

УДК 669.716:621.785

**Efficiency study and selection of lubricants for hot deformity of aluminium alloy D16****Исследование эффективности и выбор смазочных материалов для горячего деформирования алюминиевого сплава Д16**

*K. A. Abramov<sup>1</sup>, V. Y. Sholom<sup>2</sup>, A. N. Abramov<sup>3</sup>*  
*К. А. Абрамов<sup>1</sup>, В. Ю. Шолом<sup>2</sup>, А. Н. Абрамов<sup>3</sup>*

The technopark «SELF-FINANCING CREATIVE CENTER OF THE UAI – ROS OIL», Naberezhnaya Str. 122, Ufa, 450057, Russia

<sup>1</sup> abramov@rosoil.ru, <sup>2</sup> rosoil@rosoil.ru, <sup>3</sup> kirill@gmail.com

Технопарк «ХТЦ УАИ - РОСОЙЛ», Россия, 450057, Уфа, ул. Набережная, 122

<sup>1</sup> abramov@rosoil.ru, <sup>2</sup> rosoil@rosoil.ru, <sup>3</sup> kirill@gmail.com

**ABSTRACT**

This article shows the relevance of the exclusion of oil-containing components from the technological lubricants, the replacement of graphite with functional components. Experimental research methods to determine the effectiveness of lubricants in squeezing and sedimenting cylindrical blanks are described. The tests were carried out during the deformation of samples of aluminum alloy D16. Non-graphite-containing lubricants of foreign and domestic production, currently used by Russian enterprises for hot stamping of metals and alloys, were selected for the research. To compare the effectiveness of the use of lubricants, non-containing graphite with lubricants containing graphite was selected technological lubricants on the water basis «Rosoil-Synthestol» with content 30% graphite. As a result of experimental research, it is shown that the lubricants, which do not contain graphite, «Rosoil-318» is not inferior in efficiency to the lubricant containing graphite and imported analogues not containing in its graphite.

**KEYWORDS**

Deformation force; sediment; extrusion; lubricants; hot deformation.

**АННОТАЦИЯ**

Показана актуальность исключения из состава технологических смазочных материалов маслосодержащих компонентов, замены графита на равноценные по функциональным свойствам компоненты. Описаны методики экспериментальных исследований по определению эффективности смазочных материалов при выдавливании и при осадке цилиндрических заготовок. Испытания проводили при деформировании образцов из алюминиевого сплава Д16. Для исследований были выбраны смазочные материалы, не содержащие графит, зарубежного и отечественного производства, применяемые в настоящее время российскими предприятиями при горячей штамповке заготовок из металлов и сплавов. Для сравнения эффективности применения смазочных материалов, не содержащих в своем составе графит, со смазочными материалами, содержащими в своем составе графит, был выбран технологический смазочный материал на водной основе «Росойл-Синтезол» с содержанием графита 30%. В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что смазочный материал, не содержащий в своем составе графит, «Росойл-318» не уступает по эффективности смазочному материалу, содержащему графит, и импортным аналогам, не содержащим в своем составе графит.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Сила деформирования; осадка; выдавливание; смазочные материалы; горячее деформирование.

**Введение**

Внешнее трение при горячей ковке и штамповке, как и при большинстве других способов ОМД, приводит к снижению технологической пластичности, обусловленной, главным образом, неравномерностью деформации заготовки. Прямым следствием этого являются неравномерности структуры и свойств по сечению получаемых поковок

и даже их разрушение. Кроме того, трение вызывает рост потребных усилий штамповки и вызывает повышенный износ инструмента. Внешнее трение при горячей объемной штамповке происходит при высоких температурах, давлениях и постоянном обновлении одной из трущихся поверхностей – деформируемым металлом, находящимся в пластическом состоянии [1–7].

Применение эффективных смазочных материалов в процессах горячей объемной штамповки позволяет снизить энергосиловые параметры процесса деформирования, увеличить стойкость инструментальной оснастки, повысить качество штампуемых заготовок. В настоящее время для процессов горячего деформирования металлов и сплавов применяют смазочные композиции на масляной и водной основах, содержащие в своем составе графит [8–14].

Между тем известно [15], что применение технологических смазочных материалов (ТСМ) на основе масел (графито-масляные смеси) загрязняет воздушную среду масляным аэрозолем, продуктами термоокислительного разрушения, окисью углерода и канцерогенными веществами, среди которых большая часть приходится на бензапирен (вещество первого класса опасности, которое образуется при сгорании углеводородных компонентов смазочного материала).

В настоящее время, в интересах снижения загрязнения рабочего места, улучшения промышленной гигиены и защиты окружающей среды, процесс горячей штамповки без применения графитовых смазочных материалов приобретает большую актуальность, так как графитовая пыль считается одной из самых опасных по степени своего воздействия на органы дыхания.

