

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК: 621.892

doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-28-35

## ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С СОДЕРЖАНИЕМ ФУЛЛЕРЕНОВ НА ПРОЦЕСС ОСАДКИ ЗАГОТОВКИ

Али Юсупович Албагачиев<sup>1</sup>, Айгерим Бауыржановна Тохметова<sup>2</sup>, Сергей Васильевич Скрипник<sup>3</sup>, Александр Владимирович Михеев<sup>4</sup>, Максим Анатольевич Тананов<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Институт машиноведения А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> МИРЭА–Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>1</sup> albagachiev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6874-0561>

<sup>2</sup> aygerim.tokhmetova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9087-6027>

<sup>3</sup> skripnik53@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5176-3559>

<sup>4</sup> alexmichdm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0193-8888>

<sup>5</sup> m.a.tan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1311-4915>

### Аннотация

Цель исследования заключается в сравнительном анализе влияния нанодобавки в моторном масле на снижение коэффициента трения в процессе осадки. Задача, решению которой посвящена статья, состоит в получении смазочных материалов с различной концентрацией фуллеренов (C60) и анализе сравнительных испытаний смазочных композиций.

Методы исследования: смазочные композиции получены путем перемешивания на ультразвуковом диспергаторе в лаборатории узлов трения для экстремальных условий ИМАШ РАН; экспериментальные исследования выполнены в МИРЭА – Российском технологическом университете с использованием лабораторного комплекса «Обработка металлов давлением. Ком-

пьютеризированный пресс с ЧПУ» ОМД – 1 ЧПУ, реализующий процесс осадки.

Новизна работы: впервые исследовалось влияние различных концентраций фуллеренов (C60) на процесс осадки. Результаты исследования: выполнены эксперименты по осадке заготовки; получены зависимости усилия от перемещения заготовки для испытанных смазочных материалов. Основной вывод по исследованию состоит в том, что моторное масло с введением фуллеренов снижает сопротивление деформированию заготовки и коэффициент трения.

**Ключевые слова:** фуллерен, смазочная композиция, усилие, моторное масло, осадка, коэффициент трения.

Ссылка для цитирования:

Албагачиев А.Ю. Влияние смазочных композиций с содержанием фуллеренов на процесс осадки заготовки / А.Ю. Албагачиев, А.Б. Тохметова, С.В. Скрипник, А.В. Михеев, М.А. Тананов // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 10. – С. 28 – 35. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-28-35.

Original article

Open Access Article

## THE EFFECT OF LUBRICATING COMPOSITIONS CONTAINING FULLERENES ON THE WORKPIECE UPSETTING

Ali Yusupovich Albagachiev<sup>1</sup>, Aigerim Bauyrzhanovna Tokhmetova<sup>2</sup>, Sergey Vasilyevich Skripnik<sup>3</sup>, Aleksandr Vladimirovich Mikheev<sup>4</sup>, Maksim Anatolyevich Tananov<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> MIREA- Russian Technological University, Moscow, Russia

<sup>1</sup> albagachiev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6874-0561>

<sup>2</sup> aygerim.tokhmetova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9087-6027>

<sup>3</sup> skripnik53@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5176-3559>

<sup>4</sup> alexmichdm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0193-8888>

<sup>5</sup> m.a.tan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1311-4915>

## Abstract

The study objective is a comparative analysis of the effect of nano-additives in engine oil on reducing the friction factor during upsetting. The task to which the paper is devoted is to obtain lubricants with different concentrations of fullerenes (C60) and analyze comparative tests of lubricant compositions.

Research methods: lubricating compositions are obtained by mixing on an ultrasonic dispersant in the laboratory of friction units for extreme conditions of IMASH RAS; experimental studies are carried out at MIREA – Russian Technological University using the laboratory complex "Metal Working Process. Computerized CNC Press" which implements upsetting.

### Reference for citing:

Albagachiev AYu, Tokhmetova AB, Skripnik SV, Mikheev AV, Tananov MA. The effect of lubricating compositions containing fullerenes on the workpiece upsetting. *Transport Engineering*. 2022; 10:28 – 35. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-28-35.

## Введение

Осадка является распространенной кузнечной операцией в машиностроении, в процессе которой уменьшается высота заготовки при увеличении площади поперечного сечения [1-5]. Процесс осадки имеет схему (рис. 1), которая применяется для оценки напряженно – деформированного состояния.

