

УДК 621.892.6: 665.2

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ТРИВКОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ СТАЛІ 12X18AG18Ш

О. І. БАЛИЦЬКИЙ¹, М. Р. ГАВРИЛЮК¹, В. В. КОЧУБЕЙ², Я. ЕЛІАШ³

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Національний університет "Львівська політехніка";

³ Західнопоморський технологічний університет, Щецин, Польща

Виконано термічний аналіз зразків змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) та їх концентратів на дериватографі. Порівняно нову рідину, отриману шляхом модифікації соняшникової олії триетиленаміном, із ЗОР на основі нафтової оливи. Наведено результати їх змащувальної здатності. Виявлено вищу термічну тривкість та кращі змащувальні властивості зразка на модифікованій соняшниковій олії.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальні рідини, диференційний термічний, термогравіметричний та диференційний термогравіметричний аналізи, соняшникова олія, нафтова олива, змащувальні властивості, різальна здатність, екологія.

Змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР) часто використовують, щоб збільшити продуктивність механічної обробки і підвищити якість різання металу [1–6], зокрема, хромомарганцевих сталей, які поєднують високу міцність, пластичність, схильність до наклепу та низьку теплопровідність [7–9]. Виділяють такі дії ЗОР: охолоджувальну (в зоні різання поглинає значну частину утвореного тепла, зменшуючи так його підвід в інструмент і підвищує стійкість); змащувальну (через утворення на контактних поверхнях адсорбційного шару знижується інтенсивність схоплювання поверхонь, що труться, і падає коефіцієнт тертя); диспергувальну (полегшує руйнування оброблюваного металу в місці контакту його з різальними кромками інструменту порівняно з обробкою всуху; захисну (зберігається обладнання та деталі в міжопераційний період від корозії), як мийний засіб пришвидшує вилучення сформованої стружки із зони різання.

Нафтові оливи – це складна суміш вуглеводнів $C_{20}-C_{50}$, що містять лінійні, розгалужені алкани, ациклічні, олефінові, ароматичні сполуки та гетероатоми, в основному сірки [1, 10]. Більшість рідин для металообробки виготовлені на нафтових оливах [11]. Властивості ЗОР відповідають вимогам індустрії, але вони негативно впливають на працівників та довкілля, спричиняють захворювання шкіри, органів дихання, забруднюють ґрунт та водойми. Близько 80% всіх професійних хвороб операторів зумовлені контактом шкіри з такими рідинами [12]. За неправильних зливів вони можуть забруднювати ґрунт і гідроресурси, що обмежує їх утилізацію і завдає серйозної шкоди довкіллю [13]. Встановлено, що лише країни Євросоюзу споживають ~ 320000 тонн за рік таких рідин, як мінімум дві третини яких потрібно утилізувати [14]. Усвідомлення цих небезпечних ефектів призвело до законодавчого регулювання використання ЗОР в Європі, Канаді, США, Японії [15]. Серед найновіших документів – Директива (2014/94/UE) Європарламенту про розробку альтернативних нафтопродуктам палив та ЗОР. Це спонукає до пошуку безпечних біодеградуючих рідин зі застосуванням рослинних олій (рицинової, кокосової, ріпакової, пальмової), які можуть ефективно замінити нафтові [16–22].

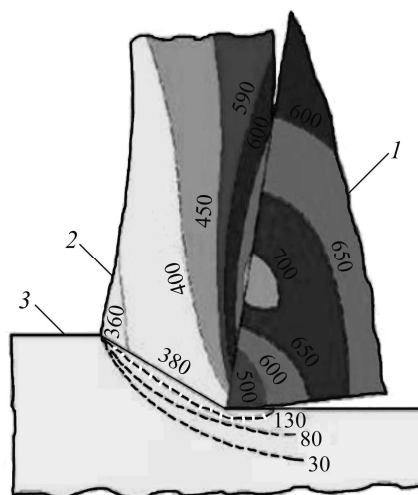
Контактна особа: О. І. БАЛИЦЬКИЙ, e-mail: balitski@ipm.lviv.ua

