

ВОПРОСЫ ДИФфуЗИОННОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ В ПОРОШКОВЫХ СПЛАВАХ СИСТЕМЫ AL – CR – NI

Мамедли Н.Р.

Азербайджанский технический университет, г. Баку

Ключевые слова: диффузия, сплав, холодная гомогенизация, микрорентгеноспектральный анализ, концентрация

Аннотация. В статье изучена диффузия в сплошных объектах, имеющих структурные дефекты с высокой плотностью в сплавах на основе алюминия. Определено, что при этом диффузионные процессы проходят при значительно низких температурах. Здесь рассмотрены типичные кривые распределения концентраций в образцах Al – Ni – Cr, полученных из ультрадисперсных порошков в различных условиях отжига.

QUESTIONS OF DIFFUSIONAL HOMOGENIZATION IN POWDER ALLOYS OF AL - CR - NI SYSTEM

Mamedli N.R.

Azerbaijan Technical University, Baku

Keywords: diffusion, alloy, cold homogenization, X-ray microanalysis, concentration

Abstract. The article studies diffusion in solid objects with structural defects with high density in aluminum-based alloys. It was determined that in this case diffusion processes take place at significantly low temperatures. Here we consider typical concentration distribution curves in Al – Ni – Cr samples obtained from ultrafine powders under various annealing conditions.

Введение. В кристаллических телах, многочисленные исследования по диффузионным процессам, предшествующим особенно взаимную диффузию элементов проведены в таких объектах и условиях, что механизм их массообмена является объемной диффузией [1-3]. Экспериментальные условия, которые соответствуют этому, проведены при достаточно высоких температурах ($T \geq 0,7T_{пл}$) и эти объекты исследования имеют достаточно совершенную структуру (монокристаллы, имеющие размеры зерен $\ell \geq 5 \cdot 10^{-5}$ м или крупнокристаллические поликристаллы).

Наряду с этим в сплавах на основе алюминия возможны объекты сплошного класса с высокой плотностью структурных дефектов и при этом диффузионные процессы осуществляются при слишком низких температурах ($T \geq 0,2T_{пл}$), причем определяющий механизм массопереноса протекает по механизму диффузии по дефектам решетки. К таким объектам можно отнести прессовки порошковых смесей Al – Ni – Cr, спрессованные под высокими давлениями из ультрадисперсных порошков. Они обладают уникальными физико-химическими свойствами [4].

В этой работе рассматриваются влияние характеристик порошков и других эффектов на диффузионные процессы алюминиевых сплавов. Эти системы состоят из монокристаллических (Al) и поликристаллических (Ni, Cr) порошковых составов, обладающих малыми характеристическими размерами зерен.

В дефектных структурах проблема диффузии не новая: она изучена как с теоретической, так и с экспериментальной точек зрения и предусматривает исследования как совместных границ и дислокаций [5-9], так и винтовых сетей облегченных путей диффузии [10-12]. В последнем случае можно представить диффузию с помощью эффективного коэффициента, она определяется коэффициентом диффузии линейных элементов по длине границ раздела и элементов сетки. Во всех этих работах рассмотрена соответственная диффузионная проницаемость объектов, обусловленных вкладом диффузионных путей, а эффекты, связанные с взаимной диффузией по границам остались не рассмотренными.

Компактные материалы из системы сплавов Al – Ni – Cr показывают некоторые собственные диффузионные свойства, обусловленные параллельным развитием релакционных процессов, такими как спекание и рекристаллизация, которые эффективно происходят при самом раннем этапе спекания (отжига) и приводит к «холодной» гомогенизации [13]. При более задержанных последующих этапах, при которых быстрая релаксация завершается, компактные системы Al – Ni – Cr обуславливаются стабильной мелкодисперсной структурой. Этой структуре характерны необычное разникование, «граничный» эффект Киркендалла и некоторые другие явления.

Особенности концентрационного распределения при взаимной диффузии. Исследования взаимной диффузии системы Al – Ni – Cr проводили в слоистых образцах [11, 15, 16]. Отрегулировали структуру слоя алюминия, находящегося в контакте с ультрадисперсным никелем (УД – никель) и ультрадисперсными хромам (УД – хром): слой Al подготавливали либо из УДО ($\ell \approx 5 \cdot 10^{-8}$ м), либо из отлитой поликристаллической фольги – ПФ ($\ell \approx 5 \cdot 10^{-8}$ м). Толщина контактируемых слоев доходила до 10^{-4} м. При всех этапах изотермического отжига ($T = 200 - 400^\circ\text{C}$) исследовали распределения концентраций $C(x)$ при взаимной диффузии методом микрорентгенструктурного анализа.

Для малых времен диффузии типичные кривые $i(x)$, относящиеся УД – времен, имеют следующие особенности (рис. 1).

