

3. Lesnyak A.N., Dobud'ko A.N. *Effektivnost' vyrashchivaniya krolikov v raznykh usloviyakh sodержaniya Tsentral'no-Chernozemnoy zony* // Vestnik BUNK. 2006. № 3 (18). S. 93-94.
4. *Vliyanie mikroelementov na infektsionnyy protsess pri chume v eksperimente* / V.M. Mezintsev, E.V. Rodishml'd, G.A. Medzykhovskiy, A.K. Grazhdanov // Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii. 2000. № 1. S. 41-45.
5. Mitin M.V. *Povyshenie myasnoy produktivnosti za schet vvedeniya v ratsion krolikov «Irkutina»* // Vestnik IrGSKhA. 2012. № 53. S. 88-95.
6. Morgunov S.Yu., Lunitsin A.V., Morgunov Yu.P. *Nekotorye osobennosti prakticheskogo primeneniya vaksinnyykh preparatov protiv virusnykh bolezney krolikov* // Krolikovodstvo i zverovodstvo. 2012. № 3. S. 29-30.
7. *Strategiya vaksinatсии krolikov protiv miksomatoza i PTsR-diagnosticska* / Yu.P. Morgunov, S.Yu. Morgunov, A.V. Lunitsin, V.I. Upasov // Veterinariya. 2014. № 2. S. 22-24.
8. Polyakov V.F., Usachev I.I. *Ispol'zovanie moloziya korov dlya povysheniya zhizneustoychivosti novorozhdennykh zhivotnykh* // Vestnik Bryanskoy GSKhA. 2018. № 4 (68). S. 35-39.
9. Rotishl'd E.V. *Zavisimost' infektsionnykh bolezney ot sostava khimicheskikh elementov v prirodnoy srede i periodicheskiy zakon* // Uspekhi sovremennoy biologii. 2001. № 3. S. 253-265.
10. Savrasov D.A., Parshin P.A. *Primenenie aktoprotektora taurin pri gipotrofii u telyat* // Veterinarnyy farmakologicheskiy vestnik. 2019. № 3 (8).
11. Salyakhov A.Sh., Yakimov O.A. *Mineral'naya dobavka v kormlenii krolikov* // Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana. 2017. № 2. С.127-131.
12. Usachev I.I. *Ispol'zovanie ekologicheski chistykh sredstv pri miksomatoze u krolikov* // Dokl. 21-y nauch.-prakt. konf. studentov i aspirantov. Bryansk: Izd-vo Bryanskaya GSKhA, 2005. S. 75-79.
13. Usachev I.I., Polyakov V.F. *Mikrobiotsenoz razlichnykh otdelov kishchnika i fetsesa u ovets: monografiya*. Bryansk: Izd-vo Bryanskaya GSKhA, 2013. 260 s.
14. Usachev I.I., Polyakov V.F. *Rol' immunoglobulinov v zhiznedeyatel'nosti zhivotnykh: monografiya*. Bryansk: Izd-vo Bryanskaya GSKhA, 2007. 84 s.
15. Usachev I.I., Usachev K.I. *Sposoby povysheniya zhizneustoychivosti zhivotnykh v ranem postnatal'nom ontogeneze* // Vestnik Bryanskoy GSKhA. 2007. № 6. S. 56-61.
16. Usachev I.I. *Dinamika immunoglobulinov i bakteriotsenoza v organizme yagnyat v ranem postnatal'nom ontogeneze: dis. ... kand. vet. nauk: 16.00.03 / Ros. akad. s.-kh. nauk, Vseros. NII eksperim. veterinarии im. Ya.R. Kovalenko. M., 1994. 165 s.*
17. Usachev I.I., Polyakov V.F. *Korreksiya enteral'nykh disbioticheskikh narusheniy u zhivotnykh* // Vestnik Bryanskoy GSKhA. 2009. № 2. S. 53-58.
18. Usachev K.I., Usachev I.I. *Rezul'taty issledovaniy mikrobiotsenoza slizistoy obolochki podvzdoshnoy kishki* // Vestnik Orel GAU. 2012. № 5 (38). S. 135-137.

