

УДК 621.73.079

А. Н. ПЕТРОВ¹, д-р техн. наук, проф.

Н. А. БЕССОНОВА¹

П. А. ПЕТРОВ¹, канд. техн. наук, доц.

Т. С. БАСЮК², канд. техн. наук

В. О. КОЧКУРОВ³

¹Московский политехнический университет (Москва, Россия)

²ООО «НПП Автотехнология-МАМИ» (Москва, Россия)

³АО «Центр аддитивных технологий» (Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА RS300 (AK10Ч)

Аннотация

Выполнен аналитический обзор исследований смазочных материалов (СМ) на масляной основе для изотермической штамповки алюминиевых сплавов. Исследована структура, механические свойства и технологические свойства сплава RS300, полученных методом аддитивной технологии. Получены сравнительные результаты СМ и выбрана смазка штампа для изотермической штамповки заготовок из сплава RS300.

Ключевые слова:

смазочные материалы (СМ), алюминиевые сплавы, изотермическое деформирование, структура, механические свойства, аддитивная технология, трение, метод осадки кольцевых образцов.

Введение. Для горячего и горячего изотермического деформирования алюминиевых сплавов применяют композиции масел различной вязкости в сочетании с твердыми веществами, например, графитом разной дисперсности и различных присадок, улучшающих технологические свойства этих композиций.

Освоение аддитивных технологий в обработке металлов давлением неизбежно связано и с исследованиями и разработкой надежных технологических процессов изготовления изделий с новыми свойствами и высокого качества.

Актуальность работы. Микроструктура заготовок, полученных методом спекания, и механические свойства влияют на последующий процесс деформирования. Возникает необходимость исследования трения и, соответственно, выбора состава смазочного материала. На сегодняшний день в литературных источниках нет сведений о составах смазочных материалов для горячего изотермического деформирования алюминиевых заготовок, полученных методом аддитивной технологии.

Цель работы: исследование микроструктуры после выращивания цилиндрических образцов из алюминиевого сплава RS300; определение механических свойств методом осадки; исследование трения методом осадки кольцевых образцов с применением разных составов СМ.

Определение механических свойств выполнено методом осадки цилиндрических образцов RS300, полученных из порошка марки AK10ч (AlSi10Mg, «Русал»). Предварительно, цилиндрические заготовки размером

$D \times H = 12 \times 100$ мм, после выращивания, обтачивали на станке по диаметру до 10 мм и затем разрезали на исходные образцы $D1 \times H1 = 10 \times 10$ мм.

На рис. 1, 2 показана схема расположения и резки образцов.

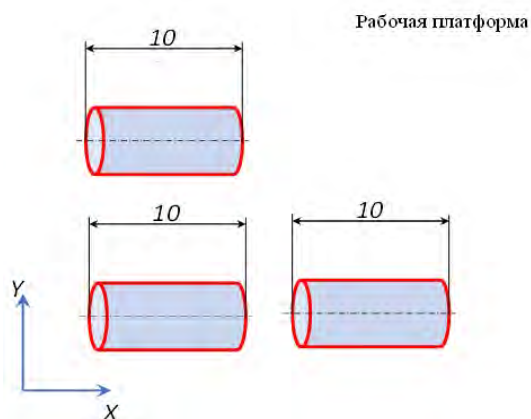


Рис. 1. Расположение образцов на платформе

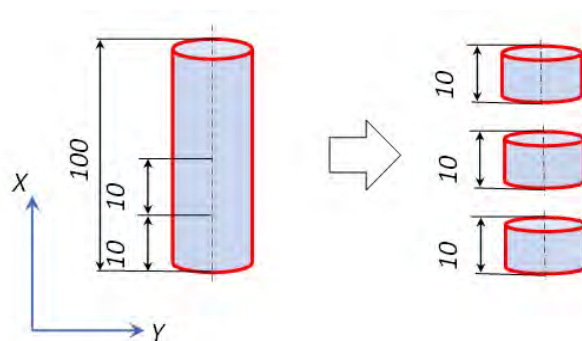


Рис. 2. Схема резки образцов

При осмотре под бинокулярным микроскопом определили мелкозернистую однородную структуру на исследованных образцах. На всех образцах обнаружены поры округлой формы размером до 12 мкм и обнаружены участки несплавления.

