrication technique, surfactants, cutting forces, coagulation, wear

References

1. Polyakov S.A. “Nanotechnics in tribology”, *Nanotechnics (Nanotekhnika)*, 2006, no. 1, pp. 42-51.

2. Obraztsov L.N. “Nanodiamonds in lubricant compositions”, *Bulletin of the Polotsk State University (Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta)*, 2010, pp. 83-91.

3. Kharchenko I.V. “Application of nano modifiers to improve the efficiency of LCA when cutting metals”, *Papers of Tula State University. Technical Science (Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 8: v 2 ch.)*, 2017, issue 8, part 2, pp. 121-124.

4. Govorova O.V., Petrov V.M., Soytu N.Yu. “Possibility of using active finely dispersed friction modifiers in modern LCA”, *Collected papers "TRANSTRIBO-2005"*, 2005, pp. 192-196.

5. Matsuo K., Maede U., Kurabashi M., Miuva M. “Additive schmiers und arbeitssigkeit”, *5th Int. Kolog.*, Esslingen, Germany, 1986, bd. 2, pp. 5417-5418.

6. Shul’ga G.I., Kolesnichenko A.O., Skrinnikov E.V., Shul’ga T.G. “Functional technological lubricants, structured by nanopowders of non-ferrous metals, to improve the efficiency of processing parts of vehicles”, *Bulletin of DSTU (Vestnik DGTU)*, 2011, vol. 11, no. 10 (61), pp. 1867-1873.

7. Anisimov A.V., Bakhareva V.E., Rybin V.V. “Modification of antifriction polymer composite materials at various scale levels”, *Problems of Materials Science (Voprosy materialovedeniya)*, 2009, no. 1 (57), pp. 9-16.

8. Krasnov A.P., Golub’ A.S., Aderikha V.N., Naumkin A.V. et al. “Investigation of nano self-lubricating compounds of molybdenum disulfide and graphite”, *Proc. of the Int. Sci. and Techn. Conf.: Polycromtrib 2013 (Polikomtrib-2013: tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.)*, Gomel, IMMS NANB, 2013, pp. 305.

9. Petrov V.M., Soytu N.Yu., Petrov Yu.V. “Results of tests of nanostructured LCA containing active fulleroid nanomodifiers on drilling operations of structural materials used in machine building”, *Bulletin of SSTU (Vestnik SGTU)*, 2010, no. 3 (46), pp. 49-55.

10. Weitz V.L., Zubarev Yu.M., Petrov V.M. “Prospects for the development of technologies based on fulleroid nanomodifiers”, *Instrument and Technologies (Instrument i tekhnologii)*, 2007, no. 26-27, pp. 15-23.

11. Zubarev Yu.M., Petrov V.M., Nikitin V.A. “The solution of private tribotechnical problems of power machine construction due to the nanostructuring of technological media”, *Bulletin of Saratov State Technical University (Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2009, no. 3 (41), issue 2, pp. 179-184.

12. Soytu N.Yu. “Increasing the efficiency of the drilling process of metals due to fullerene-containing LCA: Cand. tech. sci. diss.” (“Povyshenie effektivnosti protsessa sverleniya metallov za schyet fullerensoderzhashchikh SOTS: Avtoref. dis. na kand. tekhn. nauk.”), St. Petersburg, 2006, 23 p.

13. Bulychev N. “Modification of disperse systems by polymers under mechanical action: Cand. chem. sci. diss.” (“Modifikatsiya dispersnykh sistem polimerami pri mekhanicheskom vozdeystvii: avtoref. dis. kand. khim. nauk.”), Moscow, 2006, 23 p.

14. Tsekhanov Yu.A., Storchak M.A. “Development of analytical model for orthogonal cutting”, Production Engineering. Research and Development. Germany, Springer, 2015, vol. 9 (2), pp. 56.

Submitted 20.10.2018; revised 30.11.2018

Information about the authors

Yuriy A. Tsekhanov, Dr. Sc. (Technical), Professor, Voronezh State Technical University (14 Moskovskiy prospekt, Voronezh, 394026, Russia), e-mail: tsekhanov@yandex.ru

Il’ya V. Kharchenko, Graduate student, Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Russia (8 Uchebnyy alley, Simferopol 295015, Russia), e-mail: ilya.kharchenko.33@mail.ru

Ruslan M. Dzhemalyadinov, Graduate student, Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Russia (8 Uchebnyy alley, Simferopol 295015, Russia), e-mail: rus.dzhemalyadinov@mail.ru

Vladimir V. Skakun, Graduate student, Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Russia (8 Uchebnyy alley, Simferopol 295015, Russia), e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru