

Réz - szén nanocső kompozit mikroszerkezete és mechanikai viselkedése

P. Jenei^a, E.Y. Yoon^b, J. Gubicza^a, H.S. Kim^b, J.L. Lábár^{a,c}, T. Ungár^a

^a Department of Materials Physics, Eötvös Loránd University, P.O. Box 32, H-1518 Budapest, Hungary

^b Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, South Korea

^c Research Institute for Technical Physics and Materials Science, P.O. Box 49, H-1525 Budapest, Hungary

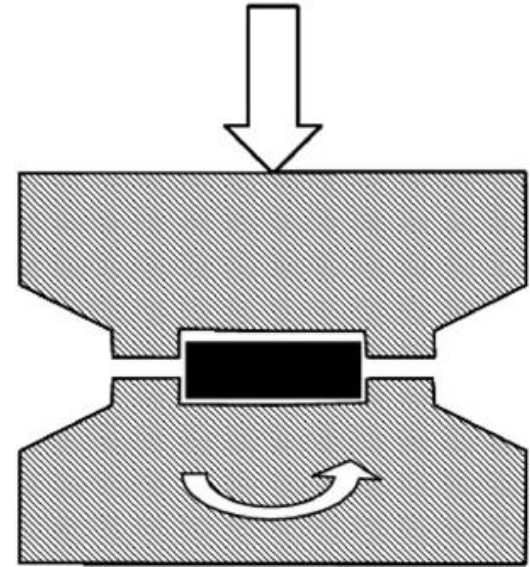


Eötvös Loránd Tudományegyetem
Anyagfizikai Tanszék

Visegrád
2011

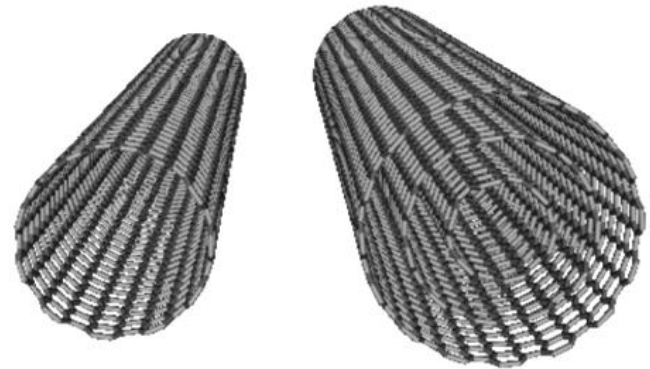
Bevezetés

Nagynyomású csavarás
(High Pressure Torsion (HPT))



Szén nanocső (Carbon Nanotubes (CNT)):

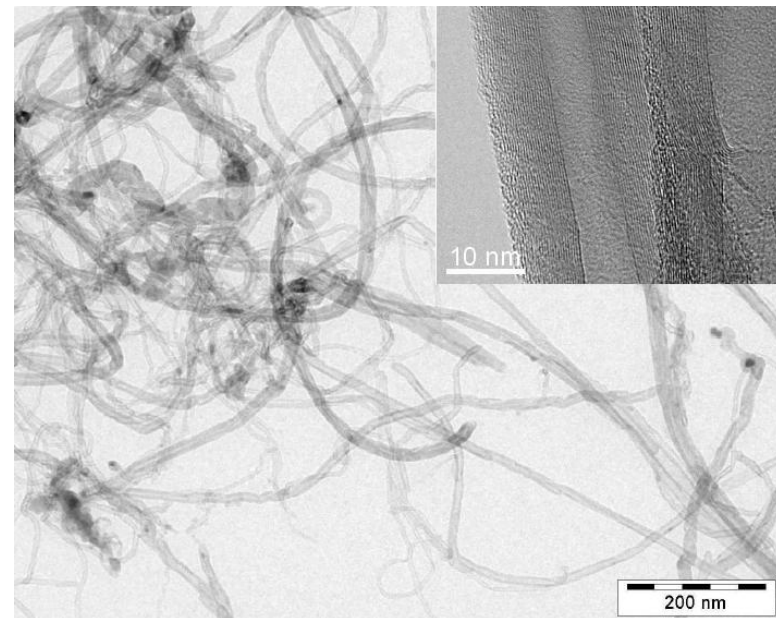
- Nagy Young-modulusz
- Nagy folyáshatár
- Kiváló hajlékonyság
- Jó hőstabilitás



1) Minta előállítás

A feldolgozás lépései:

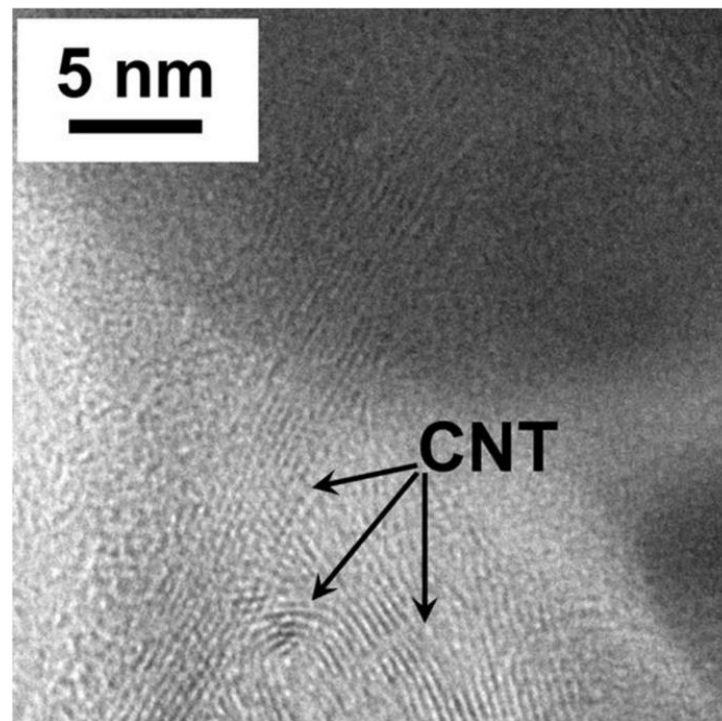
- 1) Alkotók (réz por, 3 térf.% CNT) összekeverése nagy energiájú malomban
- 2) Előtömörítés hideg izosztatikus préseléssel
- 3) HPT (fordulatok száma: 10, nyomás: 2.5 GPa)



Minta	Cu powder (purity: 99.5%, particle size less than 44 μm)	Multi Walled Carbon Nanotube (length: 1-10 μm , diameter: 5-20 nm)	HPT temperature
Cu	+	-	RT
Cu-CNT-RT	+	+	RT
Cu-CNT-373	+	+	373 K

2) Fázisösszetétel és porozitás vizsgálata

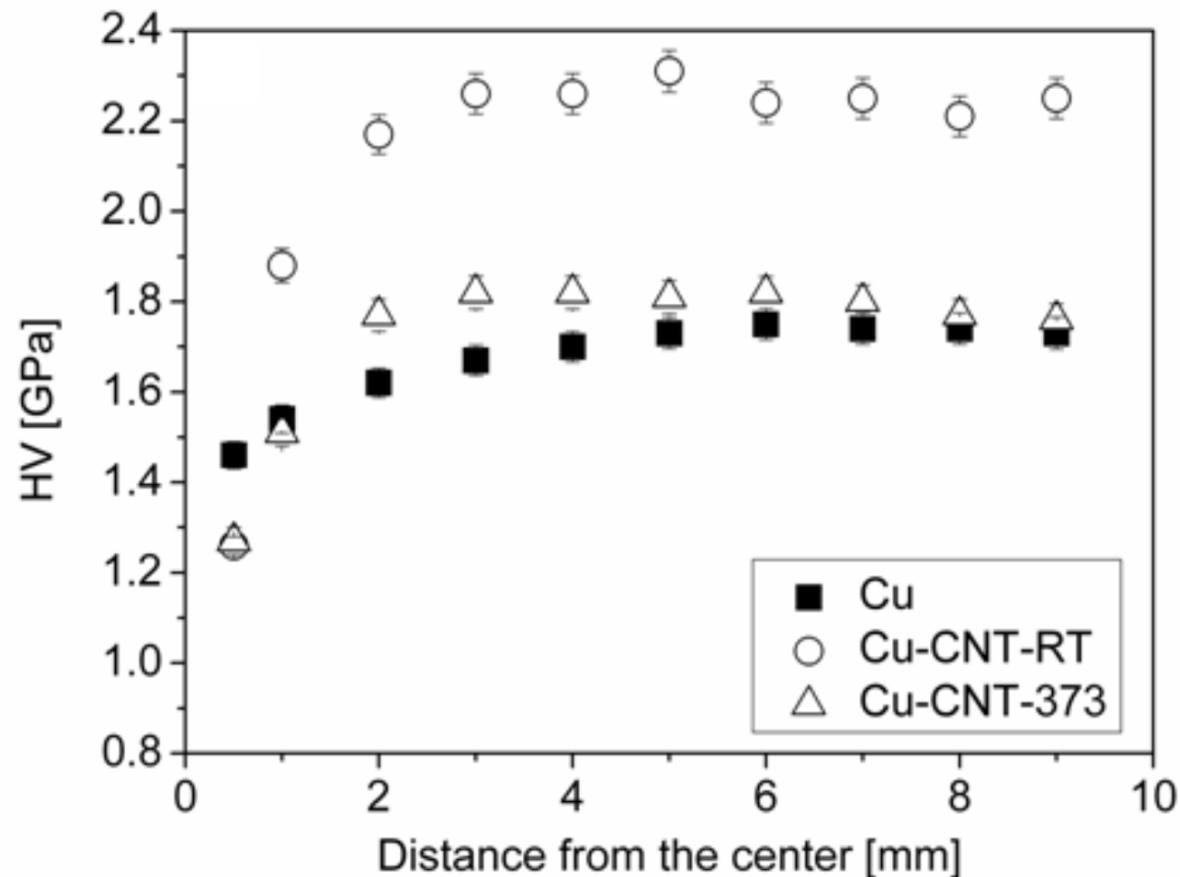
A HPT eljárás során a szén nanocsövek széttöredezték grafitszerű darabokká.



