

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ИНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧЕКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

## STUDY OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION WAY TO CONTROL STRUCTURE AND PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS

М.Ю. Семашко, П.А. Чигинцев, В.Г. Шеркунов, Е.В. Экк, Н.Т. Карева  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский Государственный Университет» (НИУ), г. Челябинск, пр. Ленина 86

### Abstract

*During the experiment proved that the method of pattern formation of the metal plastic can significantly alter the initial microstructure of the material, which in turn has a positive influence on the physico-mechanical properties. This method has a number of advantages over other methods of implementation of the SPD, such as the cyclical nature of the process and the ability to heal blemishes, and high values of accumulated strain in one cycle. All this suggests the high efficiency of the scheme and its prospects in the preparation of metal with special properties, including the defense and aerospace industries.*

Способ реализации интенсивной пластической деформации (ИПД), разработанный на кафедре машин и технологий обработки материалов давлением ЮУрГУ заключается в комбинации известных методов обработки металлов давлением, как то осадка, выдавливание, высадка и прошивка, осуществляемые в одной прессформе, и направлен на изменение микроструктуры материала с помощью циклического деформирования заготовки [1, 2].

Проведение натурного эксперимента является важнейшим этапом проведения научных исследований, по результатам которых можно судить не только об эффективности процесса, но и верности предположений и выводов, сделанных в процессе теоретической работы.

В качестве заготовки для эксперимента использовался прутки из меди марки М1 длиной 102 мм и диаметром 33,3 мм, предварительно отожженный при температуре 800°C в течении 30 минут с последующим охлаждением в воде [3]. Эксперимент проводился после предварительного нагрева оснастки вместе с заготовкой: температура образца, измеряемая на его верхнем торце, в начале эксперимента составляла 90°C.

При первом цикле деформирования использовался составной пуансон общей длиной 74 мм. Усилие деформирования в прямом направлении было равно 113 тс. Усилие при обратном процессе было практически постоянным и составляло около 125 тс.

Перед вторым циклом деформирования температура измерялась не на заготовке, а на «рабочем» пуансоне, и была равна 90°C. Это связано с тем, что в эксперименте применялся

составной пуансон. Прямой ход второго цикла осуществлялся другим набором пуансонов общей длиной 92,8 мм. По окончании прямого хода усилие деформирования составило 125 тс. На обратном ходу, при приложении усилия к матрице, его максимальное значение равнялось 117 тс.

Третий цикл происходил при температуре заготовки, аналогичной началу предыдущего прямого хода обработки – при 90°C. При этом использовался тот же набор пуансонов общей длиной 92,8 мм. Усилие прямого хода составило 120 тс. На обратном ходу произошло значительное повышение усилия прессования, что, видимо, связано с появлением большого количества заусенца, так как в конце обратного хода произошло резкое падение усилия, вызванное (по мнению автора) «срывом» металла, попавшего в зазоры оснастки. При этом усилие составило 138 тс.

Четвертый цикл деформирования проводился аналогичным набором пуансонов при начальной температуре 100°C. Усилие, затраченное на выдавливание заготовки в прямом направлении 113 тс, на обратном ходу - 133 тс.

Пятый цикл осуществлялся при температуре заготовки 75°C тем же набором пуансонов. При этом усилия возросли до 117 тс. На обратном ходу усилия составили 133 тс при конечной температуре заготовки в 80°C.

После завершения эксперимента оснастка вместе с заготовкой была охлаждена на воздухе, а затем разобрана. Заготовка после обработки представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Заготовка после 5 циклов обработки



Рис. 2 – Деформированная заготовка, разрезанная на образцы

Для анализа микроструктуры было изготовлено 7 образцов: три поперечных и два продольных из деформированной заготовки (рис. 2) и по одному поперечному из меди в состоянии поставки и после отжига, описанного выше.

