

УДК 520.607

Применение ДСК-анализа для исследования технологических смазок для холодного выдавливания

Рулин Сергей Павлович

sergey.profi@inbox.ru

Петров Павел Александрович^(*)

petrov_p@mail.ru

SPIN-код: 6414-2654

Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен процесс холодной пластической деформации алюминия марки А5N в матрицу со сферической формообразующей поверхностью. Методом ДСК-анализа проведена оценка термических свойств каждой из четырех исследуемых технологических смазок. На основе полученных результатов отобрана одна смазка — LazerDraw 197, характеризующаяся наибольшей термической стабильностью в диапазоне температур от 25 до 100 °C.

Ключевые слова: ДСК-анализ, технологическая смазка, алюминиевый сплав, сплав А5N, фактор трения, контактное трения, ОМД, пластическая деформация

Application of DSC analysis to study technological lubricants for cold extrusion - type forging

Rulin Sergey Pavlovich

sergey.profi@inbox.ru

Petrov Pavel Alexandrovich^(*)

petrov_p@mail.ru

SPIN-code: 6414-2654

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract. The process of cold plastic deformation of aluminum grade A5N into a matrix with a spherical shape-forming surface is considered. The thermal properties of each of the four studied technological lubricants are assessed using the DSC analysis method. Based on the obtained results, one lubricant is selected — LazerDraw 197, characterized by the highest thermal stability in the temperature range from 25 to 100 °C.

Keywords: DSC analysis, technological lubricant, aluminum alloy, A5N alloy, friction factor, contact friction, OMD, plastic deformation

Введение. В данной работе рассматривается процесс прямого выдавливания в матрице со сферической формообразующей поверхностью с точки зрения анализа контактного трения и выбора технологической смазки. Задача о течении металла в матрице рассматриваемой формы (рис. 1, а) исследована в работах [1, 2]. Цель данной работы — анализ теплового эффекта пластической деформации в процессе прямого выдавливания цилиндрической заготовки из первичного алюминия марки А5N либо А995. На рис. 1, б показан эскиз штампованной заготовки после выполнения прямого выдавливания в матрицу.

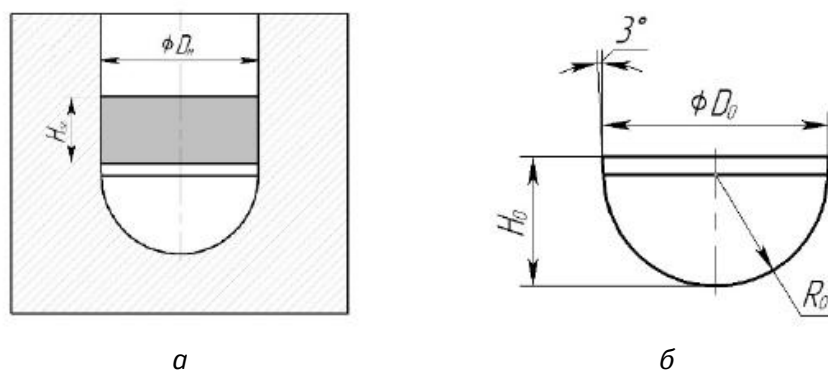


Рис. 1. Эскиз осесимметричной штампованной заготовки со сферическим торцом [1]

В работе [1] показано, что в случае прямого выдавливания в матрицу со сферическим дном течение металла в матрице неравномерное: скорость скольжения металла по сферической поверхности матрицы выше, чем скорость перемещения металла в центральной части. Это приводит к тому, что максимальный тепловой эффект пластической деформации наблюдается вблизи полюсной части сферы (рис. 2). Рассматриваются адиабатические условия и варьируемым параметром является фактор трения в модели контактного трения А.Н. Леванова [3].

