

УДК 621.777.1

Спусканюк В. З.
Гангалю А. Н.
Давиденко А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ УГЛОВОМ ГИДРОПРЕССОВАНИИ

Интенсивная пластическая деформация применяется для производства объемных заготовок материалов с субмикро- и наноразмерными зёрнами, высоким уровнем механических и физических свойств. Одним из наиболее перспективных методов интенсивной пластической деформации является равноканальное угловое прессование (РКУП) [1]. Однако при современном уровне развития РКУП промышленное производство субмикроразмерных материалов этим методом затруднено. Одной из причин, сдерживающих широкое применение РКУП, является высокое давление деформирования, значительно повышающееся с увеличением длины заготовок. Этот недостаток преодолевается при использовании разрабатываемого нами метода углового гидропрессования (УГП), согласно которому заготовка выдавливается из рабочего канала через угловую матрицу жидкостью, сжатой до высокого давления (рис. 1) [2, 3]. В работе [4] показано, что даже в условиях УГП, когда относительная длина площади контакта заготовки с инструментом сведена к минимуму ($2...3d$), более 50 % уровня давления может быть обусловлено влиянием сил трения. Для минимизации потерь на трение необходимо выбирать наиболее эффективные смазочные вещества. Так, например, в [5] при РКУП алюминия и его сплавов используют в качестве смазки смесь различных масел с дисульфидом молибдена, в [6] используют смазки на основе минеральных масел, вазелина с добавлением графита, в [7] – фторопластовую смазку (PTFE). До настоящего времени отсутствуют литературные данные о сравнении эффективности различных технологических смазок при УГП. Известно только, что при УГП меди в качестве технологической смазки использовалась смесь воска, касторового масла и дисульфида молибдена [3]. В работах по прямому гидропрессованию меди, алюминия и их сплавов использовались дисульфид молибдена, графит, гиподидная смазка, фторопласт, воск, ланолин и различные смеси [8, 9].

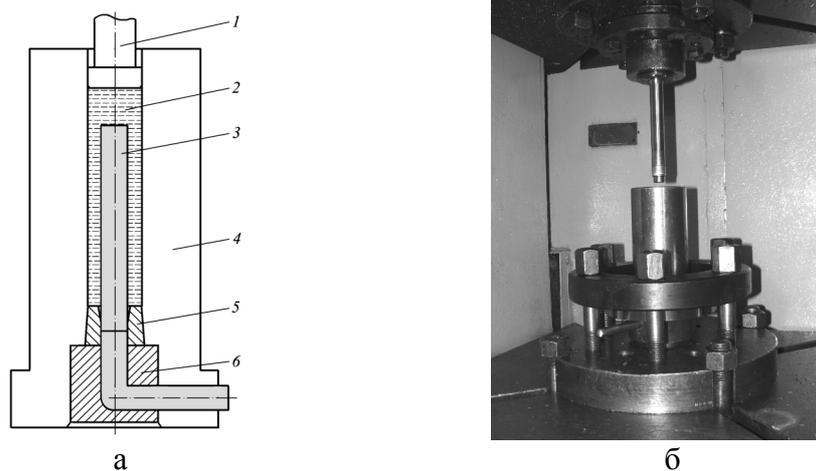


Рис. 1. Метод углового гидропрессования:

а – схема процесса (1 – плунжер; 2 – жидкость; 3 – заготовка; 4 – контейнер; 5 – уплотняющая матрицы; 6 – угловая матрица); б – внешний вид установки

Цель данной работы – выполнить сравнительный анализ эффективности использования ряда технологических смазок при УГП, а также, изучить возможность создания экранящего смазочного слоя в угловой матрице.