Микротвёрдость $HV_{ср}$ замеряли по микрошлифам, на приборе Leica с нагрузкой 100 г. Замеры выполнены в пяти точках, согласно схеме, рис. 3.

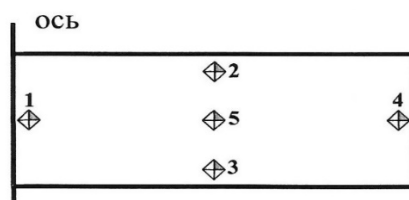


Рис. 3. Схема замера твёрдости

В табл. 1 приведены результаты замера микротвёрдости.

Табл. 1. Результаты замера микротвёрдости

№ образца	Микротвердость (HV _{ср}), кгс/мм ²				
	1	2	3	4	5
1	131-137	121-127	127-129	118-119	130-132
4	131-133	120-127	124-125	125-127	128-138
7	134-137	119-121	119-128	120-122	126-128
10	105-106	104-108	108-111	91-108	103-107
13	104-106	100-105	105-111	106-110	103-109
16	109-113	103-107	107-108	102-107	105-110
19	94-96	93-97	95-97	94-96	94-96
22	66-68	69-70	67-68	65-67	69-70
25	67-70	67-68	66-67	65-67	67-70
28	56-58	55-58	57-58	63-66	57-59
31	61-62	61-62	60	62-63	60-61
34	61-64	60-62	59-61	60-63	62-63

Исследование трения и выбор состава смазочного материала для горячей изотермической штамповки заготовок из алюминиевых сплавов RS300 (AK10ч), полученных методом селективного лазерного сплавления (SLM), выполнено методом осадки кольцевых образцов. Сплав RS300 серийно изготавливается «ОК РУСАЛ» в виде порошка для аддитивной технологии SLM. Обладает хорошими литейными свойствами при обработке по технологии SLM и имеет достаточно высокую прочность после отжига. По уровню механических свойств сплав RS300 сопоставим с традиционными литейными сплавами системы Al–Si–Mg.

Исходя из аналитического обзора исследования СМ для горячего деформирования и горячего, приближенного к изотермическому деформированию [1–3], в работе применили СМ марки МС-23М. Одновременно исследовали МС-23М в сочетании с защитными покрытиями разного состава.

Исследовали трение первой партии образцов с использованием МС-23М, которую наносили на штампы вручную без дополнительного использования покрытия.

На вторую партию образцов наносили покрытие ТВ-6, а штамп смазывали МС-23М.

На третьей партии применили покрытие ОВТ-СТ и смазку штампа МС-23М. Во втором и третьем случаях покрытия наносили на предварительно подогретые до 150 °С...180 °С образцы. Концентрация покрытий 50 % (разбавление водой в соотношении 1:1).

После выращивания, кольцевые заготовки термообрабатывали по режиму, рекомендованному фирмой-изготовителем оборудования (принтера), и разрезали на образцы с припуском под последующее шлифование торцовых поверхностей (рис. 4).

