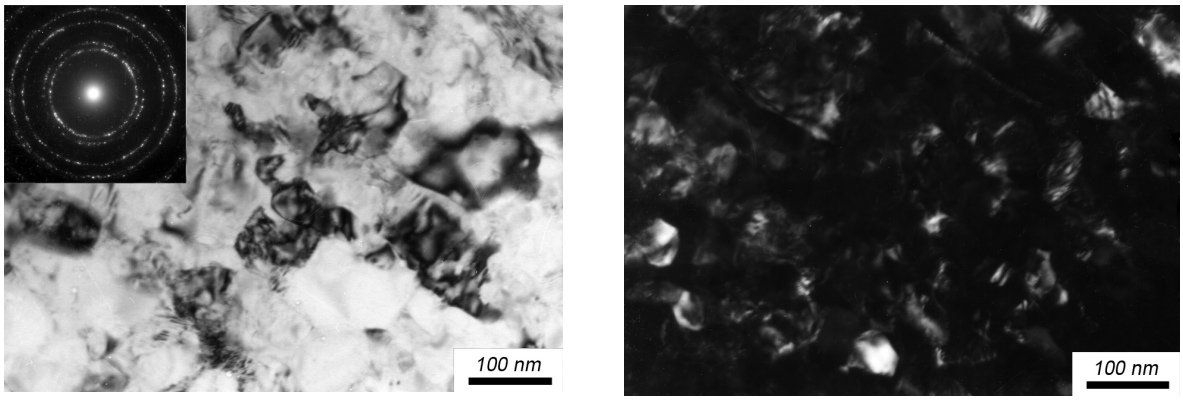
© Д.Д. Кузнецов, А.В. Столбовский, В.В. Попов, Е.Н. Попова, В.П. Пилюгин, 2012 г.
Институт физики металлов УрО РАН
г. Екатеринбург
stolbovsky@imp.uran.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЧИСТОГО НИКЕЛЯ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Интерес к объемным нанокристаллическим материалам, произведенным интенсивной пластической деформацией, обусловлен практическим использованием их уникальных свойств, являющихся прямым следствием их специфической структуры. Особую роль в свойствах материалов, обладающих размерами зерен менее 100 нм, в сравнении с обычными поликристаллическими, играют большая объемная доля границ зерен, высокая плотность дефектов кристаллической структуры и, как следствие, высокий уровень внутренних напряжений [1].

Однако, несмотря на привлекательность материалов, наноструктурированных методами интенсивной пластической деформации, при повышенных температурах стабильность таких материалов несколько ниже, чем поликристаллов рекристаллизионного происхождения [2; 3].

Для исследования использовался чистый поликристаллический никель (99,9 %) деформированный методом кручения под высоким давлением (КВД) при температуре жидкого азота. Для исследования термической стабильности проводились отжиги при температурах 100, 200 и 300 °С в течение одного часа в условиях динамического вакуума. Микроструктура была изучена методом ПЭМ, так же были произведены дюрометрические измерения (микротвердость по Виккерсу) с применением методик статистической обработки.



а) **б)**

Рис. 1. Микроструктура никеля после ИПД КВД при температуре жидкого азота светлое (*а*) и темное (*б*) поля

После интенсивной пластической деформации (ИПД) КВД на 5 оборотов при температуре 80 К, в исследуемом образце наблюдалась однородная нанокристаллическая структура со средним размером зерна порядка 80 нм (рис. 1).

При нагреве до 100 °С с выдержкой в один час размер зерна практически не изменяется и составляет около 80 нм, однако, несколько снижается микротвердость (рис. 2), что может являться следствием процессов возврата даже при такой низкой температуре из-за высокой неравновесности, получаемой при деформировании структуры.