Для исследования эффективности смазочных веществ использовалась установка для УГП (рис. 1, б). В качестве заготовок использовались прутки из технического алюминия А199,7 диаметром 19 мм и длиной 120 мм, полученные токарной обработкой из гидропрессованного прутка диаметром 22 мм. Шероховатость поверхности после токарной обработки соответствовала классу $\nabla 3$ (ГОСТ 2789-73). На поверхность образцов наносились различные технологические смазочные вещества, выбранные на основании литературных рекомендаций [8, 9]: а – без покрытия; б – на основе мыла (100 %); в – на основе петролатума (95 %) с добавлением порошка полиэтилена низкого давления (5 %); г – на основе клея БФ (80 %) с добавлением порошка дисульфида молибдена (20 %); д – на основе фторопласта (в 10 % раствор фторопласта марки 42 в ацетоне добавлялось такое же количество по весу наполнителя, состоящего из мелкодисперсного чешуйчатого графита (2/3) и дисульфида молибдена (1/3).

Смазки типа 2 и 3 наносились окунанием образцов нагретую ванну, смазки типа 3 и 4 наносились кисточкой на предварительно обезжиренную поверхность.

После этого образцы деформировались, фиксировалось давление прессования и затем проводился визуальный осмотр боковой поверхности.

Оценка эффективности смазочного слоя осуществлялась также на основании анализа шероховатости поверхности деформированных изделий. Использовались медные образцы после токарной обработки с шероховатостью поверхности, соответствующей классу $\nabla 2$. На образцы перед УГП наносилась смазка на основе клея БФ. Коэффициент экранирования заготовок в процессе деформации оценивался по соотношению высоты гребешков – следов токарной обработки – на исходных H_0 и прессованных H_1 образцах в виде [10]:

$$K_{\text{Э}} = H_1 / H_0. \quad (1)$$

При гидродинамическом режиме трения высота микронеровностей:

$$H_1 = H_0, \quad (2)$$

при сухом трении – $H_1 = 0$, а величина коэффициента экранирования может принимать значения $0 \leq K_{\text{Э}} \leq 1$. Полагаем, что коэффициент экранирования $K_{\text{Э}}$ дает представление об относительной эффективности смазочного слоя при различных условиях УГП.

Оценка шероховатости поверхности медных образцов проводилась в исходном (после токарной обработки) состоянии, после одной и двух операций УГП на приборе «Профилограф-профилометр 252». Базовая длина 25 мм, скорость протяжки 60 мм/мин, скорость подачи бумаги 300 мм/мин, увеличение – 200 раз.

На рис. 2 приведены гистограммы зависимости максимального давления прессования от типа выбранной технологической смазки. Приведенные значения отражают среднее арифметическое из четырех экспериментов. Видно, что наиболее эффективна технологическая смазка на основе клея БФ с добавлением дисульфида молибдена ($P_{\text{max}} = 431$ МПа), наихудший результат получен при прессовании без смазки ($P_{\text{max}} = 590$ МПа).

На рис. 3 показаны фотографии боковой поверхности алюминиевых образцов после УГП. Наиболее гладкая боковая поверхность соответствует образцу, который прессовался без смазки (рис. 3, а) при максимальном уровне давления УГП. На рис. 3, б–д следы от токарной обработки видны более отчетливо, что соответствует смазкам на основе мыла, петролатума и фторопласта соответственно. Наиболее отчетливый рисунок от токарной обработки сохранился при использовании смазки на основе клея БФ (рис. 3, г). При использовании такой смазки зафиксирован минимальный уровень давления (рис. 2). Эксперименты по УГП медных заготовок показали, что при первом прессовании коэффициент экранирования равнялся $K_{\text{Э}} = 0,43$, при повторном УГП $K_{\text{Э}} = 0,5$. Несколько большее значение коэффициента экранирования в процессе повторного УГП объясняется тем, что после первого перехода поверхность заготовки становится более гладкой и при втором проходе заготовки через матрицу гребешки дополнительно заглаживаются менее интенсивно. Таким образом, установлено,

что при эффективном смазочном слое в процессе УГП обеспечивается удовлетворительное экранирование заготовки. Такой результат достигается как за счет применения эффективного смазочного вещества, так и вследствие влияния жидкости высокого давления. Из теории и практики прямого гидропрессования известно [9], что жидкая смазка, запертая в микрорезервуарах (в данном случае – впадинах между гребешками) не выдавливается полностью из них даже при высоких контактных давлениях.