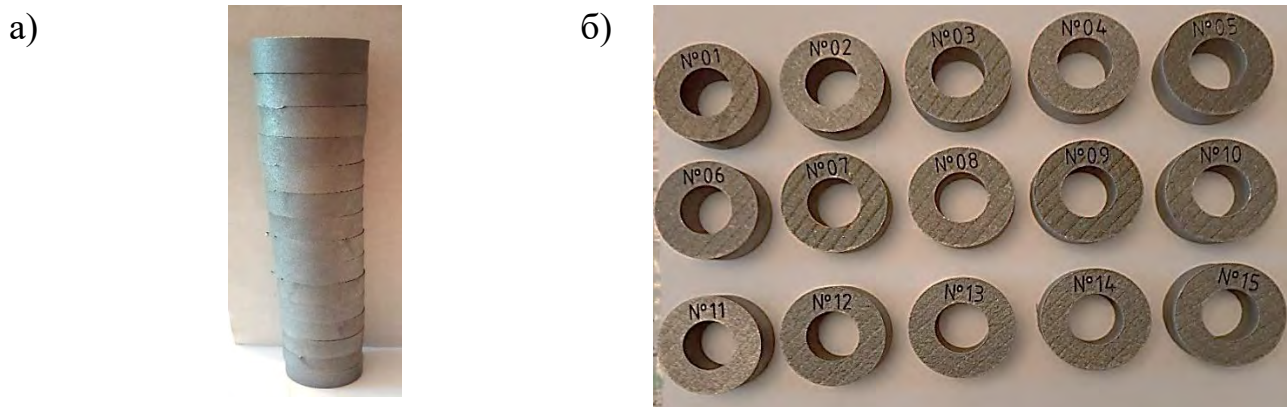


Рис. 4. Кольцевые образцы: *а* – после выращивания; *б* – после разрезки

Далее, шлифовали торцы образца до получения размера $H = 14$ мм. Размеры образцов $D \times d \times H = 40 \times 20 \times 14$ мм выбирали, исходя из соотношения 6:3:2. Кольцевой образец (рис. 6) осаживали на гидравлическом прессе силой 2,5 МН в подкладном кольце размером $100 \times 70 \times 7,0$ мм в условиях, близких к изотермическим. Величина деформации 50 %.

Скорость деформирования 2 мм/сек. Нагрев заготовок осуществляли в электрической печи до температуры 485 °С. Штамп постоянно подогревался до температуры 485 °С. Температуру штампа контролировали до и после осадки с помощью контактного прибора «Center 304, type K».

Микроструктура исходного кольцевого образца RS300, после лазерного сплавления (SLM) исследована в продольном и поперечном направлении.

В табл. 2 и на рис. 5 приведены результаты исследования микроструктуры кольцевого образца после выращивания, термообработки, разрезки и шлифования торцов.

Табл. 2. Исследование микроструктуры кольцевого образца из сплава RS300

Исследование	Результаты
поперечное направление	слоистое строение похожее на «чешуйки» с четкими контурами вероятных границ сплавления в виде тонких линий
продольное направление	слоистое строение похожее на пластины, ориентированные в разных направлениях с четким контуром
наличие дефектов	поры округлой формы, расположенные по всей поверхности шлифа
	гранулы, несплавленные с основным материалом; несплошности по контуру
	участки усадочной рыхлоты
микротвердость HV кгс/мм ² ; нагрузка 100г.	139...141

