

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ
И ПОРИСТОСТИ НА ПРОЦЕССЫ ДИФфуЗИИ В
ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЕ МЕДЬ-ТИТАН**

О.П. Гапонова, канд. техн. наук;

А.Ю. Журенко, студент,

Сумский государственный университет, г. Сумы

Розглянутий вплив параметрів деформації (температури та швидкості деформації) на процеси дифузії в порошковій системі мідь-титан з масовим вмістом титану 0,5%. Результати електронно-мікроскопічних досліджень показали, що дифузійна взаємодія значно інтенсифікується внаслідок збільшення температури та швидкості деформації. Оцінений вплив пористості на гомогенізацію порошкових матеріалів.

Ключові слова: деформація, підвищені температури, динамічне зменшення, порошкові пористі мідно-титанові матеріали, дифузія, дифузійна зона.

Рассмотрено влияние параметров деформации (температуры и скорости деформации) на процессы диффузии в порошковой системе медь-титан с массовым содержанием титана 0,5%. Результаты электронно-микроскопических исследований показали, что диффузионное взаимодействие значительно интенсифицируется вследствие увеличения температуры и скорости деформации. Оценено влияние пористости на гомогенизацию порошковых материалов.

Ключевые слова: деформация, повышенные температуры, динамическое разупрочнение, порошковые пористые медно-титановые материалы, диффузия, диффузионная зона.

Анализ процессов диффузии в порошковых материалах показал, что интенсивность диффузионных процессов в порошковых телах значительно выше, чем в литых. Авторы работ [1, 2] объясняют такое поведение высокой искаженностью решетки исходных порошков, дефектами, возникающими в процессе прессования. Однако физическая природа ускорения диффузионного потока в объектах, имеющих макроскопические дефекты (поры, границы зерен и др.), в настоящее время полностью не выяснена. Исследования процессов диффузии в порошковых материалах представляют научный интерес с точки зрения изучения влияния различных факторов на параметры диффузии. К числу факторов, воздействующих на диффузионные процессы, относят деформационные процессы и характер структуры (величина зерна, наличие пор) [3, 4].

Целью работы является оценка влияния параметров деформации (температуры и скорости деформации), а также пористости на диффузионное взаимодействие компонентов в порошковой системе медь-титан.

Экспериментальные исследования выполнены на образцах, изготовленных из механической смеси порошка меди ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) и порошка титана ВТ1-0 (ОСТ 1.90013-81). Массовая доля титана составляла 0,5%, пористость 5% и 10%. После двустороннего прессования образцы спекали по ступенчатому режиму в среде генераторного газа в течение 3 ч. Деформирование выполняли по схеме одноосного сжатия на испытательной машине ZD-4 в интервале температур 100-700°C. Скорость деформации составляла 0,01 и 0,001 с⁻¹, степень деформации – 50%.

Для изучения диффузионной зоны, формирующейся при спекании и в результате воздействия деформаций, структуру образцов изучали при помощи растрового электронного микроскопа РЭММА – 102, снабженного рентгеновским микроанализом, позволяющим определить химический состав диффузионной зоны на границе частиц Ti-Cu

С целью исключения влияния размерного фактора диффузионную зону исследовали вблизи частиц титана со средней величиной 20-22 мкм. В качестве меры неоднородности распределения элементов использовали коэффициент вариации концентрации:

$$V = \sqrt{\sigma^2(C)} / \bar{C} \quad (1)$$

где $\sigma^2(C)$ – дисперсия концентрации;

\bar{C} – средняя концентрация.

Погрешность измерения составила 20% при уровне значимости 0,1.

В процессе спекания на ранних стадиях порошковых пористых образцов диффузионное взаимодействие между частицами происходит в поверхностных слоях, когда создаются перемычки между частицами. Вследствие выдержки при температуре спекания диффузионное взаимодействие осуществляется посредством объемной диффузии, приводящей к формированию диффузионной зоны между компонентами порошкового пористого образца [5].

