

УДК 621.762.4

Термомеханический режим штамповки деталей из порошкового медно - титанового материала

Рябичева Людмила Александровна^(*)

ryabic80@mail.ru

Бабич Ирина Николаевна

b.i.n.2017@mail.ru

Белозир Ирина Ивановна

i.belozir@gmail.com

Луганский государственный университет им. В. Даля, Луганск, Россия

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования напряжений и плотности при формоизменении порошковых заготовок в интервале повышенных температур при различных скоростях деформации. Установлено, что процессы динамического разупрочнения влияют на изменение напряжений и плотности. Учет динамического разупрочнения позволил разработать технологию изготовления порошковых деталей с использованием выдавливания при повышенных температурах.

Ключевые слова: температура, скорость деформации, плотность, микроструктура, порошковый материал, выдавливание

Thermomechanical mode of stamping parts from powdered copper - titanium material

Ryabicheva Lyudmila Aleksandrovna^(*)

ryabic80@mail.ru

Babich Irina Nikolaevna

b.i.n.2017@mail.ru

Belozir Irina Ivanovna

i.belozir@gmail.com

V. Dal Lugansk State University, Lugansk, Russia

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of stresses and density during the shaping of powder blanks in the range of elevated temperatures at various deformation rates. It has been established that the processes of dynamic softening affect the changes in stresses and density. The consideration of dynamic softening has made it possible to develop a technology for the production of powder parts using extrusion at elevated temperatures.

Keywords: temperature, deformation rate, density, microstructure, powder material, extrusion

Введение. Применение повышенных температур для формоизменения заготовок из порошковых материалов позволяет управлять структурными параметрами, что дает возможность получить изделия с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. При разработке технологии штамповки необходимо выбирать определенную температуру и скорость деформации, чтобы изготовить качественную деталь операциями обработки давлением.

Целью работы является экспериментальное исследование закономерностей изменения напряжений и плотности при формоизменении порошковых заготовок в интервале повышенных температур при различных скоростях деформации.

Материалы и методы. Образцы изготовлены из медного порошка ПМС-1 ГОСТ 4960-75 легированного титаном ВТ1-0 ОСТ 1.90013-81 с массовой долей титана 2 % пористостью 5 и 10 %. Спекание выполняли при температуре 900–920 °С в течение 3 часов в среде генераторного газа. Выполняли сжатие до степени деформации 60 % на испытательной машине ZD-4 при температурах 20, 100–700 °С с записью индикаторных диаграмм. Строили кривые упрочнения и кривые уплотнения. Микроструктуру исследовали на оптическом микроскопе «НЕОРНОТ 2». Строили кривые упрочнения и кривые уплотнения.

Результаты. На кривых упрочнения наблюдается рост напряжений с увеличением степени деформации при скоростях деформации $0,001, 0,01 \text{ с}^{-1}$. С повышением температуры деформации вследствие развития процессов динамического разупрочнения величина напряжений уменьшается (рис. 1). Исключение составляет изменение напряжений при температуре 400 °С происходят процессы динамического разупрочнения, что приводит к уменьшению напряжений. С увеличением скорости деформации интенсивность разупрочнения твердой фазы порошковой заготовки уменьшается вследствие роста плотности дислокаций при пластическом деформировании (рис. 1). Увеличение пористости исходных заготовок приводит к уменьшению напряжений вследствие геометрического разупрочнения [1].

