

В. Б. ХАРДИН, Д. Н. ЛЫСЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ  
И СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ СПЛАВОВ  
ПРИ ИХ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ  
ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

В последние годы в авиационной, электротехнической, судостроительной, в промышленности химического машиностроения и в ряде других отраслей машиностроения широкое применение получили высокопрочные сплавы, которые плохо поддаются обычным методам обработки давлением. В связи с этим у нас и за рубежом стали применяться новые высокоскоростные методы обработки металлов (штамповка взрывом, электрогидравлическая штамповка, обработка металлов и сплавов с помощью энергии импульсных магнитных полей и другие). Высокоскоростные методы деформирования применяются также при изготовлении малых партий деталей из обычных сплавов, когда это экономически целесообразно. Особенно важным при изучении этих методов является вопрос о поведении материала заготовки в процессе высокоскоростной пластической деформации, а также изучение изменения механических свойств и структуры сплавов после пластического деформирования, так как от этого во многом зависит пригодность изготовленных деталей к эксплуатации в рабочих условиях. Известен ряд работ по изучению поведения металлов и сплавов при взрывном нагружении. Однако по магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ) таких систематических исследований не проводилось. В то же время известно, что импульсное магнитное поле при некоторых параметрах способно оказывать существенное влияние на структуру и свойства ряда сплавов [1]. Кроме того, существует гипотеза [2], что трехмерная изодинамическая форма прикладываемого магнитного поля по мере проникновения в металл фактически облегчает скольжение между плоскостями

атомов кристалла, при этом процесс формообразования облегчается.

В научно-исследовательской лаборатории института проводятся исследования влияния пластического деформирования энергией магнитного поля на структуру и свойства различных сплавов.

Первые исследования были проведены на образцах из сплавов марок АД1 и Д16, пластически деформированных ИМП на раздачу (и на обжим). Запасаемая при этом в батареях конденсаторов установки энергия была 1,2—7,5 кдж. Образцы вырезались из труб диаметром 40 мм, толщина стенки 1 мм, степень предварительной деформации  $\epsilon = 5\text{—}19\%$ . Шлифы изготовлялись по методике, обычно применяемой при исследовании структуры и свойств алюминиевых сплавов.

Металлографическими исследованиями, приведенными на микроскопе МНМ-8, было установлено, что с увеличением степени предварительной деформации у обоих сплавов наблюдается вытянутость зерен (текстура), а на образцах из сплава Д16, кроме того, наблюдалось огрубление границ зерен за счет их разрыхления и выделения вдоль них составляющих из твердого раствора, по видимому, под влиянием резкого возрастания локальной температуры в процессе пластического деформирования при прохождении по заготовки больших импульсных токов.

Замерялась микротвердость указанных сплавов на приборе ПТМ-3 с нагрузкой 20 г. Как известно, микротвердость является достаточно надежной качественной характеристикой при изучении процесса упрочнения различных сплавов [3]. Значение микротвердости подсчитывалось по формуле:

$$H_{\mu} = \frac{1854p}{d^2},$$

где  $p$  — величина нагрузки, г;

$d$  — величина диагонали отпечатка, мк.

Как показали замеры, на образцах из сплава АД1 при свободной раздаче наблюдалось сильное увеличение микротвердости, на 20—30% по сравнению с исходной, причем с увеличением степени предварительной деформации увеличивались абсолютные значения микротвердости. На образцах из сплава Д16 с увеличением степени деформации отмечено менее значительное увеличение микротвердости, только на 8—10% по сравнению с исходной. В то же время у данного сплава наблюдалось сильное упрочнение наружного и внутреннего поверхностных слоев материала, средние слои упрочнялись весьма незначительно.

Более поздние исследования проводились авторами на образцах из сплавов АМг3Н и АМг6М.

Для более полного выяснения преимуществ и недостатков МИОМ осуществлялись сравнительные исследования после высокоскоростной (ИМП) и статической деформации. Статическая деформация трубчатых образцов производилась на гидравлическом

прессе с использованием эластичного пуансона. Степени предварительной статической деформации 0—22%, высокоскоростной деформации 0—42%. Замеры микротвердости производились на образцах, вырезанных из предварительно деформированных труб (не менее 25—30 замеров в каждом сечении).

