

УДК 621. 777

**Расчетно-экспериментальное исследование энергосиловых параметров процесса непрерывного канально-углового прессования алюминия\***

Аборкин А.В., Захаров А.А., Бабин Д.М., Орехов О.П.

В работе рассмотрены вопросы, касающиеся установления влияния технологических параметров (скорость вращения рабочего колеса, коэффициент трения) на энергосиловые параметры процесса непрерывного канально-углового прессования алюминия. Для этого разработана методика проведения эксперимента. Получены экспериментальные данные об изменении энергосиловых параметров процесса непрерывного канально-углового прессования алюминия. Разработана и численно реализована имитационная модель для качественного и количественного описания процесса непрерывном канально-угловом прессовании алюминиевого сплава АД0. Проведена проверка ее корректности путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Получены оценки влияния технологических параметров на энергосиловые параметры процесса непрерывного канально-углового прессования. На основе анализа полученных расчетных данных установлено, что увеличение скорости вращения рабочего колеса изменяет величину крутящего момента не более чем на 7%, а увеличение коэффициента трения на 20%.

*Ключевые слова:* непрерывное канально-угловое прессование, интенсивная пластическая деформации, энергосиловые параметры.

**Calculation and experimental study of power parameters of the continuous channel-angular pressing of aluminum**

Aborkin A.V., Zaharov A.A., Babin D.M., Orekhov O.P.

The paper deals with the issues of determining the effect of process parameters (such as rotor speed and friction coefficient) on the power parameters of the continuous channel-angular pressing of aluminum. The technique to carry out the experiment has been developed. Experimental data on changes in power parameters of the continuous channel-angular pressing of aluminum has been received. A simulation model for qualitative and quantitative process of the continuous channel-angular pressing of AD0 aluminum alloy has been developed and presented in numbers. The simulation model has been tested for its accuracy by comparing the calculated and experimental data. The estimation of process parameters effect on power parameters of the continuous channel-angular pressing has been obtained. The calculations have proved that increasing the rotor speed can result in 7% increase in the torque value and 20% friction coefficient increase.

*Keywords:* continuous channel-angular pressing, intensive plastic deformation, power parameters.

**Введение**

Исследования, посвященные развитию технологий интенсивной пластической деформации посредством повышения их эффективности и созданию оборудования для их осуществления, являются актуальными.

Целью работы является изучение влияния технологических параметров (скорость вращения рабочего колеса, коэффициент трения) на энергосиловые параметры процесса непре-

рывного канально-углового прессования алюминия.

Для достижения поставленной цели:

- разработана методика проведения эксперимента, получены опытные данные об изменении энергосиловых параметров процесса прессования;
- разработана имитационная модель, получены оценки влияния технологических параметров на энергосиловые параметры процесса прессования.

\* Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 12-08-31140.

### Описание методики проведения экспериментальных исследований

Измерение силовых и тепловых параметров процесса непрерывного канально-углового прессования проводили при упрочнении алюминиевого сплава АД0 на установке Конформ-350. На рис. 1 представлена схема установки с указанием мест расположения термопар для контроля температуры.

Измерение энергосиловых и тепловых параметров процесса непрерывного прессования проводили при упрочнении прутка  $\varnothing 9$  мм из алюминиевого сплава АД0. Линейная скорость поступления прутковых заготовок в ручей рабочего колеса составила 1 м/мин. Предварительно матрица была нагрета до температуры  $450^\circ\text{C}$ .

Работа установки при проведении эксперимента осуществлялась следующим образом. Заготовку (1) подавали в ручей (2), выполненный в рабочем колесе (3), и запрессовывали в него прижимным роликом (4). На рабочее колесо от его привода передавался крутящий момент. Привод рабочего колеса снабжен датчиком электрического тока, фиксирующим изменение величины тока при прессовании. Под действием сил трения заготовка, ограниченная входным блоком (5), начинала двигаться вместе с рабочим колесом (3) до упора (6). Дойдя до упора (6), заготовка (1) распрессовывалась и подвергалась воздей-

ствию интенсивной пластической деформации, проходя в матрицу (7), установленную в башмаке (8). Нагрев матрицы до рабочей температуры осуществлялся с помощью четырех термоэлектрических нагревателей мощностью 1 кВт.