Во первых, в отличие от обычных литых образцов, в которых взаимная диффузия осуществляется при $T \geq 0,7T_{пл}$, в УД – парах диффузия происходит при значительно низкой температуре порядка $T \approx 0,3T_{пл}$ на значительные расстояния (рис.1). Особенность установленного диффузионного распределения состоит в том, что длинные диффузионные зоны формируются при ранних этапах отжига ($\tau=1$ час), причем концентрация плавно снижается до расстояний 1-го до 0-я, значительно превосходя диаметр зонда анализатора (рис 1, в). Для сравнения на рис 1, с показана концентрационная кривая образцов, составленных из литых слоев, полученных в тех же условиях. Наклонность её нежной части определяется диаметром зондирующей пушки.

Во вторых, в концах диффузионного распределения имеются растянутые хвосты соответствующие малым концентрациям диффундирующие вещества ($\leq 5\%$). Чем ниже температура, тем они больше проявляются (рис.1). При запоздалых этапах «хвосты» проявляются в редких случаях и по истечении времени они исчезают.

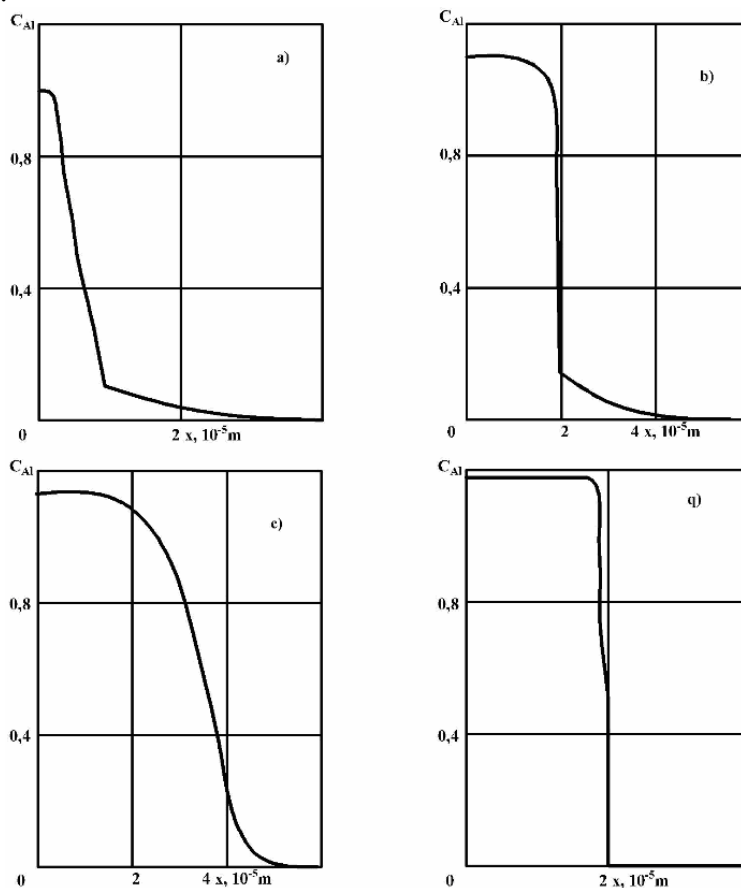


Рис. 1. Типичные кривые, распределения концентраций УД – Al – YDNi – YDCr, полученные при различных условиях отжига: а – 150°C, 4 часа; в – 300°C, 1 час; с – 500°C, 45 минут; г – контрольная кривая

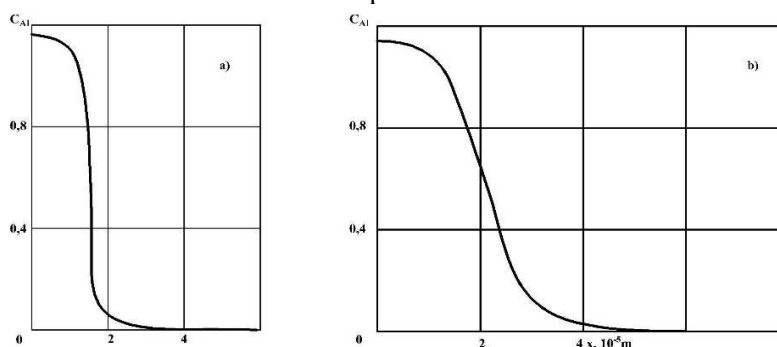


Рис. 2. Типичная последовательность концентрационного распределения в процессе изотермического отжига при 300°C в образцах УД – Al – YD – Ni – YD – Cr в течение 9(а) и 35 (б) часов

В парах УД – Al – YDNi – YDCr относительно со стороны алюминия в сторону никеля и хрома по сварнению с массивными объектами длина диффузионной зоны, в которой $D_{Al} > D_{Ni}$, мала (рис. 1 в, рис.

