

**ПОЛУЧЕНИЕ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕМНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ**

**Царенко Ю.В., Рубаник В.В., Бобров В.П.**

*Институт технической акустики НАН Беларуси,  
г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by*

В настоящее время значительный научный и практический интерес к конструкционным объемным ультрамелкозернистым (УМЗ) материалам обусловлен тем, что их механические, физические и функциональные свойства существенно отличаются от свойств крупнозернистых материалов. При этом особенности структуры УМЗ материалов (размер зерен, фазовый состав) определяются в значительной степени методами получения и, естественно, оказывают существенное влияние на их свойства. Одним из эффективных методов получения УМЗ материалов является использование интенсивной пластической деформации (ИПД), в основе которых лежит воздействие на металл больших степеней деформаций сдвига [1].

Повышенный интерес к аустенитным коррозионностойким сталям вызван возможностью регулирования структурного состояния за счет фазовых превращений в ходе интенсивной пластической деформации. Поскольку основным эффектом УМЗ материалов после ИПД является не только значительное повышение прочности при достаточной пластичности, но и, возможно, одновременное повышение эксплуатационных свойств, регулируя структурные и фазовые превращения в стали, можно добиться оптимального сочетания механических и служебных свойств данного материала.

Характерным для ультрамелкозернистых материалов, полученных деформационными методами, является то, что их микроструктура неравновесна. Электронномикроскопические исследования показывают диффузный дифракционный контраст границ зерен в данных материалах, свидетельствующий о наличии высоких внутренних напряжений. Источниками этих напряжений являются неравновесные границы зерен, сформировавшиеся при пластической деформации. Воздействие ультразвуком, при определенных амплитудах, может способствовать релаксации неравновесной структуры границ зерен и снятию, таким образом, внутренних напряжений. Это должно оказать положительный эффект на термическую стабильность микроструктуры и пластичность ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов. Таким образом, можно ожидать повышения комплекса свойств наноматериалов за счет воздействия ультразвуком.

Для промышленного применения используют непрерывные методы деформационного наноструктурирования проволоки, например, РКУ–протягивание [2, 3]. В данном методе обработке осуществляется многократное протягивание проволоки через волоку специального профиля, что вызывает одноосное растяжение и изгиб проволоки одновременно в двух очагах деформации. Способ реализуется при неполном заполнении инструмента проволокой, площадь поперечного сечения которой в процессе обработки сохраняется неизменной. В частности, была использована схема РКУ протягивания проволоки через три неподвижные волоки с одинаковым диаметром калибрующей зоны [4].

На рисунке 1 представлено устройство, позволяющее формировать ультрамелкозернистую структуру в проволоке с применением ультразвуковых колебаний [4]. Устройство работает следующим образом. В пересекающиеся каналы инструмента 3 помещают проволоку 4 и, включая питание ультразвукового преобразователя 1, возбуждают в концентраторе 2 ультразвуковые колебания. При деформации проволока 4 изменяет направление течения два раза и извлекается из инструмента 3 тянущим барабаном (на рисунке не показан).

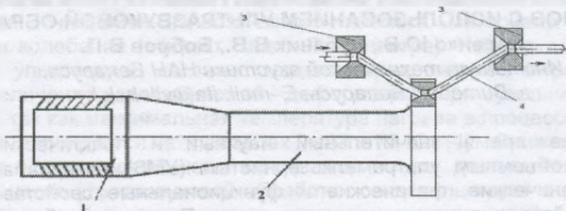


Рисунок 1 – Устройство РКУ протягивания проволоки с наложением ультразвуковых колебаний

При изменении направления движения металла осуществляется сдвиговая деформация и происходит упрочнение проволоки 4. Наложение ультразвуковых колебаний на инструмент 3 позволяет снизить силы трения, приводит к изменению условий течения металла и облегчению пластического деформирования проволоки 4. Процесс деформации проволоки с использованием предлагаемого устройства повторяют несколько раз до достижения необходимого уровня механических свойств.

После РКУ протягивания наблюдается изменение физико-механических свойств образцов никелевой проволоки. Так, предел прочности проволоки  $\sigma_b$  уже после четырех циклов РКУ протягивания достигает значения 500–510 МПа и при дальнейших циклах протягивания изменяется незначительно. Относительное удлинение проволоки после РКУ протягивания при этом уменьшается до 14–15 %.