Для уменьшения влияния сил трения на результаты испытаний вводятся различные смазочные материалы между торцевыми поверхностями образца и опорными плитами. Однако полностью устранить силы трения и обеспечить в образце при испытании линейное напряженное состояние не представляется возможным, что является принципиальным недостатком испытаний на сжатие [6-7].

Для исследования использовались полусинтетическое моторное масло Mobil Ultra 10W-40 с добавкой наноразмерных частиц. Данный материал использовался как смазочная композиция. В качестве нанодобавки были испытаны порошки фуллеренов (C60) (рис. 2) производства Merck KGaA (г. Дармштадт, Германия). Процентное содержание добавки варьировалось. Максимальное содержание присадки в моторном масле не превышало 2 %.

## Методика перемешивания смазочной композиции

В жидкой среде частицы обладают способностью образовывать агломераты. С

Novelty of the work: for the first time, the effect of different concentrations of fullerenes (C60) on the upsetting is studied. Study results: experiments are performed on the workpiece upsetting; the dependences of the force on the workpiece movement for the tested lubricants are obtained. The main conclusion of the study is that engine oil with the introduction of fullerenes reduces the resistance to deformation of the workpiece and the friction factor.

**Keywords:** fullerene, lubricating composition, force, engine oil, upsetting, friction factor.

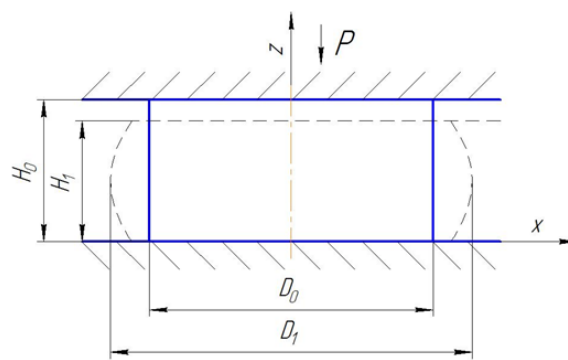


Рис.1. Схема осадки:  $H_0$ ,  $D_0$  - начальные размеры заготовки,  $H_1$ ,  $D_1$  - размеры заготовки после осадки

Fig. 1. Upsetting scheme:  $H_0$ ,  $D_0$  - initial dimensions of the workpiece,  $H_1$ ,  $D_1$  - dimensions of the workpiece after upsetting

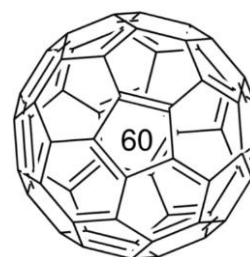


Рис. 2. Фуллерен C60

Fig. 2. Fullerene C60

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ влияния нанодобавки в моторном масле на снижение коэффициента трения в процессе осадки.

уменьшением размера частиц этот эффект увеличивается. Чем более тонкодисперс-

ным является порошок, тем сложнее диспергировать агломераты до отдельных частиц.

Ультразвуковое диспергирование обеспечивает получение материалов сверхтонкой дисперсности. Диспергирующее действие ультразвука связано с кави-

тацией [8] – образованием и схлопыванием полостей в жидкости. Схлопывание полостей сопровождается появлением кавитационных ударных волн, которые разрушают агломераты и приводят к равномерному распределению частиц.

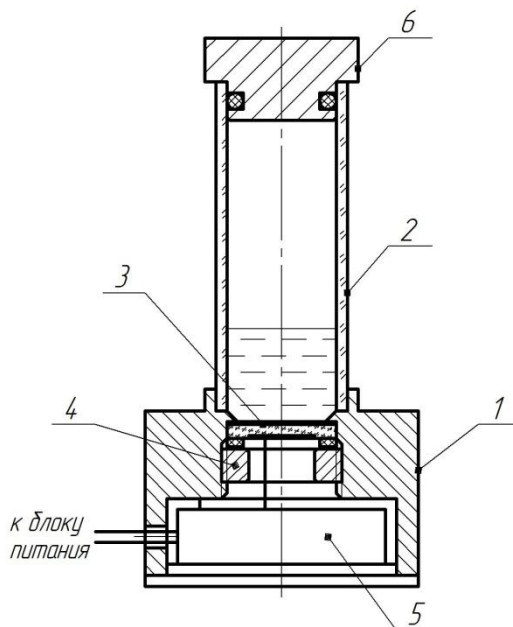


Рис. 3. Ультразвуковой диспергатор:  
1 – основание, 2 – стеклянный цилиндр,  
3 – пьезоэлемент, 4 – прижимная гайка,  
5 – плата генератора, 6 – заглушка