У 1905 р. такі дослідження започаткував Н. Н. Саввін [23]. До середини 19-го століття практично всі змащувальні оливи виготовляли на основі натуральних олій. Рослинні олії – це здебільш тригліцериди змішаних лінійних C_8-C_{22} і жирних кислот, тобто потрійні ефіри довгих ланцюгових карбоксильних кислот з гліцерином. Більшість з них містить як мінімум чотири, а інколи і до дванадцяти різних жирних кислот [24, 25]. Тригліцеридна структура олій забезпечує бажані якості межового змащування, високу природну в'язкість і коефіцієнт в'язкості (сильні міжмолекулярні взаємодії тривкі до температурних змін), а також структурну стабільність. Довгі і полярні жирні кислотні ланцюги утворюють орієнтовані молекулярні плівки, що взаємодіють з металевими поверхнями, зменшуючи і тертя, і зношувальність. Такі олії мають достатньо високу молекулярну масу (в межах 850...940), що зумовлює їх слабку леткість, навіть за глибокого вакууму. Наприклад, молекулярна маса вазелінової оливи для приладів становить 270 [25]. До того ж вони суттєво переважають нафтові за екологічними властивостями, які оцінені за розчинністю у воді, біорозкладом за 7 діб і за 21 добу, хімічним та біологічним поглинанням кисню [26]. Ці оцінки доповнюють результати перевірки токсичності до водних організмів і впливу на рослинний світ.

На практиці широко застосовують мастильні засоби, одержані з ріпакової олії [25, 27–30]: гідравлічні; охолоджувальні і спеціальні для змащування деталей деяких сільськогосподарських машин; для змащування ланцюгів, пилок; адгезійні і трансмісійні. Температура спалаху рослинних олив висока, що корелює з дуже низькими тиском парів та леткістю.

Рис. 1. Розподіл температур ($^{\circ}C$) у зоні різання: 1 – інструмент; 2 – стружка; 3 – деталь.

Fig. 1. Temperature distribution ($^{\circ}C$) in the cutting zone: 1 – tool; 2 – chip; 3 – detail.



В Україні основна олійна культура соняшник, частка якого становить понад 75% від загального обсягу виробництва рослинної олії. Близько 60% цього продукту у світі виробляють саме в Україні [31], тому привертають увагу її дослідження як основи ЗОР.

На ЗОР у зоні різання діє не тільки чиста неокиснена поверхня оброблюваного матеріалу, а й високі температури та навантаження [6–8, 32] (рис. 1). Під їх впливом за участі кисню повітря у ЗОР відбуваються складні термічні та термоокисні процеси [33]. Нижче вивчено термічну тривкість зразків ЗОР та їх основ, а також вплив цих рідин на обробку зразків хромомарганцевої сталі 12X18AG18Ш, яку використовують для виготовлення бандажних кілець енергоустановок теплових та атомних електростанцій.

Матеріали та методики. Досліджували термічну тривкість зразків нерафінованої соняшникової олії та індустріальної оливи I-20, які використовують як основи ЗОР, та зразків концентратів ЗОР, синтезованих на основі модифікованої триетаноламіном соняшникової олії [34] (далі – ЗОРс), розробленої на основі оливи I-20 з додатком суміші ефірів та милтриетаноламіну із жирними кислотами талової олії ФМІ-РЖ (ТУ У 23.2-00152394-015-2003) (далі – ЗОРн). Таким чином, ЗОРс та ЗОРн мають практично однаковий якісний і кількісний склад домішок на різних основах. Для механічних випробувань застосовували колодки, виготовлені зі сталі Р6М5, а також дослідні дискові зразки зі сталі 12X18AG18Ш.

Для комплексного термогравіметричного (TG), диференційного термогравіметричного (DTG) та диференційного термічного (DTA) аналізів вживали дериватограф Q-1500D системи “Паулік–Паулік–Ердей” [35, 36]. Втрату маси та теплові ефекти реєстрували за допомогою комп’ютера. Зразки досліджували в динамічному режимі зі швидкістю нагрівання $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ у повітрі. Маса зразків 200 mg. Термічну тривкість вивчали в діапазоні температур $20\dots 600^{\circ}\text{C}$. Еталонна речовина – оксид алюмінію. Змащувальну здатність ЗОР оцінювали за рівнем навантаження до заїдання в зоні контакту колодки і зразка на установці тертя 2070 СМТ-1 згідно з методикою, розробленою в ФМІ ім. Г. В. Карпенка. У бабці приводу установки на підшипниках встановлені два вали. Один передає обертання від двигуна постійного або змінного струму через давач моменту на нижній дослідний зразок, а другий через каретку – на верхній (контр тіло). Проковзування в зоні тертя зразків створюють змінні шестерні. Зразок та контртіло навантажували тарованою пружиною та скобою з гвинтом. З ємності, встановленої на чавунній камері, подавали робочу рідину.