УДК 621.892.8

DOI: 10.52691/2500-2651-2022-92-4-50-56

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩЕЙ СМАЗКИ

Applying Metal-Plating Grease

Белый Д.И.¹, Попов В.Б.¹, канд. техн. наук, доцент,

Грунтович Н.В.¹, д-р техн. наук, профессор, **Бойко А.А.¹**, д-р техн. наук, доцент,

Ториков В.Е.², д-р с.-х. наук, профессор

Belyi D.I.¹, Popov V.B.¹, Gruntovich N.V.¹, Boiko A.A.¹, Torikov V.E.²

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

¹*Sukhoi State Technical University of Gomel*

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

²*Bryansk State Agrarian University*

Аннотация. Поиск и применение специальных смазок для тяжело нагруженных узлов трения, а также возможности использования изношенных подшипников является актуальной. Предложен состав сверхпластичного сплава Bi-Pb-Sn для получения композиций смазки на основе ЦИАТИМ-201 и ЛИТОЛ-24. Проведены сравнительные испытания исходных смазок и композиций с добавкой сверхпластичного сплава. Установлено, что при работе такой смазки на рабочих поверхностях трения образуется тонкая пленка сверхпластичного сплава с высокой адгезией к поверхности. Показано, что использование смазки, содержащей сверхпластичную добавку в количестве до 5 мас.% с размером частиц 4–10 мкм снижает коэффициент трения в 2,5 раза и позволяет в два раза уменьшиться время приработки, при этом значительно понижается температура в зоне трения, увеличивается долговечность узлов трения и нагрузочный диапазон смазки. Проведены испытания приготовленных композиций смазки на уменьшение вибрации бывших в эксплуатации и имеющих критический износ по уровню вибрации в диапазоне частот 1000–5000 Гц подшипников. Испытания показали, что уровень вибраций после введения в смазку сверхпластичных добавок и двухчасовой приработки уменьшается на 10–15% вследствие заполнения образовавшихся раковин и дорожек сверхпластичных сплавов.

Abstract. *The search and application of special lubricants for heavily loaded friction units, as well as the possibility of using worn bearings, is relevant. The composition of the superplastic Bi-Pb-Sn alloy for obtaining grease compositions based on CIATIM-201 and LITOL-24 is proposed. Comparative tests of the original greases and compositions with the addition of a superplastic alloy were carried out. It has been established that during the operation of such a lubricant, a thin film of a superplastic alloy with high adhesion to the surface is formed on the working friction surfaces. It has been shown that applying a grease containing a superplastic additive in the amount of up to 5 wt.% with a particle size of 4–10 μm reduces the friction coefficient by 2.5 times and makes it possible to halve the running-in time, while significantly reducing the temperature in the friction zone, the durability of friction units and the load range of the lubricant increase. The prepared grease compositions are tested to reduce the vibration of bearings that are in operation and have got critical wear in terms of vibration level in the frequency range of 1000–5000 Hz. The tests have shown that the level of vibrations after the introduction of superplastic additives into the lubricant and a two-hour running-in decreases by 10–15% due to the filling of the formed cavities and tracks of superplastic alloys.*

Ключевые слова: смазка, сверхпластичный сплав, коэффициент трения, вибрация, изнашивание

Keywords: *grease, superplastic alloy, friction coefficient, vibration, wear.*

Введение. Проблемы обеспечения низких значений коэффициента трения, а самое важное, «отсутствие» износа при трении твердых тел остается актуальной, поскольку требования по увеличению сроков службы и надежности узлов трения в настоящее время только возрастают. С момента открытия избирательного переноса [1] связанного с протеканием химических и физико-химических процессов, приводящих к образованию систем автокомпенсации износа и снижения трения, т.е. образования защитной (сервовитной) пленки, в которой реализуется диффузно-вакансионный механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам [2, 3, 4].

На практике «безыносное» функционирование узлов трения достигается использованием в реальных трибосопряжениях металлоплакирующих смазочных материалов: масел, пластичных смазок, самосмазывающихся материалов и покрытий [5, 6].