При спекании медно-титановых образцов при 900-920°C в течение 3 часов в результате поверхностной и объемной диффузии наблюдается образование диффузионной зоны, концентрация компонентов в которой различна и определяется пористостью образцов. При пористости 5 и 10% на границе частицы титана максимальная концентрация меди равна 52-58% и 49,7-53,98% и уменьшается по мере удаления к центру частицы второго компонента и составляет 21-29% (рис. 1). При большей исходной пористости количество диффундированной меди меньше. Очевидно, наличие фазы пор препятствует переносу диффундирующих атомов, т.к. перенос вещества через фазу пор меньше потока диффузии через то же сечение твердой фазы [6].

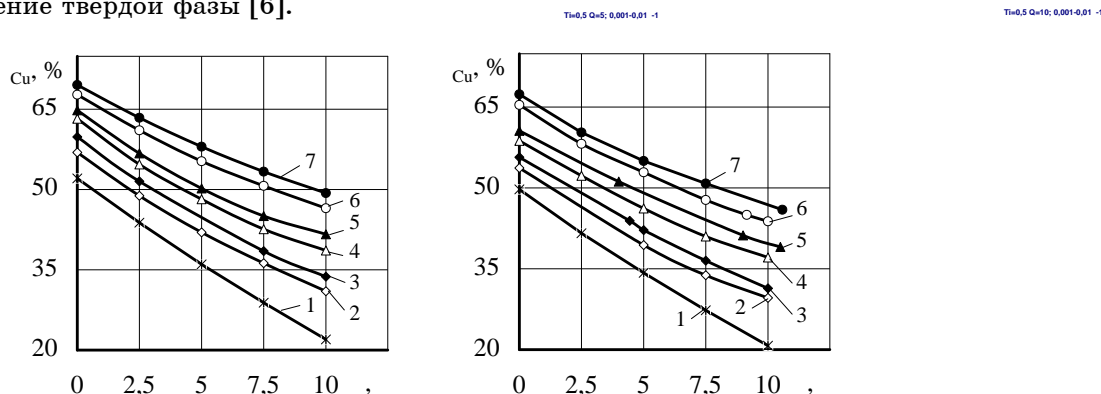


Рисунок 1 -- Количественное распределение меди в частице титана, $Ti=0,5\%$:
 а – $\theta_0=5\%$; б – $\theta_0=10\%$; - $\dot{\epsilon}=0,01 \text{ c}^{-1}$; - $\dot{\epsilon}=0,001 \text{ c}^{-1}$;
 1 – после спекания; 2, 3 – 100°C; 4, 5 – 400°C; 6, 7 – 600°C

Анализ концентрации титана и меди после спекания показывает, что титан в медь диффундируют в меньшей степени, о чем свидетельствует его низкое содержание в диффузионной зоне (рис. 2). Очевидно, что причиной преимущественной диффузии меди в титан является большая

величина парциального коэффициента диффузии меди и обуславливает ее диффузионную активность при спекании и последующей деформации.

ТН.05.04-10; 0.001-0.01 -1

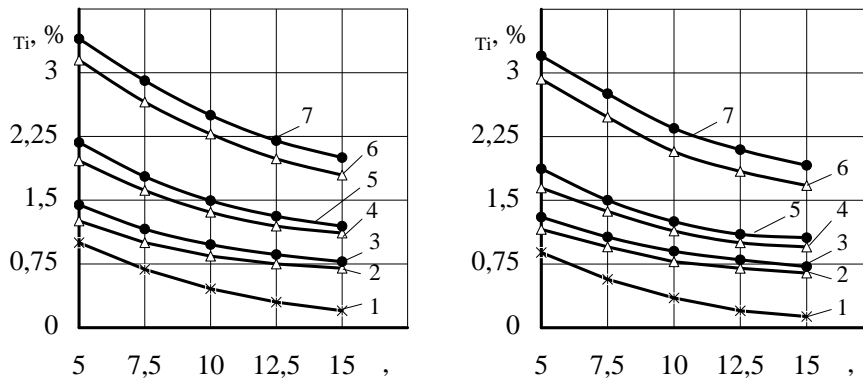


Рисунок 2 - Количественное распределение титана в меди $Ti=0,5\%$:
 $a - \theta_0=5\%$; $b - \theta_0=10\%$; $- \dot{\epsilon}=0,01 \text{ c}^{-1}$; $- \dot{\epsilon}=0,001 \text{ c}^{-1}$;
 1 - после спекания; 2, 3 - 100°C ; 4, 5 - 400°C ; 6, 7 - 600°C

Процессы, происходящие в процессе деформирования пористого тела при повышенных температурах, активируют перенос атомов за счет диспергирования структуры при деформации и образовании дефектов кристаллического строения [7]. Вследствие интенсификации диффузионного взаимодействия концентрация компонентов в диффузионной зоне увеличивается (рис. 1, 2).

