

Необходимо отметить, что наиболее толстые покрытия на хромалмазных подложках формирует флорекс Ф14, толщина которых после десяти обработок достигает до 2,2 мкм, в то время как полярные флорексы Ф14 и ФА формируют покрытия до 1 мкм.

По-видимому, полярные группы, осаждаются на активных центрах хромалмазных покрытий, уменьшают действие силового поля поверхности, в результате чего снижается толщина формируемого покрытия.

Обычно нанесение фторсодержащих олигомеров на металлические подложки приводит к ориентационным эффектам. Одним из механизмов, объясняющих эффект ориентации ФСО на поверхности металла, является то, что в процессе механической обработки свойства и структура поверхностных слоев коренным образом изменяются. Характер этих изменений, как ранее отмечалось, распространяется нередко на значительную глубину (до нескольких микрон) и зависит от исходных свойств металла, метода механической обработки и режима.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Овчинников, Е. В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров: основы синтеза, свойства и применение / Е. В. Овчинников, В. А. Струк, В. А. Губанов. – Гродно : ГГАУ, 2007. – 326 с.

2. Рогачев, А. В. Тонкие вакуумные полимерные покрытия: обзор информ. / А. В. Рогачев, О. И. Палий, П. Д. Петрашенко. – Гомель. Гомельский политех. ин-т. 1988. – 43 с.

3. Наноконпозиционные электролитические покрытия / С.Д. Лещик [и др.] // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: В 2 ч. Матер. междунар. симп., провод в рамках 13-й междунар. выставки «Порошковая металлургия – 2011», 9-й междунар. выставки «Сварка и резка – 2011», междунар. спец. салона «Защита от коррозии. Покрытия – 2011», Минск, 23-25 марта 2011 / Институт порошковой металлургии ГНО ПМ НАН Беларуси, 2011. – Ч. 2. – С. 58–62.

4. Заявка а 20130106, Республика Беларусь, МПК С 25D 15/00 (2006.01), С 23F 11/08 (2006.01). Способ получения композиционного покрытия на основе электролитического хрома / В. А. Струк [и др.]; заявитель Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» – № а 20000463; заявл. 28.01.2013; опубл. 30.08.2014. Бюл. № 4. – 1 с.

УДК 669.539.620+534.29

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС РКУП И СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

*Рубаник В. В., Рубаник В. В. мл., Ломач М. С., Дородейко В. Г., Луцко В. Ф.
Институт технической акустики НАН Беларуси,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Разработка методов объемного наноструктурирования металлических материалов является актуальным направлением современного материаловедения. При этом особенности наноструктурированных материалов определяются ме-

202

тодами получения и оказывают существенное влияние на их свойства. В настоящее время наиболее распространены и изучены два метода интенсивной пластической деформации (ИПД): равноканальное угловое прессование (РКУП) и кручение под высоким давлением (КВД). РКУП как способ ИПД металлических материалов, позволяющий получать заготовки с ультрамелкозернистой структурой (УМЗ) за счет объемного наноструктурирования, был предложен В. М. Сегалом с сотрудниками в 70-х годах [1]. В начале 90-х годов Р. З. Валиевым с соавторами метод был развит и впервые применен как метод ИПД для получения структур с субмикроструктурными и нанометрическими размерами [2]. Этот метод использовали для получения субмикроструктурной структуры таких металлов, как Cu, Pd, Fe, Ni, Co, сплавов на основе алюминия, магния, титана, цинка и др. КВД впервые было применено для обработки металлических материалов П. Бриджменом в 1935 году [3]. Свое второе рождение метод получил благодаря работам российских ученых в 70–90-е годы прошлого столетия, в которых он был использован для получения наноструктурированных состояний многих чистых металлов, интерметаллидов, сплавов и керамик.

Преимуществом процесса РКУП является то, что при его реализации заготовка может подвергаться сколь угодно большим деформациям сдвига, практически не изменяя при этом своих размеров. Повторными проходами образца через пересекающиеся каналы можно добиться накопления желаемой степени деформации и, соответственно, структурных изменений, при этом форма образца сохранится, за исключением некоторой области вблизи его концов. Однако при повторяющихся проходах образца через каналы, трение между заготовкой и матрицей может сильно повлиять на деформационные усилия, течение металлов и свойства материала [4]. Для снижения деформационных усилий разрабатываются различные устройства и приемы, в том числе и ультразвуковые [5–7].

Известно, что ультразвуковая обработка является одним из высокоэффективных методов не только влияния на силовые условия деформирования, но и на изменения микроструктуры и физико-механических свойств материалов [5]. Так, за счет ультразвукового воздействия возможно улучшение структуры металлов при литье, снятие внутренних напряжений в деформированных металлах, повышение характеристик пластичности (акустопластический эффект) и др. При этом, в зависимости от частоты, амплитуды, локальности воздействия, можно достичь как упрочнения металла, так и его разупрочнения, пластификации. В частности, эффективно и оправданно использование ультразвуковых колебаний при обработке металлов давлением (ОМД), например, волочение и прессование порошковых материалов. В частности, предложено интенсифицировать процесс прессования порошка пьезокерамики за счет энергетического ультразвукового воздействия [6], где ультразвуковые колебания (УЗК), снижая силы трения, влияют как на протекание процесса прессования, так и на свойства получаемых заготовок.

