

ских факторов производства на величину теплоты сгорания доменного кокса в настоящее время нет научно подтвержденных технологических приемов повышения этого качественного показателя.

Ключевые слова: кокс, теплота сгорания, показатели качества, доменное производство.

DOI: 10.31081/1681-309X-2020-0-2-21-26

Спеціальність: 161. УДК: 665.765: 621.89.017

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЦИКЛІНГОВИХ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

А.Б. Григоров<sup>1</sup>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, г. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна

<sup>1</sup> Григоров Андрій Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива, e-mail: [grigorovandrey@ukr.net](mailto:grigorovandrey@ukr.net)

Представлені результати дослідження впливу температури на адгезійні властивості рециклінгових пластичних мастил. Для визначення даного показника застосовували лабораторну центрифугу з робочою ємністю, що обігривається.

Дослідженню піддавали спеціально отримані рециклінгові пластичні мастила. Як дисперсійне середовище в цих пластичних мастилах виступали відпрацьовані гідравлічна олива HLP-46, моторна олива SAE 15W-40 API SL / CI-4 і трансмісійна олива SAE 85W-90 GL-5. З цих олів шляхом відстоювання та центрифугування попередньо вилучались вода і механічні домішки, які є енергетичним баластом у виробництві, ускладнюють технологічний процес і негативно впливають на якість кінцевого продукту. Як загушувач в оливу вводили 5% (мас.) поліетилену низького тиску. Наведено опис методики приготування системи «олива - загушувач».

Отримані зразки наносили на знежирені сталеві пластини шаром товщиною 0,1 мм. Ці пластини вміщували в центрифугу. Адгезійні властивості визначали за залишковою масою мастила на пластині після випробування.

За результатами запропоновано розділити режим експлуатації вузла з пластичним мастилом на оптимальний, тобто штатний, і екстремальний, котрий може в кінцевому підсумку призвести до мастильного голодування поверхонь тертя у вузлі агрегату.

Перехідним значенням між цими режимами на підставі практичних рекомендацій фірм-виробників підшипників різних типів можна вважати зменшення початкової кількості пластичного мастила в вузлі до 50%. Залежно від функціонального призначення відпрацьованої оливи, котра виступає базою для пластичного мастила, підвищення температури проби на кожен 1 °C в середньому знижує швидкість обертання проби до досягнення граничного значення, на 5,6 ÷ 14,4 об/хв.

Результати досліджень показали: для використання в якості базового компонента рециклінгових пластичних олів для досягнення високих адгезійних властивостей кінцевого продукту необхідно використовувати трансмісійні та моторні оливи.

Ключові слова: пластичне мастило, базова олива, адгезійні властивості, граничне значення, показник якості, фактор швидкості, температура.

\*\*\*\*\*

Зважаючи на функції, які виконує пластичне мастило під час експлуатації, зокрема у підшипниках різних агрегатів, його можна розглядати як самостійний конструкційний елемент, від якого залежить надійна та довговічна експлуатація не тільки вузла, але і агрегату в цілому. Одним з основних показників пластичного мастила, що вони забезпечують виконання його робочих функцій, є його адгезійні властивості, що характеризують здатність мастила утримуватися на металевій поверхні під дією різноманітних експлуатаційних факторів, зокрема температури. До основних функцій пластичних мастил можна віднести зменшення зносу поверхонь тертя, формування антикорозійного шару для металевих поверхонь та відвід надлишкового тепла [1].

Повноцінно виконувати свої функції пластичне мастило може тільки у випадку, коли воно здатне добре утримуватися на вертикальних металевих, у більшості випадків у вигляді тонкої плівки. Здатність цієї плівки міцно утримуватися на металевій поверхні при її обертанні, часто зі значними швидкостями та підвищеній температурі, під час експлуатації підшипнику характеризується адгезійними властивостями мастила.

У загальному вигляді пластичне мастило – це складна, багатокомпонентна система, яка містить рідку базу (оливні фракції переробки нафти або синтезовані вуглеводні), твердий загущувач (металеві мила та вуглеводні) і наповнювач (металева пудра, графіт, сажа, резина) та пакет присадок, що поліпшують експлуатаційні властивості мастила [2].

