

# Többrétegű lemezes kompozit szerkezet gyártása nagy mágneses mezők árnyékolására szupravezető állapotban

## Production of a multilayer plate composite structure for shielding large magnetic fields in a superconducting state

SZABÓ Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Miskolci Egyetem, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc Egyetemváros, Hungary

### Abstract

*In this study, we dealt with the production of a multilayer plate composite structure. The structure is suitable for shielding large magnetic fields in the superconducting state. The multi-layer Cooper, Niobium and Niobium-Titanium alloys were rolled hot and then cold in a special cassette. After rolling, the layer boundaries were subjected to various tests and analyzed.*

**Keywords:** niobium, niobium-titanium, composite, superconducting material, rolling

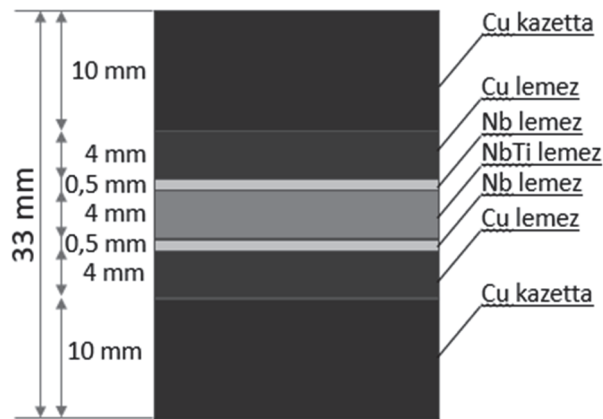
**Kulcsszavak:** nióbbium, nióbbium-titán, kompozit, szupravezető anyag, hengerlés

### 1. BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

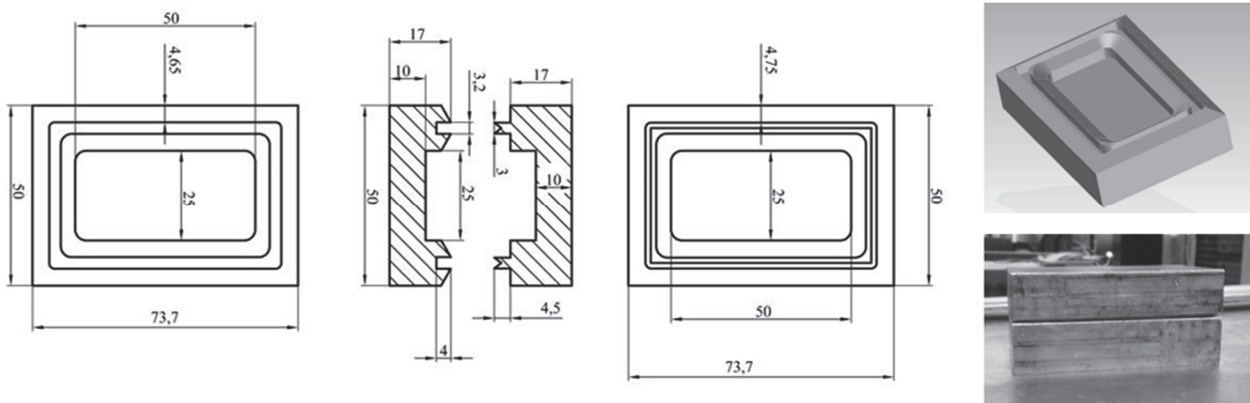
Korábban is kísérleteztek különböző anyagokkal, mely alkalmas lehet szupravezető hőmérsékleten mágneses terek árnyékolására. Ezen anyagok közül az űrkitatásban alkalmazott, űrhajók mágneses térre vonatkozó árnyékolására kifejlesztett anyagokat vizsgálták, az anyagok árnyékolóképességét, árnyékolás hatásosságát és ezek kialakítási lehetőségeit. Inkább a felépítés és a dizájn irányába értek el előrelépést, de sok más terület még fejlesztésre/kutatásra szorul. [1]. Más szerzők a hengerléssel plattírozott kompozit anyaggyártás lehetőségeit nézték meg. Például szimmetrikus hengerlési módszerrel vizsgálták több rétegű lemezek kötési tulajdonságait. Hengerlési erő és nyomaték határértékek segítségével elemezték a kötési tulajdonságokat. A szimulációs eredményeiket összevetették a szakirodalomban fellelhető más eredményekkel és ezek rendkívül nagy egyezést mutattak. [2] Az elektromágneses ill. mágneses térre gyakorolt hatását vizsgálták különböző morfológiájú árnyékoló rendszereknek és anyagoknak. [3] Voltak olyan szerzők is, akik az általunk fejleszteni kívánt anyagokkal végeztek kísérleteket. Ilyen vizsgálat során Nb-NbTi-Cu ötvözetekből álló kompozit lemezek mágneses árnyékolóképességét vizsgálták. Megállapították, hogy a hosszú idejű hőkezelés esetén érhető el a legjobb eredmény az árnyékolóképesség szempontjából, ugyanis az alfa-titán kiválás így lesz optimális. [4] NbTi-Nb-Cu rendszerből állítottak elő többrétegű lemezt, melyeket árnyékolásra használtak. 60 réteg helyezkedett benne el, melyből 30 volt szupravezető, a belső tér árnyékolását vizsgálták és hasonlították össze a hatásosságát a már korábban alkalmazott árnyékolási koncepcióval. [5] További szerzők többrétegű lemezek alakváltozó képességének növelését vizsgálták, húzó, mélyhúzó és hajlító vizsgálatokkal. Míg egyrétegű lemezek esetén a fűlésedés nagyon fontos szerepet játszik, több réteg esetén ez csökken. A vizsgálatokat analitikusan és VEM modellek segítségével végezték. [6] A vizsgálat során Nb-NbTi-Cu ötvözetekből álló üreges hengerek mágneses árnyékolóképességét vizsgálták. Már 1,2 mm vastagságú réteg is képes a 8T mágneses teret a henger belsejében 0,7T-ra csökkenteni. Vizsgálták az átmérő vastagság hatását, valamint a kritikus áramsűrűség hatását is. [7] Különböző anyagokból rétegzett többrétegű lemezek előállításával és feldolgozásával foglalkoztak. A nem eloxált felületű alumínium lemezekből állították elő a kompozitjaikat, melyeket vizsgáltak TEM, SEM vizsgálatokkal, valamint mechanikai vizsgálatokat is végeztek rajtuk. [8]