В состав металлоплакирующих смазок вводились практически все металлы, как в элементарном виде, так и в виде сплавов или химических соединений [7, 8, 9]. В настоящее время установлено, что плакирующие металлы и сплавы, такие как медь, свинец, олово, цинк, алюминий, серебро, золото, кадмий, бронза, латунь, сверхпластичные сплавы типа Bi-Pb-Sn, Bi-Cd-Sn-Pb, Bi-Hg-Pb-Sn, Pb-Sn, Zn-Sn, Pb-Sb-Sn и т.д. существенно улучшают триботехнические характеристики металлоплакирующих пластичных смазок, расширяя нагрузочные пределы их применимости в тяжело нагруженных узлах трения уменьшая износ и коэффициент трения в 8–10 раз [10, 11, 12].

Целью данной работы является исследование влияния добавок сверхпластичного сплава в смазки тяжело нагруженных узлов трения и возможности использования изношенных подшипников.

Материалы и методы исследования. Для исследований использован сверхпластичный сплав Bi-Pb-Sn при следующем соотношении компонент в вес. %: Bi – 50, Pb – 33, Sn – 17. Такой состав обладает низкой температурой плавления составляет 90°C, при этом относительное удлинение при одноосной нагрузке достигает 5000 % (рис. 1).

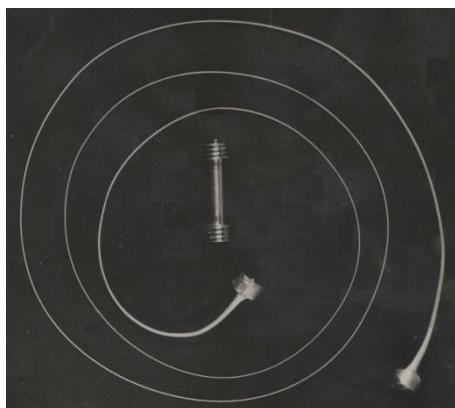


Рисунок 1 – Результаты испытаний на относительное удлинение разработанного сверхпластичного сплава Bi-Pb-Sn

Для исследований был приготовлен порошок из сверхпластичного сплава висмут-свинец-олово методом распыления из расплава. Порошок рассеивался на фракции. Испытания проводились для пары трения Л63-ст.9ХС. Для исследований использовали смазки Литол-24 и Циатим-201, в которые вводили 5 вес. % порошкообразного сверхпластичного сплава с размером частиц 4–10 мкм.

Исследование зависимости коэффициента трения и температуры в зоне контакта в зависимости от нагрузки проводили по схеме, приведенной на рисунке 2, а.

Оценка эффективности приготовленных композиций смазки на уменьшение вибрации бывших в эксплуатации и имеющих критический износ по уровню вибрации в диапазоне частот 1000–5000 Гц проводили по схеме, представленной на рисунке 2, б.

Частоты вибрации первой гармоники

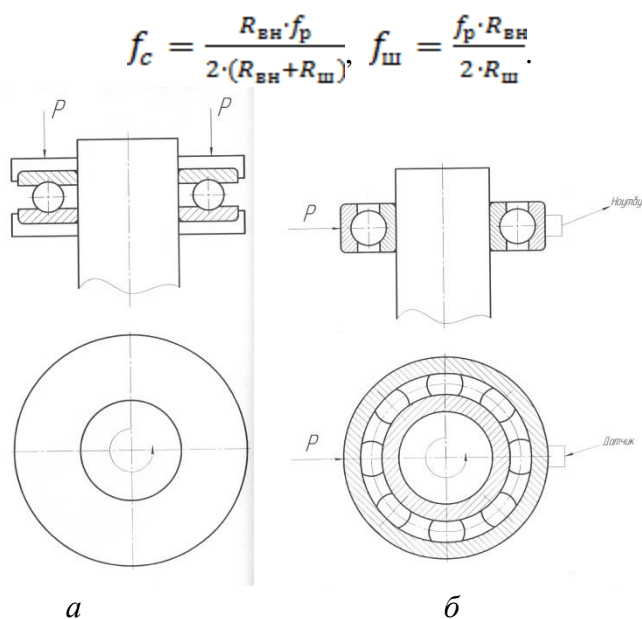


Рисунок 2 – Схема нагрузки подшипника

Результаты измерений и их обсуждение. Исследования зависимости коэффициента трения (кривые 1 и 3) и температуры в зоне контакта (кривые 2 и 4) от нагрузки в сравнении с чистой смазкой и содержащей 5 вес.% порошкообразного сверхпластичного сплава приведены на рисунке 3.