Багато властивостей пластичних мастил, зокрема адгезійні, залежать від її рідкої бази. Прийнято вважати, що механізм адгезії складається з двох стадій: транспортної та утворення міжмолекулярної взаємодії [3]. Так, на транспортній стадії від рухливості молекул бази залежить швидкість їх переміщення до металеві поверхні, що закінчується певною орієнтацією молекул бази у міжфазному шарі та тісним контактом між ними та поверхнею. При цьому температура є одним з основних факторів, який сприяє цьому процесу. Далі починається розподіл мастила по поверхні, що супроводжується поверхневою дифузєю та міграцією молекул рідкої бази мастила.

Друга стадія – це виникнення міжмолекулярної взаємодії між металевою поверхнею і нанесеним на неї пластичним мастилом за рахунок дії хімічних та фізичних сил. Далі на металевій поверхні буде утворюватися плівка, яка складається з шару адсорбованих молекул та шару молекул, що примикають безпосередньо до металеві поверхні.

Адгезійні властивості пластичних мастил і закономірності їх змінення при експлуатації необхідно враховувати при підборі швидкісних режимів застосування пластичного мастила, при аналізі роботи вузлів тертя в умовах граничного змащення і при оцінці роботи вузлів механізмів в умовах попадання в них пилу, води й інших забруднень.

Розглядаючи функцію відводу надлишкового тепла зазначимо, що виконання мастилом цієї функції цілком залежить від кількості мастила у вузлі агрегату. Наприклад, для підшипників різних типів і номерів у відповідності до рекомендацій, які надають у каталогах фірми-виробники, існує певний норматив їх заповнення пластичним мастилом.

У загальному вигляді для радіально-опорних кулькових підшипників для шпинделів високошвидкісних механічних верстатів ця величина складає  $15 \pm 2$  % внутрішнього простору; для циліндричних роликових підшипників для шпинделів високошвидкісних механічних верстатів –  $10 \pm 2$  % внутрішнього простору; для

кулькових підшипників для двигунів – від 20 до 30 % внутрішнього простору. Перегрівання підшипнику під час його експлуатації може спостерігатися при надлишку або недостатньої кількості пластичного мастила в підшипнику. Зменшення кількості мастила може спостерігатися завдяки викиданню мастила з підшипника, про що може свідчити знос ущільнюючого пристрою, надлишок мастила або низькі його адгезійні властивості, на які значно впливає температура в підшипнику. Так, наприклад, в роботі [4] встановлено, що для пластичного мастила при зменшенні температури її нанесення на  $10$  °C на металеву поверхню, спостерігається значне поліпшення адгезійних властивостей.

Отже, без вивчення впливу температури на адгезійні властивості рециклінгових пластичних мастил, принцип отримання та склад яких описано в роботі [5], зокрема визначення інтервалу робочих температур мастила у вузлах агрегатів різного призначення, неможливе їх практичне застосування.

Якщо випробуються адгезійні властивості мастил, які планується використовувати у підшипниках різних типів, то для них доцільно застосовувати випробування у полі дії тих сил, що сприяють зриванню плівки мастила з металеві поверхні елементів підшипнику. Отже, на нашу думку, найбільш приближеним до реальних умов експлуатації пластичного мастила у підшипнику є спосіб визначення адгезійних властивостей пластичних мастил, який включає у себе фіксацію швидкості обертання металеві поверхні, при якій з неї спостерігається сповзання (зривання) плівки випробуваного мастила, та визначення залишкової кількості мастила на поверхні [6].

Для поліпшення адгезійних властивостей класичних пластичних мастил, отриманих на металевих милах, до їх складу додають присадки. Але у цьому немає потреби при використанні у якості дисперсійного середовища відпрацьованої змащувальної оливи.