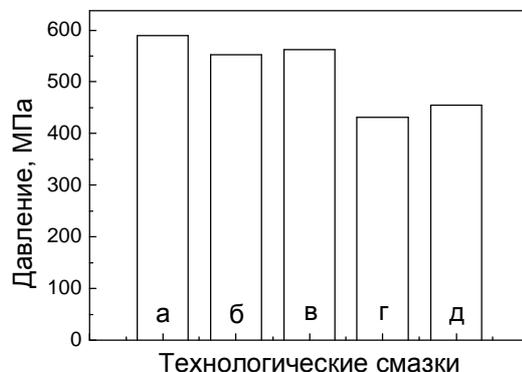


Рис. 2. Максимальный уровень давления УГП заготовок из технического алюминия при различных технологических смазках:

а – без покрытия; б – на основе мыла; в – на основе петролатума; г – на основе клея БФ; д – на основе фторопласта

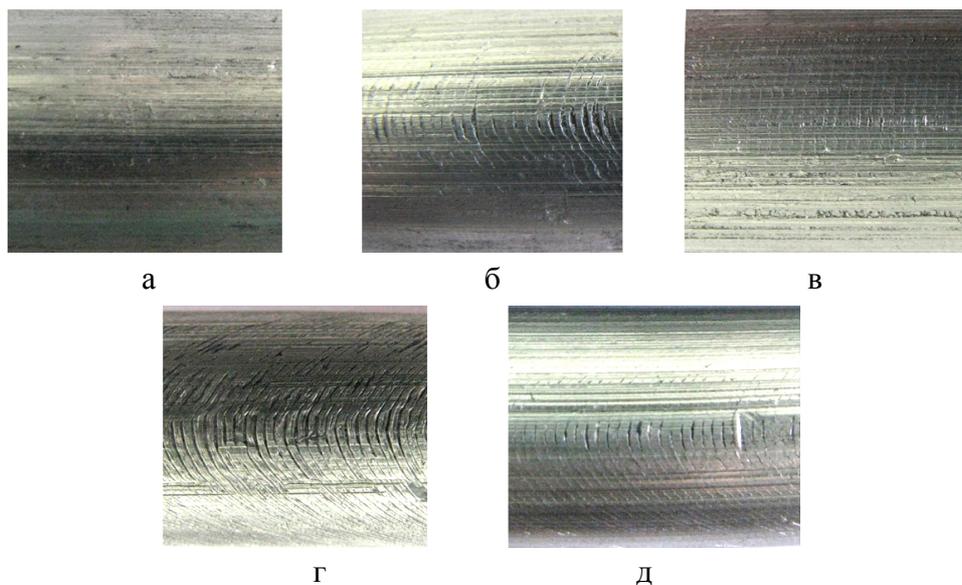


Рис. 3. Фотографии боковой поверхности образцов после УГП при использовании смазочных веществ:

а – без покрытия; б – на основе мыла; в – на основе петролатума; г – на основе клея БФ; д – на основе фторопласта

На рис. 4 приведены результаты физического моделирования процесса УГП в случае использования смазочного вещества высокой вязкости. Выдавливали заготовку из алюминия (А199,7), в качестве смазочного вещества использован свинец, в качестве рабочей жидкости фторопласт марки 40.

Из рисунка видно, что в начале процесса алюминий пережимает свинец в нижней части канала (рис. 4, а), однако при дальнейшем протекании процесса свинец покрывает всю нижнюю стенку выходного канала (рис. 4, б). Моделирование показало, что при высокой вязкости смазочного слоя обеспечивается полное экранирование заготовки в установившейся стадии РКУП, как и при прямом прессовании.