Fig. 3. Ultrasonic disperser:  
1 - base, 2 - glass cylinder, 3 - piezoelectric  
element, 4 - clamping nut,  
5 - generator board, 6 - plug

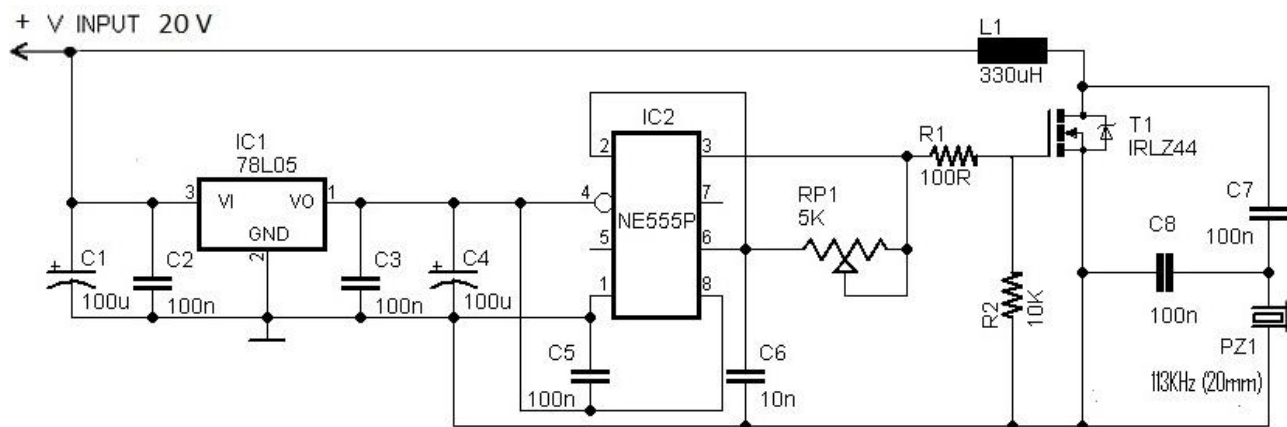


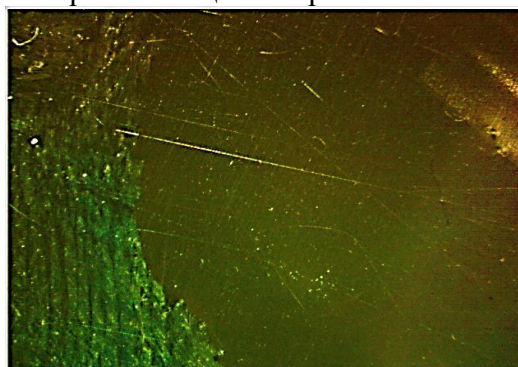
Рис. 4. Плата генератора  
Fig. 4. Generator board

Смазочную композицию, представляющую собой масляную суспензию фуллерена получали путем многократной обработки масляно-фуллереновой системы

на ультразвуковом диспергаторе (рис. 3). На рис. 4 изображена плата генератора. Продолжительность одной ультразвуковой обработки, сопровождавшейся нагревом

раствора до 60...70 °С составляла 10 мин. Контроль качества перемешивания производился при помощи микроскопа МБС-

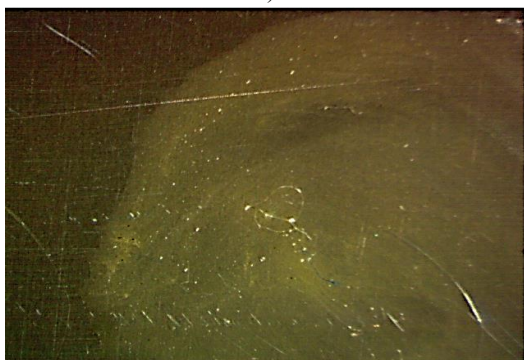
10М, с увеличением  $\times 800$  агломераты не наблюдались (рис. 5).