### 2. KIINDULÁSI ADATOK ÉS GEOMETRIA

Cu, Nb, és NbTi lemezek felhasználásával, hideghengerléssel 4 mm (NbTi) és 0.5 mm (Nb) vastag lemezek készültek, valamint készültek forgácsolással szintén 4mm vastag Cu lemezek is. Az 50x25 mm felületű lemezeket előzetesen legyártott Cu kazettába raktuk oly módon, hogy az egyes rétegek felületét kémiai tisztítottuk. A kémiai tisztítást a kazetták belső felületén is elvégeztük. A kialakított pakett geometriát (réteget) az 1., míg a kazetta geometriát a 2. ábra mutatja.



1. ábra – Rétegréteg és töltet geometria



2. ábra – Kazetta geometria

A Cu kazettát úgy alakítottuk ki, hogy Ar gázban összeszerelve, majd 1 MN terhelő erővel megnyomva (préselve) a 2 kazettafél képlékeny alakváltozást szenvedjen és a zömölő felületek légmentesen tömítsenek, ezzel gátolva az érintkező rétegek oxidációját. A Cu kazettát tömbi anyagból forgácsolással (marás) állítottuk elő. A lemezeknek szükséges fészek mérete  $25_{(+0)^{(+0,1)}} \times 50_{(+0)^{(+0,1)}} \text{ mm}$ , míg a behelyezésre kerülő lemezek mérete  $25_{(-0,1)^{(-0)}} \times 50_{(-0,1)^{(-0)}} \text{ mm}$  volt. A sarkokban  $R=5\text{mm}$ -es lekerekítéseket alkalmaztunk.

