

УДК 621.735.016.2.001.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ФАКТОРА ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ ДЕФОРМИРОВАНИИ СПЛАВА АМг6

Андрей Владимирович Дубинчин⁽¹⁾, Максим Викторович Шайхулов⁽²⁾

⁽¹⁾ магистрант 2 курса, ⁽²⁾ аспирант 1 года, заочная форма

Российская Федерация, г. Москва, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технический университет «МАМИ», кафедра «Кузовостроение и обработка давлением»

Научный руководитель: П.А. Петров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Кузовостроение и обработка давлением»

Одной из существенных проблем, возникающей при разработке нового технологического процесса объемной штамповки сплавов на основе алюминия или магния при повышенных температурах является выбор технологической смазки. Технологическая смазка выступает как средство снижения трения, возникающего на поверхности контакта штампового инструмента с деформируемым материалом. Эффективность выбранной технологической смазки может быть оценено одним из следующих критериев (или сочетанием нескольких из них): 1) обеспечение санитарно-гигиенических требований; 2) высокая термостабильность; 3) минимальное значение коэффициента (фактора) трения; 4) возможность механизации либо автоматизации нанесения смазки на штамп или заготовку.

В данной работе исследуется влияние одного из возможных параметров процесса деформирования (температура нагрева деформируемого материала - $T_{деф}$) и одного из возможных параметров технологического оборудования (скорость деформирования - $V_{деф}$) на величину фактора трения k_n . Целью работы является получение математических моделей, позволяющих предсказать изменение величины фактора трения в зависимости от температуры деформируемого материала $T_{деф}$ или/и скорости деформации $\dot{\epsilon}$. Скорость деформации $\dot{\epsilon}$ определяется в зависимости от скорости деформирования $V_{деф}$ в момент контакта рабочего инструмента с заготовкой.

Фактор трения k_n представляет собой коэффициент пропорциональности в модели контактного трения, предложенной А.Н.Левановым [1]:

$$\tau_k = k_n (1 - \exp(-1.25(\sigma_n / \sigma_{Т.К.}))) \frac{\sigma_{Т.К.}}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где τ_k - контактное касательное напряжение; k_n - фактор трения; σ_n - нормальное напряжение на контактной поверхности; $\sigma_{Т.К.}$ - предел текучести приконтактного слоя.

Для достижения поставленной цели в работе был применен экспериментально-аналитический метод осадки кольцевого образца [2, 3]. Построение номограммы было заменено выполнением компьютерного моделирования процесса осадки кольцевого образца в системе QFORM-2D (ООО «КванторФорм», РФ).

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы алюминиевого сплава АМгб с соотношением размеров близких к соотношению 6:3:2, а именно $D_0 = 40$ мм, $d_0 = 20$ мм, $H_0 = 14$ мм. Химический состав сплава АМгб представлен в табл. 1.

Таблица 1 Химический состав сплав АМгб

Содержание легирующих элементов/примесей, %								
Al	Cu	Si	Mn	Mg	Ti	Zn	Fe	Cr
основа	0.04	0.16	0.63	6.80	0.1	0.2	0.22	-

Экспериментальное исследование проводилось: 1) на гидравлическом прессе с номинальной силой 2.5 МН (250 тс); 2) на винтовом прессе с номинальной силой 10 МН (1000 тс). Нагружение на гидравлическом прессе осуществляли со скоростью деформирования $V \approx 2$ мм/с, что соответствует начальной скорости деформации 0.14 с^{-1} ; на винтовом прессе - $V \approx 400$ мм/с (28.6 с^{-1}). Выбранные скоростные условия нагружения ($10^0 - 10^2 \text{ с}^{-1}$) соответствуют условиям горячей объемной штамповки на гидравлических и механических прессах. Кольцевые образцы деформировали со смазкой СТ-26 и МС-23 [4, 5], нанесенной предварительно на рабочие поверхности инструмента.