Такие ТСМ представляют собой раствор химических соединений солей, без содержания графита, позволяющий закреплять смазывающую пленку на высокотемпературном инструменте при температуре  $> 100$  °С. Они не содержат ядовитых или физиологически вредных веществ.

В связи с изложенным, исключение из состава ТСМ маслосодержащих компонентов, замена графита на равноценные по функциональным свойствам компоненты является актуальной научно-технической задачей.

Целью настоящей работы является сравнительная оценка эффективности разработанного в НИИ «Триботехники и смазки» УГАТУ смазочного материала, не содержа-

щего в своем составе минерального масла и графита для процессов горячего деформирования заготовок из алюминиевого сплава Д16 с традиционно применяемыми ТСМ.

### 1. Методики исследований

Испытательный стенд для исследования сил пластического трения в процессах деформирования металлов создан на базе разрывной машины ИР-5047-50, с максимальной силой деформирования 50 кН и максимальной скоростью перемещения траверсы  $8 \times 10^{-3}$  м/с (рис. 1) [16–19].

Для исследования влияния температуры на параметры деформирования заготовок испытательный стенд оснащен системой нагрева, с помощью которой можно осуществлять нагрев деформируемых образцов или оснастки до 800 °С.

*Методика определения эффективности смазочных материалов при выдавливании*

Испытания при выдавливании проводили с использованием цилиндрических образцов из сплава Д16П по ГОСТ 14838-78 (диаметром 5 мм, длиной 15 мм), инструмент из стали 5ХНМ, степень относительной деформации 40%, скорость деформирования 100 мм/мин, температура нагрева образцов 450 °С, инструмента 150 °С. Степень разбавления водой каждого смазочного материала составляла 1:5 (1 часть смазочного материала 5 частей воды). На инструмент смазочный материал наносился распылением. Каждое значение есть среднее арифметическое из 5 опытов. За эталонный смазочный материал принят Ogafor B2.

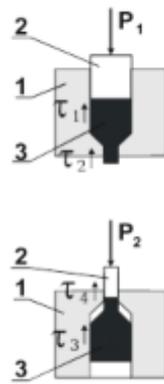
Оценку эффективности ТСМ при выдавливании определяли по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{P_{1\mathcal{E}} \times P_{2\mathcal{E}}}{P_{1\text{ис}} \times P_{2\text{ис}}},$$

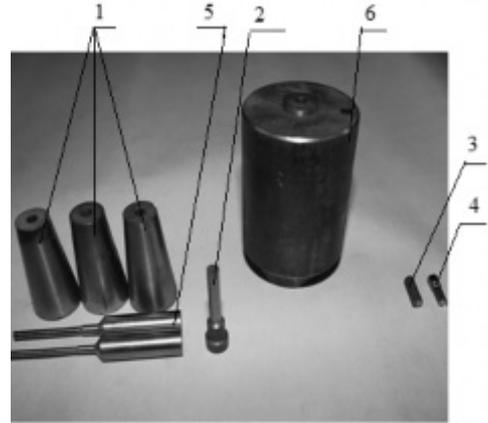
где  $P_{1\mathcal{E}}$  и  $P_{2\mathcal{E}}$  – силы деформирования и выталкивания с эталонной смазкой соответственно,  $P_{1\text{ис}}$  и  $P_{2\text{ис}}$  – силы деформирования и выталкивания с исследуемой смазкой соответственно [4].



a



b



v

**Рис. 1.** Испытательный стенд для исследования сил пластического трения в процессах деформирования металлов на базе разрывной машины ИР-5047-50 (а), схема испытания смазочных материалов в процессе прямого выдавливания при деформировании и выталкивании (б), вид экспериментальной оснастки (в): 1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – образец; 4 – образец после деформации; 5 – выталкиватель; 6 – корпус

**Fig. 1.** Test stand for the study of the forces of plastic friction in the process of metal deformation on the basis of the IP-5047-50 rupture machine (a), a scheme to test lubricants in the process of direct squeezing during deformation and pushing (b), species experimental snap (v): 1 – matrix; 2 – poinson; 3 – sample; 4 – sample after deformation; 5 – ejector; 6 – hull

*Методика определения эффективности смазочных материалов при осадке цилиндрических заготовок*

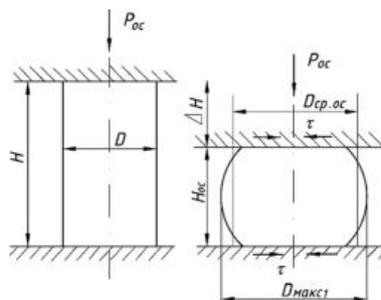
В отличие от известной методики по осадке кольцевых образцов [20], в данной работе использовали цилиндрические образцы диаметром 10 мм, высотой 11 мм, которые были изготовлены из прутка сплава Д16 диаметром 10 мм по ГОСТ 21488-97. Резка прутка на образцы длиной 12 мм осуществлялась на токарном станке. Затем образцы (по 10 штук) зажимались в специальную струбцину и на абразивном круге доводились до высоты 11 мм. С помощью профилометра TR-220 (компании Time Group Китай) оценивали шероховатость торцевой поверхности заготовок, которая по-