В работе [4] показано, что процессы разупрочнения, происходящие в твердой фазе порошкового материала, оказывают влияние на диффузию компонентов. Температура начала диффузии (таммановская температура) имеет тесную связь с температурой плавления T , и для металлов она составляет примерно $(0,3-0,4)T$. В то же время температура начала рекристаллизации по А.А. Бочвару составляет $0,4T$. Некоторое соответствие температур начала интенсивной диффузии и рекристаллизации свидетельствует о взаимосвязи механизмов этих процессов, развивающихся в твердой фазе порошкового материала одновременно.

Исследования показали, что разупрочнение порошковых медно-титановых материалов при температуре 100°C осуществляется за счет возврата, при температурах выше 500°C - динамической рекристаллизации [8]. Очевидно, что механизм разупрочнения оказывает влияние на взаимную диффузию компонентов.

Согласно рис. 1 и 2 на границе частиц медь-титан с ростом температуры деформации до $100, 400, 600^\circ\text{C}$ концентрация меди и титана увеличивается независимо от пористости образцов и скорости деформации. Ускорение диффузионного взаимодействия объясняется повышением температуры и возникновением поля напряжений. Кроме того, на начальных стадиях динамического возврата образуется большое количество избыточных вакансий, которые могут приводить к активации переноса атомов компонентов [3].

Ускорение диффузионного взаимодействия компонентов при 600°C , так же, как и при 100 и 400°C , связано с активацией подвижности атомов. Ускоряющим фактором процесса диффузии при высоких температурах деформации служит динамическая рекристаллизация [4]. Интенсификация диффузии при рекристаллизации происходит на ее

начальных стадиях в связи с процессом перемещения и аннигиляции дислокаций и образованием при этом большого числа избыточных вакансий. Это приводит к увеличению концентрации компонентов в зоне диффузии.

Увеличение скорости деформации интенсифицирует процессы разупрочнения, а следовательно, и диффузионные процессы (рис. 1, 2). Увеличение температуры до 400-600°C и скорости деформации до 0,01 с⁻¹ приводит к формированию рекристаллизованных зерен в твердой фазе пористого тела за счет движения или миграции их границ в соответствии с диффузионными механизмами. Высокая скорость миграции границ зерен вызвана повышенной концентрацией вакансий на границах зародышей рекристаллизации, которая создается при поглощении дислокаций перемещающейся границей и приводит к ускорению граничной диффузии [2, 4]. Скорость миграции вакансий и перемещения границы зерна зависит от величины энергии активации, обусловленной температурой и скоростью деформации.

Заметное влияние на концентрацию меди и титана при деформации оказывает исходная пористость порошковых образцов (рис. 1, 2). Так же, как и при спекании, наличие фазы пор способствует уменьшению потока диффундирующих атомов за счет нарушения контактов между частицами порошкового пористого тела. В результате при пористости 10% величина концентрации диффундированной меди меньше, чем при $\theta_0=5\%$. Кроме того, необходимо особо отметить влияние пористости при деформации, осуществляемой в интервале повышенных температур. Ранее показано [9], что усадка в таких условиях сопровождается уменьшением порового пространства в порошковых образцах и тем интенсивнее, чем выше температура. В результате высокотемпературной деформации формируются дополнительные контактные поверхности между частицами гетерогенного материала. Таким образом, можно предположить, что интенсификация процессов диффузии в интервале повышенных температур является следствием не только активации диффузионного переноса атомов с ростом температуры, но и следствием уменьшения числа пор и увеличения протяженности контактных поверхностей.

