

## ПРОЦЕССЫ БЫСТРОЙ ДИФУЗИИ ПРИ СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ И ПРЕССОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Плохотников Д.А.

научный руководитель доктор физика – математических наук, профессор  
Квеглис Л.И.

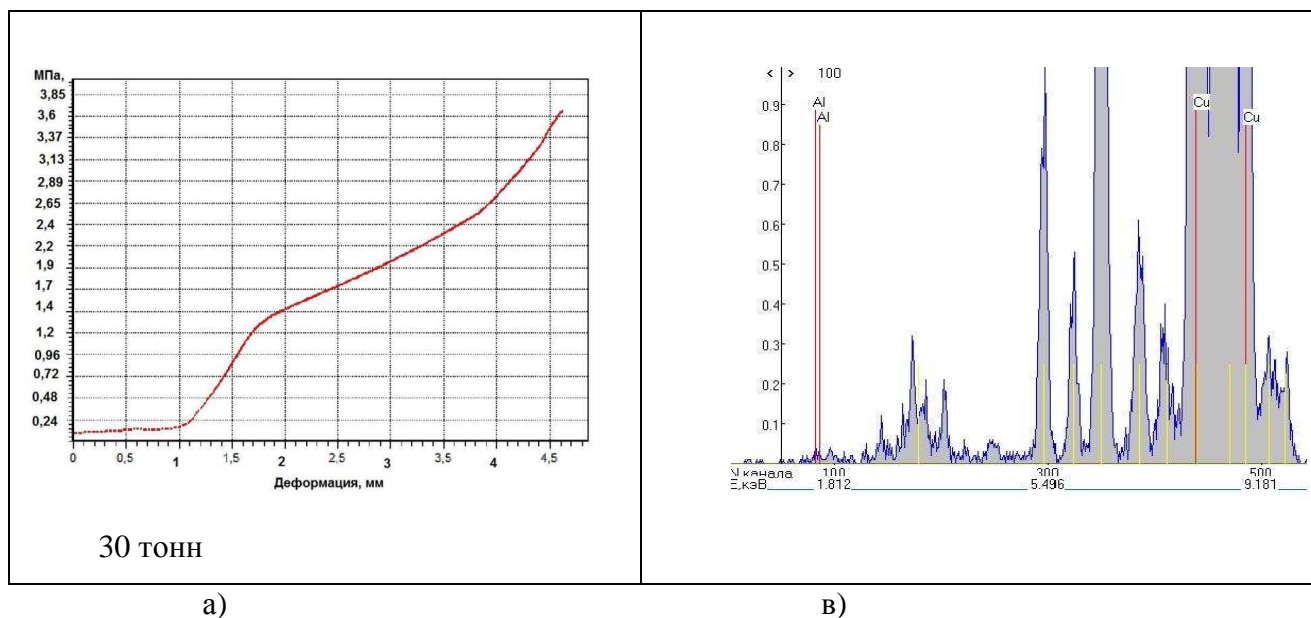
*Красноярский политехнический институт Сибирский Федеральный университет*

Исследование физико-химических процессов, происходящих в зоне контакта цветных металлов при интенсивных динамических нагрузках, представляет существенный интерес. Одна из задач исследования это создание промежуточного слоя для соединения проводников из меди и алюминия. Такие контакты в электротехнике приходится выполнять довольно часто. Медь и алюминий являются гальванической парой, что приводит к выгоранию контактов. Поэтому создание промежуточного слоя решило бы проблему коррозии в соединениях меди с алюминием [1].

Работа посвящена исследованию переходных зон двухслойных образцов алюминий – медь и алюминий - алюминий, полученных по технологии сдавливания на прессе ИП 2500 М авто. Толщина образцов составляла несколько миллиметров.

Согласно диаграмме фазовых равновесий, растворимость алюминия в меди не превышает 10% [2]. Известно, что нерастворимые в равновесных условиях металлы, под действием механических нагрузок могут иметь достаточно широкую область растворимости [3,4].

На рисунке 1 приведены результаты эксперимента по совместному сдавливанию в установке ИП-2500М-авто приведенных в контакт образцов алюминия и меди. Кривые нагружения показаны на рисунках 1а и 1б: 30 тонн и 15 тонн соответственно.