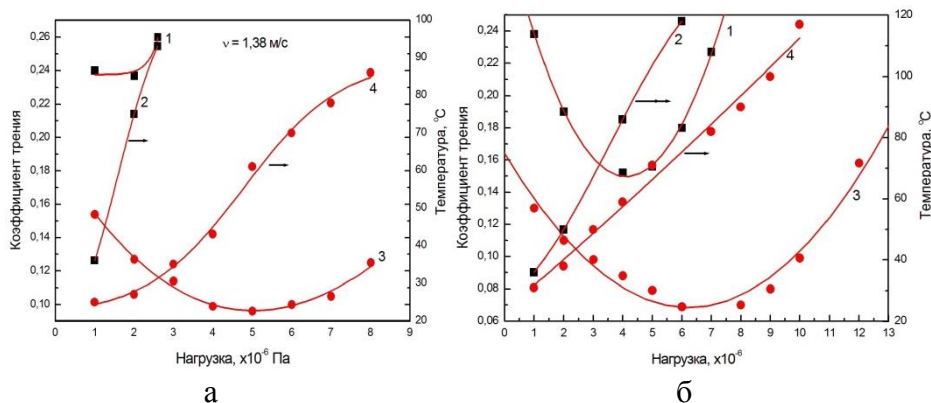


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента трения f (1, 3) и температуры T (2, 4) в зоне трения от нагрузки N для скорости $V=1,38$ м/с для товарной смазки ЦИАТИМ-201 (а) и ЛИТОЛ-24 (б) чистой смазки (1,2) и с добавкой порошка сверхпластичного сплава Bi-Pb-Sn в количестве 5 мас.% (2, 4)

Из рисунке 3, а видно, что рабочий диапазон смазки ЦИАТИМ-201 находится в интервале от $0,5$ до $2,5 \cdot 10^6$ Па (кривая 1), в то время как для смазки с присадкой он доходит до $8 \cdot 10^6$ Па (кривая 3), при этом, в товарной смазке температура в зоне трения резко увеличивается с увеличением нагрузки (кривая 2), а для смазки с присадкой температура возрастает плавно (кривая 4). Диапазон нагрузок для смазки ЛИТОЛ-24 (рис. 3, б) значительно больше, чем для ЦИАТИМ-201 и доходит до $7 \cdot 10^6$ Па, а присадка сверхпластичного сплава увеличивает диапазон до $12 \cdot 10^6$ Па и значительно понижает коэффициент трения с $0,14$ (кривая 1) до $0,06$ (кривая 3) почти в 2,5 раза. Сравнительные испытания товарных смазок ЛИТОЛ-24, Циатим-201, и смазок, содержащих в качестве присадки порошки сверхпластичных сплавов, показало, что последние позволяют более чем на порядок снизить интенсивность износа трущихся поверхностей. Почти в два раза уменьшается время приработки, при этом значительно понижается температура в зоне трения, увеличивается долговечность узлов трения и нагрузочный диапазон смазки.

Видно, что при температуре в зоне контакта $70-75^\circ\text{C}$ (что составляет $\sim 0,75$ части от температуры плавления) наблюдается минимум коэффициента трения. Это можно связать с тем, что в данном диапазоне температур сплав переходит в сверхпластичное состояние (см. рис. 1), легко внедряется в формируемые поверхностные дефекты трущихся деталей, что снижает формирование наклёпа, приводящее к отслаиванию.