Для випроб сконструювали і виготовили спеціальне універсальне кріплення контртіла (колодки) і мікрорізця, що дало можливість вивчати не тільки процеси тертя під час ковзання, а й різання високоміцних сталей (рис. 2). Режим випробувань – чисте ковзання. ЗОР надходила з ємності 3 через систему подачі 4 у зону контакту. Лінійна швидкість ковзання $V_k = 1,43 \text{ m/s}$. Навантаження підвищували поступово від 100 до 1200 N через кожні 100 N. Шлях ковзання за кожного зусилля P_H становив 1000 m. Запис моменту тертя фіксували у всьому діапазоні навантажень. Зусилля P_H у зоні контакту колодка – зразок задавали пружинним механізмом. Змащувальну здатність ЗОР оцінювали за максимальним навантаженням P_z , коли плівка ЗОР руйнувалась та видалялась з зони контакту, що призводило до контакту металевих поверхонь та заїдання пари тертя.

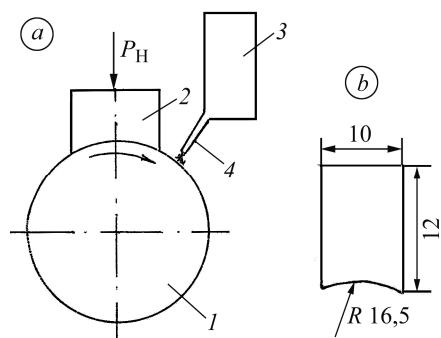


Рис. 2. Схема випробувань змащувальної здатності ЗОР (а: 1 – дослідний зразок; 2 – колодка; 3 – ємність; 4 – система подачі рідини); б – колодка зі сталі Р6М5.

Fig. 2. Scheme of tests of lubricating ability of lubricating-cooling liquids (LCL) (a: 1 – test sample; 2 – block; 3 – capacity; 4 – fluid system); б – block of P6M5steel.

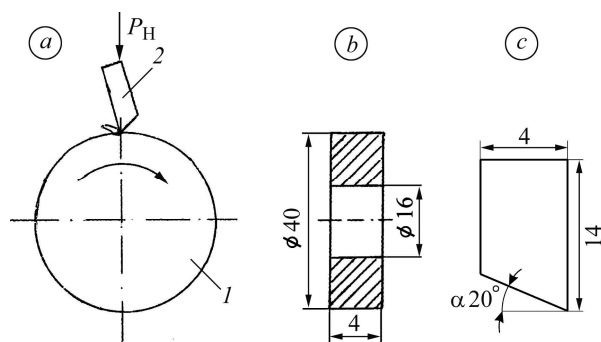


Рис. 3. Схема різання (а: 1 – дослідний зразок; 2 – мікрорізець); б, с – розміри зразка та мікрорізця.

Fig. 3. The cutting scheme (a: 1 – test sample; 2 – microcutter; б, с – dimensions of specimen and microcutter.

Для дослідження ЗОР за схемою різання на рис. 3 у кріплення встановлювали мікрорізець з твердого сплаву ВК-8. Оптимальне контактне навантаження, вибране експериментально, під час різання становило 300 N. Вище 300 N зразки інтенсивно зношувались по діаметру на $2\dots 3 \text{ mm}$. Шлях різання 1000 m. Лінійне зно-

шування визначали електронним штангенциркулем, усереднюючи результати не менше чотирьох замірів. Втрату маси зразків оцінювали ваговим методом. Для аналізу впливу ЗОР на різання отримали модельні 3%-ні емульсії ЗОРс та ЗОРн, змішуючи розрахункові кількості концентрату цих ЗОР із дистильованою водою.

Результати та їх обговорення. Результати комплексного TG, DTG та DTA аналізів зразків концентратів ЗОР та їх основ подані на рис. 4. Криві TG свідчать про втрату маси зразків під час їх нагрівання, криві DTG відповідають залежності швидкості втрати маси зразків від температури, а криві DTA – різниці температур між зразком і еталоном за відповідної температури. Під час поглинання зразком теплоти на кривій DTA з'являється ендотермічний ефект, а під час її виділення – екзотермічний.