Для контроля температуры матрицы, упора и ручья рабочего колеса, в теле последних были размещены хромель-копелевые термопары, обозначенные на схеме (Т). Управление нагревом матрицы и контроль ее температуры осуществляли с помощью одноканального микропроцессорного измерителя пидрегулятора ТРМ10.

Для сбора и обработки экспериментальных данных использовали оборудование фирмы National Instruments.

### Анализ полученных результатов

Компьютерное моделирование процесса прессования проводили с помощью программного комплекса DEFORM-3D в соответствии с подходом, предложенным в работах [1, 2]. При расчетах использовали пластическую модель сплошной среды. Оценку адекватности имитационной модели проводили путем сравнения расчетных и экспериментальных данных. Основным критерием для сопоставления результатов расчета с данными экспериментов служит величина крутящего момента при прессовании.

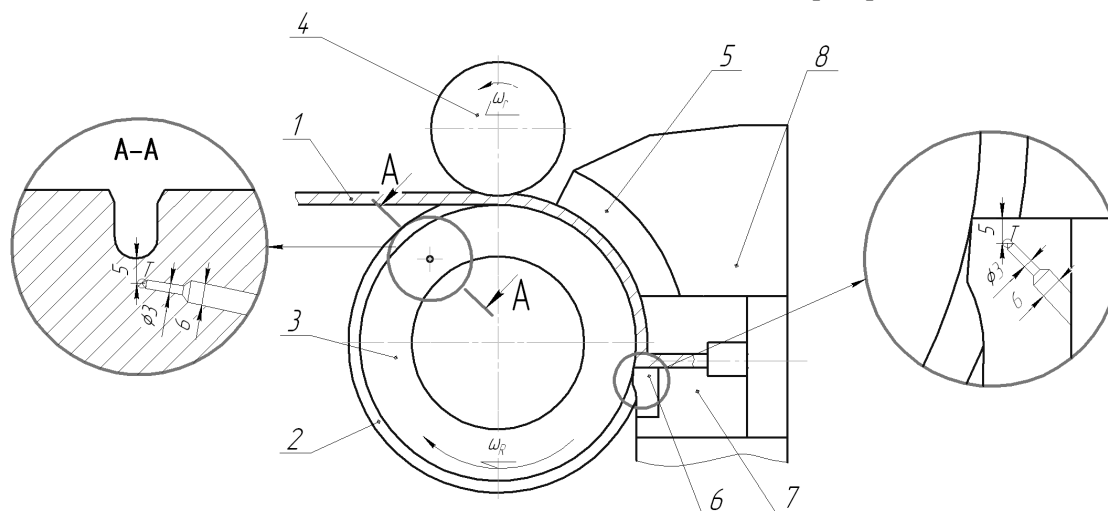


Рис. 1. Схема установки для прессования.

