

**ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДИ
ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОВКИ**

¹Царенко Ю.В., ¹Рубаник В.В., ¹Бобров В.П., ²Назаров А.А., ²Самигуллина А.А.

¹Институт технической акустики НАН Беларуси

г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

г. Уфа, Россия, E-mail: AANazarov@imsp.ru

Знакопеременные напряжения, создаваемые в материале под воздействием ультразвуковых колебаний, оказывают значительное влияние на дефектную структуру материалов. При высоких амплитудах ультразвуковое воздействие приводит к размножению дислокаций и упрочнению материала, что используется при ультразвуковом поверхностном упрочнении [1,2]. При амплитудах напряжений, существенно меньших статического предела текучести материала, ультразвук повышает подвижность существующих дислокаций и способствует релаксации структуры материала и внутренних напряжений [3,4].

Воздействие ультразвуком высокой мощности или его сочетанием с квазистатической деформацией можно рассматривать как один из возможных деформационных методов измельчения зерен в металлах. В частности, наложение ультразвука при осадке (ковке) позволяет существенно изменить механику деформации за счет уменьшения роли трения бойков с поверхностью образца. В работе [5] впервые исследовано изменение субструктуры меди при ультразвуковой ковке. Показано, что на острие концентратора из меди при ковке формируется субзеренная структура с размером субзерен 100-300 нм.

Нами создана оснастка для ультразвуковойковки, позволяющая осуществлять ковку попеременно вдоль различных осей, как это делается при деформационном наноструктурировании методом всесторонней изотермическойковки.

Схема, позволяющая реализовать ультразвуковую обработку медных образцов, показана на рисунке 1. Работа данного устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемый образец 4 помещают между торцевыми поверхностями волновода 3 и полуволнового отражателя 5, для чего преобразователь 1 выполнен подвижным относительно отражателя 5 и поджим осуществляется пружиной. Под действием ультразвуковых колебаний, а также дополнительного статического нагружения образца происходит ультразвуковая обработка.

Для ультразвуковой многократной всестороннейковки были использованы образцы меди М1. Эти образцы были подвергнуты всесторонней ковке с помощью ультразвуковой установки, включающей ультразвуковой генератор УЗГ2-4М, магнитострикционный излучатель ПМС-15А-18. Амплитуда смещений на торце концентратора составляла 20 мкм. В каждом цикле образец деформировался осадкой примерно на 30% попеременно вдоль всех трех осей, таких циклов было осуществлено три. Образцы меди марки М1 были изготовлены в виде куба со стороной 6х6х6 мм. При осадке вдоль каждой оси степени деформации составила $\epsilon=0,3$, образцы были откованы тремя циклами осадки вдоль всех трех осей, так что суммарная накопленная деформация составила примерно $\epsilon=2,7$.

Использование ультразвуковых колебаний при деформировании металлов и сплавов позволяет значительно изменить характер пластического течения металла, снизить усилие деформирования и сил контактного трения между металлом и концентратором-волноводом колебательной системы. Деформирование осаживанием с наложением ультразвуковых колебаний в пучности смещений происходило при нулевой статической нагрузке с периодическим отрывом торца концентратора от образца.

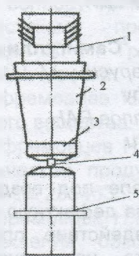


Рисунок 1 – Схема ультразвуковойковки образцов меди

Установлено, что при ультразвуковойковке образцов меди пластическая деформация сосредоточена вблизи поверхностей, соприкасающихся с бойками, причем сочетание ультразвуковойковки со статической нагрузкой способствует более однородному распределению деформации. Показано, что при ультразвуковойковке происходит измельчение зерен меди, в структуре наблюдаются зерна и субзерна с хорошо сформированными границами, имеющие размеры менее 500 нм.

Микротвердость образцов составляла около 1300-1350 МПа. Для сравнения, микротвердость меди М1, подвергнутой РКУП в 8 проходов при температуре 200°С, составляет 1200 МПа, а после 12 проходов РКУП с противодавлением при комнатной температуре – около 1500 МПа. Таким образом, предварительные исследования позволяют предположить, что ультразвуковаяковка может приводить к существенному измельчению зерен сопоставимому как при РКУП.