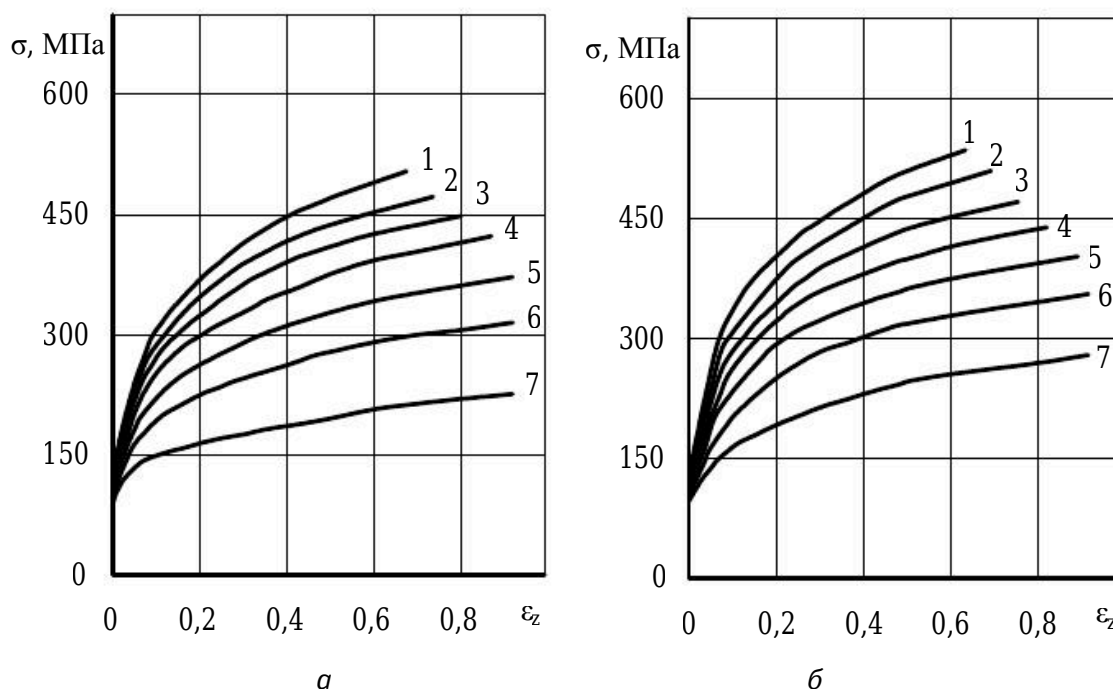


Рис. 1. Кривые упрочнения заготовок пористостью 10 %: а — $\dot{\epsilon} = 0,001 \text{ с}^{-1}$; б — $\dot{\epsilon} = 0,01 \text{ с}^{-1}$; 1 — 20 °С; 2 — 400 °С; 3 — 100 °С; 4 — 300 °С; 5 — 500 °С; 6 — 600 °С; 7 — 700 °С

На основании оценки энергии активации процессов динамического разупрочнения порошковых медно-титановых материалов установлено, что в температурном интервале 100–300 °С разупрочнение осуществляется за счет динамического возврата, а при температурах 500–700 °С за счет динамической рекристаллизации, которая приводит к наиболее интенсивному уменьшению напряжений течения [2].

С увеличением температуры деформирования повышается пластичность твердой фазы, за счет чего происходит активное уплотнение заготовки (рис. 2). При большей скорости деформации и одинаковой степени деформации достигается большая плотность, что согласуется с работой [3]. Интенсивность уплотнения увеличивается с ростом исходной пористости.