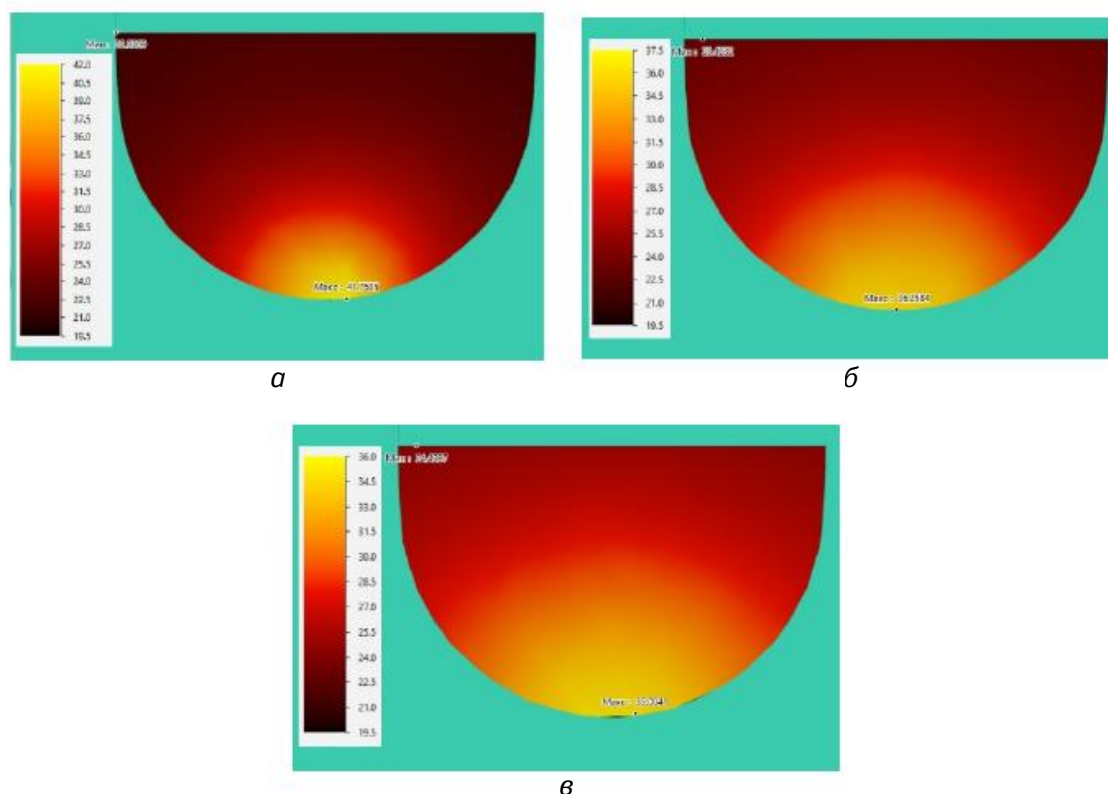


Рис. 2. Эскиз осесимметричной штампованной заготовки со сферическим торцом [1]:

а — фактор трения 0,0 и $T_{\text{макс}} = 41,7585$ °C; б — фактор трения 0,5 и $T_{\text{макс}} = 36,2584$ °C;

в — фактор трения 0,8 и $T_{\text{макс}} = 35,0041$ °C

На рис. 2 показаны максимальные значения температуры вблизи полюса сферы. Для обеспечения отсутствия прилипания алюминия к сферической

поверхности матрицы применяют технологическую смазку. Учитывая высокие требования к качеству штампованной заготовки, показанной на рис. 1 [1], технологическая смазка не должна проникать в поверхностный слой деформируемого металла, не должна приводить к формированию вмятин и обеспечивать легкое извлечение из матрицы. Далее рассматривается метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), позволяющий определить стабильность работы технологической смазки в очаге деформации [4, 5].

Материалы и методы. В качестве исследуемых технологических смазок рассматриваются нижеследующие: 1) этанол ректифицированный; 2) изопропанол; 3) LazerDraw 197; 4) MultiDraw. Перечисленные вещества соответствуют вышеописанным требованиям, предъявляемым к качеству штампованных заготовок, полученных методом холодного выдавливания.

ДСК-анализ реализуется с применением с применением прибора компании Mettler Toledo. Режим проведения опыта методом ДСК: нагрев в диапазоне от 0–300 °С со скоростью 20 К/мин в среде N_2 .

Результаты. На рис. 3 показаны результаты ДСК-анализа — термограммы, отражающие взаимосвязь между тепловым потоком и температурой нагрева образца технологической смазки.