Під час експлуатації олив особливо моторних в наслідок дії високих температур, каталітичної дії металів та аерації оливи, відбувається окислення її вуглеводнів. У результаті цього утворюються карбонові кислоти та смолисто-асфальтенові речовини, які внаслідок своєї полярності виступають протизносною присадкою. Також ці речовини значно поліпшують адгезійні властивості.

Наявність смолисто-асфальтенових речовин у базовій оливі чинить негативний вплив на властивості пластичних мастил, що загущені металевими милами [7], тому їх піддають глибокому очищенню від цих речовин. Але при використанні у якості загущувача твердих полімерів (поліетиленів та поліпропілену) немає необхідності проводити цю очистку, тим самим зберігаючи позитивні властивості основних компонентів мастила.

Лабораторному дослідженню піддавали спеціально отримані рециклінгові пластичні мастила, для яких

визначався вплив температури на їх адгезійні властивості.

Дисперсійним середовищем у цих пластичних мастилах виступали відпрацьовані гідравлічна олива HLP-46, моторна олива SAE 15W-40 API SL/CI-4 та трансмісійна олива SAE 85W-90 GL-5. З цих олів шляхом відстоювання та центрифугування попередньо видалялися вода та механічні домішки, котрі є енергетичним баластом у виробництві, ускладнюють технологічний процес та негативно впливають на якість кінцевого продукту.

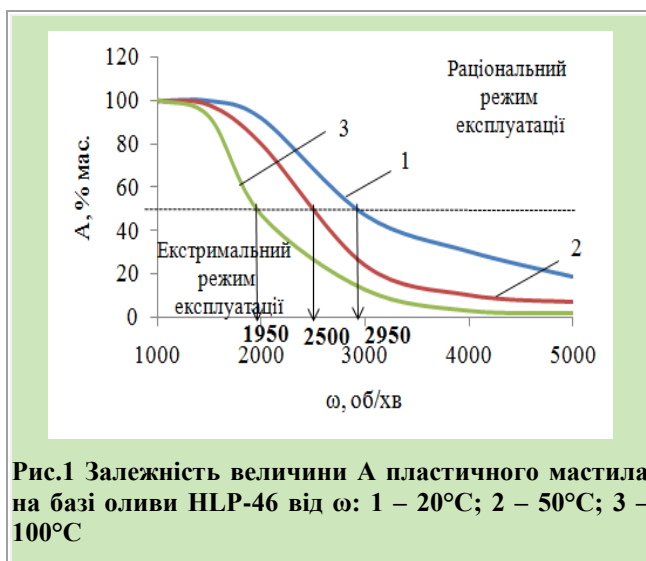


Рис.1 Залежність величини А пластичного мастила на базі оливи HLP-46 від  $\omega$ : 1 – 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

Для загущення цих олів було взято 5% (мас.) твердих полімерних відходів, представлених поліетиленом низького тиску. Підготовка полімерних відходів до застосування у виробництві пластичних мастил здійснювалося за схемою, яка складалася з послідовних стадій.

Першою стадією будь-якого процесу переробки полімерних відходів є їх ідентифікація та сортування за марками та кольором. Це зумовлено різним властивостями полімерів, зокрема їх термічною стійкістю, у відповідності до якої вибирають спосіб їх переробки та галузі застосування.

Далі полімерні відходи з метою інтенсифікації подальших процесів переробки та зменшенню геометричних розмірів апаратів підвергалися подрібненню у дробарках різної конструкції. На даному етапі подрібнення виробів з поліетилену низького тиску здійснювалося до розміру часточок  $2 \times 2$  мм.

Для очищення полімерних часточок від різного бруду здійснювалась промивка подрібненого полімеру з використанням миючих засобів з подальшим промиванням проточною водою. Заключним етапом у підготовці полімерного загущувача було його просушування при температурі 60-80°C до отримання залишкового вмісту вологи менше ніж 1% (мас.).