Рисунок 3 соответствует образцу, изготовленному из меди в состоянии поставки (до отжига). Из рисунка видно, что микроструктура материала характеризуется крупным зерном с размером до 475 мкм. При этом большая часть зерен имеет размеры в диапазоне от 120 до 230 мкм. Минимальный же размер зерна на участке микрошлифа равен 68,5 мкм. Также можно говорить об относительном равенстве размеров зерен по длине и ширине.

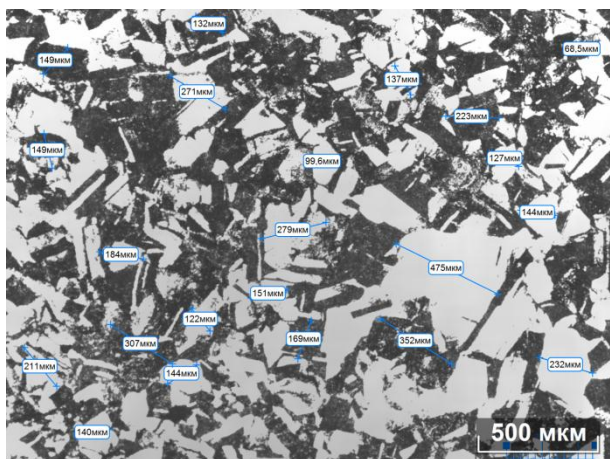


Рис. 3 – Микроструктура меди в состоянии поставки

Образец № 3, изображенный на рис. 6 – 8, изготовлен из нижней части заготовки после 5 циклов деформирования. Рис. 6 иллюстрирует изменение размеров зерен в меньшую сторону после деформирования. Внутри больших зерен и по их границам расположено множество субзерен или зародышей новых зерен, появившихся позднее. На рисунке 7 зародыши новых зерен и субзерна внутри больших зерен и на их границах также указаны

При аналогичном увеличении микроструктура заготовки после отжига показана на рис. 4. Из рисунка видно, что произошло значительное измельчение зерен металла. Этот факт подтверждается рис. 5, который отвечает тому же недеформированному образцу после отжига в течение получаса при температуре 800°C. Из рис. 5 видно, что после термической обработки подавляющая часть зерен находится в интервале размеров от 25 до 100 мкм. Кроме этого структура стала более однородной, о чем говорит меньшая разница между наибольшими и наименьшими зернами. При этом по длине и ширине остались примерно равными в плоскости микрошлифа.

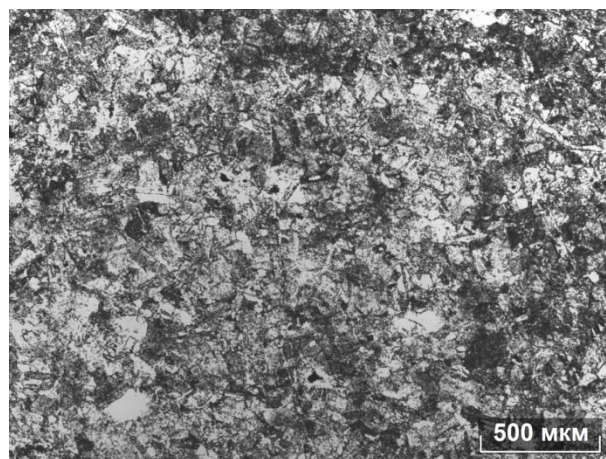


Рис. 4 – Микроструктура меди после отжига при температуре 800°C в течение 30 минут

стрелками. Из рисунка видно, что новые кристаллические образования расположены не только вблизи границ больших зерен, но и по всему объему последних, что дает возможность говорить о зародышах новых зерен (рис. 8).