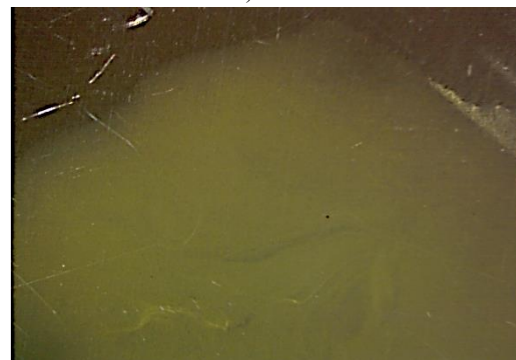
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Снимки смазочных композиций: а – моторное масло + 0,1 % фуллеренов, б – моторное масло + 0,2 % фуллеренов, в – моторное масло + 1 % фуллеренов, г – моторное масло + 2 % фуллеренов

Fig. 5. Pictures of lubricant compositions: a – engine oil + 0.1 % fullerenes, b – engine oil + 0.2% fullerenes, v – engine oil + 1 % fullerenes, g – engine oil + 2 % fullerenes

### Методика исследования

Эксперименты по осадке заготовки между опорными плитами проводились на цилиндрах (рис. 6), распечатанных на 3D – принтере с размерами:  $H_0 = 20$  мм,  $D_0 = 20$  мм.

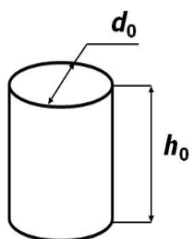


Рис. 6. Образец для испытаний

Fig. 6. Test sample

Процесс осадки реализован на учебном лабораторном комплексе «Обработка металлов давлением. Компьютеризированный пресс с ЧПУ» ОМД – 1 ЧПУ (рис. 7). Измерение усилия проводилось по отсчетным устройствам прессы. Погрешность измерения усилия составило  $\pm 2\%$ . Смазка

между торцевыми поверхностями образца и опорными плитами осуществлялась капельным способом.



Рис. 7. Учебный лабораторный комплекс «Обработка металлов давлением. Компьютеризированный пресс с ЧПУ» ОМД – 1 ЧПУ

Fig. 7. Educational laboratory complex "Metal forming. Computerized press with CNC" OMD - 1 CNC

## Результаты исследований и их обсуждение

При испытании записывающий механизм машины автоматически показывает диаграмму процесса осадки – график зависимости между усилием и перемещением образца. При осадке получены образцы с большим поперечным размером при относительно малой высоте (~ 3 – 5 мм) (рис. 8 и 9).

Диаграмма процесса осадки цилиндра без смазочного материала представлена на рис. 10.

Из него следует, что на участке ОА выполняется закон Гука, на этом участке действуют упругие деформации. На участке АВ нарушается закон Гука, зависимость между силой и укорочением становится нелинейной. На графике горизонтальный участок ВС называемый площадкой текучести [9] показал, что образец сильно деформируется при постоянной нагрузке. СД – участок упрочнения, заготовка приобретает бочкообразную форму. Диаметр образца значительно увеличивается, а высота уменьшается. Участок ДЕ соответствует прекращению испытания.

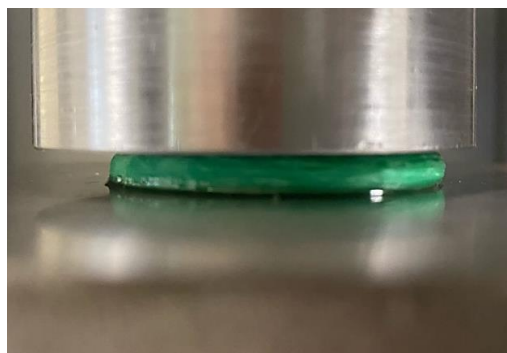


Рис. 8. Заготовка после процесса осадки  
Fig. 8. Billet after upsetting process

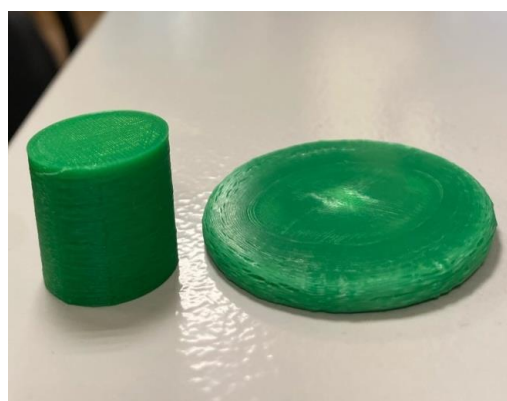


Рис. 9. Заготовки до и после процесса осадки  
Fig. 9. Blanks before and after upsetting