Видно, что после ультразвуковойковки (рис.2) имеются зерна и субзерна с хорошо сформированными границами, имеющие размеры 400-500 нм, встречаются также еще не сформированные, размытые дислокационные стенки ячеек. Тонкая структура меди, наблюдаемая после одноосной ультразвуковой осадки, главным образом состоит из ячеек. В отличие от этой структуры, в подвергнутой всесторонней ультразвуковойковке меди наблюдается значительно большее количество хорошо сформированных границ зерен.

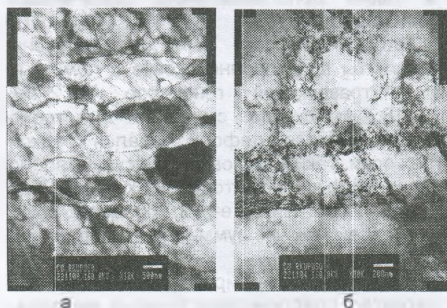


Рисунок 2 – Тонкая структура образцов меди, подвергнутой всесторонней ультразвуковойковке: хорошо сформированные границы зерен/субзерен (а) и размытые границы ячеек (б)

Микроструктура медных образцов послековки неоднородная, состоит из фрагментов исходных зерен, разделенных широкими дислокационными стенками, наблюдаются также скопления дислокаций.

С увеличением степени деформации при ультразвуковойковке наблюдается повышение микротвердости в поверхностном слое образца по сравнению с центральной частью заготовки. При этом, при максимальном значении деформации микротвердость в центральной части образца меди составляет около 1000 МПа. Различия в значениях микротвердости поверхностного слоя и центральной части

заготовки можно объяснить большей локализацией деформации в поверхностном слое.

Результаты рентгеноструктурных исследований образцов меди после различных условий деформации (рис.3), что для образцов меди после прокатки характерна сильно выраженная текстура деформации, а для образцов после ультразвуковойковки она практически отсутствует.

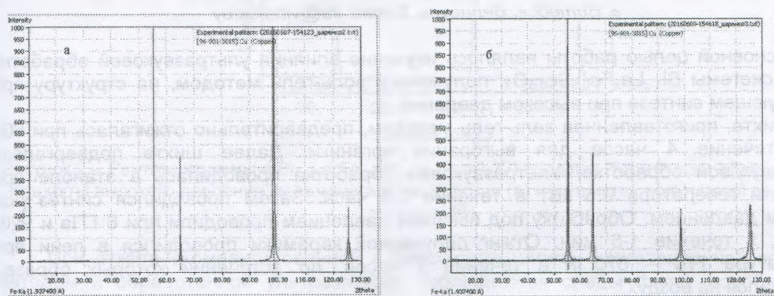


Рисунок 3 – Рентгенограммы образцов меди после прокатки (а) и ультразвуковойковки при амплитуде смещений 20 мкм (б)

Таким образом, при ультразвуковойковке заготовки из меди М1, измельчение зерен до ультрамелкозернистого состояния в большей степени происходит в поверхностных слоях. При этом в центральной части заготовки микротвердость ниже, чем для поверхностного слоя. Необходимо отметить, что эффективность ультразвуковой обработки меди возможно повысить за счет увеличения дробности деформации заготовки.

Список литературы:

1. Макаров В.Ф., Половинкин А.Х. Ультразвуковое поверхностное упрочнение деталей ГТД // Инструмент и технологии. – 2006. – № 23. – С. 116-118.
2. Панин А.В. и др. Формирование нанокристаллической структуры в поверхностных слоях стали ЭК-181 в процессе ультразвуковой обработки // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12, № 2. – С. 83-93.
3. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Электротермическая обработка стальной проволоки в ультразвуковом поле //Перспективные материалы и технологии – Витебск: Изд-во УО «ВГУ», 2008, гл.6.
4. Назаров А.А., Ханнанов Ш.Х. Ультразвуковая стимуляция процесса полигонизации // ФХОМ. – 1986. – № 4. – С. 109-114.
5. Liu Y., Suslov S., Han Q., Xu C., Hua L. Microstructure of the pure copper produced by upsetting with ultrasonic vibration // Materials Letters. 2012. – V. 67. – P. 52–55.