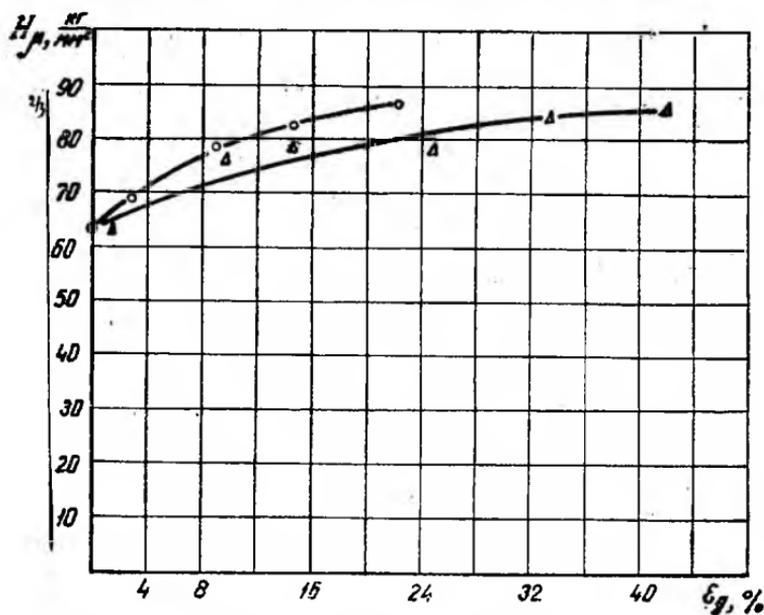


Рис. 1. График изменения микротвердости сплава АМг6М; О — статическая деформация, Δ — деформация ИМП

На рис. 1 приведен график изменения микротвердости сплава АМг6М в зависимости от величины и характера предварительной деформации.

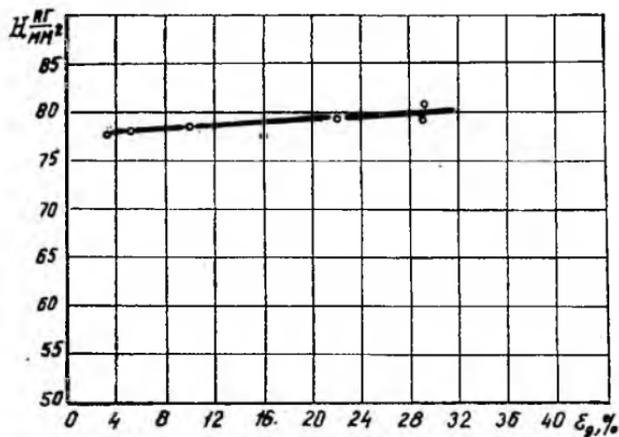


Рис. 2. График изменения микротвердости сплава АМг3Н

Из графика видно, что при небольших степенях предварительной деформации, порядка 8%, микротвердость образцов, деформированных как статически, так и ИМП, возрастает примерно на одинаковую величину. С увеличением степени деформации микротвердость образцов, изготовленных статически, возрастает

быстрее, чем изготовленных ИМП. Вообще при исследовании микро твердости и механических свойств указанных выше сплавов обнаружена следующая тенденция: механические свойства и микро твердость образцов, деформированных энергией магнитного поля, несколько ниже, чем у образцов, деформированных статически. Это объясняется тем, что при деформировании энергией импульсного поля происходит нагрев заготовки в результате прохождения токов.

Кривая изменения микротвердости сплава АМгЗН приведена на рис. 2. Из графика видно, что сплав довольно сильно нагартован в исходном состоянии и с увеличением степени предварительной деформации микротвердость увеличивается незначительно.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При пластическом деформировании энергией импульсного магнитного поля наблюдается значительное повышение пластичности деформируемых сплавов по сравнению со статическими методами (наибольшая тангенциальная деформация сплава АМг6М при МИОМ возросла в 2 раза, а сплав АМгЗН в 4 раза), что связано с повышением скорости перемещения дислокаций в деформируемом металле, нагревом металла вихревыми токами, а также, возможно, облегчением скольжения в плоскостях скольжения блоков кристалла за счет благоприятного воздействия импульса магнитного поля по мере проникновения его в металл.

2. При пластическом деформировании алюминиевых сплавов магнитным полем обнаружено измельчение зерна и наблюдалась слабая текстура, у образцов из сплава Д16 при очень больших скоростях деформации отмечено даже некоторое оплавление и разрыхление границ зерен.

3. С увеличением степени деформации отмечено возрастание значений микротвердости сплавов, причем при одной и той же степени предварительной деформации микротвердость статически изготовленных образцов несколько выше, чем образцов, изготовленных энергией магнитного поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Фокина, Л. В. Смирнов, В. Д. Садовский, ФММ, 1965, 19, 4, 592.
2. Desing and Components in Engineering, Oct., 13, 1966
3. М. М. Хрущов. Методы испытания на микротвердость, изд. АН СССР, 1965.