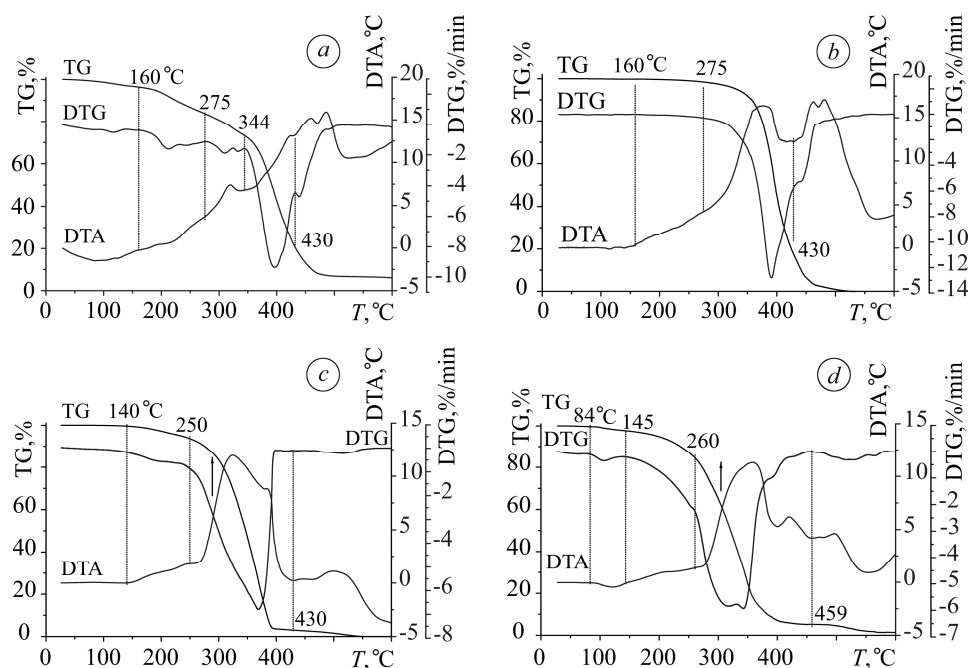


Рис. 4. Термограми зразків соняшникової олії (а), ЗОРс (b), оливи індустріальної I-20 (c) та ЗОРн (d).

Fig. 4. Thermogram of the samples of sunflower oil (a), LCLs (b), industrial oil I-20 (c) and LCLp (d).

Термограми зразків (рис. 4a, b) соняшникової олії (CO) та ЗОРс свідчать, що незначна втрата маси (3,6%), зафіксована на кривій TG для зразка CO при 20...160°C, супроводжується неглибоким ендотермічним ефектом на кривій DTA і відповідає виділенню летких сполук. Зразок ЗОРс не містить їх, тому його маса під час нагрівання до 160°C не змінюється.

Втрата маси (12,7%) зразка CO в інтервалі 160...275°C, яка супроводжується появою екстремуму на кривій DTG з максимумом при 212°C та відхиленням кривої DTA в зону екзотермічних ефектів, відповідає термоокисній деструкції гліцеридів та вільних жирних кислот, які входять до складу олії. Зразок ЗОРс у цьому діапазоні також втрачає масу (1,5%), що відповідає термоокисній деструкції дитамонгліцеридів – побічних продуктів модифікацій.

В інтервалі 275...430°C продукти деструкції зразків CO та ЗОРс згорають. У результаті зразок ЗОРс втрачає 81,7% маси, максимум екзотермічного ефекту відповідає 376°C, а зразок CO згорає в два етапи (поява на кривій DTA двох екзотермічних ефектів). Перший, з максимумом 318°C, проявляється в діапазоні тем-

ператур 275...344°C, йому відповідає втрата маси 10,4%. Другий, з максимумом 420°C, спостерігається в інтервалі 344...430°C та супроводжується втратою маси 52,5%. Піролітичні їх залишки згоряють вище 430°C, про що свідчить поява екзотермічних ефектів на кривих ДТА.