Равноканальное угловое прессование алюминия с наложением на пуансон УЗК было исследовано Ф. Джаванрооди с соавторами [7]. Результаты их исследования подтвердили, что использование ультразвуковых колебаний снижает нагрузку прессования, но всего лишь на 10 %. При этом значительное влияние оказывает на снижение усилия прессования, амплитуда и частота колебаний.

Также при использовании УЗК при РКУП приводит к увеличению предела текучести, предела прочности и твердости металлических материалов. Ультразвуковая колебательная система, разработанная Ф. Джаванрооди, состояла из трех основных частей: ультразвуковой генератор (источник питания), ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь и волновод, который служил пуансоном. Недостатком предложенного способа [7] ультразвукового воздействия на РКУП является низкая эффективность, так как снижение усилия прессования составляет менее 10 %. Это связано с невозможностью ввода в очаг деформации значительной ультразвуковой энергии.

В ИТА НАН Беларуси было разработано устройство для РКУП, позволяющее возбуждать ультразвуковые колебания непосредственно в матрице. В качестве исследуемого материала был выбран цинк. Источником ультразвука служил ультразвуковой генератор УЗГ2-4М мощностью 4,5 кВт с магнитострикционным преобразователем ПМС-15А-18. Частота колебаний составляла 18 кГц, амплитуда колебаний ~ 30 мкм. Процесс РКУП осуществляли на гидравлическом прессе, усилием 4 тонны со скоростью перемещения пуансона ~ 1-10 мм/с. Прессование осуществляли при комнатной температуре ~25 °С через матрицу с углами пересечения каналов 90°. Зеренную структуру исследовали с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO1455VP (Carl Zeiss, Германия) с дифракционной приставкой фазового анализа HKL EBSD Premium System Channel5 (система дифракции отраженных электронов) (Великобритания). Полученные растровые электронно-микроскопические изображения были адаптированы к программной среде NEXSYS ImageExpert Pro 3, предназначенной для обработки изображений, полученных методом растровой-электронной микроскопии. Микротвердость образцов определяли при помощи микротвердомера AFFRI-MVDM8 с нагрузкой 0,0294 Н и выдержкой под нагрузкой в течение 3 секунд.

Установлено, что наложение УЗК в процессе РКУП цинка приводит к снижению усилия прессования в 1,5–2 раза, что подтверждается и теоретическими расчетами (рисунок 1). Существенно отличается и микротвердость образцов (рисунок 2).

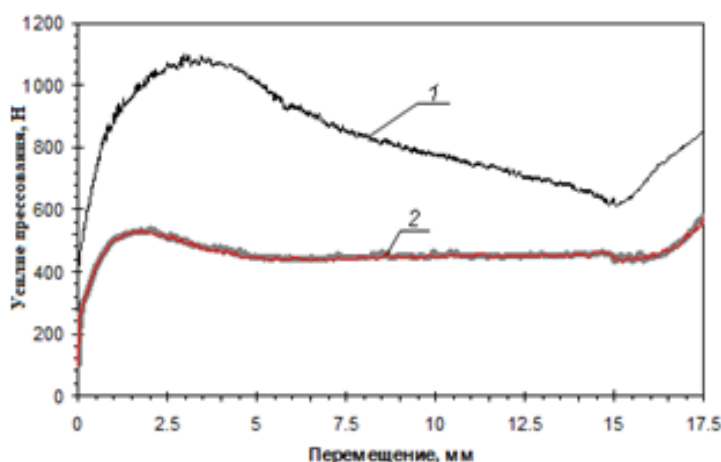


Рисунок 1 – Зависимость расчетного усилия прессования для обычного (1) и ультразвукового РКУП (2) от перемещения пуансона