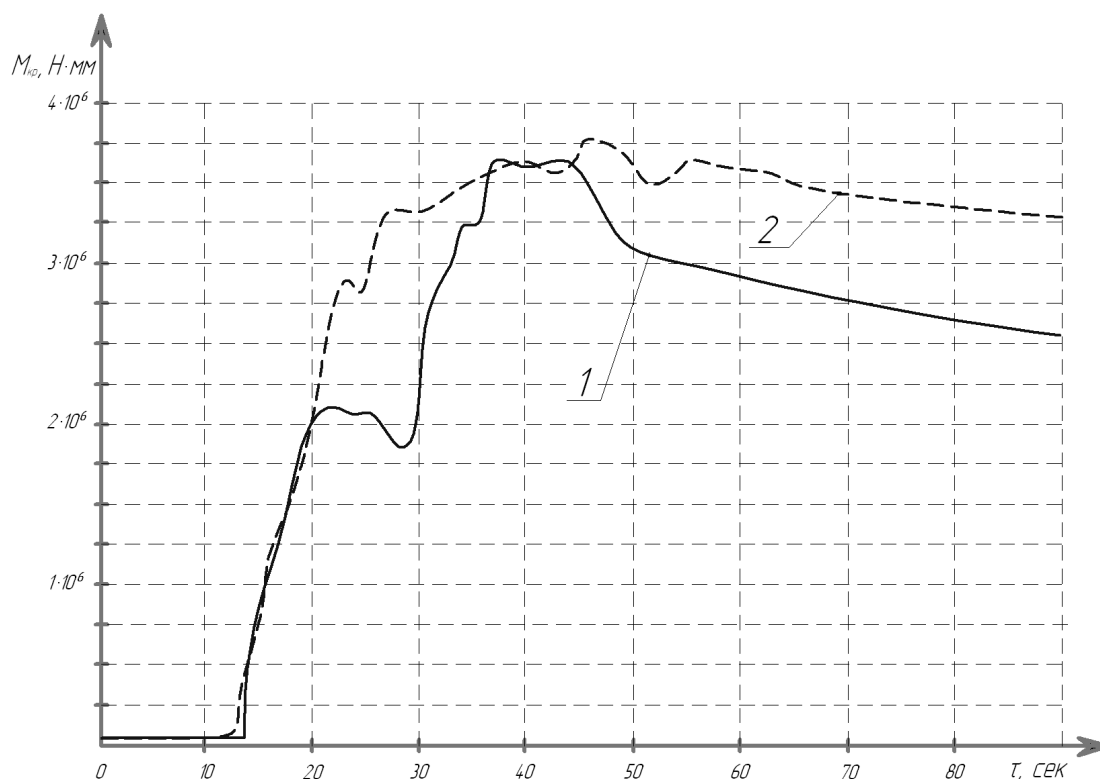


Рис. 2. Графики изменения крутящего момента при прессовании сплава АД0, полученные экспериментально (1) и в результате расчета (2).

На рис. 2 представлены графики изменения крутящего момента ( $M_{кр}$ ), полученные в результате проведения расчетного и экспериментального исследований. На графиках непрерывной линией показаны результаты изменения величины  $M_{кр}$ , полученные экспериментально, а пунктирной линией - значения  $M_{кр}$ , полученные в результате расчета.

Сравнительный анализ в расчетных и экспериментальных данных показал их хорошее качественное соответствие.

Количественное сравнение результатов показало, что наибольшее расхождение значений наблюдается на интервале  $14 < \tau < 30$  секунды и составляет порядка 70%. Однако, для практики наибольшее значение имеют пиковые величины  $M_{кр}$ , расхождение которых не превышает 10%.

Таким образом, результаты проведенных сравнений позволяют судить о правомерности использованных допущений и корректности разработанной модели, что дает возможность дальнейшего ее применения для исследова-

ния процесса непрерывного канально-углового прессования.

С использованием разработанной модели определено влияние скорости вращения рабочего колеса ( $\omega_R$ ) на величину  $M_{кр}$ . При расчетах  $\omega_R$  принимали 1, 2 и 4 рад/с. Расчетным путем установлено, что максимальный  $M_{кр}$  соответствует скорости 4 рад/с, достигая значения  $4,037 \cdot 10^6$  Н·мм. Минимальный - соответствует скорости 1 рад/с -  $3,778 \cdot 10^6$  Н·мм. Сравнительный анализ результатов расчета показывает, что изменение  $\omega_R$  от 1 до 4 рад/с изменяет величину  $M_{кр}$  не более чем на 7%.

Расчетным путем получены оценки влияния величины коэффициента трения ( $\mu$ ) в выходном канале на изменение  $M_{кр}$ . Рассмотрены варианты, при которых  $\mu$  принимал значения 0,1 и 0,4. На рис. 3 приведена графическая зависимость, отражающая влияние  $\mu$  на  $M_{кр}$ .