### 3. HENGERLÉSI KÍSÉRLETEK

A hengerlés előtt a Cu kazettát 60 percig  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ -os kemencében hőn tartottuk. A hengerlés sebessége  $30 \text{ m/perc}$  volt. Kenőanyag:  $3 \text{ m/m } \%$ -os melehengerlési emulzió. Az első 15 szűrés után a darabot 5 percig visszahelyeztük a kemencébe, így biztosítva a melehengerlés megfelelő hőmérsékletvezetését. A 16. szűrástól kezdve a hengerlést „egymelegből” végeztük ún. félmeleg alakítással. (3. ábra) A hengerlés során a hőmérséklet méréstől az idő rövideje és az alábbi okok miatt eltekintettünk:

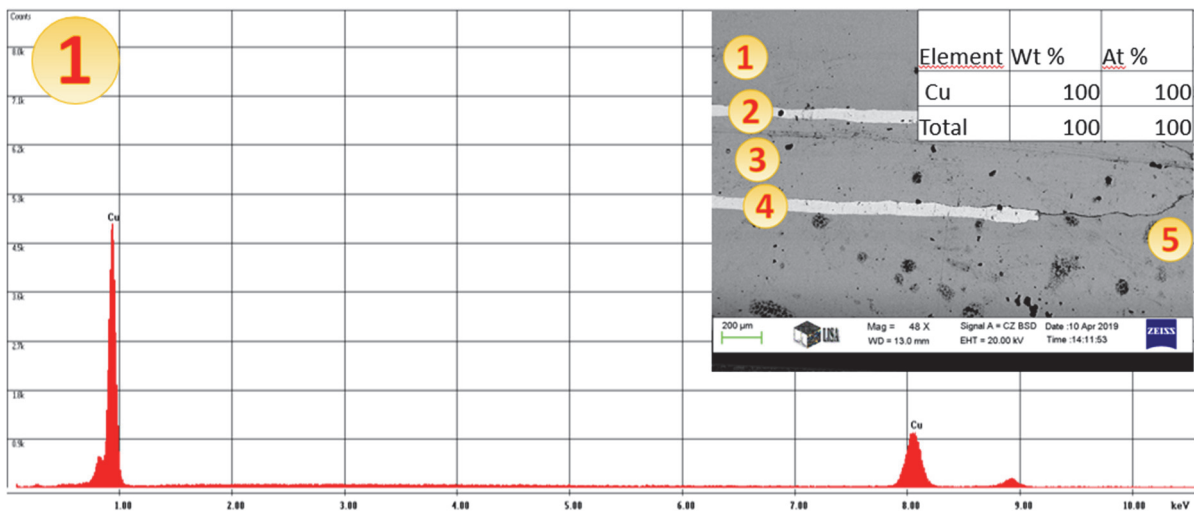
A szűrő, tapintó hőmérővel való hőmérsékletmérés jelentősen lassítja a hengerlést, mivel szűrés előtt és után is több mp-ig hűl a darab a nagy méretű és tömegű (darabhoz viszonyított) acéllemez asztalon, ez jelentősen elvonja a hőt, amelyet visszamelegítéssel tudunk csak pótolni. A felületen keletkező vastag réz(II)-oxid miatt a hőmérő nem érintkezik a rézzel, így a hőmérséklet mérés bizonytalan. Az így mért hőmérséklet érték akár  $60\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot is szórhat. A későbbiekben a hőmérséklet mérést meg fogjuk oldani, ill. több kísérlet esetén a mérési bizonytalanság akár ki is küszöbölhető.



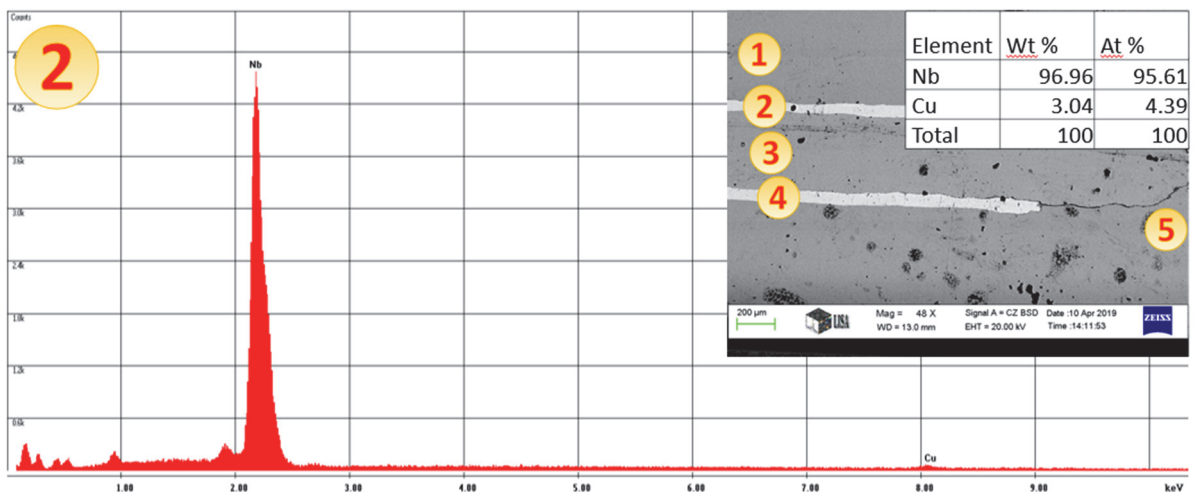
3. ábra – Hengerelt kazetta /utolsó szűrás/