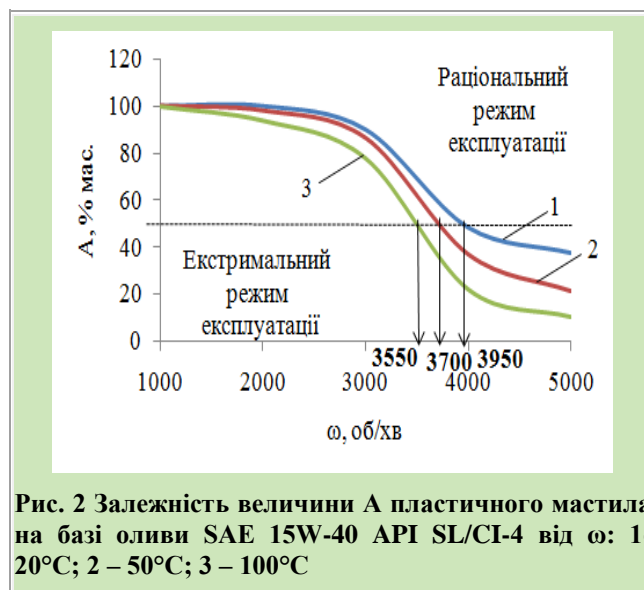


Рис. 2 Залежність величини А пластичного мастила на базі оливи SAE 15W-40 API SL/CI-4 від  $\omega$ : 1 – 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

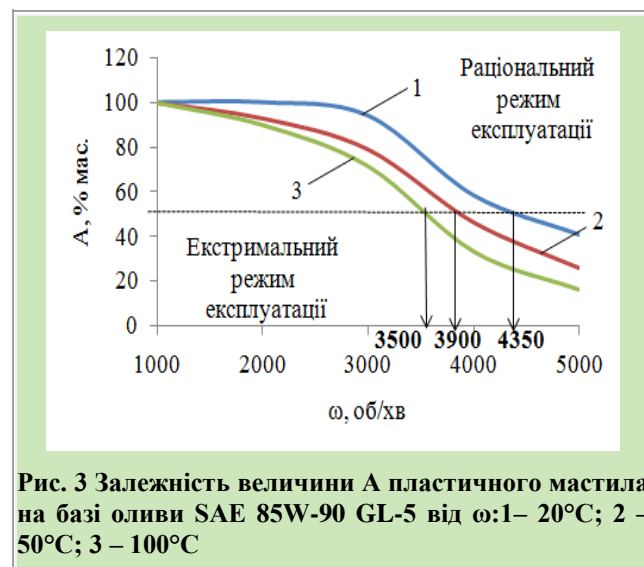


Рис. 3 Залежність величини А пластичного мастила на базі оливи SAE 85W-90 GL-5 від  $\omega$ : 1 – 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

Після отримання підготовленого загущувача він диспергувався мішалкою пропелерного типу у базовій оливі у реакторі при температурі 150-170°C протягом 1,5 годин. Потім отримана суміш охолоджувалась та підвергалася гомогенізації.

Визначення адгезійних властивостей отриманих проб пластичних мастил здійснювалося у такий спосіб: на знежирені сталеві пластинки за допомогою пунсону наносився шар мастила товщиною 0,1мм. Ці пластини розміщувалися у гнізда центрифуги, яка мала функцію нагріву, з подальшим визначенням адгезійних властивостей по залишковій масі мастила на пластині після її центрифугування (А, %). При цьому фіксувалися маса мастила на пластинці А, швидкість обертання ротора центрифуги ( $\omega$ , об/хв.) та температура проби.

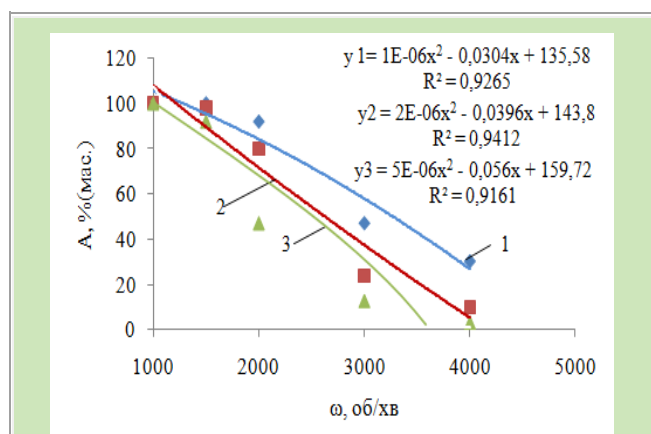


Рис. 4 Поліноміальна залежність показника А пластичного мастила на базі оливи HLP-46 від  $\omega$ : 1- 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

