

Изменение микротвердости и микроструктуры меди М1 при радиально-сдвиговой прокатке

Валеев И.Ш., Валеева А.Х.

valeevs@mail.ru

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, ул. Халтурина 39, 450001 г. Уфа

On the microhardness and microstructure of copper Cu99.99% at radial-shear rolling

I.Sh. Valeev, A.Kh. Valeeva

Institute for Metals Superplasticity Problems RAS, Khalturin St. 39, 450001 Ufa

Исследовано влияние радиально-сдвиговой прокатки (РСП) на микроструктуру и микротвердость меди М1. Прутки из меди М1 (Cu 99,99%) деформировали на стане РСП «10-30» с исходного диаметра прутка 17 мм до диаметра 13 мм за 4 перехода при температурах 20, 100, 200, 300 и 400°C. Показано, что после РСП в поперечном сечении образцов формируются радиально расположенные слои, имеющие различную микроструктуру и микротвердость.

Ключевые слова: радиально-сдвиговая прокатка (РСП), микроструктура, микротвердость.

The effect of radial-shear rolling deformation on the microhardness and microstructure of copper Cu 99.99% was investigated. Cu rods were deformed on a rolling mill RSP "10-30". Initial rod diameter 17 mm was reduced to 13 mm during 4 rolling passes at temperatures of 20, 100, 200, 300 and 400°C. It is shown that radial shear rolling results in formation of radially arranged layers with different microstructure and microhardness in the cross-section of the sample.

Keywords: radial-shear rolling (RSR), microhardness, microstructure.

1. Введение

Методы интенсивной пластической деформации (ИПД) в последние годы широко используются для создания беспористых наноструктур без химических загрязнений. Они могут быть использованы практически для любых металлов или сплавов, в том числе труднодеформируемых. Наиболее разработанными методами ИПД являются кручение под высоким квазигидростатическим давлением (КГД), равноканальное угловое прессование (РКУП) и всесторонняя изотермическая ковка [1, 2].

Одним из новых способов ИПД, позволяющих эффективно формировать мелкозернистую структуру, является радиально-сдвиговая прокатка (РСП) [1]. Особенностью процесса является схема напряженно-деформированного состояния, позволяющая формировать мелкозернистую структуру в поверхностном слое деформируемой заготовки [2], кроме того, РСП является единственным на сегодняшний день способом получения проката с формой поперечного сечения, максимально приближенной к круглому профилю.

В данной работе исследовано влияние режимов радиально-сдвиговой прокатки на микротвердость и микроструктуру меди марки М1.

2. Материалы и методики

Прутки из меди М1 (Cu 99,99%) в состоянии поставки подвергали гомогенизационному отжигу при температуре 500°C в течение 6 часов.

Деформацию осуществляли на стане радиально-сдвиговой прокатки «10-30» с исходного диаметра прутка 17 мм до диаметра 13 мм за 4 перехода при температурах 20, 100, 200, 300 и 400°C.

Таблица 1.

Коэффициенты вытяжки.

T, °C	K _в по переходам			
	1	2	3	4
20	1,044	1,223	1,516	1,625
100		1,405	1,498	1,542
200		1,199	1,415	1,564
300	1,049	1,118	1,483	1,607
400	1,018	1,251	1,646	1,707



Рис. 1. Образцы меди марки М1 после РСП при различных температурах

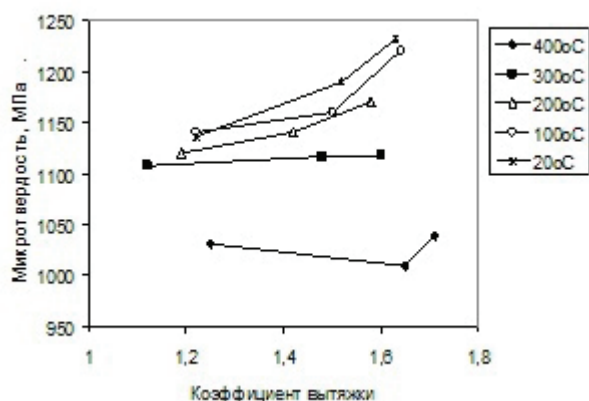


Рис. 2. Микротвердость образцов меди М1 после РСП в поверхностном слое образца.

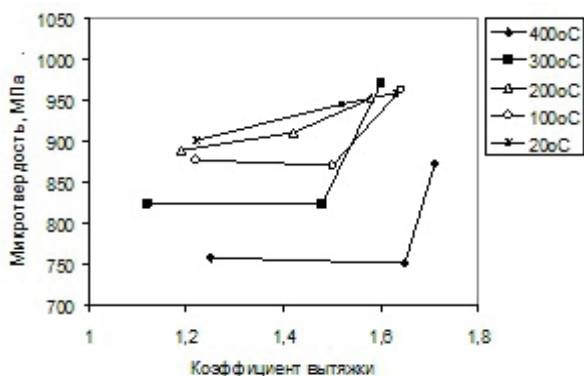


Рис. 3. Микротвердость образцов меди М1 после РСП в центральной части образца.