сле такой обработки составляла  $Ra = 0,63$  мкм. Все образцы осаживали до фиксированной силы деформирования 45 кН. Инструмент из стали 5ХНМ, скорость деформирования 50 мм/мин, температура нагрева образцов 450 °С, инструмента 150 °С. На инструмент смазочный материал наносился распылением.

Все образцы осаживали в торец до фиксированной силы деформирования 45 кН. После деформирования измеряли высоты образцов и определяли относительную степень деформации по формуле:

$$e = \frac{H - H_{oc}}{H} \cdot 100\%,$$

где  $H$  – высота заготовки до деформации,  $H_{oc}$  – высота заготовки после деформации (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема процесса осадки  
**Fig. 2.** Precipitation process scheme

Для исследований были выбраны смазочные материалы, не содержащие в своем составе графит, применяемые в настоящее время российскими предприятиями при горячей штамповке заготовок из алюминиевых и стальных сплавов:

- «Ogafor B2» фирмы «CONDAT», Франция;
- Lubrodal F 53-30 фирмы «FUCHS» Германия,
- Lubrodal F318N фирмы «FUCHS» Германия,
- Die-forgent GF 09 фирмы «PETROFER» Германия,
- Росойл-318 – опытный образец, разработанный в НИИ «Триботехники и смазки» УГАТУ.

Для сравнения по эффективности применения смазочных материалов, не содержащих

в своем составе графит со смазочными материалами, содержащими в своем составе графит, был выбран ТСМ на водной основе «Росойл-Синтезол» с содержанием графита марки П до 30%, который используется в настоящее время на предприятиях России.

## 2. Результаты исследований

*Результаты испытаний при прямом выдавливании*

Результаты испытаний при выдавливании представлены в табл. 1. Каждое значение есть среднее арифметическое из трех испытаний.

*Результаты испытаний при осадке цилиндрических образцов*

Результаты испытаний при осадке представлены на рис. 3 и в табл. 2. Каждое значение есть среднее арифметическое из 5 опытов.

Таблица 1  
Table 1

### Результаты испытаний при прямом выдавливании

#### Results of tests with direct squeezing

№	Смазочные материалы	Ogafor B2	Lubrodal F 53-30	Lubrodal F318N	Die-forgent GF 09	Росойл-Синтезол	Росойл-318
	Показатели						
1	Максимальная сила деформирования $P_d$ (Н)	19000	18733	15667	18466	15200	15243
2	Максимальная сила выталкивания $P_v$ (Н)	7000	4967	3667	6833	3500	3557
	Эффективность, Э	1,00	1,43	2,32	1,05	2,5	2,45



**Рис. 3.** Образцы из сплава D16: 1 – до деформации; 2 – деформированные без смазки; 3 – с применением смазочного материала «Lubrodal F318N»; 4 – с применением «Росойл-Синтезол»; 5 – с применением «Росойл-318»

**Fig. 3.** Samples from alloy D16: 1 – before deformation; 2 – deformed without lubrication; 3 – using Lubrodal F318N lubricants; 4 – with the use of Rosoil-Synthestol; 5 – using Rosoil-318

## Результаты испытаний при осадке цилиндрических образцов из сплава Д16

## Results of tests for sedimentofiled cylindrical samples from alloy D16

Смазочный материал	Высота заготовок до деформации, мм	Высота заготовок после деформации (среднее значение), мм	Относительная степень деформации (среднее значение), %
Без смазочного материала	11,0	9,0	18
Lubrodal F318N		8,0	27
Росойл- Синтезол		7,0	36
Росойл-318		7,0	36

Результаты исследований показали, что смазочный материал, не содержащий в своем составе графит «Росойл-318», не уступает по эффективности смазочному материалу «Росойл-Синтезол», в композицию которого входит графит, и дорогостоящим импортным аналогам.

Смазка технологическая «Росойл-318» выпускается по ТУ 20.59.41-132-06377289-2017 в Технопарке ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ, поставляется в виде концентрата и разбавляется водой перед использованием.

Рекомендованная степень разбавления от 1:20 до 1:5 (от 5 до 20 %). Для сложных и ответственных деталей следует использовать большую концентрацию. Рабочий раствор наносится на поверхности нагретого штампового инструмента любым способом и оставляет на рабочих поверхностях штампового инструмента сухую, прочно удерживающуюся пленку белого цвета с высокими разделительными свойствами.