При проведении экспериментальных исследований были рассмотрены три режима деформирования: 1) режим деформирования, соответствующий условиям изотермической штамповки (режим I); 2) режим деформирования, соответствующий горячей объемной штамповке на гидравлическом прессе (режим II); 3) режим деформирования, соответствующий горячей объемной штамповке на винтовом прессе (режим III).

В соответствии с первым режимом нагружения, температура нагрева инструмента и заготовки в начале рабочего хода пресса были равны; в процессе деформирования температура заготовки изменялась вследствие теплового эффекта пластической деформации, а температура нагрева инструмента условно была постоянной равной начальной. Рассмотрены следующие температуры нагрева инструмента и заготовки: $T_{def} = 200^\circ\text{C}$, 350°C , 430°C , 450°C и 470°C .

В соответствии с вторым и третьим режимами нагружения, температура нагрева инструмента и заготовки в начале рабочего хода пресса были различны. Температура нагрева инструмента составляла

120°C, а температура нагрева заготовки - $T_{деф} = 200^\circ\text{C}, 350^\circ\text{C}, 430^\circ\text{C}, 450^\circ\text{C}$ и 470°C .

На осаженных образцах измеряли высоту h и внутренний диаметр d . Диаметр измеряли в трех плоскостях по двум взаимно перпендикулярным осям. Схема замера размеров осаженного образца приведена на рис.1. Окончательное значение внутреннего диаметра осаженного кольцевого образца определяли как

$$d_{cp} = \frac{d_в + d_н + d_c}{3}, \quad (2)$$

где $d_в$, $d_н$, d_c – внутренний диаметр по верхнему, нижнему торцам и середине высоты образца соответственно.

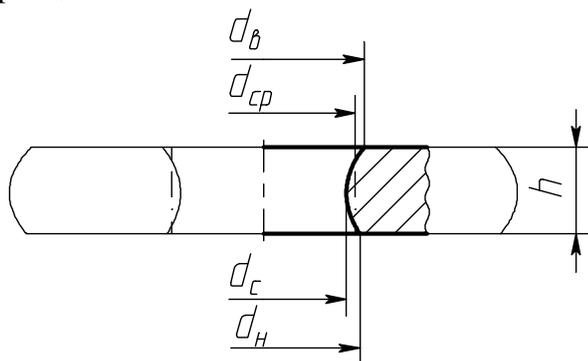


Рис. 1. Схема определения размеров кольцевого образца после осадки.

Моделирование в системе QFORM-2D было проведено для всех трех режимов деформирования, о которых говорилось выше. В результате проведенных исследований определена экспериментальная зависимость фактора трения от температуры для исследуемых смазок. Теоретическая зависимость фактора трения от температуры для каждой из исследованных смазок была получена на основе аппроксимации экспериментальных данных функцией вида:

$$k_n = A_0 + A_1 \times T_{деф} + A_2 \times T_{деф}^2, \quad (3)$$

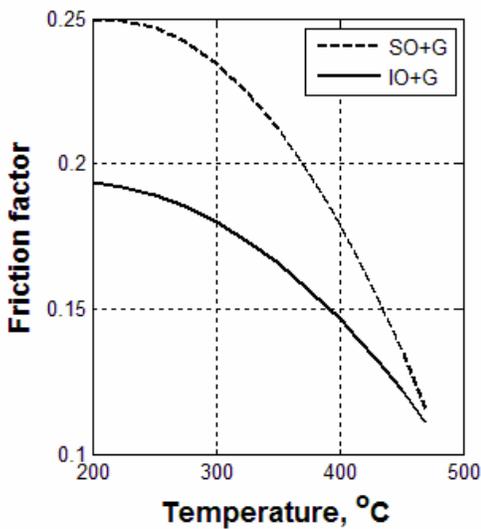
где A_0 , A_1 , A_2 – коэффициенты; $T_{деф}$ – температура нагрева кольцевого образца.

Значения неизвестных коэффициентов в уравнении (3) для обеих исследуемых смазок представлены в табл. 2. На рис. 2 представлена графическая интерпретация зависимости (3) с учетом коэффициентов, значения которых приведены в табл. 2.