ВЫВОДЫ

Исследования диффузии в порошковой пористой системе медь–титан показали, что в результате спекания на границах частиц меди и титана образуется диффузионная зона, причем медь преимущественно диффундирует в титан. Пластическая деформация способствует активации процессов диффузии. Увеличение концентрации компонентов в диффузионной зоне при повышении температуры деформации от 100°C до 400°C и 600°C является следствием увеличения потока атомов диффундирующего элемента за счет активации подвижности атомов и возникновения поля напряжений при деформации. Кроме того, эффект влияния повышения температуры деформации на диффузию проявляется в диспергировании структуры вследствие прохождения динамической рекристаллизации. Скорость деформации, оказывая влияние на кинетику динамической рекристаллизации, способствует увеличению концентрации меди и титана в диффузионной зоне.

Нами показано, что при спекании и деформации в интервале повышенных температур при пористости 10% величина концентраций диффундированных компонентов меньше, чем при $\theta_0=5\%$. Наличие фазы пор способствует уменьшению потока диффундирующих атомов за счет нарушения контактов между частицами порошкового пористого тела.

SUMMARY

ESTIMATION OF THE DIFFUSION PARAMETERS AT DEFORMATION AND POROSITY ON THE DIFFUSION PROCESSES OF IN THE POWDER SYSTEM COPPER-TITANIUM

*O.P. Gaponova, A.Y. Zhurenko,
Sumy State University, Sumy*

Influence of deformation parameter (temperatures and strain rate) on the diffusion processes is considered in the powder system copper-titanium with mass content of titanium 0,5%. The results of electron microscopic researches showed that diffusion interaction considerably intensified owing to increase the temperature and strain rate. Influence of porosity is estimated on homogenization of powder materials.

Key words: *deformation, elevated temperatures, dynamic softening, powder copper-titanium materials, diffusion, diffused zone*

1. Пумпянская Т.А. Диффузионное взаимодействие в системах Fe-Ni и Fe-NiO / Т.А. Пумпянская, Н.В. Крохина // Порошковая металлургия. – 1989. – №11. – С. 60-63.
2. Грабовецкая Г.П. Зернограничная диффузия никеля в субмикроструктурном молибдене, полученном интенсивной пластической деформацией / Г.П. Грабовецкая, И.П. Мишин, И.В. Раточка и др. // Письма в журнал технической физики. – 2008. – Т. 34, №4. – С. 1-7.
3. Бокштейн С.З. Диффузия в твердых телах / С.З. Бокштейн. – М.: Металлургия, 1966. – 196 с.
4. Рябичева Л.О. Оцінка параметрів дифузії при деформуванні порошкових пористих тіл / Л.О. Рябичева, О.П. Гапонова // Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки». – Луцьк, 2009. – №.25, Ч. 1. – С. 311-315.
5. He P. A New Model of Interfacial Physical Contact in Diffusion Bonding / P. He, J. Feng, Y. Qian // J. Mater. Sci. Technol. – 2004. – Vol. 20. – №1. – P. 109-112.
6. Анциферов В.Н. Влияние пористости на взаимную диффузию в порошковых материалах / В.Н. Анциферов, Е.Ю. Еремина, С.Н. Пещеренко, А.И. Рабинович, В.Д. Храпцов // Порошковая металлургия. – 1987. – №4. – С. 42-45.
7. Парицкая Л.Н. Диффузионные процессы в дисперсных системах. Обзор / Л.Н. Парицкая // Порошковая металлургия. – 1990. – №11. – С. 44-58.
8. Рябичева Л.А. Взаимосвязь параметров пластического деформирования и структурообразования в порошковых пористых телах /Л.А. Рябичева, О.П. Гапонова // Обработка материалов давлением: Сб. науч. тр. – Краматорск, 2009. – №1 (20). – С. 193-198.
9. Гапонова О.П. Влияние условий деформации на уплотнение порошковых медно-титановых материалов при повышенных температурах / О.П. Гапонова, Л.А. Рябичева // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки матеріалів у машинобудуванні. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – С.38-43.

Поступила в редакцию 14 октября 2010 г.