На кривій TG зразка оливи I-20 (рис. 4с) не зафіксовано втрати маси, що свідчить про відсутність у ньому летких домішок. Незначну втрату маси (2,3%) зразка ЗОРн (рис. 4d) на кривій TG в інтервалі 84...145°C, яка супроводжується появою неглибокого ендотермічного ефекту на кривій ДТА, можна пояснити виділенням летких сполук, які утворились після добавляння до оливи I-20 різноманітних присадок. Втрата маси зразків олива I-20 та ЗОРн, яка на кривих TG проявляється вище 140°C і супроводжується відповідним відгуком на кривих DTG та ДТА в область екзотермічних ефектів, відповідає протіканню термоокисної деструкції органічних складників зразків. Термоокисні процеси в зразку I-20 відбуваються в діапазоні 140...250°C з втратою маси 6,4%, а в зразку ЗОРн – при 145...250°C, коли деструкції відповідає інтенсивна втрата маси (13,3%) проти зразка оливи I-20. Останній згоряє при 250...430°C, що супроводжується екзотермічним ефектом на кривій ДТА, з максимумом при 324°C та появою екстремуму на кривій DTG. Втрата його маси 90,6%. Продукти термічної деструкції зразка ЗОРн згоряють в інтервалі 260...459°C з втратою маси 79,2%. Під час горіння він термотривкіший, ніж зразок I-20. Температурний інтервал та максимум (357°C) екзотермічного ефекту його згоряння зміщені в область вищих температур. Термоліз завершується згорянням піролітичних залишків зразків (чіткі екзотермічні ефекти на кривих ДТА). Їм відповідає поступова втрата маси зразків під час нагрівання вище 430°C. Отже, можна стверджувати, що зразок ЗОРс термотривкіший проти зразка ЗОРн. Під час термоокисної деструкції він не так інтенсивно втрачає масу. Глибокі деструктивні та термоокисні процеси, які супроводжуються виділенням летких продуктів розкладу, зміщені до вищих температур.

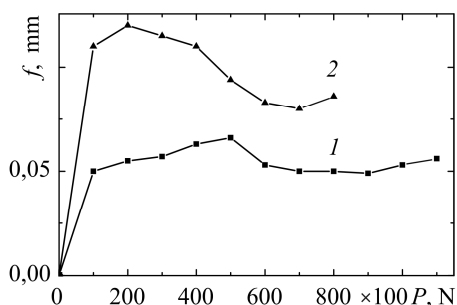


Рис. 5. Fig. 5.

Рис. 5. Змащувальна здатність (коефіцієнт тертя) ЗОР в парі тертя сталь Р6М5–сталь 12Х18АГ18Ш: 1 – ЗОРс; 2 – ЗОРн.

Fig. 5. Lubricate ability (coefficient of friction) of LCL in the friction pair P6M5 steel–12X18AG18Ш steel: 1 – LCLs; 2 – LCLp.

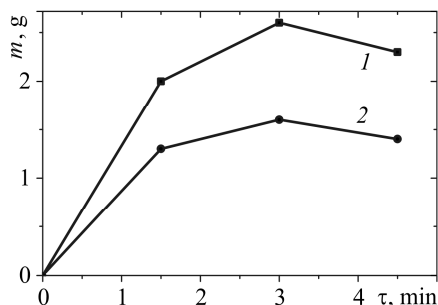


Рис. 6. Fig. 6.

Рис. 6. Вплив ЗОР на різальні властивості мікрорізня під час механічної обробки сталі 12Х18АГ18Ш: 1 – ЗОРс; 2 – ЗОРн.

Fig. 6. The influence of LCL on cutting properties of the microcutter under machining of 12X18AG18Ш steel: 1 – LCLs; 2 – LCLp.

Змащувальну здатність емульсій 3% ЗОРс і ЗОРн в парі тертя швидкорізальна сталь Р6М5–сталь 12Х18АГ18Ш (рис. 5) оцінювали за коефіцієнтом тертя між інструментом та оброблюваним матеріалом. Встановили, що момент тертя M_f і,

відповідно, коефіцієнт тертя f нижчі за змащування емульсією на основі концентрату ЗОРс. Коефіцієнт тертя визначали розрахунковим методом за показами вимірювань моменту тертя (Н·м), який реєстрували індуктивним давачем, вбудованим в кінематичну схему машини СМТ-1, і фіксували механічним самописом та навантаженням P_H .

Під час різання зразків сталі 12Х18АГ18Ш з використанням емульсії ЗОРс момент тертя M_T має максимум за 100 м шляху. Він стабільно вищий, ніж за вживання емульсії ЗОРн, що пояснюють утворенням більшої кількості стружки та зростанням зношування (рис. 6), яке визначали за результатами підрахунку маси зразків до і після досліджень. Після випроб зразки промивали та просушували. Зважували на аналітичних вагах. Сумарне зношування на шляху різання 1000 м для емульсії ЗОРн становить 5 г, а для ЗОРс – 7,86 г. Таким чином 3% емульсія ЗОРс забезпечує в 1,5 рази більше зношування, ніж емульсія ЗОРн.