2). Это показывает, что в системе Al – Ni – CrUD обнаруживается определенная глубина диффузионных потоков.

В третьих, в паре UD – слой – ПФ (поликристаллическая фольга) при взаимной диффузии кривые $C_{(x)}$ имеют особенность: в зависимости от времени в контактных границах концентрация увеличивается (рис. 3), это показывает появления роли «граничной и кинетики при транспортировании вещества» [3, 16].

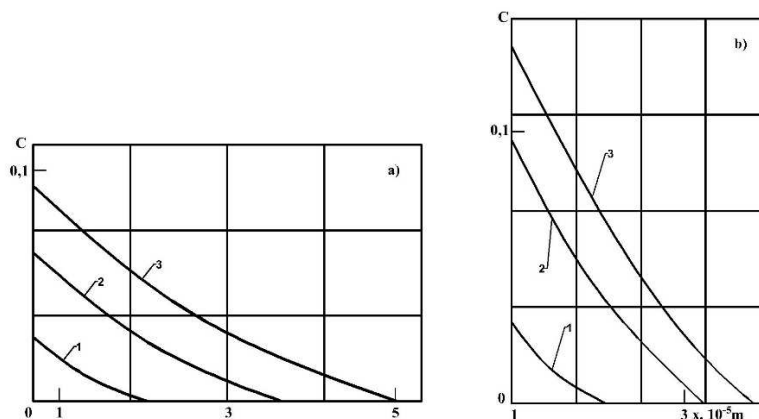


Рис. 3. «Хвосты» диффузионных распределений при различных этапах изотермического отжига со стороны никеля и хрома в образцах ПФ – Al – YD Ni – UD – Cr

Вывод. Отсутствие диффузионного потока из жидкой фазы в твердую, соответствует малому растворению в жидкой фазе Ni и Cr и это наблюдается во многих системах при низких температурах спекания. Если диффузионный поток направлен из твердой фазы в сторону жидкой, то этот характерен для малой способности компонентов, особенно при высокой температуре спекания системы.

Список литературы

1. Зайт В. Диффузия в металлах. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958 – 381с.
2. Герцрикен С.Д., Дехтяр И.Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. – М.: Физматгиз, 1960. – 487с.
3. Гегузин Я.Е. Диффузионная зона. – М.: Наука, 1979. – 344с.
4. Морохов И.Д., Трусков Л.И., Чирик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. – М.: Атомиздат, 1977 – 264с.
5. Fisher J.C. Calculation of diffusion penetration curves for and grain boundary diffusion // J. appl. Phys., 2001, 22, №1, p. 74-77.
6. Whipple R.T. P. Concentration contours in grain boundary diffusion // Phil. Mag., 2014, 45, №9, p.1225 – 1236.
7. Suzuki T. Exact solution of two ideal cases in grain boundary diffusion problem and application to sectioning method // Phys. Soc. Jap., 2014, 19, 839-851.
8. Couling L., Smoluchowski R. anisotropy of diffusion in grain boundaries // J. Appl. Phys., 2004, 25, №12, p. 1538-1542.
9. Hart E.W. On the role of dislocations in bulk diffusion – Acta met., 2007, 5, № 10, p. 597.
10. Гегузин Я.Е., Ратнер А.М. Об эффективном коэффициенте диффузии в поликристаллах // Физика металлов и металловедение. 1962, 13, №2. С.214-218.
11. Борисов В.Т., Любов Б.Я. К теории метода определения коэффициента диффузии по границам зерен металлов // Физика металлов и металловедение. 1995, 1, №2. С. 298-302.
12. Бокштейн Б.С., Магидсон И.А., Светлов И.Л. О диффузии в объеме и по границам зерен // Физика металлов и металловедение. 1958, 6 №6. С. 1040-1052.
13. Harrison L.Y. Influence of dislocations on diffusion kinetics in solids with particular reference to the alkali // Trans. Farad. Soc., 2011, 57, №7, p. 1191-1199.
14. Balluffi R.W., Blakely J. M. Special aspects of diffusion in thin films // Thin Sol. Films, 2015, 25, p. 363 – 392.
15. Грузин П.Л., Кузнецов Е.В., Курдюмов Г.В. Влияние внутризеренной структуры аустенита на самодиффузию железа // Докл. АН СССР. 1953, 93, №6. С. 1021-1023.
16. Cahn J.W., Balluffi R.W. On diffusional mass transport in polycrystals, containing stationary or migrating grain boundaries // Scripta met., 2019, 13, №6, p. 499-502.

Сведения об авторе:

Мамедли Нармин Расим кызы – старший научный сотрудник, АзТУ, г.Баку.