

ВЛИЯНИЕ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НИКЕЛЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ КОНУСОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ И ИХ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ

THE EFFECT OF NICKEL SUBMICROCRYSTALLINE STRUCTURE ON THE CONES FORMATION ON THE SURFACE UNDER ION IRRADIATION AND THEIR THERMAL STABILITY

Ринат Хисамов^{1*}, Анатолий Борисов², Михаил Овчинников³, Евгения Машкова³, Радик Мулюков¹

Rinat Khisamov^{1*}, Anatoly Borisov², Mikhail Ovchinnikov³, Eugenia Mashkova³, Radik Mulyukov¹

¹Institute for Metals Superplasticity Problems of RAS, 39 Stepan Khalturin st., Ufa, 450001, Russia

²Moscow Aviation Institute (National Research University), 4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia

³Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (Moscow State University), 1 (2) Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

*r.khisamov@mail.ru

Аннотация/Abstract

Исследовано влияние субмикроструктурной структуры на образование конусов на поверхности никеля при высокодозном облучении ионами аргона с энергией 30 кэВ. В результате облучения на субмикроструктурном образце (средний размер зерен/кристаллитов $d=300$ нм) доминируют конусы, в то время как на микрокристаллическом ($d=4$ мкм) и крупнокристаллическом ($d=30$ мкм) образцах – ямки травления. Существенная деградация конусов происходит при нагреве не менее 500 °С.

The effect of nickel submicrocrystalline structure on the cones formation on the surface under high fluence irradiation by argon ions with the energy 30 keV have been investigated. In the result of ion irradiation cones dominate on the submicrocrystalline sample (average grain size $d=300$ nm), while etching pits dominate on the microcrystalline ($d=4 \mu\text{m}$) and coarse-grained ($d=30 \mu\text{m}$) samples. Significant degradation of the cones during heating occurs at temperatures of at least 500 °C.

Введение

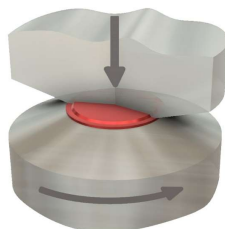
Ионное облучение металла приводит к модификации его поверхности. На поверхности может развиваться рельеф с перепадом высот между зернами, на зернах могут образовываться ямки травления, рябь, террасы, бороздки, конусы и другие поверхностные структуры. На практике такие структуры образуются на внутренних поверхностях обращенных к плазме конструктивных и функциональных деталей различных ионных приборов, энергетических устройств. Из всех поверхностных структур, образующихся при ионном облучении, наибольший интерес представляют конусы. Металлы с конусами на его поверхности могут быть востребованы в качестве материалов для полевых холодных катодов, холодных катодов газоразрядных приборов, деталей различных акустических и оптических систем, обращенных к плазме деталей в термоядерных установках и др.

Одним из способов повышения концентрации и равномерного распределения конусов по поверхности может явиться снижение размера зерен в металле.

Материалы и методы исследований

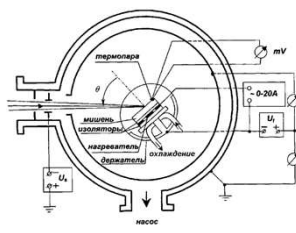
1. Материал – Никель (99.99%)
2. Кручение под высоким давлением
3. Исследуемые образцы с различным средним размером зерен d :
- СМК - Субмикроструктурный ($d=300$ нм)
- МК - Микрокристаллический ($d=4$ мкм)
- КК - Крупнокристаллический ($d=30$ мкм)
4. Ионное облучение
5. Термическая стабильность конусов
6. РЭМ исследования поверхности

Интенсивная пластическая деформация
Кручение под высоким давлением/
Severe plastic deformation
High pressure torsion

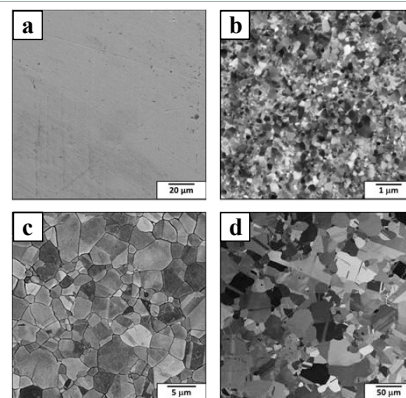


Режимы деформации/Deformation regime:
 $P=5-6$ GPa, $n=10$ rot, RT,
Размер образцов/Sample dimension:
 $d=10-12$ mm, $h=0.2-0.6$ mm

Облучение проведено на
масс-монохроматоре НИИЯФ МГУ/
Irradiation was carried out on
mass-monochromator SINP MSU