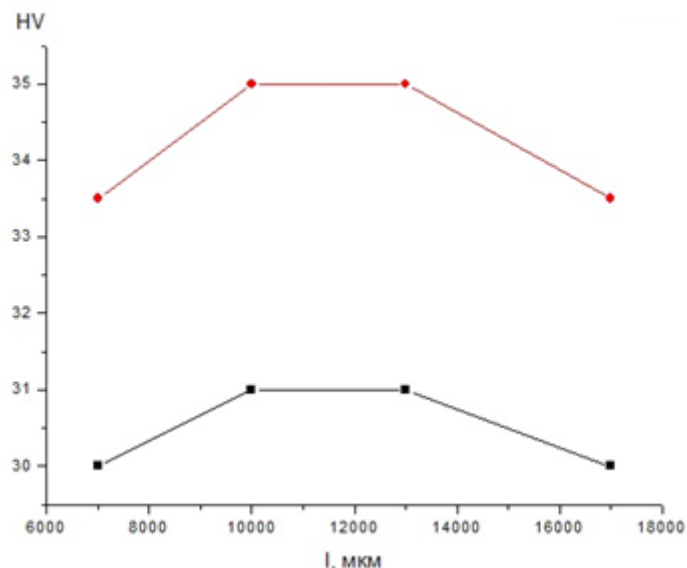
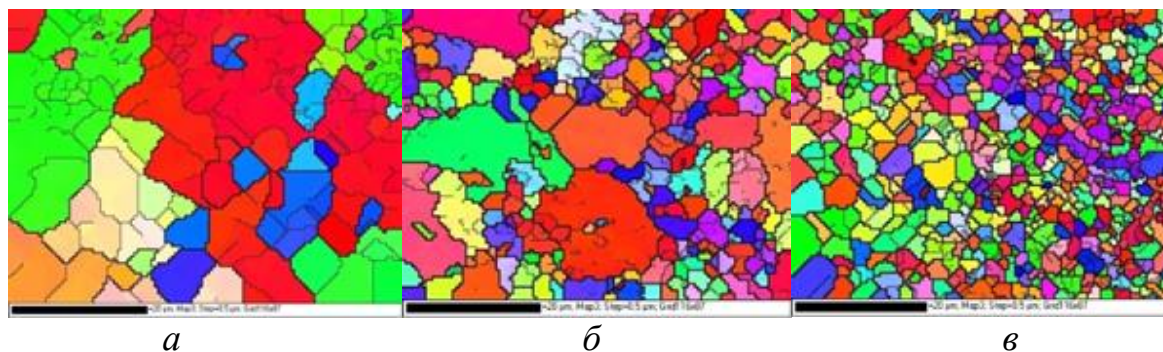


Рисунок 2 – Микротвердость цинка после одного прохода РКУП

При этом, даже после одного прохода микроструктура материала, полученная прессованием с наложением УЗК, существенно отличается от микроструктуры образцов, полученных без УЗК (рисунок 2). Как видно, (рисунок 3) также наблюдается уменьшение размера зерен и изменение их кристаллографической ориентировки.



*а – исходный; б – после 1 прохода без УЗК;
в – после 1 прохода с УЗК*

Рисунок 3 – Зеренная структура цинка

На основании проведенного аналитического обзора влияния ультразвуковых колебаний на пластическую деформацию металлов установлено, что ультразвуковое воздействие является одним из высокоэффективных методов изменения микроструктуры и физико-механических свойств объемных материалов. Разработан способ равноканального углового прессования с подводом ультразвуковых колебаний непосредственно к матрице.

Проведенные исследования влияния ультразвукового воздействия на процесс РКУП показали, что ультразвуковые колебания снижают усилия прессования в 1,5 и более раза за счет уменьшения силы трения между взаимодействующими поверхностями: заготовка–матрица. Выявлено, что ультразвуковое воздействие на процесс РКУП, является эффективным способом воздействия на

структуру цинка с целью улучшения его свойств. Так при РКУП с УЗК наблюдается повышение механических свойств цинка при сохранении высоких пластических свойств. Использование ультразвуковых колебаний в процессе РКУП изменяет саму кинетику процесса, так и свойства металла при формировании в нем ультрамелкозернистой структуры, что позволяет реализовать сочетание прочности и пластичности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Valiev, R. Nanostructuring of Metals by Severe Plastic Deformation for Advanced Properties / R. Valiev. *Nature Materials*. – 2004. – Vol. 3. – P. 511–516.
2. Формирование субмикрoзернистой структуры в меди и никеле с использованием интенсивного сдвигового деформирования / Н. А. Ахмадеев. [и др.] // *Металлы*. – 1992. – Т. 5. – С. 96–101.
3. Effects of High Shearing stress combined with High Hydrostatic Pressure / P. W. Bridgman // *Physical Review*. – 1935. – Vol. – 48. – P.–825.
4. Валиев, Р. З. Объёмные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Академкн., 2007. – 397 с.
5. Клубович, В. В. Ультразвук и пластичность / В. В. Клубович, А. В. Степаненко. – Минск: Наука и техника, 1976. – 446 с.
6. Шилин, А. Д. Ультразвуковая механоактивация порошковых материалов / А. Д. Шилин, В. В. Рубаник, В. В. Рубаник (мл.) // *Перспективные материалы и технологии* / Под. ред. В. В. Клубовича – Витебск : Изд-во УО «ВГТУ», 2013. – Гл. 30. – С. 630–651.
7. Djavanroodi, F. Experimental investigation of ultrasonic assisted equal channel angular pressing process/ F. Djavanroodi, H. Ahmadian, R. Naseri, K. Koohkan, M. Ebrahimi // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. – May 2016. – Volume 16. – Issue 3. – P. 249–255.

УДК 631.31

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ЛЕМЕХОВ ПЛУГА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

*Хвисевич В. М.¹, Парфиевич А. Н.¹, Веремейчик А. И.¹, Савчук С. В.¹,
Башуцкая С. М.²*

1) Брестский государственный технический университет,

г. Брест, Республика Беларусь

2) ОАО «Брестгазоаппарат»,

г. Брест, Республика Беларусь

Введение

В сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь ежегодно возделывается около 9 млн га посевных площадей. Для выполнения технологического процесса необходимо производить различные виды механической обработки почвы: вспашку, глубокое рыхление, культивацию, фрезерование, боро-