Показано, что оптимальная амплитуда ультразвуковых колебаний в зоне обработки протягиваемой проволоки составляет 10–14 мкм. Для достижения максимального предела прочности и сохранения высокого уровня пластических свойств никелевой проволоки достаточно РКУ деформации за 4–5 проходов. При больших амплитудах ультразвука наблюдаются обрывы проволоки на выходе из зоны деформации.

При исследовании структурообразования в процессе РКУП аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т была получена микроструктура из достаточно равноосных кристаллитов аустенита и мартенсита (около 140 нм), а также более мелких кристаллитов, возникших при дроблении мартенситных пластин и двойников.

Проволока из стали 12Х18Н10Т в исходном состоянии имела предел прочности  $\sigma_b=550$  МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2}=220$  МПа, относительное удлинение  $\delta=50\%$ . После ИПД с наложением ультразвуковых колебаний наблюдалось изменение механических свойств образцов соответственно до уровня  $\sigma_b=1510$  МПа,  $\sigma_{0,2}=1390$  МПа,  $\delta=15-17\%$ .

Нами проведены исследования образцов нихрома после кручения под квазигидростатическим давлением и ультразвуковой обработки при различных интенсивностях. Рентгенографическую съемку образцов нихрома после ИПД кручением проводили на дифрактометре ДРОН-2 с использованием характеристического  $Fe-K\alpha$  (1,936090 А) излучения (рис. 2). Результаты рентгеноструктурных исследований свидетельствуют, что ультразвуковое воздействие с относительно невысокой амплитудой знакопеременных напряжений 25–50 МПа приводит к заметному снижению внутренних напряжений в наноструктурированных образцах нихрома (рис. 3).

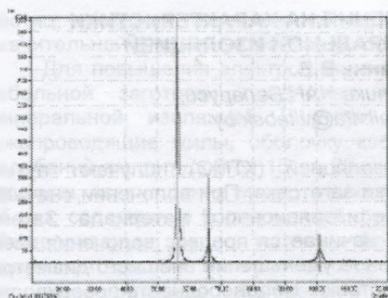


Рисунок 2 – Рентгенограмма образцов нихрома после ИПД с УЗК ( $\sigma = 50$  МПа)

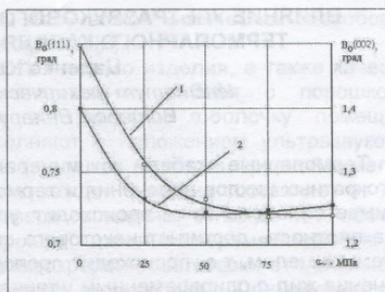


Рисунок 3 – Зависимость полуширины дифракционных линий нихрома после кручения от амплитуды знакопеременных напряжений: кривая 1 – линия (002); кривая 2 – линия (111)

Рентгеноструктурные и электронномикроскопические исследования показали, что при всех исследованных амплитудах ультразвука заметный рост зерен отсутствует, происходит релаксация неравновесных границ зерен и снижение упругих напряжений. Следовательно, изменение механических свойств образцов нихрома связано с релаксационным воздействием ультразвука на микроструктуру ультрамелкозернистого материала.

Рентгеноструктурные исследования наноструктурных образцов никеля, стали 12Х18Н10Т и нихрома после ультразвуковой обработки показали, что ультразвук также оказывает релаксационное воздействие на структуру ультрамелкозернистых материалов. Для оптимального сочетания прочностных и пластических свойств ультрамелкозернистой проволоки, количество циклов протягивания должно составлять 4–5 раз при амплитуде ультразвуковых колебаний волоочильного инструмента 10–14 мкм.

Необходимо отметить, что процесс деформационной обработки РКУ протягивания легко совмещается в единый технологический цикл с традиционным волочением проволоки.

#### Список литературы:

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные материалы: получение, структура и свойства. М.: Наука, 2007. – 397 с.
2. Чукин М. В., Копцева Н. В., Корчунов А. Г., Емалеева Д. Г., Никитенко О. А. Исследование особенностей структурообразования в процессе интенсивной пластической деформации углеродистых конструкционных сталей // Черные металлы. – 2011. – № 7/8. – С. 25–28.
3. Полякова М. А., Гулин А. Е., Никитенко О. А. Влияние технологических параметров совмещенного процесса на механические свойства и структуру углеродистой проволоки // Металлургические процессы и оборудование. – 2013. – № 3. – С. 21–25.
4. Устройство деформирования проволоки. Патент Республика Беларусь № 8704/Рубаник В.В., Царенко Ю.В., Лобанов В.Ю.; ИТА НАН Беларуси, 2012.