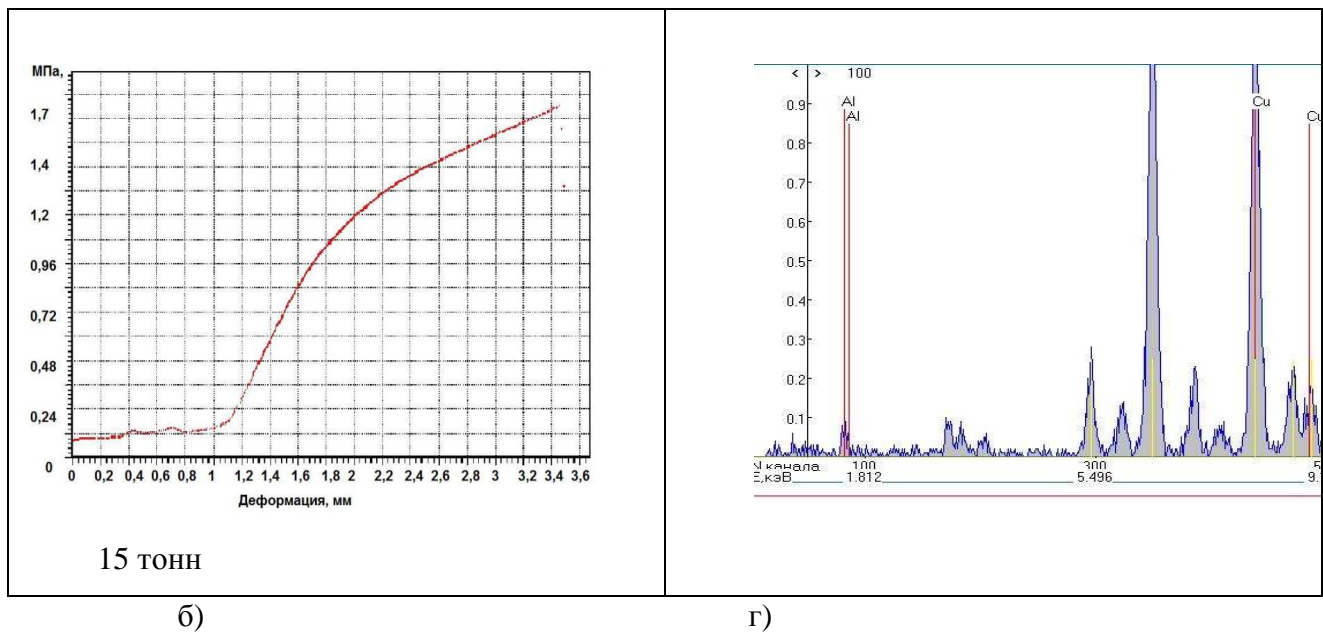


Рисунок 1. Результаты нагружения образцов алюминия с медью. а и б кривые нагружения при нагрузке 30 тонн и 15 тонн соответственно; рентгенофлюоресцентные спектры, полученные после нагрузки 30 тонн: в – от медного образца, г - от алюминиевого образца.

При нагрузке 30 тонн сварка происходит более интенсивно, чем при нагрузке 15 тонн, и оба металла лучше проникают друг в друга. Однако не удалось полностью сварить металлы, при небольшом усилии они легко отделялись друг от друга. На поверхностях соединения оставались следы сдавленного металла: на медном образце следы алюминия, на алюминиевом образце следы меди. На рисунках 1в и 1г приведены рентгенофлюоресцентные спектры, полученные в установке СРВ-1 после нагрузки 30 тонн: 1в - от медного образца, 1г - от алюминиевого образца.

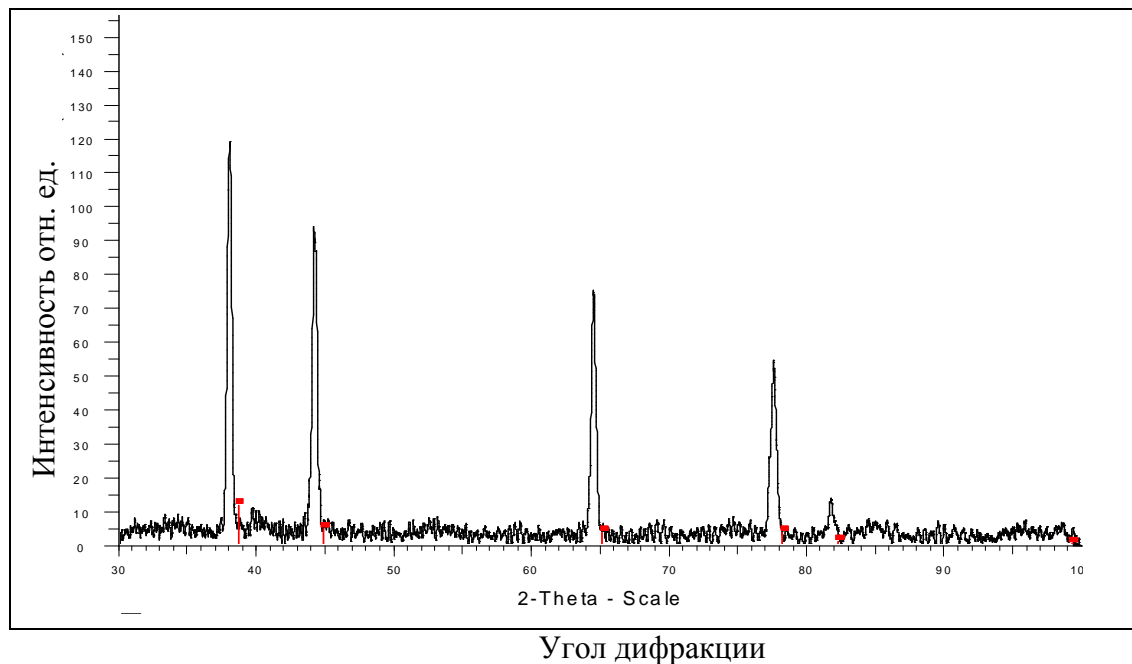


Рисунок 2. Рентгенограмма сплава АМг-3 после деформации.