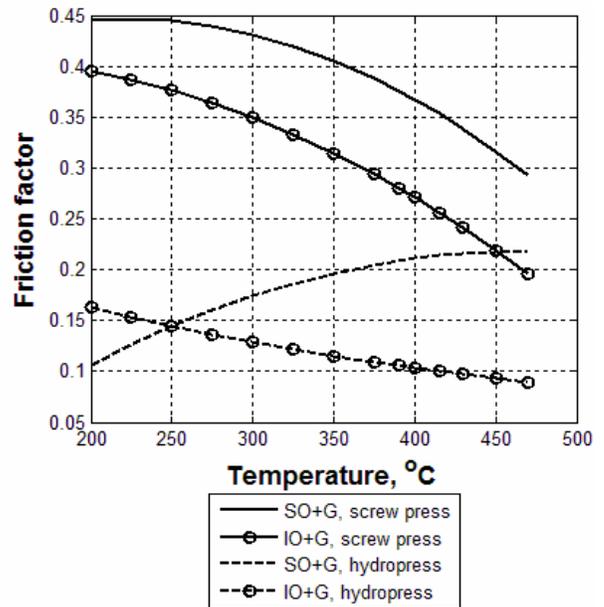
Для оценки влияния на фактор трения температуры $T_{деф}$ и скорости деформации $\dot{\epsilon}$ в случае реализации режима деформирования II и III, данные представленные на рис. 3б должны быть перегруппированы. Таблица 3 содержит данные, иллюстрирующие влияния температуры и скорости деформации на величину фактора трения.

Таблица 2 Значения коэффициентов уравнения (3)

Коэффициент	Значение		
	режим I	режим II	режим III
Смазка СТ-26 (SO+G)			
A_0	0,155	-0,1224	0,32
$A_1, 1/^\circ\text{C}$	0,00088	0,001454	0,00113
$A_2, 1/(\text{C}^\circ)^2$	$-2,05 \times 10^{-6}$	$-1,552 \times 10^{-6}$	$-2,53 \times 10^{-6}$
Смазка МС-23 (IO+G)			
A_0	0,16	0,2522	0,387
$A_1, 1/^\circ\text{C}$	0,00037	$-5,247 \times 10^{-4}$	0,00037
$A_2, 1/(\text{C}^\circ)^2$	$-1,01 \times 10^{-6}$	$3,81 \times 10^{-7}$	$-1,65 \times 10^{-6}$



а) изотермическое деформирование (режим I)



б) режим II и III

Рис. 2 Зависимость фактора трения от температуры

Таблица 3 Значения фактора трения (режим II и III)

Скорость деформации, c^{-1}	Фактор трения						
	200	300	350	390	430	450	470
Смазка СТ-26 (SO+G)							
0,14	0,1063	0,1741	0,1964	0,2086	0,2159	0,2176	0,2181
28,6	0,4481	0,4343	0,4084	0,3786	0,3407	0,3187	0,2947
Смазка МС-23 (IO+G)							
0,14	0,1625	0,1291	0,1152	0,1055	0,097	0,0932	0,0898
28,6	0,4095	0,3273	0,2899	0,2618	0,2352	0,2225	0,2101

Теоретическая зависимость фактора трения от температуры и скорости деформации для каждой из исследованных смазок может быть представлена в виде функции:

$$k_n = B_0 + B_1 \times T_{def} + B_2 \times \dot{\epsilon} + B_3 \times \dot{\epsilon} \times T_{def}, \quad (4)$$

где B_0 , B_1 , B_2 , B_3 – коэффициенты; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, T_{def} – температура нагрева кольцевого образца.

Значения неизвестных коэффициентов в уравнении (4) для обеих исследуемых смазок представлены в табл. 4.