Суть этого механизма заключается в том, что содержащийся в составе смазочного материала металл при определенных условиях выделяется на поверхности фрикционного контакта с образованием металлической пленки, защищающей в некоторых случаях поверхность трения от разрушения или уменьшающей износ и приводящей в еще более редких случаях к реализации избирательного переноса при трении со свойственными только ему уникальными триботехническими характеристиками пары трения. Сравнительные испытания смазки ЛИТОЛ-24 и ЛИТОЛ-24 с добавкой 5 мас% порошка сверхпластичного сплава выявило следующие закономерности (рис. 4, а). После наработки 3000 часов на смазке ЛИТОЛ-24 на телах качения появились выкрашивания за счет наклепа и интенсивного износа, в то время как на телах качения отработавших на смазке ЛИТОЛ-24 с добавкой 5 мас.% порошка сверхпластичного сплава износа не наблюдается, что позволило обеспечить работу подшипника на повторном ресурсе до 9000 час. На дорожках качения на смазке ЛИТОЛ-24 также наблюдается износ в виде выкрашивания, в то время как на дорожках качения отработавших со смазкой ЛИТОЛ-24 плюс 5 мас.% сверхпластичного сплава наблюдается пленка сверхпластичного сплава (рис. 4, б).

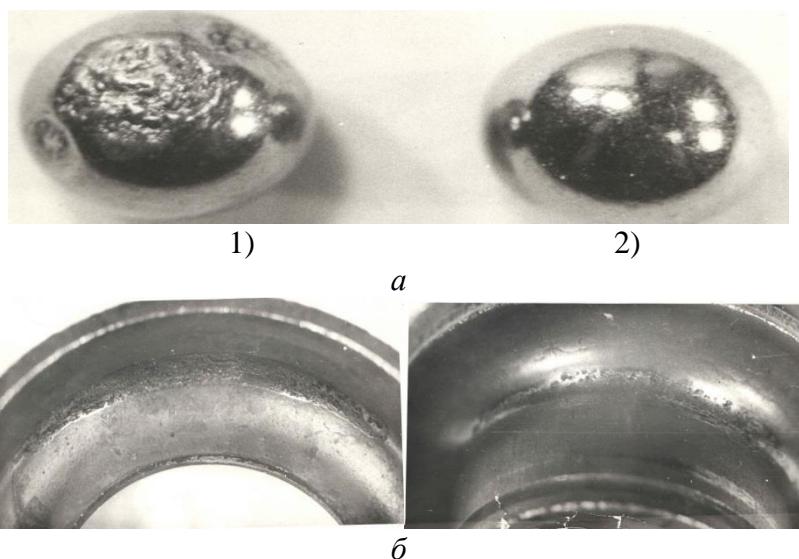


Рисунок 4 – 1) чистая смазка, 2) содержащая сверхпластичный сплав

Современный уровень знаний о механизмах металлоплакирования и безызносности при трении связан с нанотехнологическим подходом при объяснении уникальных триботехнических характеристик и синергетическим поведением открытых трибологических систем. Это позволяет объяснить сверхантифрикционность и безызносность при использовании металлоплакирующих смазок и технологий протеканием в зоне трения самоорганизующегося процесса модифицирования поверхности первичными нанопорошками. В роли смазок могут выступать любые металлсодержащие продукты, образующие на дефектах поверхности трения под воздействием выделяемой при трении энергии новые активные центры зарождения и роста нанокристаллических структур в виде микропокрытий, существенно отличающихся по свойствам от исходного материала поверхности. Как показали исследования, при работе такой смазки на рабочих поверхностях трения образуется тонкая пленка сверхпластичного сплава с высокой адгезией поверхности (рис. 4).

Проведены испытания приготовленных композиций смазки на уменьшение вибрации бывших в эксплуатации и имеющих критический износ по уровню вибрации в диапазоне частот 1000–5000 Гц подшипников. Для этого из подшипников удаляли загрязненную смазку и закладывали содержащую сверхпластичный сплав. Как показали исследования, при работе такой смазки на рабочих поверхностях трения образуется тонкая пленка сверхпластичного сплава с высокой адгезией к поверхности. На рисунке 5 приведены спектры вибрации подшипника качения № 110 с микрораковинами до и после применения сверхпластичных сплавов. В диапазоне частот вибрации 800–5000 Гц наблюдается эффект улучшения рабочей поверхности колец и тел качения после добавления сверхпластичных сплавов, уровень вибраций после введения в смазку сверхпластичных добавок и двухчасовой приработки уменьшается на 10–15%.