#### 4. MEGÁLLAPÍTÁSOK ÉS KONKLÚZIÓ

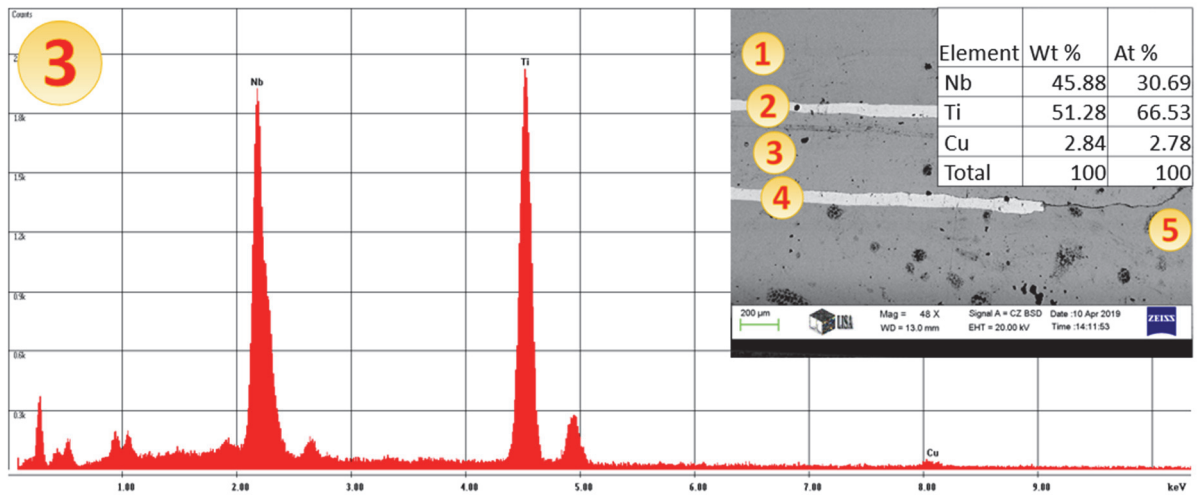
Hengerlés után a mintákon SEM és EDAX vizsgálatokat végeztünk. Ezekről készült felvételeket a 4 a-e. ábrák mutatják.



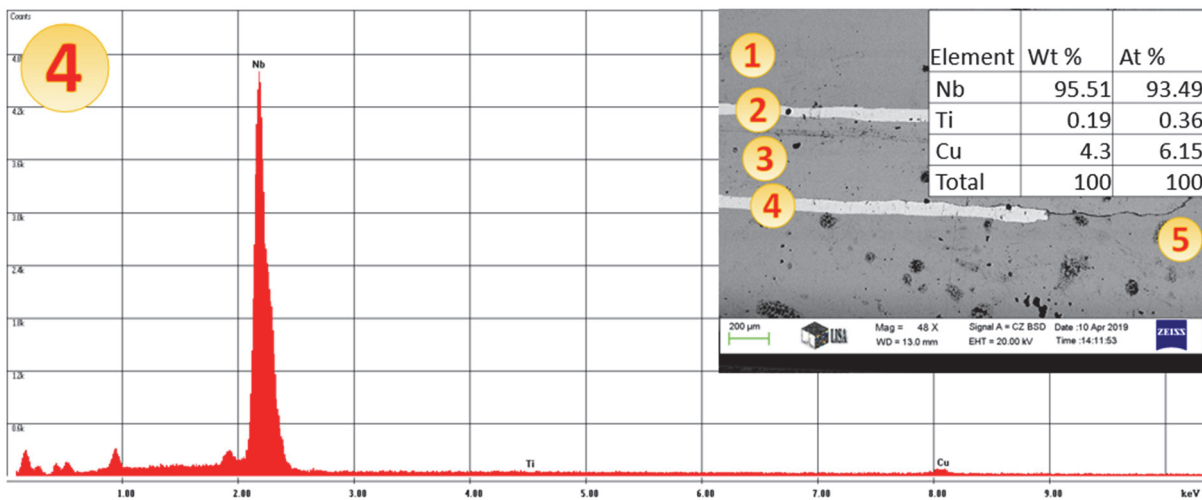
a.