Minta	Mért (g/cm ³)	Számolt (g/cm ³)	Porozitás (térf.%)
Cu	8.99 ± 0.09	8.95	~0
Cu-CNT-RT	8.50 ± 0.09	8.74	~3
Cu-CNT-100	8.51 ± 0.09	8.74	~3

3) Mikrokeménységmérés

Minden minta esetén a középponttól távolodva nő a keménység és telítődésbe megy a sugár 20%-nál.



A kompozit anyagok keménysége nagyobb összevetve a tiszta rézből tömörített mintával.

4) Mikroszerkezet vizsgálata

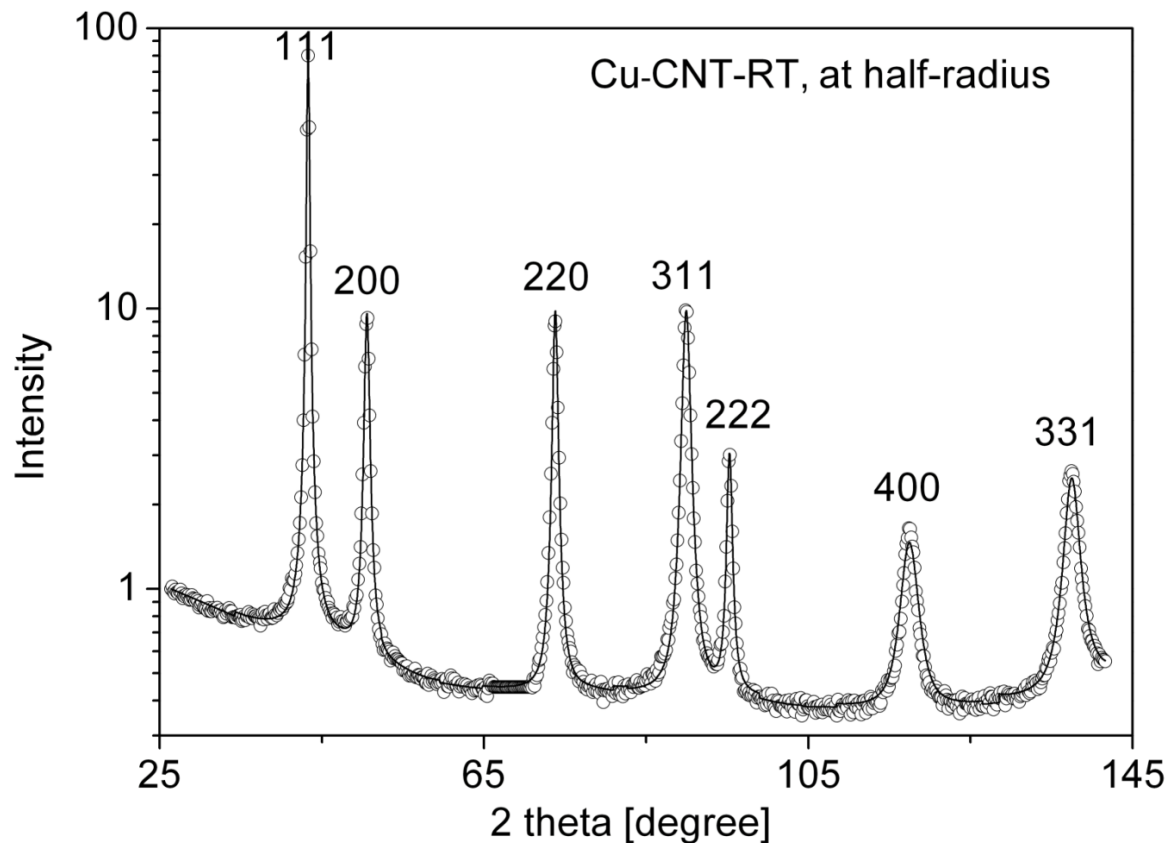
a) Röntgen vonalprofil analízis