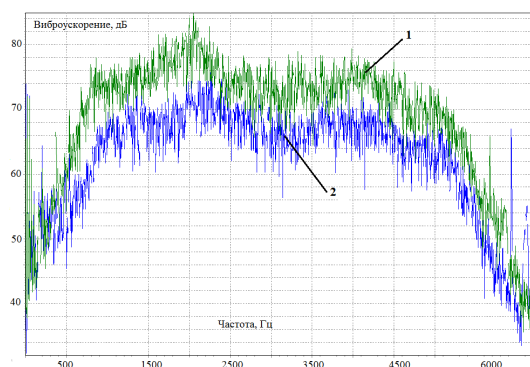


Рисунок 5 – Спектр вибрации подшипника №110: 1– исходный спектр вибрации; 2 – спектр вибрации подшипника после введения в смазку сверхпластичных добавок и двухчасовой приработки

Заключение. В результате исследований показан, что использование смазки, содержащей сверхпластичную добавку в количестве до 5 мас.% с размером частиц 4–10 мкм снижает коэффициент трения в 2,5 раза и позволяет в два раза уменьшаться время приработки, при этом значительно понижается температура в зоне трения, увеличивается долговечность узлов трения и нагрузочный диапазон смазки. Кроме того, использование разработанной смазки позволяет не только увеличить ресурс работы подшипника, но и снизить вибрации узла трения на 10–15 %.

Библиографический список

1. Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В. Эффект избирательного переноса (эффект безызносности): открытие № 41 с приоритетом от 12.11.1956 г.
2. Трение, изнашивание и смазка: справочник. В 2 кн. Кн. 2 / под. ред. И.В. Крагельского, В.В. Флисына. М., 1979. С. 23.
3. Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса. М.: Машиностроение, 1977. 215 с.
4. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения. М.: Машиностроение, 1982. 207 с.
5. Кужаров А.С. Концепция безызносности в современной трибологии // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. 2014. № 2. С. 23-31.
6. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / под ред. А.В. Чичинадзе. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
7. Кужаров А.С., Кужаров А.А. Еще раз и несколько иначе о металлоплакировании, ФАБО и безызносности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 4. С. 772–775.
8. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность). М.: МСХА, 2001. 538 с.
9. Денисова Н.Е., Воячек Т.А. Исследование механизма избирательного переноса при использовании металлоплакирующих пластичных смазок // Надежность и качество: тр. междунар. симпозиума. 2011. Т. 2. С. 136–138.
10. Антифрикционная металлоплакирующая смазка: а. с. 827538 СССР, МПК С10М 5/02 / Старикова Г.В., Белый Д.В., Стариков В.Н.; заявл. 14.08.78; опубл. 07.03.81, Бюл. № 17.
11. Муравьев И.Б., Корнеев А.А. Проблемы использования и перспективы применения металлоплакирующих смазочных материалов // Сервис в России и за рубежом. 2014. № 1 (48). С. 12–20.
12. Повышение срока службы деталей машин и инструмента металлоплакированием: монография / А.К. Прокопенко и др. М.: ИИЦ МГУДТ, 2010. 86 с.
13. Погоньшев В.А., Романеев Н.А., Панов М.В. Триботехника в сельском хозяйстве. Для студентов инженерных специальностей и слушателей системы повышения квалификации и профессиональной переподготовки / Брянск, 2010.
14. Погоньшев В.А. Повышение износо- и фреттингостойкости деталей машин модифицированием поверхностей. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Брянск, 2000
15. Погоньшев В.А., Панов М.В. Теоретические и экспериментальные основы повышения износостойкости деталей машин // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. 2011. № 4. С. 78-84.