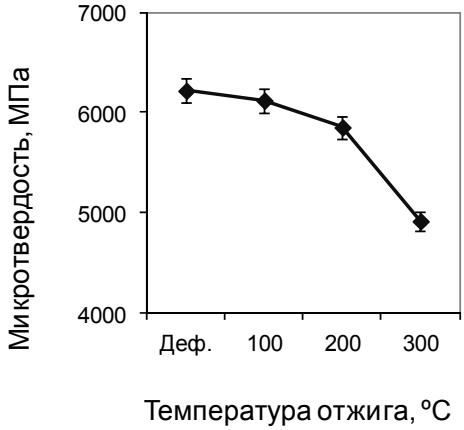
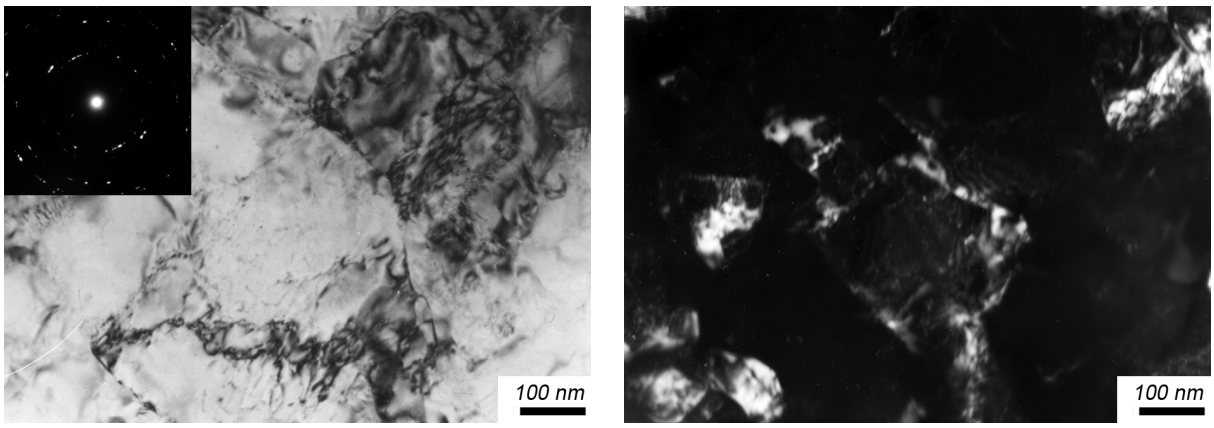


Рис. 2. Зависимость микротвердости от температуры отжига

Нагрев образца до 200 °С и выдержке в один час уже приводит к укрупнению зерна до 130 нм. Однако стоит отметить, что границы зерен в большинстве своем криволинейны, внутри зерен наблюдается специфический контраст, свидетельствующий о сохранении больших внутренних напряжений. При этом наблюдается довольно резкое снижение значения микротвердости примерно на 300 МПа.



а) **б)**

Рис. 3. Микроструктура никеля после ИПД КВД $T_{отж}$ = 300 °С, τ = 1 час светлое (*а*) и темное (*б*) поля

Дальнейшее повышение температуры отжига до 300 °С привело к значительному снижению значения микротвердости и увеличению среднего размера зерна до 150 нм. Важным моментом является то, что при данной термообработке начинают появляться очень крупные зерна, что свидетельствует о протекании рекристаллизационных процессов (рис. 3).

Таким образом, видно, что характерные особенности структуры и микротвердость сохраняются только при нагреве до 200 °С.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 10-03-00530) и Президиума РАН (программа фундаментальных исследований «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов»).

Список использованных источников

1. *Валиев Р.З., Александров И.В.* Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. С. 398.

2. *Popov V.V., Popova E.N., Stolbovskiy A.V., Pilyugin V.P.* Thermal stability of nanocrystalline structure in niobium processed by high pressure torsion at cryogenic temperatures. Mater. Sci.& Eng., 528 No. P. 1491–1496 (2011).

3. *Popov V.V., Popova E.N., Stolbovskiy A.V., Pilyugin V.P.* Structure and Thermal Stability of Cu after Severe Plastic Deformation, Defect and Diffusion Forum 297–301 No. P. 1312–1321 (2010).