Для мастила на базі оливи HLP-46 (див. рис. 1) по мірі збільшення температури проби спостерігається стрімке погіршення адгезійних властивостей, які характеризуються величиною А. При температурі 20°C зменшення А до граничного значення досягається при  $\omega$ , що становило 2950 об/хв., при 50°C – 2500 об/хв., а при 100°C – лише 1950 об/хв.

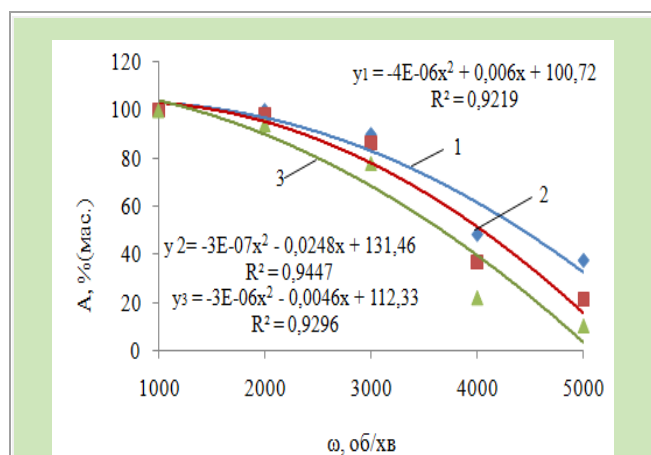


Рис. 5 Поліноміальна залежність показника А пластичного мастила на базі оливи SAE 15W-40 API SL/CI-4 від  $\omega$ : 1- 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

Рациональний режим експлуатації – це штатний режим, який характеризується високим рівнем надійності вузла, де знаходиться мастило.

По мірі зменшення А до 50% (граничне значення) і нижче від початкової маси, спостерігається перехід від раціонального до екстремального режиму експлуатації (див. рис. 1).

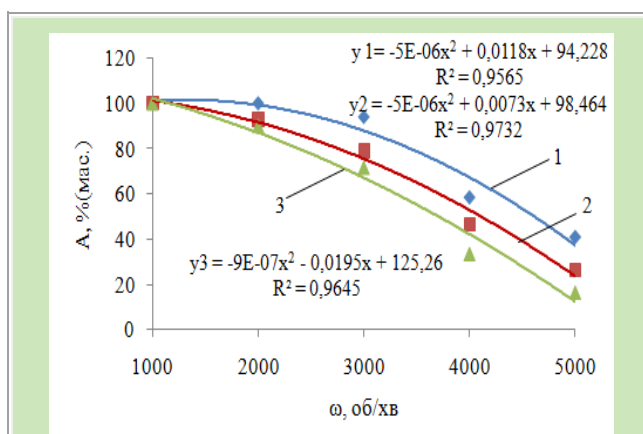


Рис. 6 Поліноміальна залежність величини А пластичного мастила на базі оливи SAE 85W-90 GL-5 від  $\omega$ : 1 – 20°C; 2 – 50°C; 3 – 100°C

Цей перехід можна пояснити погіршенням адгезійних властивостей плівки мастила під дією температури не залежно від бази, на якій виготовлено це мастило.

Аналогічна картина спостерігається і з мастилами, отриманими на базі відпрацьованих оливи SAE 15W-40 API SL/CI-4 та SAE 85W-90 GL-5. Так, для мастила на базі SAE 15W-40 API SL/CI-4 (див. рис. 2) при температурі 20°C зменшення величини А до граничного значення спостерігається при значенні  $\omega$  на рівні 3950 об/хв., при 50°C – 3700 об/хв., а при 100°C – 3550 об/хв.