На рисунке 2 представлена рентгенограмма сплава АМг-3 после интенсивной пластической деформации давлением. Точки с права от дифракционных линий показывают

положение пиков при исходном состоянии. Из картины дифракции видно, что все дифракционные максимумы, полученные от деформированного образца смещены в лево от исходного положения. Расчет показал, что параметр решетки деформированного материала увеличился на 0,45% по отношению к исходному состоянию образца. Дополнительных рефлексов связанных с появлением новых фаз не обнаружено. Такое смещение линий может быть обусловлено растворением атомов магния в гцк решетке алюминия по механизму замещения атомов алюминия атомами магния.

Изучение природы пластической деформации твердых тел показывает, что пластическое течение протекает неоднородно. Универсальность этого положения прослеживается на микроскопическом [5], мезоскопическом [6] и макроскопическом [7] масштабных уровнях. Согласно [7] деформация при пластическом течении локализована на всех этапах - от предела текучести до разрушения, а микро-, мезо- и макромасштабные явления локализации становятся существенными для процессов пластического течения практически одновременно. В работе [3] подчеркивается, что явление макролокализации характерно для любых материалов и любых условий нагружения и не зависит от типа кристаллической решетки, фазового состава и зеренной структуры объекта исследования.

В работах Журкова [8] определяется время долговечности изделия металлических сплавов  $\tau$  в зависимости от температуры, механических нагрузок, а так же от энергии активации релаксации, которая связана с химическим составом сплава:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma' \sigma}{RT}$$

где  $U_0$  – начальная энергия активации ( $E_a$ );  $\gamma'$  – структурно-чувствительная константа материала;  $\tau_0$  – предэкспоненциальный множитель, равный по порядку величины периоду тепловых колебаний атомов;  $T$  – температура;  $\sigma$  – механическое напряжение [8]. В своих работах Такас [9], анализирует уравнение Журкова, считая  $\tau$  временем релаксации. Он оценил вклад механических напряжений при механохимических реакциях в процесс структурообразования и определил, что при высоких температурах релаксация структуры описывается формулой Аррениуса. Если  $\gamma' \sigma \ll E_a$ , то процесс описывается уравнением Аррениуса.

$$\tau(T) = A \exp \left( \frac{E_a}{RT} \right)$$

где  $A$  – коэффициент характеризующий частоту столкновений молекул [9].

В случае же низких температур и высоких давлений когда  $\gamma' \sigma \geq E_a$  процесс структурной релаксации сводится к чисто механохимическому процессу [9].

Образование продуктов реакции реализуется за счет преодоления энергии активации в результате большого градиента давления в локализованных областях, а также за счет направленной диффузии, возникающей при прохождении тока. Формирование и продвижение жидкой зоны может приводить к расширению области растворимости практически нерастворимых компонентов и к образованию новых фаз. Таким образом, показана возможность создания переходных зон для контактов медь-алюминий, которые могут быть востребованы в электротехнической промышленности.

Выводы:

1. При совместной пластической деформации алюминия и меди происходит аномально быстрый процесс диффузии в зоне контакта.
2. При пластической деформации алюминиевого сплава АМг-3 происходит полное растворение магния путем замещения атомами магния атомов алюминия за короткое время, равное времени действия нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Столбоушкина О.А., Громов В.Е. Роль электрического потенциала в ускорении ползучести и формиро-вании поверхности разрушения Al // Известия РАН. Серия физическая. – 2009. – Т. 73. – № 9. – С. 1315 – 1318.
2. Лякишев Н.П. (Ред.). / Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. Т.1,2,3-2 2008.
3. Григорьева Т.Ф., Баринаова А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез в металлических системах. Новосибирск: Параллель, 2008. С. 312.
4. Sauvage, X Mechanical alloying of Cu and Fe induced by severe plastic deformation of a Cu-Fe composite /Acta Materialia vol. 53 (2005) P. 2127-2135.
5. Kuhlmann-Wilsdorf D. The low energetic structures theory of solid plasticity. In: Dislocations in Solids. Ed. by Nabarro F.R.N. and Duesbery M.S. - (Amsterdam, Boston) Elsevier, 2002.
6. Panin V.E. Plastic deformation and fracture of solids at the mesoscale level. // Mat. Sci. Eng. A. - 2001. Vol. 319-321. - P. 197-200.
7. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения. - Новосибирск: Наука, 2008.
8. Журков С.Н., Санфирова Т.П. Связь между прочностью и ползучестью металлов и сплавов // ЖТФ. 1958. Т. 28. С. 1719-1726.
9. L. Takacs, J. Met. 52, 12 (2000).