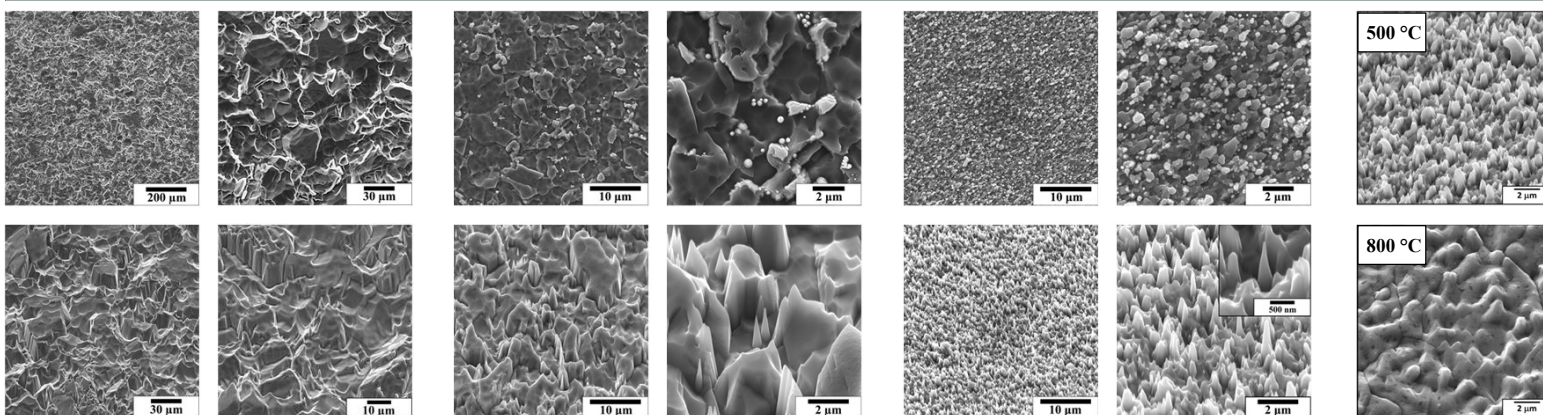


Режимы облучения/Irradiation regime:
 $\text{Ar}^+ \rightarrow \text{Ni}$, $E=30$ keV, $J=0.3-0.4$ mA/cm²,
 $\alpha=0^\circ$, fluence $\sim 10^{18}$ ion/cm², $T=50$ °C



Микроструктура /Microstructure:
a) Исходная поверхность/Initial surface, b) СМК/SMC,
c) МК/MC, d) КК/coarse-grained structure

Результаты исследований



РЭМ изображения КК образца ($d=30$ мкм) после облучения: верхний – угол съемки 0° , нижний – 45° /
SEM images of coarse-grained sample ($d=30 \mu\text{m}$) after irradiation: top images – angle 0° , bottom – 45°

РЭМ изображения МК образца ($d=4$ мкм) после облучения: верхний – угол съемки 0° , нижний – 45° /
SEM images of microcrystalline sample ($d=4 \mu\text{m}$) after irradiation: top images – angle 0° , bottom – 45°

РЭМ изображения СМК образца ($d=300$ нм) после облучения: верхний – угол съемки 0° , нижний – 45° /
SEM images of submicrocrystalline sample ($d=300$ nm) after irradiation: top images – angle 0° , bottom – 45°

СМК образец после облучения и нагрева/
SMC sample after irradiation and annealing

Заключение/Conclusions

Проведено высокодозное облучение ионами аргона с энергией 30 кэВ образцов никеля с субмикро-, микро и крупнокристаллической структурой. Снижение размера зерен до 100 нм приводит к формированию конусов равномерно распределённых по поверхности с концентрацией 1 конус/мкм². На поверхности микро- и крупнокристаллических образцов развивается рельеф с перепадом высот между зернами с доминирующими ямками травления и немногочисленными конусами с концентрацией менее 0.05 конус/мкм². Конусы на поверхности никеля термостабильны до 500 °С. При нагреве свыше 800 °С конусы сильно деградируют.

High-dose irradiation by argon ions with an energy of 30 keV of nickel samples with a submicro-, micro- and coarse-grained structure was carried out. Reducing the grain size up to 100 nm leads to the formation of cones evenly distributed over the surface with a concentration of 1 cone/ μm^2 . On the surface of micro- and coarse-grained samples, a relief develops with a height difference between grains with dominant etching pits and few cones with a concentration of less than 0.05 cone/ μm^2 . The cones on the nickel surface are thermally stable up to 500 °C. When heated above 800 °C, the cones degrade greatly.