ВИСНОВКИ

Встановлено вищу термотривкість ЗОРс проти ЗОРн. Виявлено кореляцію термотривкості із характеристиками оброблюваності під час випробування емульсій і зразків хромомарганцевої сталі на установці СМТ-1 (зменшується коефіцієнт тертя та збільшується зношування). Соняшникова олія як основа ЗОР підвищує її термічну тривкість та поліпшує її експлуатаційні характеристики.

РЕЗЮМЕ. Осуществлен термический анализ образцов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и их концентратов на дериватографе. Сравнена новая жидкость, полученная модификацией подсолнечного масла триэтиленамином, и СОЖ на основе нефтяного масла. Приведены результаты их смазочной способности. Зафиксированы более высокая термическая стойкость и лучшие смазочные свойства образца на модифицированном подсолнечном масле.

SUMMARY. The thermal analysis of the samples of metalworking fluids (LCL) was carried out using the derivatograph. A new LCL obtained through modification of sunflower oil with triethylenamin has been compared with the petroleum oil-based LCL. The results of the comparative tests of lubricating and cutting properties of the given LCL were demonstrated. It was shown that the sample based on the modified sunflower oil featured higher thermal resistance and lubricating properties.

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справ. / Под ред. С. Г. Энтелиса. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Курчик Н. Н., Вайниток В. В., Шехтер Ю. Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием. – М.: Химия, 1972. – 312 с.
3. Ивкович Бранко. Трибология резания: смазочно-охлаждающие жидкости. – Минск: Наука и техника, 1982. – 142 с.
4. Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих сред в металлообработке: Справ. пос. – М.: Машиностроение, 1977. – 190 с.
5. Худобин Л. В., Полянсков Ю. В. Влияние свойств СОЖ на процесс обработки резанием // Станки и инструмент. – 1982. – № 3. – С. 23–25.
6. Промитов А. И. Внешняя среда в механике процесса резания. Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования // Сб. науч. тр. Ин-та сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины. Сер. Г. Процессы механической обработки, станки и инструменты. – К., 2002. – С. 44–52.
7. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высш. шк., 1974. – 590 с.
8. Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.
9. Муратов В. С., Сахаров В. В. Улучшение обрабатываемости резанием нержавеющей сталей // Матер. III Общерос. конф. “Новейшие технологические решения и оборудование. Успехи современного естествознания”. – М.: Академия естествознания, 2005. – С. 73–75.
10. Steve Boyde. Green lubricants. Environmental benefits and impacts of lubrication, Uniqema lubricants, Wilton, U.K. // Green Chemistry. – 2002. – № 4. – Р. 293–307.
11. Малиновский Г. Т., Лебедев Е. В., Маскаев А. К. Классификация смазочно-охлаждающих технологических сред для обработки металлов резанием // Химия и технология топлив и масел. – 1981. – № 9. – С. 20–22.