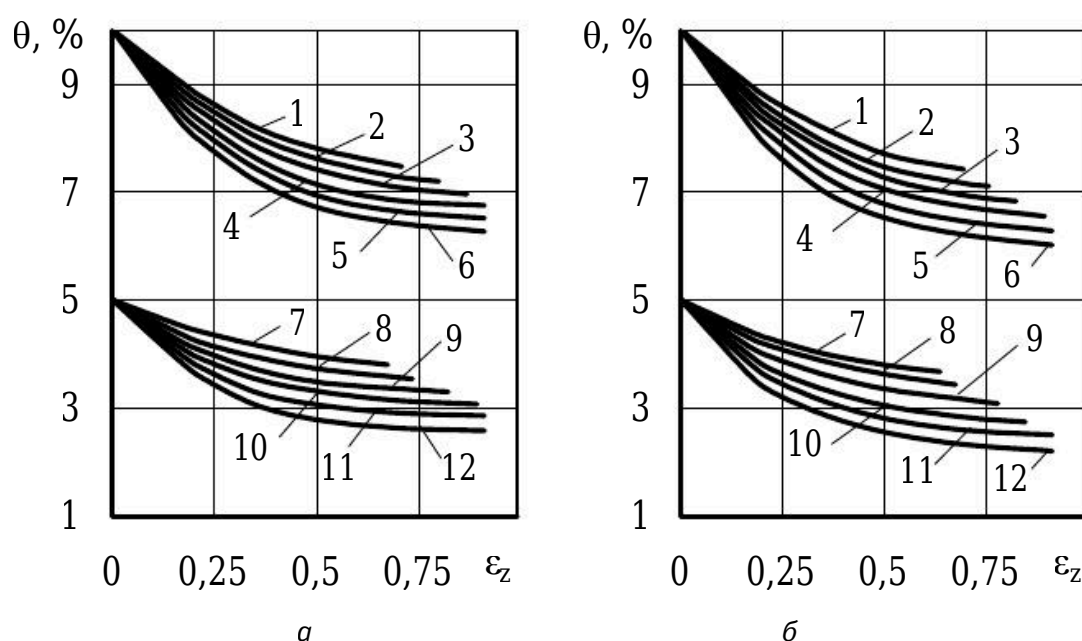


Рис. 2. Кривые уплотнения при скоростях деформации:
 $a - 0,001 \text{ c}^{-1}$; $b - 0,01 \text{ c}^{-1}$; 1, 7 – 400 °С; 2, 8 – 100 °С; 3, 9 – 300 °С;
 4, 10 – 500 °С; 5, 11 – 600 °С; 6, 12 – 700 °С

Изменение механизма разупрочнения твердой фазы, созданного пластическим деформированием, приводит к изменению микроструктуры. При температуре 100 °С с ростом степени деформации заготовки наблюдается монотонное уменьшение среднестатистического размера зерен меди, что является следствием большей скорости деформации при сжатии порошкового материала.

С повышением температуры деформации до 600 °С прослеживается наиболее резкое уменьшение размера зерна меди. По сравнению с диаметром зерна после спекания, которое составляло 16–18 мкм, при малых степенях деформации, порядка 0,026–0,03, и температуре 600 °С наблюдается рост зерна до 21 мкм, очевидно, вследствие образования малого числа зародышей рекристаллизации [1]. С дальнейшим повышением степени деформации число зародышей возрастает, что приводит к формированию мелкозернистой

структуры с размером зерна до 5,4 мкм. Увеличение скорости деформации обеспечивает увеличение числа внутризеренных сдвигов и дефектов кристаллического строения, и, как следствие, формирование более мелкого зерна.

Динамические процессы разупрочнения, развивающиеся при повышенных температурах деформирования в твердой фазе, оказывают влияние на структурообразование, что определяет комплекс физико-механических свойств готовых изделий. При низких температурах деформирования (100 °С) динамический возврат несколько снижает напряжения течения, что благоприятно сказывается на уплотнении пористой заготовки. При более высоких температурах деформирования (600 °С) процессы динамической рекристаллизации приводят к повышению пластичности твердой фазы и формируют новое мелкое зерно, обеспечивающее необходимый комплекс механических свойств.

Изучение уплотнения, пластического течения и особенностей формирования структуры в процессе сжатия пористых заготовок в зависимости от температуры, степени и скорости деформации позволили определить наиболее рациональные режимы штамповки. Разработана технология изготовления детали «втулка с буртом» из порошкового медно-титанового материала. Технология включает следующие операции: холодное прессование заготовки пористостью 15 %, спекание и штамповку в два этапа: на первом этапе деформация сжатием осуществляется при температуре 100 °С до относительной плотности 0,97–0,98; на втором этапе — выдавливание тела втулки при температуре 600 °С. Схема штамповки с выдавливанием является наиболее рациональной, поскольку повышению пластичности материала способствует схема напряженно-деформированного состояния близкая к всестороннему сжатию [1].