На рис. 9 изображен образец № 4, вырезанный из средней части деформированной заготовки. На фотографии видно несколько зерен с

размером от 65 до 78 мкм с большим количеством

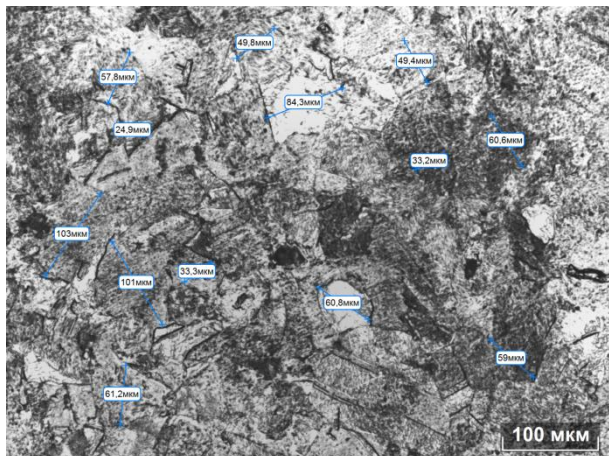


Рис. 5 – Размеры зерен в микроструктуре меди после отжига

зубзерен величиной 6 – 20 мкм,

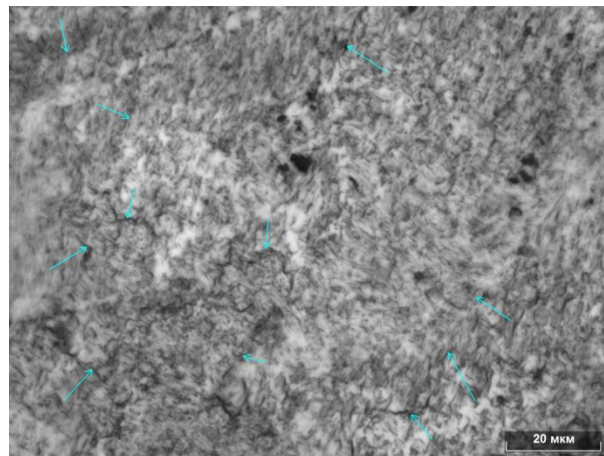


Рис. 6 – Границы зерен в образце № 3 после деформирования

образовавшихся по их границам. Кроме этого, аналогично образцу № 3, внутри больших зерен присутствуют новые зародыши зерен.

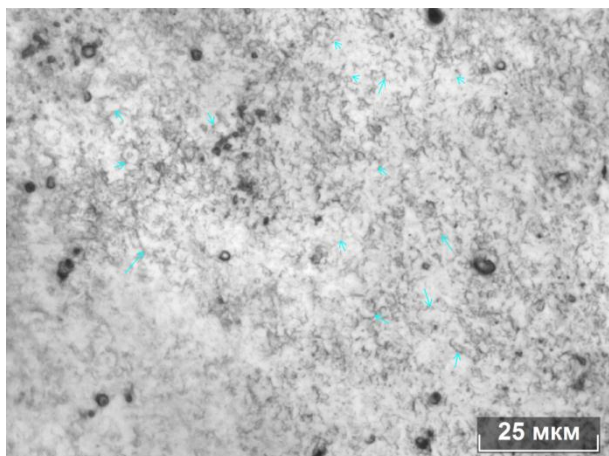


Рис. 7–Субзерна и зародыши новых зерен в образце №3

Микроструктура нижней части заготовки незначительно отличается от средней. Различия выражаются в том, что в образце № 3 (нижняя часть заготовки) немного мельче размеры больших зерен (их разница составляет порядка 20%), а также неодинаковы величины субзерен (1-10 мкм внизу против 6-20 мкм в середине). Также нужно сказать о меньшей плотности зародышей новых зерен внутри больших, а также субзерен по их границам (показаны стрелками) в середине деформированного образца (рисунок 10). Это

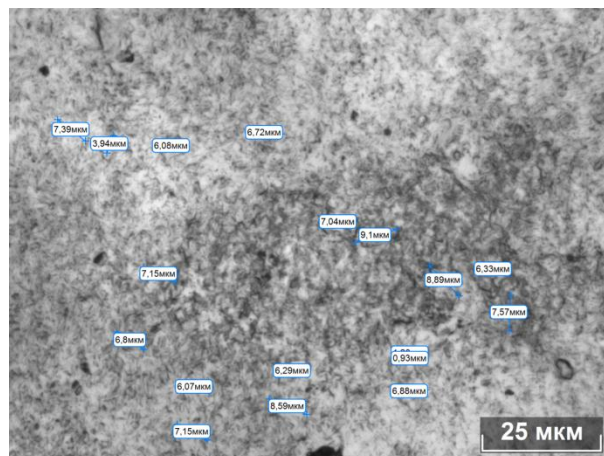


Рис. 8 – Размеры субзерен и зародышей новых зерен в образце №3

связано с тем, что в процессе деформирования наиболее активное течение металла происходило именно в нижней части заготовки, что нашло отражение в микроструктуре материала.

