

УДК 621.7.044.7

Краев М.В., Краева В.С.

ПРЕССОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Аннотация. Приведены результаты прессования в постоянном магнитном поле индукцией до 1,1 Тл цилиндрических заготовок из алюминия АД0. Достигнуто снижение силы прессования до 10%. Описано оборудование для прессования в магнитном поле.

Ключевые слова: прессование, степень деформации, сила, сопротивление деформации, магнитное поле, индукция.

Введение. Режимы прессования определяются в первую очередь реологическими свойствами металла в данных условиях деформации. Улучшение условий обработки металла происходит за счет повышения энергии в зоне деформации. Это достигается путем локализации очага деформации (повышения уровня механической энергии) или применения комбинированных способов обработки с использованием источника других видов энергии, в частности, энергии электромагнитного поля.

Постановка проблемы. Алюминий является наиболее распространенным металлом, обрабатываемым прессованием. Способность алюминия к формоизменению прессованием зависит от его сопротивления деформации. Этот показатель можно охарактеризовать количеством энергии, расходуемой на развитие дефектов кристаллической решетки, за счет чего и происходит формоизменение металла. Известно положительное влияние магнитного поля на движение дислокаций, на их взаимодействие со стопорами (магнитопластический эффект) [1, 2]. Эффект прояв-

ляется в перемещении дислокаций в немагнитных кристаллах, помещенных в постоянное магнитное поле при отсутствии механической нагрузки. Существует ряд исследований о влиянии постоянного магнитного поля на результаты механических испытаний образцов ряда магнитных и немагнитных металлов, описаны частные случаи их деформации [3-6]. Для практического использования в прессовании постоянного магнитного поля необходимо описание режимов деформации и элементов нового оборудования.

Методика эксперимента. Материалом для исследования выбран немагнитный алюминий марки АД0. Прессовались с прямым истечением металла цилиндрические заготовки диаметром 8,0 мм в изделие диаметром 6,0 мм. Степень деформации составила 25%. Формоизменение заготовки осуществляли в холодном состоянии на коническом рабочем участке матрицы с углом конусности 60°. В качестве смазки использовали порошок графита и машинное масло.

Оборудование для прессования в магнитном поле состоит из электромагнита и гидравлического пресса (рис. 1, а). Деформирование металла производится между сердечниками катушек. Для усиления магнитного поля в зоне деформации использованы прямоугольные надставки из магнитомягкой стали (рис. 1, б).

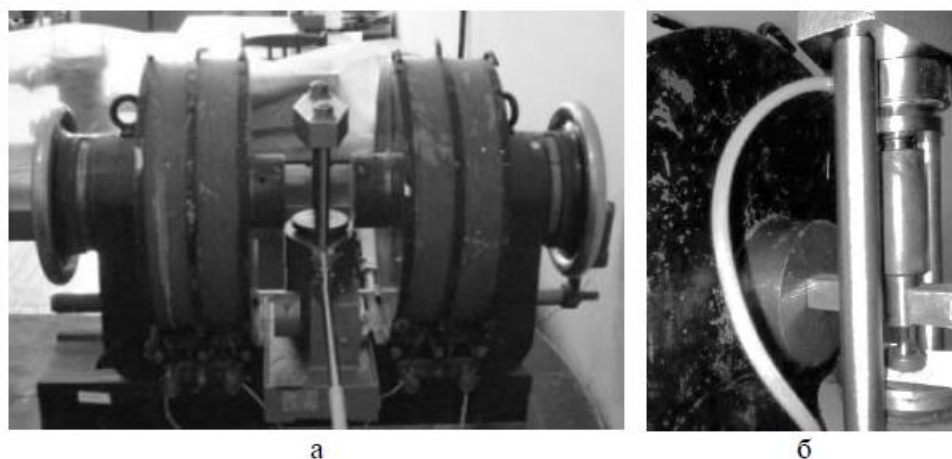


Рис. 1. Установка для деформации заготовок с применением внешнего магнитного поля

Штамповку проводили без магнитного поля и с наложением внешнего постоянного магнитного поля индукцией 0,9 и 1,1 Тл. Магнитное поле действует перпендикулярно направлению прессования.

Изложение основных материалов исследования. Прессование заготовок разделяли на два этапа: распрессовывание заготовки в полости

контейнера и выдавливание металла в полость матрицы. Третья заключительная стадия прессования отсутствовала, заготовки деформировали без пресс-остатка, каждая последующая заготовка своим передним концом выталкивала предыдущую заготовку из полости матрицы.