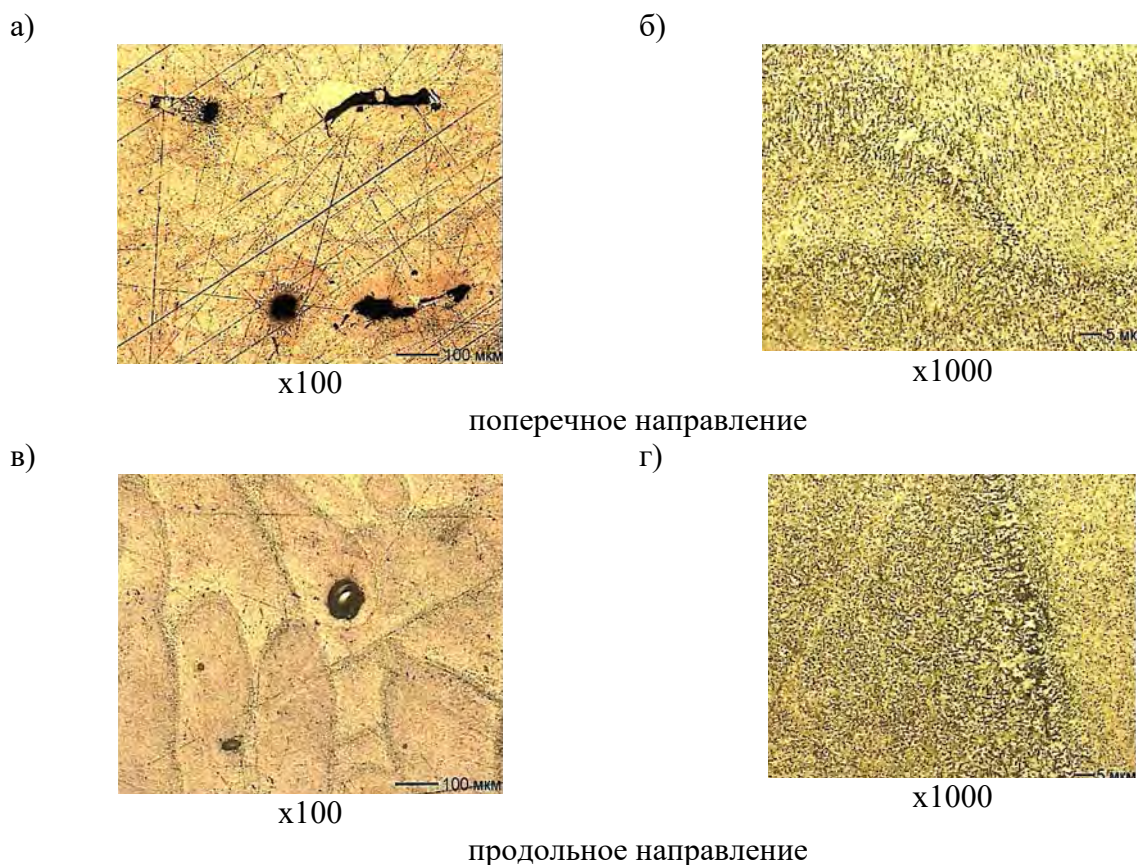


Рис. 5. Микроструктура кольцевого образца из сплава RS300

Средние значения размеров D_{cp} , d_{cp} , h_{cp} образцов RS300 после осадки рассчитаны по формулам (1–3); d_{cp} замеряли по двум взаимно перпендикулярным осям в трех сечениях: верхнее, среднее, нижнее. В табл. 3 приведены результаты осадки кольцевых образцов.

$$D_{cp} = \frac{D1 + D2}{2}, \quad (1)$$

$$d_{cp} = \frac{d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6}{6}, \quad (2)$$

$$h_{cp} = \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4}. \quad (3)$$

Табл. 3. Результаты осадки кольцевых образцов RS300

№ образцов	Смазка	Покрытие	D_{cp} мм	d_{cp} мм	h_{cp} мм	ε_{cp} , %	Тшт °С
1-5	МС-23М	б/п	58,0	21,7	6,00	57	485
6-10	МС-23М	ТВ-6 (1:1)	53,6	21,9	7,20	49	485
11-15	МС-23М	ОВТ-СТ (1:1)	53,5	22,2	7,26	49	485

Для сравнения, в табл. 4 приведены результаты осадки кольцевых образцов из сплава АК12Д (прутковая заготовка по ОСТ1 92014–90).

Табл. 4. Результаты осадки кольцевых образцов АК12Д

№ образ- цов	Смазка	Покрытие	Дср, мм	дср, мм	Нср, мм	εср, %	Тшт, °С
1	МС-23	б/п	52,1	21,6	7,0	50	485
2	МС-23М	б/п	52,5	22,8	7,0	50	485

Заключение. Анализ исследований смазочных материалов, применяемых для изотермической штамповки алюминиевых сплавов показывает, что состав СМ, равно как и свойства компонентов композиции, влияют на величину трения, качество поковок и экологию технологического процесса.

Теоретические и экспериментальные исследования [1–3] и выбор разных составов СМ на масляной основе дают хорошую сходимость результатов.

Экспериментальные исследования СМ МС-23М для сплава RS300, группа Al–Si–Mg, полученного по технологии селективного лазерного сплавления из порошка марки AlSi10Mg, в сочетании с защитным покрытием дают сопоставимые результаты со сплавом АК12Д (табл. 4, 5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петров, П. А.** Исследование эффективности технологической смазки МС-23 при горячей изотермической осадке алюминиевого сплава АМг6 с помощью системы QFORM / П. А. Петров, М. А. Петров, А. С. Чеховская // Изв. ТулГУ. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ, 2004. – Вып. 2. – С. 160–167.
2. Исследование контактного трения при горячей пластической деформации сплава АВ / К. Е. Потапенко [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства). – 2012. – № 6. – С. 18–21.
3. **Петров, А. Н.** Коллоидно-графитовые смазочные материалы в процессах обработки металлов давлением: монография / А. Н. Петров. – Москва: Московский Политех., 2019. – 216 с.

Контакты:

alexander_petr@mail.ru (Петров Александр Николаевич);
nbessonova@inbox.ru (Бессонова Наталья Александровна);
p.petrov@mami.ru (Петров Павел Александрович);
basyukt@yandex.ru (Басюк Тимофей Семарович);
kochkurov_v@rt-3d.ru (Кочкуров Владислав Олегович).