Таблица 4 Значения коэффициентов уравнения (4)

Коэффициент	Тип смазки	
	Смазка СТ-26 (SO+G)	Смазка МС-23 (IO+G)
B_0	0,0330	0,2049
$B_1, 1/^\circ\text{C}$	$4,2386 \times 10^{-4}$	$-2,5113 \times 10^{-4}$
$B_2, \text{с}$	0,0195	0,0121
$B_3, \text{с}/^\circ\text{C}$	$-3,5122 \times 10^{-5}$	$-1,6988 \times 10^{-5}$

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Величина фактора трения зависит от температуры нагрева деформируемого материала. В случае горячего изотермического деформирования сплава АМг6 фактор трения уменьшается вне зависимости от композиции технологической смазки во всем диапазоне исследованных температур (см. рис. 2а). Переход к традиционному горячему объемному деформированию приводит к тому, что характер изменения величины фактора трения в зависимости от температуры не остается постоянным при изменении композиции технологической смазки и кузнечно-прессового оборудования (КПО). При деформировании на гидравлическом либо винтовом прессе, применение смазки на основе индустриального масла с графитом (IO+G) обеспечивает уменьшение величины фактора трения с ростом температуры нагрева деформируемого сплава АМг6 (см. рис. 2б, IO+G). Применение смазки на основе синтетического масла с графитом приводит к тому, что величина фактора трения повышается с увеличением T_{def} , при нагружении образцов сплава АМг6 сжатием на винтовом прессе и уменьшается в случае выполнения нагружения на гидравлическом прессе (см. рис. 2б, SO+G).

2. Смазка на основе индустриального масла с графитом обеспечивает меньшее значение фактора трения во всем диапазоне исследованных температур вне зависимости от типа КПО.

3. Скорость деформации оказывает влияние на величину фактора трения. Этот вывод не противоречит заключению, сделанному Яковлевым С.П. [6]. Увеличение значения скорости деформации приводит к увеличению значения фактора трения при деформировании образцов сплава АМгб в инструменте, нагретом до температуры 120°C.

4. Полученные математические модели $k_n=f(T)$ и $k_n=f(T, \dot{\epsilon})$ могут быть использованы при решении практических задач численными методами, в частности при проведении моделирования процессов ОМД сплава АМгб в системе QFORM. Модели $k_n=f(T)$ и $k_n=f(T, \dot{\epsilon})$ получены для случая деформирования сплава АМгб в диапазоне температур от 200°C до 470°C и скорости деформации от 10^0 до 10^2 с⁻¹.

5. Полученные модели $k_n=f(T)$ и $k_n=f(T, \dot{\epsilon})$ для сплава АМгб могут быть расширены с учетом влияния шероховатости торцевой поверхности образцов сплава АМгб и шероховатости контактной поверхности инструмента на основе проведения дополнительных исследований в условиях, соответствующих горячей изотермической штамповке и традиционной горячей объемной штамповки.

Список литературы:

1. Леванов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П., Картак Б.Р., Ашпур Ю.В., Спасский Ю.И. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Metallurgy, 1976, 416 с.
2. Kunogi, M., 1954, On Plastic Deformation of Hollow Cylinders Under Axial Compressive Loading, Rep. Sci. Res. Inst. (Tokyo), 2, 63-92.
3. Male, A.T., Cockett, M.G., 1964-65, Method for the Determination of the Coefficient of Friction of Metals Under Conditions of Bulk Plastic Deformation, J. Instit. Metals, 93, 38-46.
4. Петров П.А., Петров М.А., Чеховская А.С. Исследование трения при горячей изотермической деформации алюминиевого сплава АМгб с помощью системы QFORM. // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. Тула: ТулГУ, вып.1, 2004, с.162-171.
5. Петров П.А., Петров М.А., Чеховская А.С. Исследование эффективности технологической смазки МС-23 при горячей изотермической осадке алюминиевого сплава АМгб с помощью системы QFORM. // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. Тула: ТулГУ, вып.2, 2004, с.160-167.
6. Яковлев С.П. Изменение коэффициента трения в зависимости от скорости деформирования и вида технологической смазки. // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1987, №3, с.144-148.