Образец № 5, микроструктура которого представлена на рис. 11, также вырезан из деформированной заготовки, но в продольном направлении. Он иллюстрирует микроструктуру металла в осевом сечении верхней части заготовки. Видно, что зерна металла имеют значительно вытянутую форму в



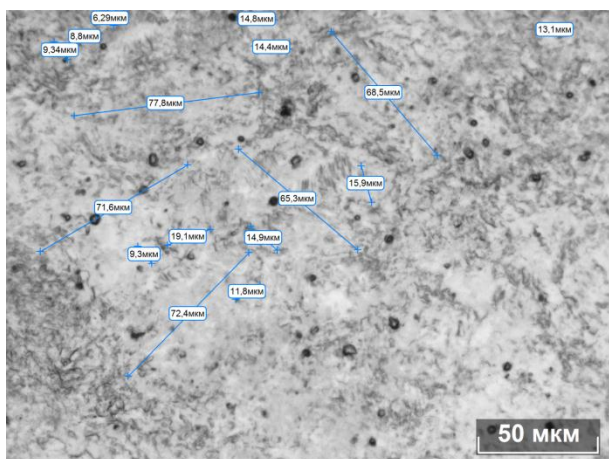


Рис. 9 – Размеры зерен и субзерен в образце № 4

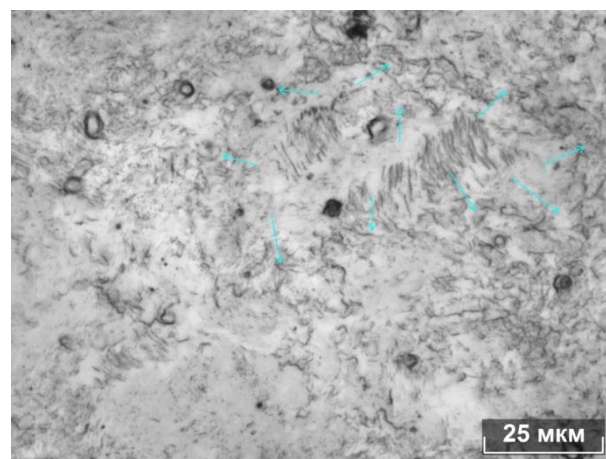


Рис. 10 – Микроструктура меди в образце № 4

продольном направлении: размер зерен в длину (по оси) превышает их размер в ширину (поперек оси) примерно в 5 раз. При этом поперечный размер большей части зерен составляет менее 10 мкм.

На образце № 5, кроме всего прочего, присутствует дефект, вызванный деформированием заготовки. Он представляет собой раковину на оси заготовки (см. рис. 2). На рис. 12 раковина находится в нижнем правом углу. Микроструктура

материала аналогична представленной на рисунке 13: зерна значительно вытянутые в осевом направлении с малыми поперечными размерами. Наличие этого дефекта говорит о том, что при протекании процесса происходит активное течение материала заготовки, а также «залечивание» дефектов. Однако на данном этапе не удалось обеспечить достаточное противодавление, что привело к возникновению подобных раковин.

