

УДК 621.91.01

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРА  
СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТАЛИ 45, ПОЛУЧЕННОЙ  
РАВНОКАНАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ, В ЗОНЕ  
ПЕРЕХОДА ОТ РАВНОМЕРНОЙ К НЕРАВНОМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ**

Сивушкин А.С., старший преподаватель

Научный руководитель: Кречетов А.А., к.т.н., доцент, проректор по учебной работе

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

**Введение.**

В наше время повышение эксплуатационных свойств изделий машиностроения все еще является одной из важнейших задач. Традиционные технологические способы упрочнения имеют известные ограничения. В связи с этим перспективным направлением исследований, активно развивающимся в последние 2 десятилетия, стало изучение нано- и субмикрокристаллических (НК и СМК) материалов. Данные материалы обладают уникальными механическими свойствами, прочностные характеристики возрастают в 1,5-2 раза относительно крупнокристаллических материалов, а пластичность падает не так заметно [1]. Наиболее интересными, с точки зрения машиностроения, являются объемные СМК материалы. Среди способов их получения наиболее перспективными и изученными являются способы интенсивной пластической деформации (ИПД), в частности равноканальное угловое прессование (РКУП) [2, 3].

Основными недостатками данных способов являются относительно малый размер и простая форма получаемых заготовок, тогда как изделия машиностроения, как правило, имеют сложную форму. Простая форма получаемых заготовок затрудняет промышленное внедрение способов ИПД и вызывает необходимость дальнейшей механической обработки полученных образцов. Механическая обработка СМК материалов, в свою очередь, ведет к деградации ультрамелкозернистой структуры. Факторы, влияющие на структурное состояние СМК металлов в процессе механической обработки, рассматривались в работе [4].

В нашей работе будут исследоваться конструкционные среднеуглеродистые СМК стали 45, полученные способом РКУП с разным количеством проходов, так как имеющиеся результаты в области исследования влияние режимов механической обработки на структурное состояние НК и СМК материалов практически не описывают рассматриваемые процессы для данных материалов.

## Методика экспериментальных исследований.

Исследованы свойства стали промышленной марки 45 с феррито-перлитной структурой до и после ИПД способом РКУП. РКУП стальных образцов осуществляли при температуре 400°C продавливанием заготовки через пресс-форму с каналами, пересекающимися под углом 120°. ИПД предусматривало 1, 6 и 12 циклов прессования с поворотом стального образца на 90° вокруг продольной оси после каждого цикла.

Заявлено, что гарантированно равномерно проструктурированной является центральная часть образца длиной 60 мм. В работе исследовалась переходная зона от равномерно проструктурированной к неравномерно. Разрезка производилась на электроэррозионном станке по следующей схеме. Запрессовка производилась в трубу ПВХ с помощью эпоксилина, в связи с тем, что образцы нельзя нагревать.

Исследование микротвердости проводилось на микротвердомере Durascan, метод измерения по Викерсу. Измерения проводились в продольном и поперечном сечениях по следующей схеме (рис. 1, а). В каждой исследуемой зоне было сделано по 3 измерения.

Микроструктурные исследования осуществлялись с помощью световой микроскопии на микроскопе Axio Observer с увеличением x500. Шлифы были протравлены. Травление проводилось 4% раствором азотной кислоты. Исследования проводились в продольном и поперечном сечениях по следующей схеме (рис. 1, б).