Результаты наложения магнитного поля на процесс деформации алюминия различны для двух стадий прессования. Из предварительных исследований [5, 6] известно, что влияние магнитного поля на деформацию металлов, и в частности, алюминия, зависит от вида напряженно-деформированного состояния заготовки при ее формоизменении. На первой стадии распрессовывания процесс деформации металла подобен сжатию или осадке. В зоне деформации действуют сжимающие напряжения, главная деформация заготовки вдоль ее продольной оси имеет отрицательный знак. Поэтому, по аналогии со сжатием, на первой стадии прессования наблюдается увеличение силы деформации на 20-30 % (рис. 2). В процессе выдавливания металла в полость матрицы в зоне деформации также действуют сжимающие напряжения, но главная деформация заготовки вдоль ее продольной оси имеет положительный знак. По аналогии с растяжением металла сила деформации снижается на 10%.

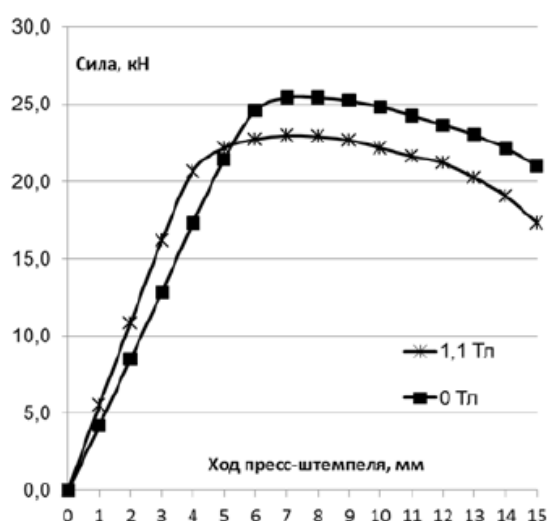


Рис. 2. Диаграмма прессования цилиндрической заготовки

Изменение силы прессования связано с влиянием магнитного поля на сопротивление деформации алюминия. Изменение сопротивления деформации в магнитном поле является функцией, зависящей от силы магнитного поля и степени деформации [5, 6]. Можно предположить, что магнитное поле оказывает силовое воздействие на заготовку, изменяя соотношение напряжений в очаге деформации. Однако парамагнитный

алюминий является слабомагнитным материалом. Объемная плотность силового воздействия магнитного поля [7] столь мала (до 8×10^{-7} Н/мм³), что ей можно пренебречь.

Сопротивление металлов и пластичность взаимосвязаны и оба данных термина описывают состояние металла при деформации. Факторы, снижающие сопротивление деформации, одновременно повышают его пластичность. Достигнув снижения сопротивления деформации алюминия в процессе прессования путем наложения внешнего магнитного поля, можно утверждать о возможности повышения его пластичности, т.е. о перспективе увеличения предельной степени деформации.

Применение магнитного поля при прессовании требует использования специальных магнитопроводов, позволяющих локализовать в зоне деформации поле максимальной силы. Для усиления магнитного поля в зоне деформации использованы надставки с различной формой торцов. Надставки выполнены из стали обыкновенного качества Ст3. Невысокое содержание углерода (0,14-0,22%) и других легирующих элементов обеспечивает низкую остаточную намагниченность металла надставок. Форма надставок зависит от формы обрабатываемой детали и должна обеспечивать создание магнитного поля максимально возможной силы. Для прессования, как и для других операций обработки цилиндрических изделий, могут использоваться надставки двух типов (рис. 3). Внутри отверстия надставки располагается матрица для прессования.

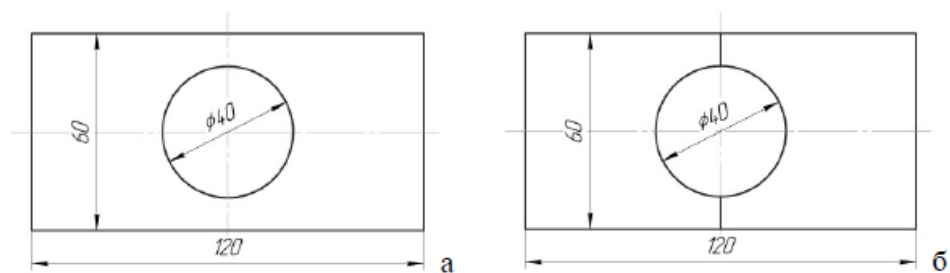


Рис. 3. Форма надставок сердечников электромагнита прямоугольная с отверстием (а) прямоугольная с разрезом поперек отверстия (б)

Зависимости индукции магнитного поля от силы тока I , величины зазора между надставками L , радиуса R или диаметра D отверстия надставки имеют следующий вид:

$$B = 0,706 + 0,024I - 17,912D \quad \text{для типа а}$$

и $B = 0,732 + 0,021I - 4,400L - 20,132R$ для типа б с зазором L .

При сопоставимых величинах зазора между сердечниками наибольшее значение индукции магнитного поля образуется между плос-

кими торцами сердечников. Индукция внутри отверстия надставки меньше в 3 раза. В надставке третьего типа разрез металла увеличивает индукцию внутри отверстия в 2 раза. Даже при плотно составленных торцах надставки их разделение является препятствием прохождению магнитного потока, в результате чего магнитный поток увеличивается в пространстве отверстия, но остается меньшим, чем между надставками с плоскими торцами.