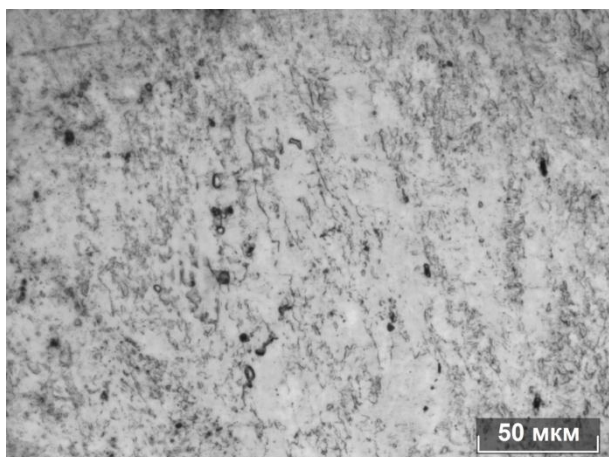


Рис. 11 – Микроструктура в образце № 5

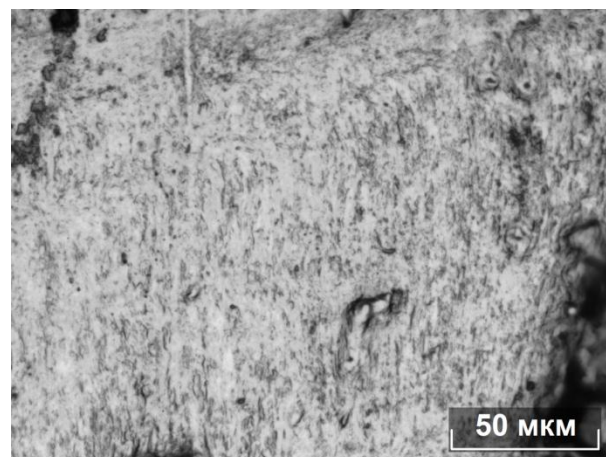


Рис.12 – Микроструктура образца № 5 около дефекта

На рис. 13 представлена микроструктура в образце № 6, вырезанного продольно оси заготовки из нижней ее части. Аналогично образцу № 5, отвечающего верхней части заготовки в продольном сечении, зерна имеют вытянутую вдоль оси заготовки же форму со значительным превышением длины над шириной: поперечные размеры зерен составляют около 30 мкм при длине, превышающей 80 мкм и достигающей до 114 мкм. Такое вытягивание зерен происходит в результате воздействия на материал значительных пластических деформаций, связанных с течением металла в осевом направлении.

Измерение твердости показало значительной ее рост. В отожженном образце № 2 твердость

составила НВ 57, а в образце № 4 (вырезанный из середины деформированной заготовки) НВ 90.

Таким образом, в ходе эксперимента было доказано, что способ пластического структурообразования металла позволяет значительно изменять микроструктуру исходного материала, что, в свою очередь, влияет на физико-механические свойства. При этом способ имеет ряд

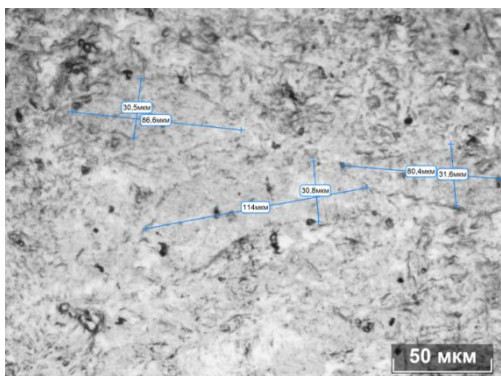


Рис.13 – Микроструктура меди в образце № 6

преимуществ перед другими методами реализации ИПД, как то непрерывность процесса и возможность залечивания дефектов, а также высокие значения накопленных деформаций за один цикл. Все это позволяет говорить о высокой эффективности данной схемы и ее перспективности

при получении металлов со специальными свойствами, в том числе для оборонной и аэрокосмической промышленности.

#### Список литературы:

1. Патент RU № 2424076. Способ пластического структурообразования металлов и устройство для его осуществления/ Семашко М.Ю., Трусовский В.И., Шеркунов В.Г. Заявл. 16.12.2009 г.
2. Экспериментальное исследование способа пластического структурообразования металлов / Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г., Эрк Е.В. и др.// Челябинск: Вестник ЮУрГУ, 2010, выпуск 34, стр. 62-67.
3. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов/ СПб: ХИМИЗДАТ, 2007.- 784 с.