Для мастила на базі SAE 85W-90 GL-5 (див. рис. 3) при температурі 20°C зменшення величини А до граничного значення спостерігається при значенні  $\omega$  на рівні 4350 об/хв., при 50°C – 3900 об/хв., а при 100°C – 3500 об/хв.

Застосувавши до отриманих результатів регресійний аналіз, отримуємо, що зміну адгезійних властивостей мастила на всьому досліджуваному інтервалі, котрі виражені величиною А в залежності від  $\omega$ , описує поліном другого ступеня (див. рис. 4-6).

### Висновки

Адгезійні властивості пластичних мастил, зокрема рециклінгових, залежать від багатьох факторів, а насамперед від робочої температури, яка встановлюється у змащуваному вузлі при його експлуатації. Режим експлуатації вузла з пластичним мастилом можна поділити на раціональний, тобто штатний, та екстремальний, котрий може призвести до змащувального голодування поверхонь тертя. Граничним значенням між цими режимами на підставі практичних рекомендацій фірм-виробників підшипників різних типів, можна вважати зменшення початкової кількості пластичного мастила в вузлі до 50%.

Встановлено, що незалежно від типу базової оливи пластичного мастила, при підвищенні температури

проби мастила спостерігається значне погіршення адгезійних властивостей, що виражено у залишкової кількості мастила (А). Так, для мастила на базі оливи HLP-46 підвищення температури проби на кожний 1°C у середньому знижує  $\omega$  до досягнення граничного значення на 5,6 об/хв.; для мастила на базі SAE 15W-40 API SL/CI-4 – на 10 об/хв.; для мастила на базі SAE 85W-90 GL-5 – на 14,4 об/хв.

Розглядаючи різні за функціональним призначенням відпрацьовані змащувальні оливи як базовий компонент рециклінгових пластичних мастил, за результатами проведених досліджень слід зазначити, що з точки зору високих адгезійних властивостей пластичного мастила необхідно використовувати трансмісійні та моторні оливи.

#### Бібліографічний список

1. Фукс И.Г. Состав, свойства и производство пластичных смазок / И.Г. Фукс, С.Б. Шибряев. – М.: Государственная академия нефти и газа им. И. М. Губкина. 1992. – 153 с.

2. Modern Technology of Petroleum, Greases, Lubricants & Petro Chemicals (2nd Revised Edition) / NIIR Board of Consultants & Engineers / NIIR project consultancy services. – 2015. – p.704.

3. Денисова Н.Е. Исследование механизма избирательного переноса при использовании металлоплакирующих пластичных смазок / Н.Е. Денисова, Т.А. Воячек // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2011. – С. 41-47.

4. Пенджиев Э.Д. Пластичные смазки для экскаваторов с централизованными системами смазки / Э.Д. Пенджиев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – С. 79-95.

5. Andrey B. Grigorov. The prospects of obtaining plastic greases from secondary hydrocarbon raw material / Andrey B. Grigorov, Oleg I. Zelenskii, Alexey V. Sytnik // Petroleum & Coal journal. – Volume 60. – 2018, Issue 5. – P. 879-883.

6. Jianchang Li. Experimental study of free surface grease flow subjected to centrifugal forces / J. X. Li, L. G. Westerberg, E. Höglund, P. Baart, P. M. Lugt // Proceedings of 16th Nordic Symposium on Tribology. Nordtrib. – 2014. Aarhus, Denmark: Danish Technological Institute. – P. 1-6.

7. Корнев А.Ю. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел / А.Ю. Корнев, И.Н. Шихалев, В.В. Остриков // Наука в центральной России. – 2013. – С. 227-228.