Коэффициент вытяжки (K_v) рассчитывали по формуле:

$$K_v = (D/d)^2,$$

где D – диаметр прутка до деформации, d – после деформации. Коэффициенты вытяжки для каждого перехода при различных температурах РСП указаны в таблице 1.

Измерение микротвердости по сечению прутков проводили с помощью микротвердомера МНТ-10.

Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа «Axiovert100A» и программы обработки изображения KSLite 300.

2. Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показаны прутки и их поперечные сечения, вырезанные из длинномерной заготовки после прокатки.

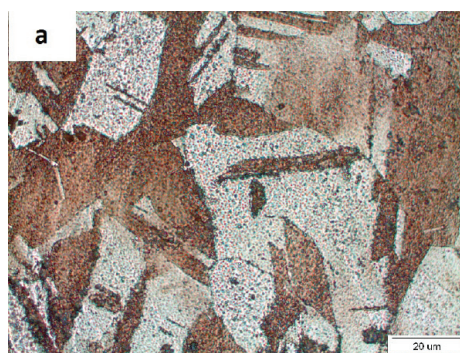


Рис. 4. Микроструктура меди М1 после РСП: а) при комнатной температуре в центральной части; б) при комнатной температуре в поверхностном слое; в) при температуре 400°C в центральной части; г) при температуре 400°C в поверхностном слое.

Микротвердость образцов после гомогенизационного отжига составила 648 МПа.

С увеличением коэффициента вытяжки при температурах 20, 100 и 200°C наблюдается повышение микротвердости в поверхностном слое (рис.2). При температурах 300°C и 400°C такого повышения не наблюдается, что связано с прохождением процессов динамической и статической рекристаллизации.

В центральной части заготовки наблюдается аналогичная картина (рис.3), однако значения микротвердости ниже соответствующих значений, полученных для поверхностного слоя.

При этом при максимальном значении коэффициента вытяжки микротвердость в центральной части образца в интервале температур 20 – 300°C становится одинаковой и составляет около 1000МПа.

Различия в значениях микротвердости поверхностного слоя и центральной части заготовки можно объяснить большей локализацией деформации в поверхностном слое.

На рис.4 приведена микроструктура меди М1 после радиально-сдвиговой прокатки. При температуре 20°C ($K_b = 1.6$) в центральной части образец имеет исходную структуру (рис. 4а). В поверхностном слое заготовки (рис.4б) наблюдается мелкозернистая структура с размером зерна ~1-2 мкм. При температуре 400°C в образце (рис.4в) в результате динамической рекристаллизации также происходит измельчение зеренной структуры, причем в поверхностном слое – в более значительной степени (рис.4г) ($K_b = 1.7$). Кроме того, при этой температуре в микроструктуре, как центральной части, так и поверхностного слоя, наблюдаются двойники отжига. Большой размер зерна (~10 мкм) и наличие двойников отжига объясняются прохождением статической рекристаллизации после деформации [3].

3.Заключение

Таким образом показано, что радиально-сдвиговая прокатка позволяет измельчить зеренную структуру в поверхностном слое заготовки из меди М1 и приводит к формированию в поперечном сечении цилиндрической заготовки радиально расположенных слоев с различными значениями микротвердости.

Работа выполнена при поддержке программы ОЭМ-МПУ РАН №12 «Многоуровневое исследование свойств и поведения перспективных материалов для современных узлов трения».

Литература

1. Galkin S.P., Mikhailov V.K., Romanenko V.P. et al. *Proizvodstvo prokata*. 7, 23 (2001). (in Russian). [Галкин С.П., Михайлов В.К., Романенко В.П. и др. *Производство проката*. 7, 23 (2001)].
2. Bogoyavlenskiy K.N., Zholobov V.V., Landihov A.D., Postnikov N.N./ *The treatment of non-ferrous metals and alloys*, М- Metallurgiya, 1973.- 471 p. (in Russian) [Богоявленский К.Н., Жолобов В.В., Ландихов А.Д., Постников Н.Н. *Обработка цветных металлов и сплавов*. М. Металлургия, 1973. - 471 с.]
3. Gorelik S.S. *Rekristallizatsiya metallov i splavov* (Recrystallization of Metals and Alloys, translated from Russian), Moscow: Metallurgiya, 1978. 568 p.