A minták mikroszerkezete a HPT korong közepén, a félsugárál és a szélén lett vizsgálva röntgen vonalprofil analízis segítségével

A vonalprofilok eCMWP eljárás segítségével lettek kiértékelve

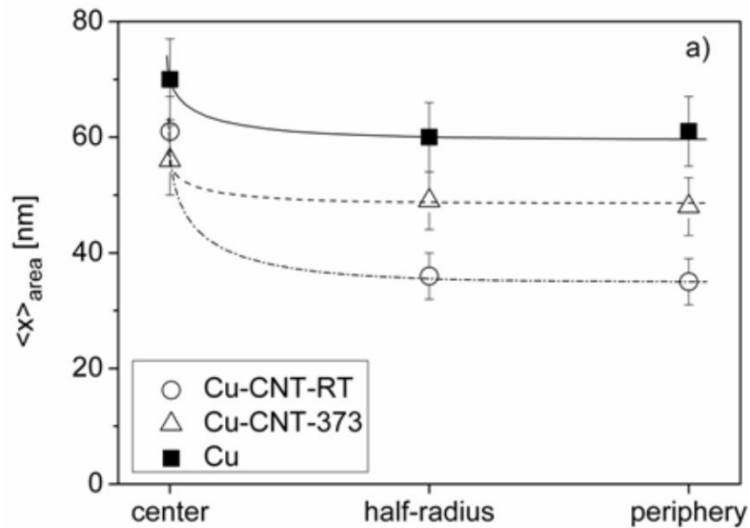
Az módszer nyert mikroszerkezeti paraméterek:

- 1) Krisztallitméret
- 2) Diszlokációsűrűség
- 3) Ikerhatár gyakoriság

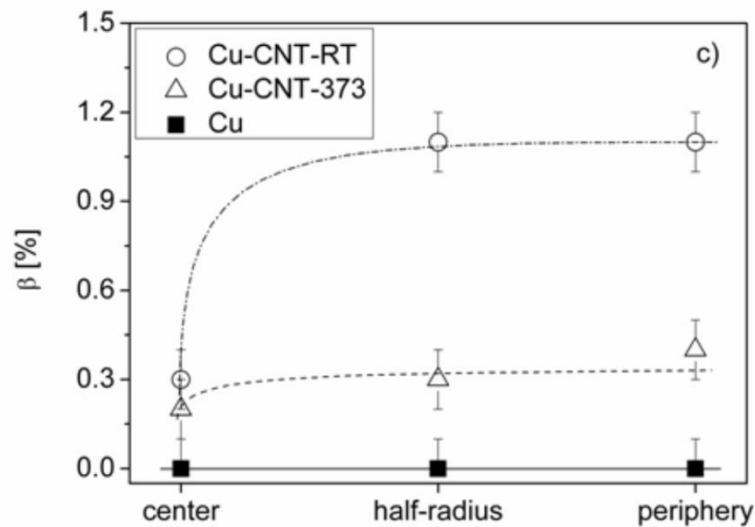
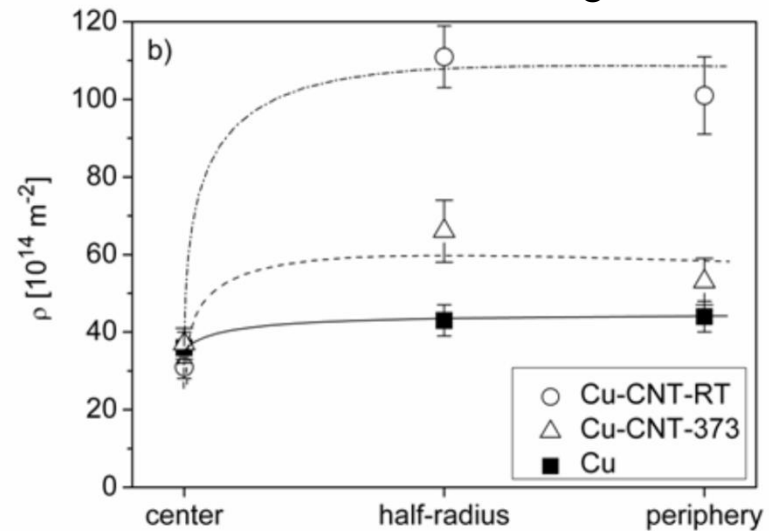