Выполнение матрицы цельной с сердечником электромагнита нецелесообразно, так как магнитный поток распределится по контуру металла матрицы. Предложено матрицу зажать между отдельными надставками (рис. 4).

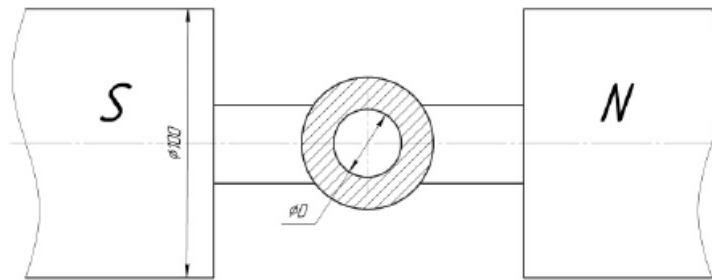


Рис. 4. Схема установки в цепь электромагнита цилиндрической матрицы с отверстием

В отверстии матрицы получены высокие значения индукции магнитного поля (1,1 Тл), близкие к случаю использования сердечников с плоскими торцами. Причиной повышения индукции магнитного поля внутри отверстия является сам материал матрицы – закаленная сталь 45. Сталь, упрочненная термообработкой, имеет высокое магнитное сопротивление. В то же время сердечник и надставки электромагнита имеют магнитное сопротивление гораздо ниже. Поэтому магнитный поток вытесняется из металлической части матрицы в ее отверстие. Линии магнитной индукции вместо огибания отверстия по стенкам матрицы спрямляются и стремятся по кратчайшему расстоянию (по прямой через воздушный зазор отверстия матрицы) замкнуться в противоположной надставке сердечника.

Выводы

- Постоянное магнитное поле индукцией до 1,1 Тл оказывает влияние на прессование немагнитного алюминия.
- Влияние магнитного поля на процесс деформации металла разделяется на стадии, соответствующие этапам прессования. При распрессовывании заготовки в контейнере сила деформации повышается

на 20-30%, при истечении металла через отверстие матрицы сила деформации снижается на 10%.

- Наблюдаемые эффекты связаны с изменением в магнитном поле сопротивления деформации алюминия.

- Описаны значения индукции магнитного поля между сердечниками катушек электромагнита в воздушном зазоре надставок различной конструкции.

- Результаты данной работы позволяют считать постоянное магнитное поле новым перспективным технологическим фактором, оказывающим влияние на деформируемость немагнитных металлов в процессе их прессования.

Список литературы

1. Альшиц В.И. Магнитоупругий эффект: основные свойства и физические механизмы // Кристаллография. 2003. №5. С. 826-854.
2. Головин Ю.И. Магнитоупругость твердых тел (обзор) // Физика твердого тела. 2004. №5. С. 769-803.
3. Делюсто Л.Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. М.: Машиностроение, 2005. 272 с.
4. Коновалов С.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф. Влияние электромагнитных полей и токов на пластическую деформацию металлов и сплавов: монография. Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2013. 293 с.
5. Краев М.В. Влияние постоянного магнитного поля на результаты механических испытаний металлов и сплавов на основе меди и алюминия. Пластическая деформация металлов: коллективная монография. Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. С 337-352.
6. Краев М.В. Изменение течения меди и дюралюминия под действием постоянного магнитного поля // Физика металлов и металловедение. 2016. Т. 117. №5. С. 528-529.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб пособие для вузов. 11-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 616 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Kraiev M., Kraieva V.

PRESSING ALUMINUM IN A CONSTANT MAGNETIC FIELD

Abstract. The results of pressing in a constant magnetic field by induction to 1,1 T of cylindrical work of aluminum AD0 are presented. The decrease in the pressing force to 10% has been achieved. The equipment for pressing in a magnetic field is described.

Keywords: pressing, degree of strain, force, strain resistance, magnetic field, induction.

1. Альшиц В.И. Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы / В.И. Альшиц // Кристаллография. – 2003. – № 5. – С. 826-854.
2. Головин Ю.И. Магнитопластичность твердых тел (обзор) / Ю.И. Головин // Физика твердого тела. – 2004. – №5. – С. 769-803.
3. Делюсто Л.Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
4. Коновалов С.В. Влияние электромагнитных полей и токов на пластическую деформацию металлов и сплавов: монография / С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов. – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2013. – 293 с.
5. Краев М.В. Влияние постоянного магнитного поля на результаты механических испытаний металлов и сплавов на основе меди и алюминия. Пластическая деформация металлов: Коллективная монография. - Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – с 337-352.
6. Краев М.В. Изменение течения меди и дюралюминия под действием постоянного магнитного поля // Физика металлов и металловедение, 2016, том 117, №5, с. 528-529.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб пособие для вузов. – 11-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.