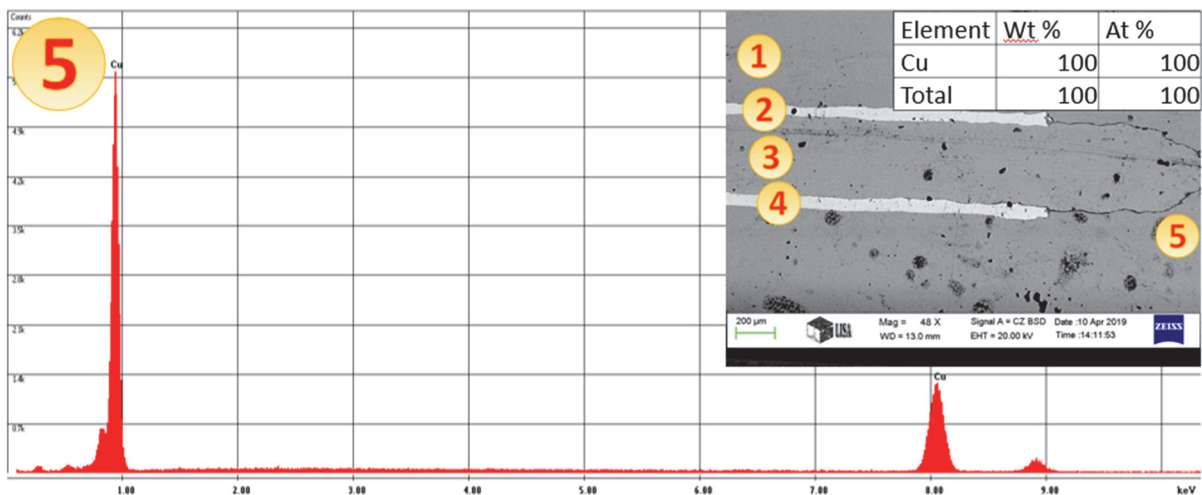
b.



c.



d.



e.

4. ábra – SEM és EDAX eredmények

A Cu 1/20 a Nb és NbTi 1/10 vastagságra változott miközben a teljes anyag 1/18-ra csökkent. Az EDAX elemzés az anyagok azonosságát mutatta ki.

A nagy tisztaságú Cu lemez és a Cu kazetta réteghatára nem volt kimutatható.

**Irodalmi hivatkozások**

- [1] S.A.WASHBURN, S.R.BLATTNIG, R.C.SINGLETERRY, S.C.WESTOVER, Active magnetic radiation shielding system analysis and key technologies, *Life Sciences in Space Research* 4(2015)22–34
- [2] H. HAGHIGHAT, P. SAADATI, An upper bound analysis of rolling process of non-bonded sandwich sheets, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 25(2015) 1605–1613
- [3] J. BASS, CPP magnetoresistance of magnetic multilayers: A critical review, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 408 (2016) 244–320
- [4] I. ITOH and T. SASAKI, Critical current density of superconducting NbTi/Nb/Cu multilayer composite sheets, *Cryogenics* 35 (1995) 403-404
- [5] T. SASAKI and I. ITOH, Multilayer NbTi superconducting magnetic shields via interfacial pinning, *Cryogenics* 35 (1995) 335-338
- [6] J. YANAGIMOTO (2), T. OYA, S. KAWANISHI, N. TIESLER, T. KOSEKI, Enhancement of bending formability of brittle sheet metal in multilayer metallic sheets, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59 (2010) 287–290
- [7] T. SASAKI and I. ITOH, Magnetic cylinder shielding by Nb-Ti multilayer, *Cryogenics* 36 (1996) 497-506
- [8] M. T. JOVANOVIĆ, N. ILIĆ, I. CVIJOVIĆ-ALA GIĆ, V. MAKSIMOVIĆ, S. ZEC, Multilayer aluminum composites prepared by rolling of pure and anodized aluminum foils, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 27(2017) 1907–1919