References

1. Garkunov D.N., Kragel'skiy I.V. *Effekt izbiratel'nogo perenosa (effekt bezyznosnosti): ot-krytie № 41 s prioritetom ot 12.11.1956 g.*
2. *Trenie, iznashivanie i smazka: spravochnik. V 2 kn. Kn. 2 / pod. red. I.V. Kragel'skogo, V.V. Flisina. M., 1979. S. 23.*
3. *Garkunov D.N. Povyshenie iznosostoykosti na osnove izbiratel'nogo perenosa. M.: Mashinostroenie, 1977. 215 s.*

4. Garkunov D.N. *Izbitatel'nyy perenos v tyazhelonagruzhennykh uzlakh treniya*. M.: Mashinostroenie, 1982. 207 s.
5. Kuzharov A.S. *Kontseptsiya bezyznosnosti v sovremennoy tribologii* // *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region*. 2014. № 2. S. 23-31.
6. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)* / pod red. A.V. Chichinadze. 2-e izd. M.: Mashinostroenie, 2001. 664 s.
7. Kuzharov A.S., Kuzharov A.A. *Eshche raz i neskol'ko inache o metalloplakirovanii, FABO i bezyznosnosti* // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011. T. 13, № 4. S. 772–775.
8. Garkunov D.N. *Tribotekhnika (iznos i bezyznosnost')*. M.: MSKhA, 2001. 538 s.
9. Denisova N.E., Voyachek T.A. *Issledovanie mekhanizma izbitatel'nogo perenosa pri ispol'zovanii metalloplakiruyushchikh plastichnykh smazok* // *Nadezhnost' i kachestvo: tr. mezhdunar. simpoziuma*. 2011. T. 2. S. 136–138.
10. *Antifriktsionnaya metalloplakiruyushchaya smazka: a. s. 827538 SSSR, MPK C10M 5/02* / Starikova G.V., Belyy D.V., Starikov V.N.; *zayavl. 14.08.78; opubl. 07.03.81, Byul. № 17*.
11. Murav'ev I.B., Korneev A.A. *Problemy ispol'zovaniya i perspektivy primeneniya metalloplakiruyushchikh smazochnykh materialov* // *Servis v Rossii i za rubezhom*. 2014. № 1 (48). S. 12–20.
12. *Povyshenie sroka sluzhby detaley mashin i instrumenta metalloplakirovaniem: monografiya* / A.K. Prokopenko i dr. M.: IITs MGUDT, 2010. 86 s.
13. Pogonyshev V.A., Romaneev N.A., Panov M.V. *Tribotekhnika v sel'skom khozyaystve. Dlya studentov inzhenernykh spetsial'nostey i slushateley sistemy povysheniya kvalifikatsii i professional'noy perepodgotovki* / Bryansk, 2010.
14. Pogonyshev V.A. *Povyshenie iznoso- i frettingostoykosti detaley mashin modifitsirovaniem poverkhnostey. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* / Bryansk, 2000
15. Pogonyshev V.A., Panov M.V. *Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy povysheniya iznosostoykosti detaley mashin* // *Mekhanika i fizika protsessov na poverkhnosti i v kontakte tverdykh tel, detaley tekhnologicheskogo i energeticheskogo oborudovaniya*. 2011. № 4. S. 78-84.

УДК 669.13.6:631.3

DOI: 10.52691/2500-2651-2022-92-4-56-60

**ДЕТАЛИ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ
МАШИНОСТРОЕНИИ (АНАЛИТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ)**
Grey Cast Iron Parts in Agricultural Engineering (Analytical Review)

Михальченков А.М., д-р техн. наук, профессор, **Феськов С.А.**, канд. техн. наук,
Петров А.А.
Mikhalchenkov A.M., Feskov S.A., Petrov A.A.

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
Bryansk State Agrarian University

Аннотация. Серый чугун, как конструкционный материал нашел очень широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Не будет преувеличением сказать, что современное машиностроение, в том числе и сельскохозяйственное, не может обойтись без этого материала. Особенно он важен при получении крупногабаритных (например, корпусные детали, станины металлообрабатывающих станков и многие другие изделия) деталей. Столь широким распространением этот сплав обязан, прежде всего своим высоким литейным свойствам (жидкотекучести, линейной усадки, газопроницаемости). В то же время серый чугун так же обладает достаточно высокими механическими свойствами, хотя материал относится к разряду хрупких. Однако в системе сельскохозяйственного производства, а точнее ее технической составляющей, за рамками анализа остаются следующие вопросы: номенклатура деталей по отношению к сельхозтехнике по ее функциональному назначению; место чугунных изделий среди изделий из других материалов; возможность восстановления; разработка классификации, которая учитывает