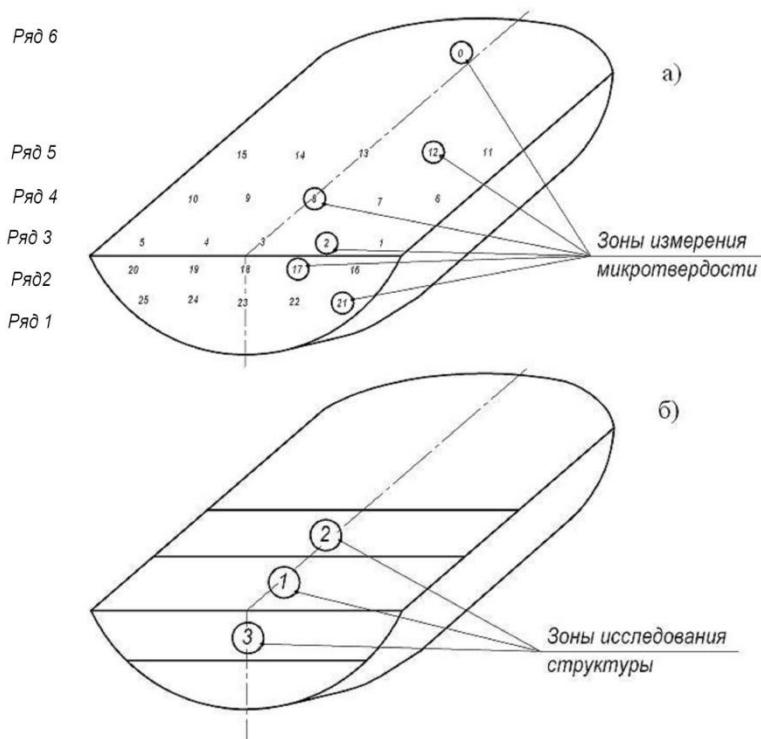


Рис. 1 – Схемы измерения микротвердости а), исследования структуры б)

## Результаты исследований.

Исходная микротвердость образцов составляла 170 HV.

Средняя микротвердость образцов, измеренная по 26 зонам, после РКУП-обработки составила: образец 1Ц – 241,8, образец 6Ц – 268,8, образец 12Ц – 277. Максимумы-минимумы: 280-221, 295-249, 300-259 соответственно, без учета контрольной зоны.

Результаты металлографии представлены на рис. 6.



Рис. 6.1 – Микроструктура образца 1Ц



Рис. 6.2 – Микроструктура образца 6Ц



Рис. 6.3 – Микроструктура образца 12Ц

Как установлено исследованиями в исходном состоянии образцы стали 45 имеют феррито-перлитную структуру со средним размером ферритных зерен 40-60 мкм. Исходная структура образцов соответствует исходной структуре образцов из работы [5].

Микроструктура образца № 1:

Образец имеют феррито-перлитную структуру. Перлит смешанного строения. В зонах 1 (рис. 6.1, а) и 3 (рис 6.1, в) средний размер зерен 300-500 нм, что свидетельствует о мелкозернистой структуре. В зоне 2 (рис. 6.1, в)

средний размер зерен 600-900 нм. Зерна имеют четкие границы. Отношение перлита к ферриту 35:65 в зонах 1, 2 и 20:80 в зоне 3 по ГОСТ 8233-56.

**Микроструктура образца № 6:**

Образец имеют феррито-перлитную структуру. Перлит смешанного строения. В зонах 1 и 3 средний размер зерен 500-700 нм, в зоне 2 300-400 нм. В зоне 1 границы зерен нечеткие, в зонах 2 и 3 четкие. Отношение перлита к ферриту 75:25 в зонах 1, 2 и 65:35 в зоне 3 по ГОСТ 8233-56.

**Микроструктура образца № 12:**

Образец имеют феррито-перлитную структуру. Перлит смешанного строения. В зонах 1 и 3 средний размер зерен 300-400 нм. В зоне 2 наблюдается дискретность пластинчатого перлита, средний размер зерен 400-600 нм. Зерна имеют нечеткие границы. Отношение перлита и феррита 20:80 в зоне 1, 50:50 в зоне 3 по ГОСТ 8233-56.

**Выводы.**

1. Заметное измельчение структуры происходит уже после 1 прохода РКУП. Дальнейшая обработка ведет не только к измельчению структуры, но и к вытягиванию зерен в направлении обработки давлением.

2. Значительное увеличение микротвердости происходит уже после первого прохода РКУП (со 170 до 241 HV). При дальнейшей обработки происходит не только увеличение микротвердости, но и более равномерное ее распределение в объеме. После 1 прохода РКУП заметна неоднородность микротвердости, особенно заметно она отличается на разных сторонах образца, что можно объяснить разной степенью деформации при разном радиусе канала оснастки (рис. 1). По мере увеличения числа проходов РКУП растет микротвердость, ее равномерность в объеме, а также увеличение проструктурированной зоны.

3. Полученные результаты коррелируют с работой [5], в которой также отмечалось увеличение микротвердости с 171 до 250 HV относительно исходной при 4 проходах РКУП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Р. З. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформацией / Р. З. Валиев, И. В. Александров. - М.: Логос, 2000. - 272 с.
2. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии. Т. 1. № 1–2. 2006. С. 71-81.
3. Рааб Г.И. Развитие научных основ технологий интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов / автореф. докт. диссерт. – Уфа, 2009. – 36 с.
4. Сивушкин А.С. Обзор существующих подходов получению изделий сложной формы из объемных наноматериалов./ Сивушкин А.С., Кречетов А.А. // Вестник Кузбасского гос. тех. унив., 2013, № 4. С. 75-79.
5. <http://www.metaljournal.com.ua/Steel-45-structure-and-properties-after-equal-channel-angular-pressing-at-40/>