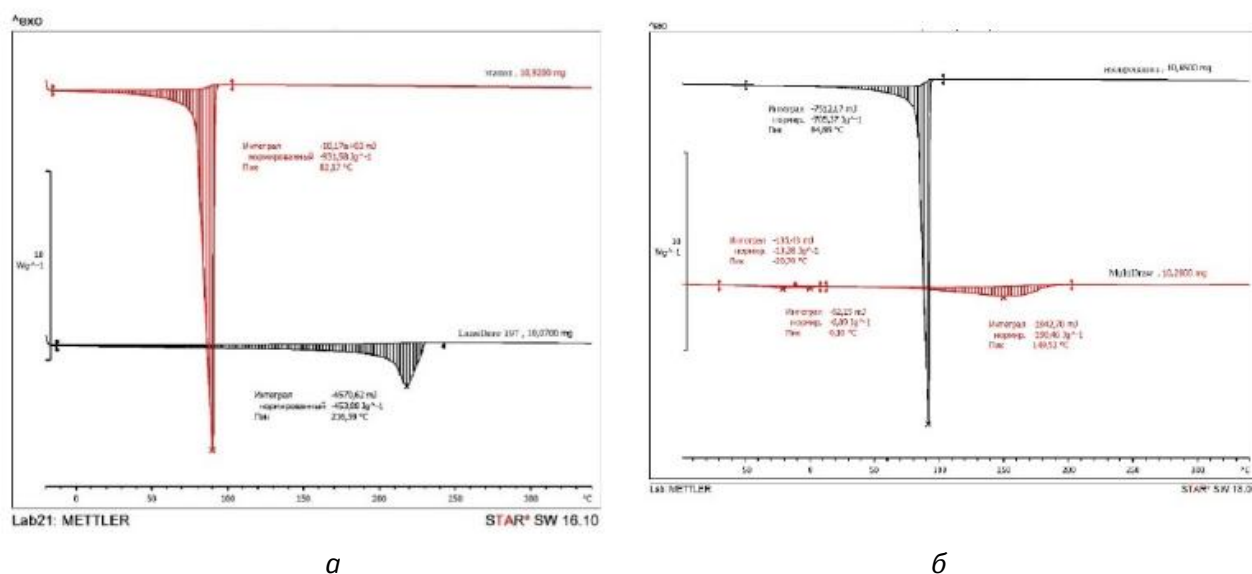


Рис. 3. Результаты ДСК-анализа:

а — этанол и LazerDraw 197; *б* — изопропанол и MultiDraw

Обсуждение полученных результатов. Термические свойства технологических смазок, определены по результатам ДСК-анализа и представлены в таблице. Анализ полученных результатов позволяет выбрать наиболее стабильную смазку для условий прямого выдавливания в сферической матрице алюминия марки А5N. Параметры, характеризующие термические свойства вещества: температура стеклования (T_g) и температура деградации ($T_{дг}$). В нашем случае определяется температура деградации (рис. 3). Данные про-

изготовителей о температуре стеклования (T_g) и температуре деградации в технических спецификациях на исследуемые материалы не приводятся.

Значения температуры деградации ($T_{дг}$) различных композиций смазки по результатам ДСК-анализа

Материал	Значение $T_{дг}$, °С (опыт)	Значение $T_{дг}$, °С (производитель)
Этанол ректифицированный	82,17	н/о
Изопропанол	84,88	н/о
LazerDraw 197	216,59	н/о
MultiDraw	149,52	н/о

На кривых ДСК каждой технологической смазки имеются пики (аномалии), характеризующие протекающий эндотермический процесс, связанный с поглощением тепла и наблюдаемый при повышении температуры образца смазки. На рис. 3 показано, что начало процесса распада этанола и изопропанола соответствует температуре ~ 25 °С; в таблице — окончание данного процесса происходит в интервале температуры 80–90 °С. Тепловой эффект пластической деформации приводит к повышению температуры металла в очаге деформации до 35–43 °С. Это означает, что если в качестве смазки выбран этанол либо изопропанол, то формирования равномерного и однородного разделительного слоя на формообразующей поверхности матрицы не образуется вследствие того, что материал начинает распадаться. И, наоборот, технологические смазки LazerDraw 197 и MultiDraw характеризуются началом процесса распада при температуре ~ 70 °С (рис. 3) и его окончанием при температуре 216,59 и 149,52 °С, соответственно (таблица).

Вывод. По итогам выполненного ДСК-анализа четырех технологических смазок может быть сделан выбор наиболее стабильных с учетом изменения температуры деформируемого металла в очаге деформации. Наилучшим образом подходит смазка LazerDraw 197 для холодного прямого выдавливания алюминия марки А5Нв матрицу со сферической формообразующей поверхностью. При этом формируется разделительный слой стабильно работающий и не разрушающийся в случае разогрева деформируемого металла в области полюса сферической поверхности (рис. 2).

Список источников

- [1] Рулин С.П., Петров П.А. Разработка компьютерной модели прямого выдавливания в сферическую матрицу. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 8, с. 610–615.
- [2] Рулин С.П., Петров П.А. Анализ течения металла при прямом выдавливании в сферическую матрицу. *Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. матер.* Санкт-Петербург, НИЦ МС, 2024, с. 31–35.

- [3] Власов А.В., Стебунов С.А., Евсюков С.А. *Конечно-элементное моделирование технологических процессов ковки и объемной штамповки*. Москва, Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2019, 383 с.
- [4] ГОСТ 55134–2012. *Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 1. Общие принципы*. Москва, Стандартиформ, 2014, 27 с.
- [5] Афонин Г.В., Митрофанов Ю.П., Хоник В.А. *Научно-исследовательская практика. Часть 2*. Воронеж, Воронежский государственный педагогический университет, 2018, 100 с.