Mikroszerkezeti paraméterek

Krisztallitméret



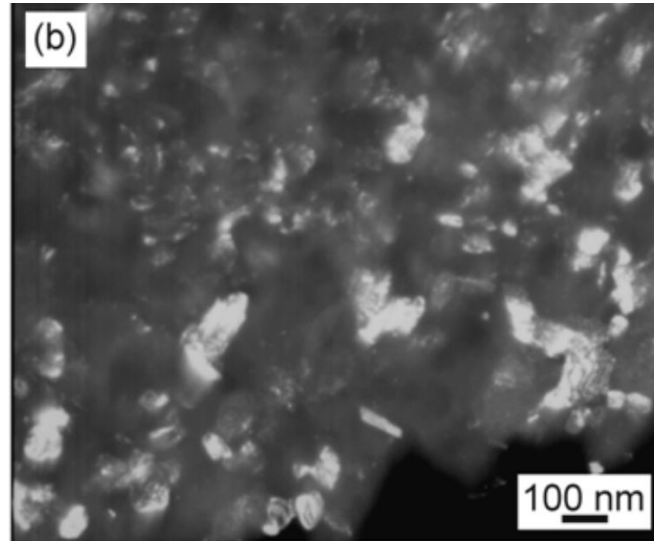
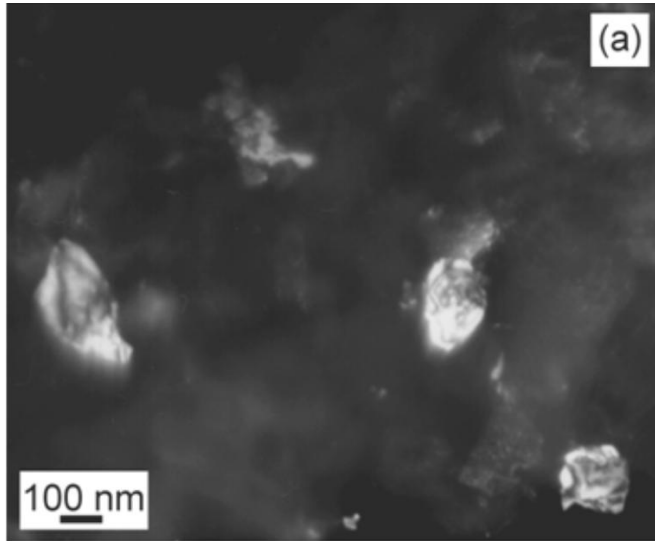
Diszlokációsűrűség