Анализ полученных зависимостей показывает, что повышение  $\mu$  с 0,1 до 0,4 ведет к увеличению  $M_{кр}$  с  $2,953 \cdot 10^6$  Н·мм до  $3,592 \cdot 10^6$  Н·мм, что составляет порядка 20%

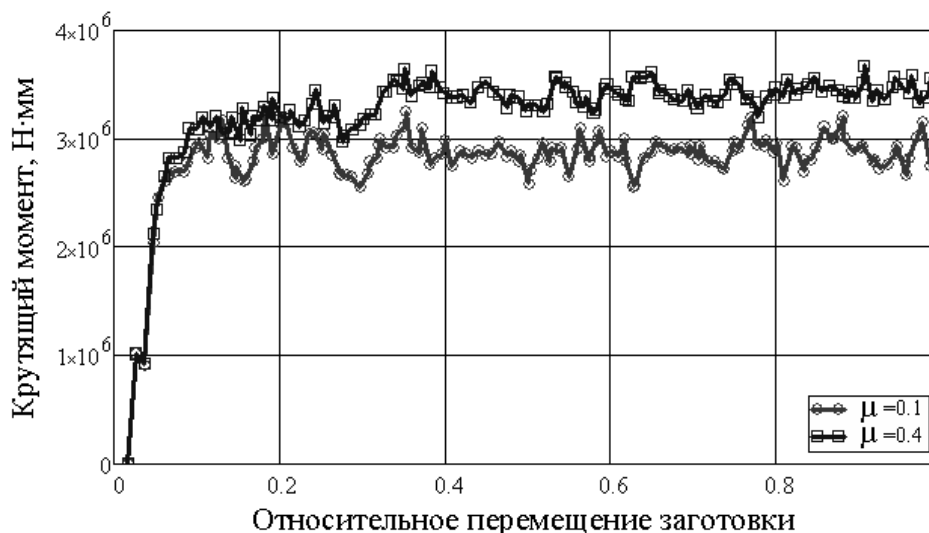


Рис. 3. Графики изменения крутящего момента при различных значениях коэффициента трения.

### Заключение

Разработана методика экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса непрерывного канально-углового прессования. Получены экспериментальные данные об изменении энергосиловых параметров в процессе прессования алюминиевого сплава АД0. Установлено, что максимальные значения величины крутящего момента не превысили  $4 \cdot 10^6$  Н·мм.

Разработана и численно реализована имитационная модель для качественного и количественного описания процесса непрерывном канально-угловом прессовании алюминиевого сплава АД0.

С помощью разработанной модели, получены расчетные оценки влияния изменения скорости вращения рабочего колеса и коэффициента трения в выходном канале на величину крутящего момента, необходимого для прессования. Установлено, что увеличение скорости вращения рабочего колеса от 1 до 4 рад/с изменяет величину крутящего момента не более чем на 7%, а увеличение коэффициента трения с 0,1 до 0,4 – на 20%.

Статья поступила в редакцию 29 июля 2013 г.

### Литература

1. Cho J.R., Jeong H.S. Parametric investigation on the surface defect occurrence in CONFORM process by the finite element method // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 104, 2000. – P. 236-243.
2. Kim Y.H., Cho J.R., Kim K.S., Jeong H.S., Yoon S.S. A study of the application of upper bound method to the CONFORM process // Journal of Materials Processing Technology, Vol. 97, 2000. – P.153-157.

### References

1. Cho J.R., Jeong H.S. Parametric investigation on the surface defect occurrence in CONFORM process by the finite element method // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 104, 2000. – P. 236-243.
2. Kim Y.H., Cho J.R., Kim K.S., Jeong H.S., Yoon S.S. A study of the application of upper bound method to the CONFORM process // Journal of Materials Processing Technology, Vol. 97, 2000. – P.153-157.

---

*Аборкин Артемий Витальевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия. E-mail: aborkin@vlsu.ru

*Захаров Александр Андреевич* – ассистент кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия. E-mail: zahar21157@yandex.ru

*Бабин Дмитрий Михайлович* – ассистент колледжа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия. E-mail: necros-m2@yandex.ru

*Орехов Олег Павлович* – студент кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия. E-mail: dante123473@ya.ru

---

*Aborkin Artemiy Vitaljevich* – Ph.D., Vladimir State University, Vladimir, Russia. E-mail: aborkin@vlsu.ru

*Zaharov Aleksandr Andreevich* – Teacher, Vladimir State University, Vladimir, Russia. E-mail: zahar21157@yandex.ru

*Babin Dmitriy Michaylovich* – Teacher, Vladimir State University, Vladimir, Russia. E-mail: necros-m2@yandex.ru

*Orekhov Oleg Pavlovich* – Student, Vladimir State University, Vladimir, Russia. E-mail: dante123473@ya.ru