12. *Salete Martins Alves and Joao Fernando Gomes de Oliveira*. Vegetable based cutting fluid – an environmental alternative to grinding process // 15th CIRP Int. Con. on Life Cycle Eng. – 2008. – P. 262–269.
13. *Sathwik Chatra K. R., Jayadas N. H., and Kailas Satish V.* Natural oil – based lubricants // *Green Tribology, Green Energy and Technology*. – 2012. – P. 287–328.
14. *Sokovic M. and Mijanovic K.* Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on the quantifiable parameters of the cutting processes // *J. Mat. Proc. Techn.* – 2001. – № 109. – P. 181–189.
15. *Wilfried J. Bartz*. Lubricants and the environment // *Tribology Int.* – 1998. – **31**, № 1–3. – P. 35–47.
16. *Сіренко Г. О., Сав'як О. Л.* Рослинні оливи як альтернатива мастильним матеріалам і присадкам // *Вісник Прикарпатськ. нац. ун-ту ім. В. Стефаника*. – 2002. – № 3. – С. 117–142.
17. *Belluco W. and De Chiffre L.* Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel // *J. Mat. Proc. Techn.* – 2004. – № 148. – P. 171–176.
18. *Jayadas N. H., Prabhakaran Nair K., and Ajithkumar G.* Tribological evaluations of coconut oil as an environment-friendly lubricant // *Tribology Int.* – 2007. – № 40. – P. 350–354.
19. *Lawal S. A., Choudary I. A., and Nukman Y.* Application of vegetable oil-based metal working fluids in machining ferrous metals – A review // *Int. J. Machine Tools & Manufacture*. – 2012. – № 52. – P. 1–12.
20. *Shashidhara Y. M. and Jayaram S. R.* Vegetable oils as a potential cutting fluid – an evolution // *Tribology Int.* – 2010. – № 43. – P. 1073–1081.
21. *Mithun Shah Umashankar Rawat, Potdar V. V.* A Review on study of performance of vegetable based oils as cutting fluid in machining of alloys // *Int. J. Innovative Research in Adv. Eng.* – 2014. – **1**, № 11. – P. 47–49.
22. *A study of surface roughness & surface integrity in drilling process using various vegetable – oil based lubricants in minimum quantity lubrication / M. J. Nurul Adlina, T. Kamaleswaran, M. Ahamd Fairuz, and I. A. Azwan // Australian J. Basic and Appl. Sci.* – 2014. – **8**, № 15. – P. 191–197.
23. *Саввин Н. Н.* Влияние смазочных жидкостей на величину усилий и вид обрабатываемой поверхности при резании // *Изв. С.-Петербургск. политехн. ин-та*. – 1905. – **III**, вып. 3. – С. 14–18.
24. *Тютюнников Б. Н.* Химия жиров. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 442 с.
25. *Maleque M. A., Masjuki H. H., and Sapuan S. M.* Vegetable-based biodegradable lubricating oil additives // *Industrial Lubrication and Tribology*. – 2003. – **55**, № 3. – P. 137–143.
26. *Федорів А. С., Литвин Б. Л.* Використання продуктів хімічної модифікації рослинних олій як альтернатива нафтової сировини (огляд) // *Вісник Прикарпатськ. нац. ун-ту ім. В. Стефаника. Сер. Хімія*. – 2009. – **VII**. – С. 23–27.
27. *Ponnekanti Nagendramma and Savita Kaul.* Development of eco-friendly/biodegradable lubricants // *Renewable and Sustainable Energy*. – 2012. – **16**. – P. 764–774.
28. *Менумеров Э. Р., Якубов Ч. Ф., Аметов И. Э.* О возможности повышения эксплуатационных характеристик СОТС на основе растительных масел // *Вестник Хмельницк. нац. ун-та*. – 2006. – № 6. – С. 44–48.
29. *Хіміко-технологічні аспекти переробки ріпакової оливи в базові матеріали паливо-мастильної галузі / Л. М. Кириченко, Г. О. Сіренко, В. І. Кириченко, В. П. Свідерський // Вопросы химии и хим. технологии*. – 2004. – **2**. – С. 71–178.
30. *Поп Г. С.* Стан, перспективи виробництва та застосування палив і мастильних матеріалів із рослинних олій // *Каталіз и нефтехимия*. – 2003. – № 12. – С. 21–26.
31. *Каленська С. М., Юник А. В.* Роль олійних культур у вирішенні енергетичної безпеки України // *Наук. вісник нац. ун-т біоресурсів і природокористування України*. – 2012. – № 2. – С. 90–96.
32. *Карпенко Г. В.* Про фізико-хімічну механіку металів. – К.: Наук. думка, 1973. – 176 с.
33. *Виноградов Г. В.* Влияние окислительных процессов на граничное трение стали в углеводородных средах и критических режимах трения, при которых развиваются процессы холодного и горячего заедания или сварки // *Новое о смазочных материалах*. – М.: Химия, 1967. – С. 107–120.
34. *Патент на корисну модель № 14848 України, МПК (2013) G01N 3/08.* Концентрат змащувально-охолоджуючої рідини для механічної обробки високоміцних металів / О. І. Баляницький, М. Р. Гаврилюк, І. Р. Федусів, Р. М. Дев'яткін. – Опубл. 12.1.2014; Бюл. № 8.
35. *Егунов В. П.* Введение в термический анализ. – Самара, 1996. – 270 с.
36. *Уэндландт У.* Термические методы анализа / Пер. с англ. под ред. В. А. Степанова и В. А. Берштейна. – М.: Мир, 1978. – 528 с.

Одержано 04.08.2014