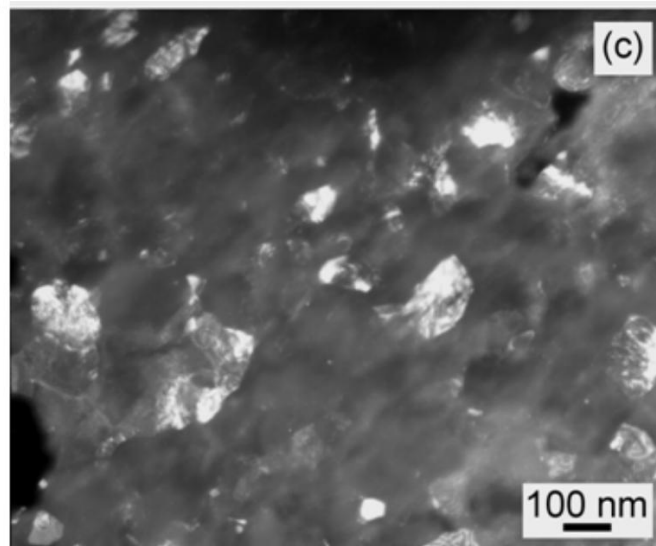
Ikerhatár gyakoriság

b) TEM

Cu
174 nm



Cu-CNT-RT
74 nm



Cu-CNT-373
83 nm

5) Mikroszerkezeti paraméterek és a folyáshatár kapcsolata

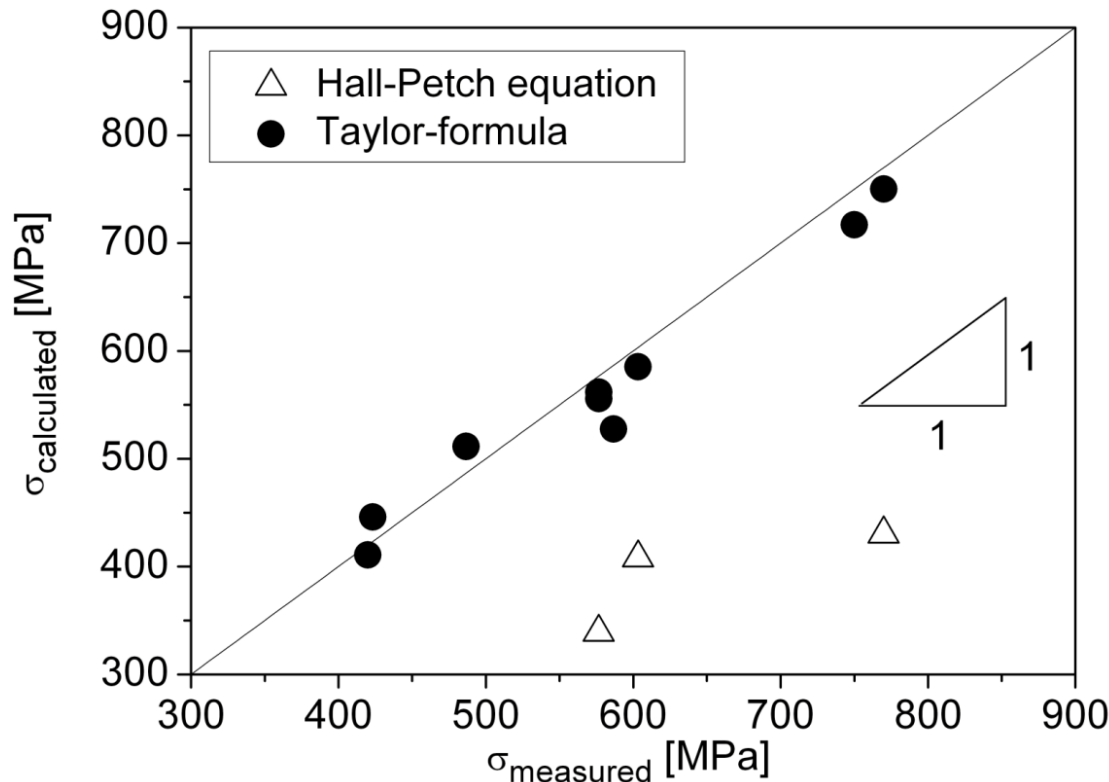
Porozitással (P) korrigált Taylor-formula:

$$\sigma = \left(\sigma_0 + \alpha M^T G b \rho^{\frac{1}{2}} \right) \exp(-0.05P)$$

Porozitással (P) korrigált Hall-Petch-egyenlet:

$$\sigma = \left(\sigma_0 + k d^{-\frac{1}{2}} \right) \exp(-0.05P)$$

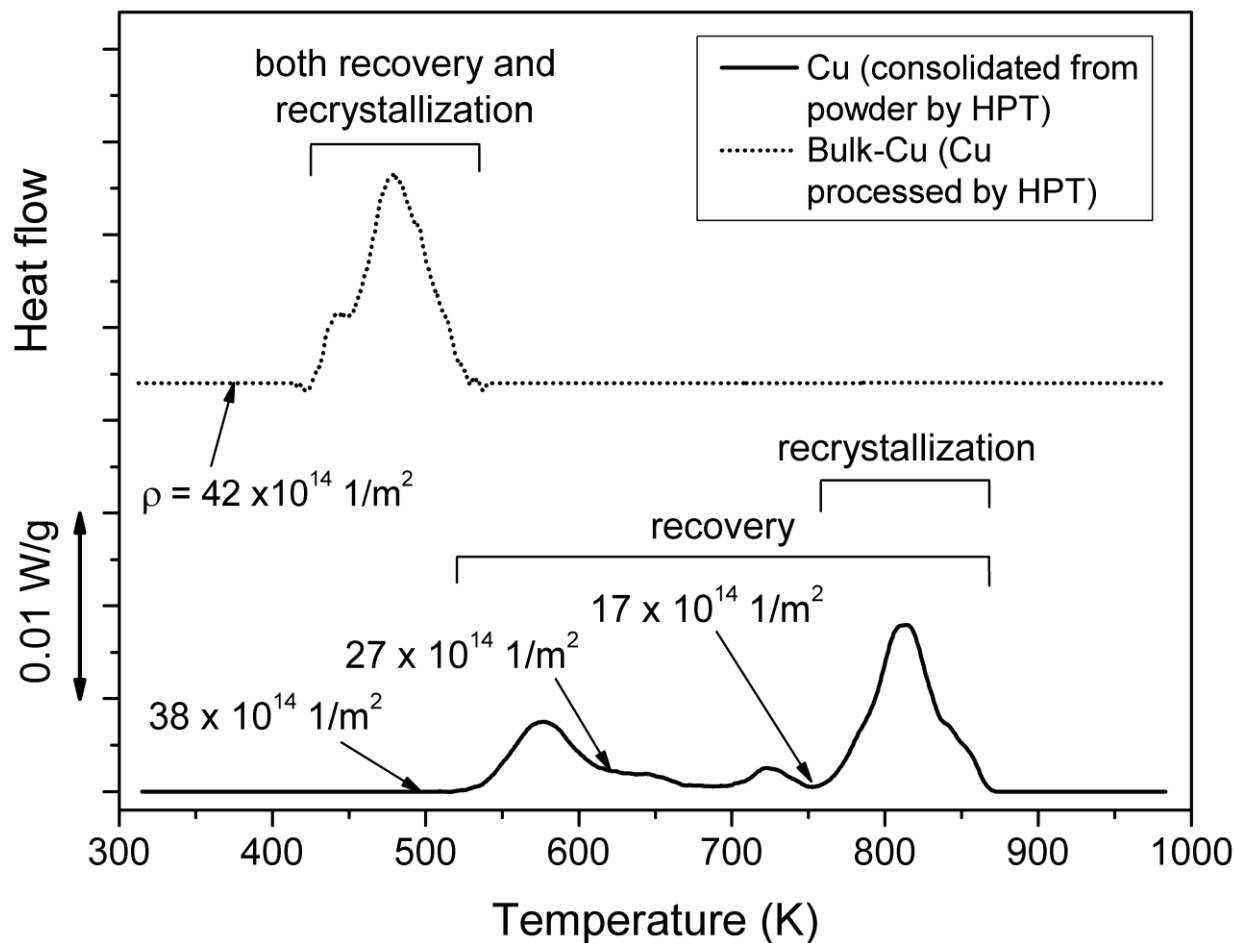
ahol d a szemecsméret és ρ a diszlokáció sűrűség