Рукопись надійшов до редакції 20.10.2019

## EFFECT OF TEMPERATURE ON ADHESIVE PROPERTIES OF RECYCLING PLASTIC LUBRICANTS

© A.B. Grigorov, PhD in technical sciences (NTU «KhPI»)

*It is shown that without studying the effect of temperature on the adhesive properties of recycling greases, the principle of both preparation and composition of which are described in the author's previous works, the practical application of these materials is impossible. This indicator is especially important for determining the interval of operating temperatures of oil in the nodes of the units for various purposes.*

*The results of a study of the effect of temperature on the adhesive properties of recycling greases are presented. To determine this indicator, a laboratory centrifuge with a heated working capacity was used. The study was subjected to specially obtained recycling greases. The used HLP-46 hydraulic oil, SAE 15W-40 API SL / CI-4 engine oil and SAE 85W-90 GL-5 transmission oil were the dispersion medium in these plastic lubricating oils. From these oils, by settling and centrifuging, water and mechanical impurities, which are the energy ballast in the production, were previously removed, complicate the process and adversely affect the quality of the final product. As a thickener, 5% (mass.) of low-pressure polyethylene was introduced into the oils. The description of the methodology for the preparation of the oil-thickener system is given.*

*The obtained samples were applied to defatted steel plates with a layer thickness of 0.1 mm. These plates were placed in a centrifuge. Adhesive properties were determined by the residual mass of oil on the plate after the test.*

*According to the results, it is proposed to divide the operating mode of the unit with grease into optimal, that is, regular, and extreme, which can ultimately lead to the lubrication starvation of friction surfaces in the unit assembly. A transition value between these modes on the basis of practical recommendations of manufacturers of bearings of various types can be considered a decrease in the initial quantity of grease in the assembly to 50%. Depending on the functional pur-*

pose of the used oil, which acts as the basis for grease lubrication, increasing the temperature of the sample for every  $1^{\circ}\text{C}$  on average reduces the speed of rotation of the sample until the threshold value is reached, by  $5.6 \div 14.4$  rpm.

The research results showed: for use as a basic component of recycled greases to achieve high adhesive properties of the final product, it is necessary to use transmission and motor oils.

Keywords: grease, base oil, adhesive properties, ultimate value, quality indicator, speed factor, temperature.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕЦИКЛИНГОВЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

© А.Б. Григоров, к.т.н. (НТУ «ХПИ»)

Представлены результаты исследования влияния температуры на адгезионные свойства рециклинговых пластичных смазок. Для определения данного показателя применяли лабораторную центрифугу с обогреваемой рабочей емкостью. Исследованию подвергали специально полученные рециклинговые пластичные смазки. Дисперсионной средой в этих пластических смазочных маслах выступали отработанные гидравлическое масло HLP-46, моторное масло SAE 15W-40 API SL / CI-4 и трансмиссионное масло SAE 85W-90 GL-5. Из этих масел путем отстаивания и центрифугирования предварительно удалялись вода и механические примеси, которые являются энергетическим балластом в производстве, затрудняют технологический процесс и негативно влияют на качество конечного продукта. В качестве загустителя в масла вводили 5% (масс.) полиэтилена низкого давления. Приведено описание методики приготовления системы «масло – загуститель».

Полученные образцы наносили на обезжиренные стальные пластинки слоем толщиной 0,1 мм. Эти пластины размещались в центрифугу. Адгезионные свойства определяли по остаточной массе масла на пластине после испытания.

По результатам предложено разделить режим эксплуатации узла с пластичной смазкой на оптимальный, то есть штатный, и экстремальный, что может в конечном итоге привести к смазочному голоданию поверхностей трения в узле агрегата. Переходным значением между этими режимами на основании практических рекомендаций фирм-производителей подшипников различных типов можно считать уменьшение исходного количества пластичной смазки в узле до 50%. В зависимости от функционального назначения отработанного масла, которое выступает базой для пластичной смазки, повышение температуры пробы на каждый  $1^{\circ}\text{C}$  в среднем снижает скорость вращения пробы до достижения порогового значения, на  $5,6 \div 14,4$  об/мин.

Результаты исследований показали: для использования в качестве базового компонента рециклинговых пластичных смазок для достижения высоких адгезионных свойств конечного продукта необходимо использовать трансмиссионные и моторные масла.

Ключевые слова: пластичная смазка, базовое масло, адгезионные свойства, предельное значение, показатель качества, фактор скорости, температура.