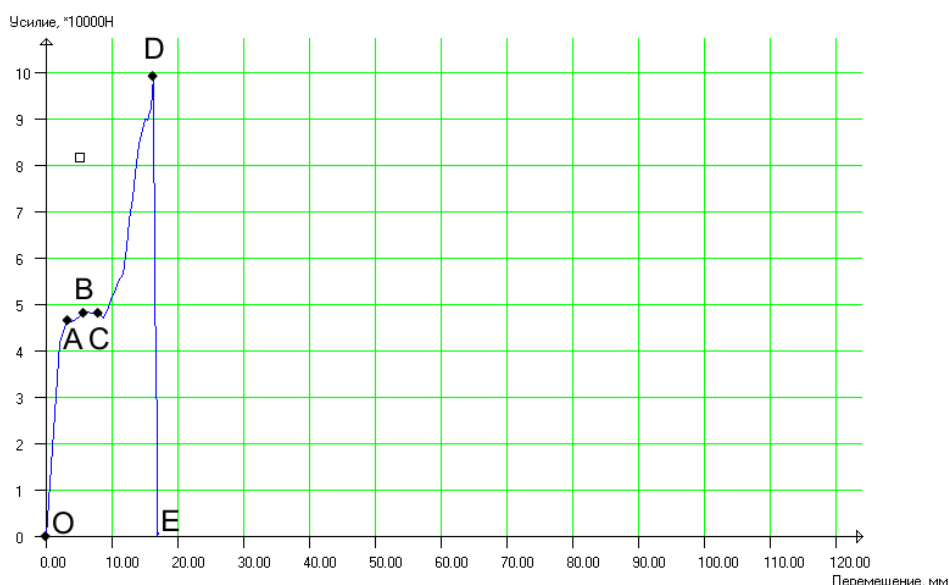


Рис. 10. Зависимость усилия от перемещения без смазочного материала  
Fig. 10. Force versus displacement without lubrication

Анализ диаграмм показал их отличие для смазочных материалов с различной концентрацией фуллеренов. Сопротивление заготовки снижается в результате влияния смазки с фуллеренами на тангенциальное трение между заготовкой и инстру-

ментом (рис. 11).

В результате действия силы пластического деформирования при сжатии и тангенциального трения между торцами осаживаемой заготовки и инструментом, заготовка приобретает бочкообразную

форму. Показатель бочкообразности  $\delta$  оценивался по формуле [10] (рис. 12):

$$\delta = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max}}$$

где  $D_{\max}$  - максимальный диаметр образца,  
 $D_{\min}$  - минимальный диаметр образца.

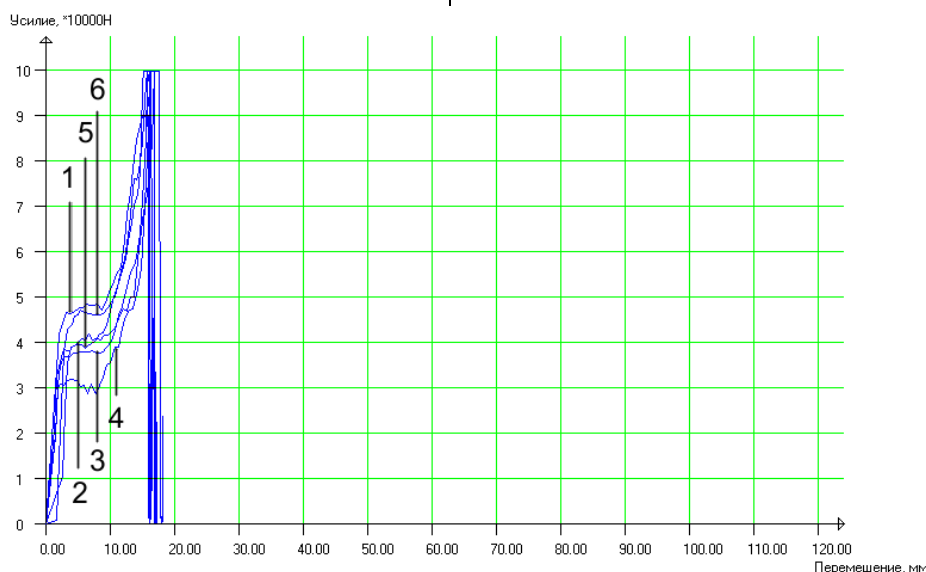


Рис. 11. Зависимость усилия от перемещения для испытанных смазочных материалов:

1 – без смазочного материала, 2 – моторное масло, 3 – моторное  
 масло + 0,1 % фуллеренов, 4 – моторное масло + 0,2 % фуллеренов,  
 5 – моторное масло + 1 % фуллеренов, 6 – моторное масло + 2% фуллеренов

Fig. 11. Force versus displacement for tested lubricants: 1 - no lubricant, 2 - engine oil,

3 - engine oil + 0.1%fullerenes, 4 - engine oil + 0.2%fullerenes,  
 5 - engine oil + 1%fullerenes, 6 - engine oil + 2%fullerenes

Коэффициент трения  $f$  определялся по формуле [8]:

$$f = 6,25 \left( \frac{1-\delta}{1+\varepsilon} \right) \left( \frac{d_0}{h_0} \right)^{\frac{3}{2}}$$

где  $\varepsilon$  – степень деформации.

Таким образом, в результате проведённых испытаний было выявлено, что в одинаковых условиях процесса осадки добавка фуллеренов снижает коэффициент трения, что отражено на представленной диаграмме (рис. 13).

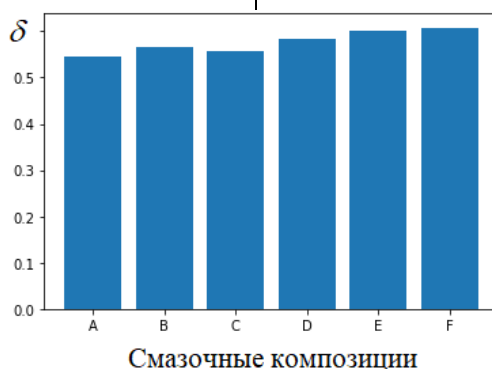


Рис. 12. Значения показателя бочкообразности:

A – без смазочного материала, B – моторное масло,  
 C – моторное масло + 0,1 % фуллеренов, D – моторное  
 масло + 0,2 % фуллеренов, E – моторное  
 масло + 1 % фуллеренов, F – моторное масло + 2% фуллеренов

Fig. 12. Barrel index values: A - no lubricant,

B - engine oil, C - engine oil + 0.1%fullerenes,

D - engine oil + 0.2%fullerenes, E - engine  
 oil + 1%fullerenes, F - engine oil + 2%fullerenes

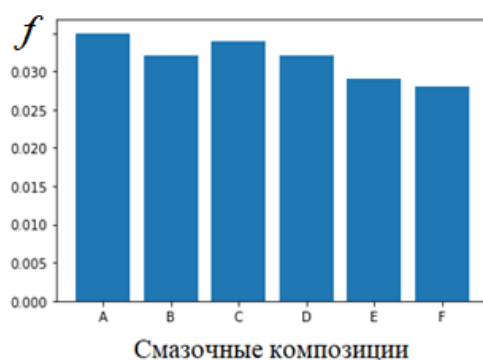


Рис. 13. Среднее значение расчетного коэффициента трения: А – без смазочного материала, В – моторное масло, С – моторное масло + 0,1 % фуллеренов, D – моторное масло + 0,2 % фуллеренов, E – моторное масло + 1 % фуллеренов, F – моторное масло + 2% фуллеренов

*Fig. 13. The average value of the calculated coefficient of friction: A - without lubricant, B - engine oil, C - engine oil + 0.1% fullerenes, D - engine oil + 0.2% fullerenes, E - engine oil + 1% fullerenes, F - engine oil + 2% fullerenes*

## Заключение

Таким образом, из анализа экспериментальных данных с лабораторного комплекса «Обработка металлов давлением. Компьютеризированный пресс с ЧПУ»

ОМД-1 ЧПУ следует, что моторное масло с введением фуллеренов снижает сопротивление деформированию заготовки и коэффициент трения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Подскребко М.Д. Сопротивление материалов/ М.Д. Подскребко. Мн: Высшая школа, 2007.
2. Воронцов А. Свободная осадка полых цилиндрических заготовок. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*. 2006. № 11(116). С. 21-31. – EDN HZQAVF.
3. Кухарь В.Д., Бойко О.А. Влияние трения на усилие осадки цилиндрических заготовок. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2012. № 8. С. 239-242. – EDN PYMOSL.
4. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: в 4 т. М.: Машиностроение, 1986. Т.2. 592 с.
5. Стругов С.С., Иванов В.А., Шеркунов В.Г. Сравнение методов оценки напряженно-деформированного состояния при осадке цилиндрической заготовки. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия*. 2016. № 16(4). С. 140-146. – DOI 10.14529/met160416. – EDN XDSKKP.

6. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. М.: Metallurgy, 1980. 456 с.
7. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Изд-во УГТУ – УПИ, 2001. 835 с.
8. Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Малиновская Т.Д., Сачков В.И. Синтез дисперсных металлооксидных материалов: монография / ответственный редактор Т.Д. Малиновская. Томск: ТГУ, [б. г.]. Книга 2: Плазмохимический метод получения оксидов титана и циркония. 2014. 168 с.
9. Высотин А.С., Кузнецова Е.В. Анализ поля деформаций при испытаниях на растяжение плоских деталей с концентрическим отверстием. *Прикладная математика, механика и процессы управления*. 2015. №1. С. 48-55. – EDN WVIGFR.
10. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке. М.: Metallurgy, 1973. 288 с.

## REFERENCES

1. Podskrebko MD. Resistance of materials. Minsk: Visshaya Shkola; 2007.
2. Vorontsov A. Free upsetting of hollow cylindrical workpieces. Handbook. An Engineering Journal. 2006;11(116):21-31. EDN HZQAVF.

3. Kukhar VD, Boyko OA. The effect of friction on the upsetting force of cylindrical workpieces. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2012;8:239-242. EDN PYMOSL.

4. Semenov EI. Forging and form pressing. Moscow: Mashinostroenie. 1986;2.
5. Strugov SS, Ivanov VA, Sherkunov VG. Comparison of methods of stress-strain state estimation in the upset of a cylindrical workpiece. Bulletin of the South Ural State University. Series: Metallurgy. 2016;16(4):140-146. DOI 10.14529/met160416. EDN XDSKKP.
6. Gun GYa. Theoretical foundations of metal working process. Moscow: Metallurgy; 1980.
7. Kolmogorov VL. Mechanics of metal working process. Ukhta: Publishing house of USTU – UPI; 2001.
8. Vorozhtsov AB, Zhukov AS, Malinovskaya TD, Sachkov VI. Synthesis of dispersed metal oxide materials: monograph. Tomsk: TSU. Book 2, Plasma-chemical method for obtaining titanium and zirconium oxides; 2014.
9. Vysotin AS, Kuznetsova EV. Analysis of the deformation field during tensile tests of flat parts with a concentric hole. Applied mathematics, mechanics and control processes. 2015;1:48-55. EDN WVIGFR.
10. Grudev AP. External friction during rolling. Moscow: Metallurgy; 1973.

#### Информация об авторах:

**Албагачиев Али Юсупович** – доктор технических наук, профессор, тел. +7-905-7006368.

**Тохметова Айгерим Бауыржановна** – младший научный сотрудник, тел. +7-952-7553775.

**Скрипник Сергей Васильевич** - студент, тел. +7-916-7454580.

**Albagachiev Ali Yusupovich** - Doctor of Technical Sciences, Professor, phone: +7-905-7006368.

**Tokhmetova Aigerim Bauyrzhanovna** – Junior research assistant, phone: +7-952-7553775.

**Skripnik Sergey Vasilyevich** – Student, phone: +7-916-7454580.

**Михеев Александр Владимирович** – младший научный сотрудник, тел. +7-965-3748597.

**Тананов Максим Анатольевич** – научный сотрудник, тел. +7-499-135-43-89.

**Mikheev Aleksandr Vladimirovich** - Junior research assistant, phone: +7-965-3748597.

**Tananov Maksim Anatolyevich**- Research assistant, phone: +7-499-135-43-89.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 04.07.2022; одобрена после рецензирования 12.07.2022; принята к публикации 26.09.2022. Рецензент – Киричек А.В., доктор технических наук, профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 04.07.2022; approved after review on 12.07.2022; accepted for publication on 26.09.2022. The reviewer is Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Long-term Development at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.**