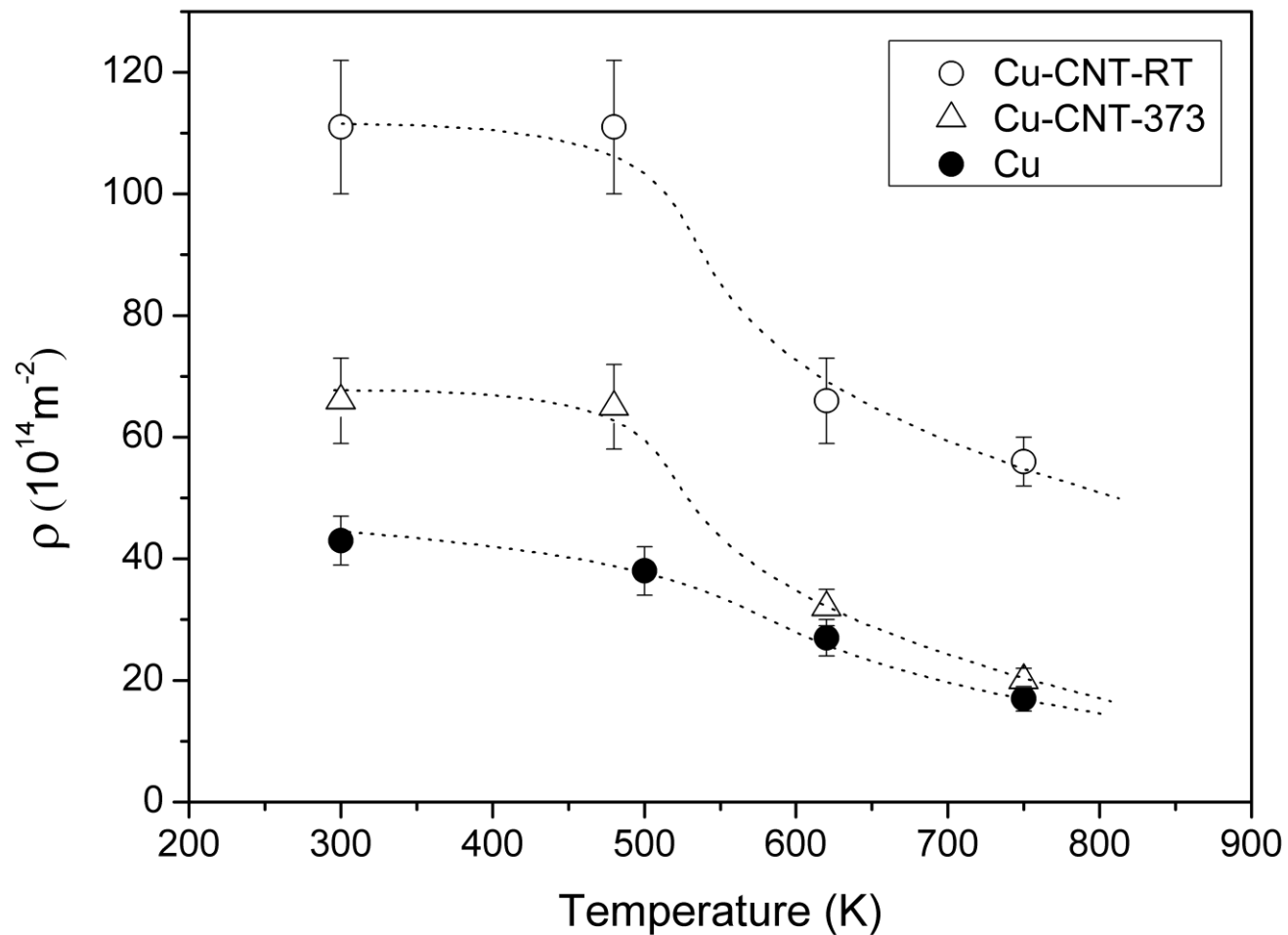


Habár a Taylor-formula csak a diszlokációk közötti kölcsönhatást veszi számításba mégis képes megadni a keménységét a tiszta és kompozit anyagoknak is.

6) Termikus stabilitás

A Cu-CNT kompozitok termikus stabilitását kalorimetria és röntgen vonalprofil analízis segítségével tanulmányoztuk





A hibasűrűség magas marad a pórból tömörített minták esetén még 750 K hőmérsékletű hőkezelést követően is.

Összefoglalás

1. A szobahőmérsékleten tömörített Cu-CNT kompozit rendkívül nagy keménységet (2.31 GPa) mutatott az extrém magas diszlokációsűrűségnek ($111 \pm 10 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$) köszönhetően. A szén nanocsövek rögzítő hatásának következtében a diszlokációsűrűség körülbelül háromszor magasabb, miközben a szemcseméret feleakkora lett, mint a tiszta rézporból tömörített minta esetén. A Cu-CNT minta nagy folyásfeszültsége, valamint kis szemcsemérete jelentős mértékű ikresedéshez vezetett, ami a tiszta réz minta esetén nem volt tapasztalható.

2. A HPT eljárás során a hőmérséklet növelése (szobahőmérsékletről 373 K-re) a szemcseméret csekély növekedésével járt, míg a diszlokációsűrűség a felére, illetve az ikerhatár valószínűség a harmadára esett vissza a szobahőmérsékleti értékekhez képest.

3. A kísérletileg meghatározott folyáshatár jó egyezést mutat a Taylor-formulából számított értékkel, amiből arra lehet következtetni, hogy a szilárdságot elsősorban a diszlokációk közötti kölcsönhatás határozza meg minden tanulmányozott minta esetén. Emellett ez azt is mutatja, hogy a CNT töretdarabok indirekt módon a diszlokációsűrűség növelésével keményítik az anyagot.

4. A tiszta rézporból HPT-vel tömörített, valamint a HPT-vel alakított durvaszemcsés tömbi anyag szemcsemérete, diszlokációsűrűsége és a keménysége azonos. Emellett a termikus stabilitása sokkal jobb a porkohászati úton előállított mintának.

Köszönöm a figyelmet!