Микроструктура порошкового материала после штамповки при 100 °С характеризуется меньшей величиной зерна меди по сравнению с его размером после спекания и составляет 10 мкм. Уменьшение величины зерна меди является следствием сдвиговых деформаций, приводящих к дроблению исходных зерен. Твердость заготовок после выдавливания составила НВ 86–90. Мелкозернистая структура изделия после выдавливания при 600 °С формируется по всему объему выходного участка детали и характеризуется величиной зерна меди 4–5 мкм, которое образовалось в результате динамической рекристаллизации.

Определение силовых параметров штамповки при 600 °С выполняли по методике А.М. Дмитриева и А.Л. Воронцова [4, 5] с учетом напряжения течения при заданных температурно-скоростных условиях. Расчетная сила выдавливания составила 135 МПа, что соответствует экспериментальным данным с относительной погрешностью 9 %.

Для определения физических, механических и эксплуатационных свойств полученных деталей применяли стандартные методики. Плотность и твердость определяли на деталях, а остальные свойства на контрольных образцах, изготовленных из того же материала при одинаковых условиях прессования, спе-

кания и штамповки. Антифрикционные свойства определяли согласно ГОСТ 23.208-86 при скорости скольжения 1,1 м/с и удельной нагрузке 2,25 МПа. Плотность составила 8730 кг/м³, предел прочности 320–350 МПа, твердость 120–150 НВ, интенсивность изнашивания $1,65 \cdot 10^{-14}$ мкм/км, коэффициент трения 0,073. Полученные детали характеризуются равноплотностью, различие плотности выходной и фланцевой части детали не превышает 1 %. Материал детали имеет высокие прочностные и антифрикционные свойства.

Заключение. Установлено, что с повышением температуры деформирования величина напряжений уменьшается, что свидетельствует о развитии процессов динамического разупрочнения, интенсивность которого уменьшается с увеличением скорости деформации. Пористость, как один из основных структурных параметров порошкового материала, приводит к уменьшению напряжений течения. С увеличением температуры деформирования повышается пластичность твердой фазы, что обеспечивает более активное уплотнение пористой заготовки. Интенсивность уплотнения увеличивается с ростом скорости деформации и исходной пористости.

Пластическая деформация при повышенных температурах приводит к изменению микроструктуры. При температуре динамического возврата 100 °С с ростом степени деформации наблюдается монотонное уменьшение среднестатистического размера зерен меди, вследствие деформации твердой фазы. С повышением температуры деформации до 600 °С в результате разупрочнения твердой фазы за счет динамической рекристаллизации наблюдается формирование мелкозернистой структуры с размером зерна до 5,4 мкм. Увеличение скорости деформации обеспечивает формирование более мелкого зерна.

Применение штамповки в два этапа позволило получить изделия высокого качества с мелкозернистой структурой, обеспечивающей необходимые физико-механические свойства порошкового материала и эксплуатационные характеристики готовых изделий.

Список источников

- [1] Драчинский А.С., Куцевский А.Е., Подрезов Ю.Н., Фирстов С.А. Деформационное упрочнение и разрушение порошкового железа. *Порошковая металлургия*, 1984, № 10, с. 78–83.
- [2] Рябичева Л.А., Гапонова О.П. Взаимосвязь параметров пластического деформирования и структурообразования в порошковых пористых телах. *Обработка материалов давлением*, 2009, № 1 (20), с. 193–198.
- [3] Ryabicheva L., Kravtsova Yu. The strain rate effect on material parameters of porous billets during forging. Powder metallurgy word congress and exhibition, 2004, vol. 5, pp. 1158–1162.
- [4] Дмитриев А.М., Воронцов А.Л. Физические закономерности и определение силовых параметров выдавливания полых цилиндрических изделий. *Кузнечно-штамповочное производство*, 2004, № 6, с. 3–8.
- [5] Дмитриев А.М., Воронцов А.Л. Физические закономерности и определение силовых параметров выдавливания полых цилиндрических изделий (продолжение). *Кузнечно-штамповочное производство*, 2004, № 7, с. 3–10.