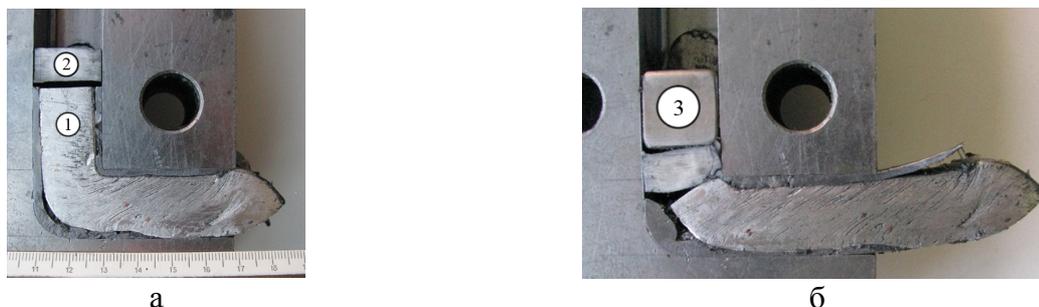


Рис. 4. Физическое моделирование процесса УГП:
1 – заготовка; 2 – квазижидкость; 3 – пресс-шайба

ВЫВОДЫ

Впервые исследована эффективность применения ряда смазочных веществ в условиях УГП медных и алюминиевых заготовок. Установлено, что наиболее эффективной из исследованных является смазка на основе клея БФ с добавлением дисульфида молибдена. Показано, что использование этой смазки позволяет на 27 % снизить давление УГП в сравнении с наихудшим вариантом прессования без смазки. Показано, что использование данной смазки обеспечивает коэффициент экранирования заготовки в угловой матрице на уровне $K_{\text{Э}} = 0,43...0,5$. Впервые показано также, что при высокой вязкости смазочного слоя обеспечивается полное экранирование заготовки в установившейся стадии УГП, как и при прямом гидропрессовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы пластического структурообразования / В. М. Сегал, В. И. Резников, В. И. Копылов и др. – Минск : Наука і техника, 1994. – 232 с.
2. Равноканальная угловая гидроэкструзия – эффективный метод формирования субмикроструктурного состояния материалов / В. З. Спусканюк, Т. Е. Константинова, А. А. Давиденко и др. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорск : ДДМА, 2007. – С. 37–42.
3. Spuskanyuk V. Development of the equal-channel angular hydroextrusion / V. Spuskanyuk, A. Spuskanyuk, V. Varyukhin // J. Mater. Proc. Tech. – 2008. – V. 203. – P. 305–309.
4. Анализ процессов равноканального углового прессования и угловой гидроэкструзии методом верхней оценки / В. З. Спусканюк, А. Н. Гангало, А. А. Давиденко, И. М. Коваленко // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 1 (20). – С. 50–56.
5. Development of a multi-pass facility for equal-channel angular pressing to high total strain / K. Nakashima, Z. Horita, M. Nemoto, T. G. Langdon // Materials Science and Engineering A. – 2000. – V. 281. – P. 82–87.
6. Shan A. Estimation of friction during equal channel angular (ECA) pressing of aluminum alloys / Aidang Shan, In-Ge Moon, Jong-Woo Park // Journal of Materials Processing Technology. – 2002. – V. 122. – P. 255–259.
7. Analysis of the billet deformation behavior in equal channel angular extrusion / J. R. Bowen, A. Gholinia, S. M. Roberts, et al. // Materials Science and Engineering A. – 2000. – V. 287. – P. 87–99.
8. Пью Х. Л. Механические свойства материалов под высоким давлением / Х. Л. Пью; пер. с англ. – М. : МИР, 1973. – 372 с.
9. Белошенко В. А. Теория и практика гидроэкструзии / В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин, В. З. Спусканюк. – Киев : Наукова думка, 2007. – 246 с.
10. Оценка эффективности смазочного слоя при различных методах гидропрессования и редуцирования заготовок / В. З. Спусканюк, И. М. Коваленко, Я. Е. Бейгельзимер, А. А. Миланин // Обработка материалов давлением. – 1993. – Т. 1. С. 96–102.

Спусканюк В. З. – д-р техн. наук, проф. ст. науч. сотрудник ДонФТИ НАНУ;

Гангало А. Н. – вед. инженер ДонФТИ НАНУ;

Давиденко А. А. – канд. техн. наук, науч. сотрудник ДонФТИ НАНУ.

ДонФТИ НАНУ – Донецкий физико-технический университет имени А. А. Галкина
Национальной академии наук Украины, г. Донецк.

E-mail: al-gangalo@yandex.ru