Основные физико-химические характеристики ТСМ «Росойл-318» приведены в табл. 3.

## Основные физико-химические характеристики ТСМ «Росойл-318»

## The main physical and chemical characteristics of TSM «Rosoil-318»

№	Показатель	Норма	Метод испытания
1	Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость с желтоватым оттенком	По п. 5.1 ТУ
2	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , в пределах	1,100 – 1,200	ГОСТ 3900
3	Водородный показатель, рН	9 ± 0,5	ГОСТ 6243
4	Содержание активных веществ, %, не менее	26	рефрактометр

## Выводы

1. Установлено, что путем применения эффективных смазочного материала при горячей штамповке алюминиевого сплава Д16 можно снизить силу деформирования при прямом выдавливании на 20%, силу выталкивания заготовки из полости матрицы на 49%.

2. Выявлено, что на операции осадки цилиндрических образцов за счет применения эффективных смазочного материала можно повысить степень относительной деформации в 2 раза.

3. Результаты исследований показали, что смазочный материал, не содержащий в своем составе графит, «Росойл-318» не уступает по эффективности смазочному материалу «Росойл-Синтезол», в композицию которого входит графит, и импортным аналогам.

## Список литературы

1. Bowden F. P., Tabor D. The friction and lubrication of solids. Oxford: Claredon Press, 1954. 2nd ed. 372 p.
2. Современная трибология. Итоги и перспективы. Отв. редактор К. В. Фролов. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 480 с.
3. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / Леванов А. Н. и др. // М.: Металлургия, 1976. 416 с.
4. Donnet C., Erdemir A. Historical developments and new trends in tribological and solid lubricant coatings // Surface and Coatings Technology. 2004. V. 180–181. P. 76–84.
5. Rigney D. A., J. P. Hirth. Plastic deformation and sliding friction of metals // Wear. 1979. V. 53. P. 345–370.
6. Hartley B., Sturgess C. E. N., Rowe C. W. Friction in Finite Element. Analysis of Metalforming Processes // Int. J. Mech. Science. 1979. V. 21, No. 5. P. 301–311.
7. Burgdorf M. Investigation of Friction Values for Metal Forming Processes by the Ring Compression Method // Industrie-Anzeiger. 1967. V. 89. P. 799.
8. Petrov P. Generalized approach to the choice of lubricant for hot isothermal forging of aluminium alloys // Computer Methods in Materials Science. 2007. V. 7, No. 2. P. 106–111.
9. Petrov P., Petrov M. Experimental and numerical investigation of friction in hot isothermal deformation of aluminium alloy AA3003, The 7th International ESAFORM Conference on Material Forming, Norway, Romania, Cluj-Napoca, 27-29 April, 2005. P. 511–514.
10. Erdemir A. Review of engineered tribological interfaces for improved boundary lubrication, Tribology International. 2005. V. 38, No. 3. P. 249–256.
11. Lelonis D. A., Tereshko J. W., Andersen C. M. Boron Nitride Powder - A High-Performance Alternative for Solid Lubrication // Momentive Performance Materials Inc., 2006.
12. Hardy W. B., Hardy J. K. Note on static friction and the lubricating properties of certain chemical substances // Phil. Mag. 1919. V. 38, No. 223. P. 32–37.
13. Смазки. Производство, применение, свойства / под ред. Т. Манга, У. Дрезеля; пер. 2-го англ. изд.; под ред. В. М. Школьниковца СПб.: изд. Профессия, 2010. 944 с.
14. Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
15. Диамантопуло К. К. Стойкость штампов и технологические смазки: учеб. пособие. Мариуполь: ПГТУ, 2011. 125 с.
16. Sholom V. Yu., Zhernakov V. S., Abramov A. N. Research Methodology tribological characteristics and choice of lubricants for cold working of metal forming processes // KShP OMD. 2016. No. 4. P. 10–15.
17. Способ оценки эффективности смазочных материалов / А. В. Шолом и др. // Патент РФ № 2572526, МПК G 01 N 19/04. Оpubл. 20.01.2016. Бюлл. № 2.
18. Method of choice of lubricants for process of wet drawing brass-coated wires / A. N. Abramov et. al. // Proceedings of X-th Int. Baltic Conf. "Materials Engineering & Balttrib-2001". Jurmala. Latvia, 2001. P. 231–234.
19. Choosing lubricants for the process of wire wet drawing / V. I. Semenov, et. al. // Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo. Obrabotka Metallov Davleniem. 2003. No. 9. P. 31–33.
20. Male A. T., Cockroft M. G. A method for the Determination of the Coefficient of Friction of Metals Under Conditions of Bulk Plastic Deformation // Journal of the Institute of Metals. 1964. V. 93. P. 38–46.