

POLIMER ANYAGOK LÉZERSUGARAS JELÖLHETŐSÉGE**LASER MARKABILITY OF POLYMER CABLE INSULATIONS**Dobránszky János¹, Bitay Enikő²¹ MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műgyetem rak-part 3. Magyarország, telefon: +36 1 463 1934, Dobranszky.Janos@eik.bme.hu² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Șoseaua Sighișoarei 1C, Corunța 540485, Románia, telefon: +40-75-1016063, ebitay@ms.sapientia.ro**Abstract**

The paper presents laser marking experiments that were carried out on many, different colour, automotive cable insulation for determining their ability to laser marking. It was studied that how deep is the degradation caused by the laser beam, compared to the insulation thickness. Yellow, red, green and black colour insulations were marked by using a TRUMPF VectorMarc workstation, then investigated by preparing cross-sectional metallographic samples. Minimal and maximal value of the laser affected depth was 32 and 159 microns for the green and the yellow colour insulation respectively.

Keywords: laser markability, laser marking, polymer insulation, marking depth

Összefoglalás

A cikk azokat a kísérleteket ismerteti, amelyeket a szerzők annak érdekében végeztek, hogy meghatározzák többféle autóvillamossági kábel eltérő színű szigetelésének lézerral való jelölhetőségét. A jelölhetőséget annak alapján értékelték, hogy milyen, az eredeti vastagsághoz mért relatív mélységbe hatolt be a lézersugár a polimer anyag roncsolódását okozva. A sárga, piros, zöld és fekete színű kábelszigetelések a TRUMPF VectorMarc munkaállomáson készített jelölések után metallográfiai keresztcsiszolatukon voltak vizsgálva.

Kulcsszavak: lézeres jelölhetőség, lézeres jelölés, polimer szigetelés, jelölési mélység

1. Bevezetés

A műanyagok lézersugaras jelölése talán a leginkább elterjedt lézersugaras megmunkálás. A jelölés része a tömeggyártásnak, ahol gyakran szabad szemmel nem is követhető sebességgel „folyik” a gyártmány a gyártósoron, és ebben a dinamikus folyamatban kell sokszor minden egyes terméket egyedi azonosítóval ellátni [1, 2, 3].

A jelölés hatásmechanizmusát tekintve lehet gravírozás, ablálás, hőkezelés, habosítás és hőszínezés. Az autóiipari kábelek szí-

geteléseinek jelölésére gyakorlatilag csak a hőszínezés jöhet szóba, mivel minden más jelölési mechanizmus az anyag szerkezetének vagy mennyiségének olyan mértékű változását okozza, amely már zavaró az alapvető rendeltetést [4, 5, 6].

Természetes, hogy ebben a technológiai környezetben a jelöléssel szemben nemcsak a legalapvetőbb műszaki követelmények fogalmazódnak meg – mint pl. a láthatóság vagy a tartósság –, de a gyorsaság is. A bemutatott kísérletek az eredeti, 0,26 s ciklusidő rövidítése céljával készültek.

A hőre lágyuló műanyagok lézeres jelölése során különböző kölcsönhatások mennek végbe, és ezek közül néhány nem teljesen ismert. Az teljesen nyilvánvaló, hogy a kölcsönhatás a lézer és az anyag között számos tényezőtől függ, és a kölcsönhatás eredménye is eltérő. Például a szürke színű PA66 anyagot töltőanyag nélkül is lehetséges jelölni, de a (tűz esetén) önkioltó tulajdonságú PA66-ot talán lehetetlen jelölni.

Annak érdekében, hogy a hőre lágyuló polimer anyagokat lehetséges legyen lézerrel megjelölni, alapvető követelmény, hogy az anyag elnyelje a lézersugár által szállított energiát. Ennek hatására az anyag színe megváltozik (vagy hasonló hatás alakul ki). Az abszorpció természetesen megvalósulhat magában a polimer anyagban, de ha mégsem, akkor szükség van színezőanyagok (pigmentek) és/vagy más adalékanyagok hozzáadására.

A legtöbb, hőre lágyuló műanyagot, amely nem pigmentált (tehát színe a polimer anyag eredeti színe), nem lehet jelölni lézerrel, illetve lehet, de a jelölés láthatósága gyenge, mert az anyag nem nyeli el a lézerfényt, amelynek hullámhossza a jelölésben elterjedten használt Nd:YAG lézerforrásnál 1064 nm.

A hőre lágyuló, töltőanyag vagy pigmentek nélküli – ún. természetes hőre lágyuló polimerek – három általános kategóriába oszthatók a lézeres jelölésre való alkalmasságuk alapján:

– 1. csoport

Olyan polimerek, amelyek jól elnyelik a lézersugárzást; ennek következtében elszínesednek (feketednek), amitől jól észrevehetően sötétebb lesz az a terület, ahol a lézersugárzás elnyelődött. Példák az ilyen anyagokra: a poliészterek (PES) és a poliszulfonok (PSU).

– 2. csoport

Azok a hőre lágyuló polimerek, amelyek kiszámíthatatlanul nyelik el a sugárzást, ezért elszínesedésük szabálytalan, a jelö-

lési nyomok tehát nem egységesek, azaz nem folytonos jelölés. Például az ilyen anyagok közé tartoznak a polisztirolok (PS) vagy habosítható kopolimerek közé tartozó sztirol-akrilnitril (SAN) és az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS). Ez a 2. csoport magába foglalja a sztirol- és poliészteralapú gyantákat (PET és PBT). Ha megfelelő pigmentet vagy különleges adalékanyagot is tartalmaznak, ezek az anyagok egyenletesebben jelölhetők, és kiváló minőségű jelölést is kaphatunk. Mindkét, eddig említett csoportban optimalizálható egy pigment/adalék keveréke annak érdekében, hogy a sötét háttérre olyan jelölés jöjjön létre, amelynek színe megközelíti a fehéret.

– 3. csoport

Olyan, hőre lágyuló műanyagok, amelyeknek nagyon kicsi vagy akár el is hanyagolható a lézersugár-elnyelésük. Ez a csoport magában foglalja a PA, POM, PP, PE és a PPS polimereket. Az eredeti, színezetlen, állapotában ezeket az anyagokat nem lehet megjelölni lézerrel. Azonban egy világos színű, közel fehér jelölés készíthető sötét színű pigment hozzáadásával. Ezek a hőre lágyuló polimerek tehát a pigment színétől függően világos és sötét színű jelöléssel is elláthatók az adalékanyagok fajtájától függően.

A lézeres jelölést erősen befolyásolják a töltőanyagok, a keménységnövelő erősítők, a különleges adalékok, mint pl. az önkioltó viselkedést biztosító adalékanyagok.

Ellentétben azzal, amit gondolnánk, az üvegszálak jelenléte csak kismértékben csökkenti a (lézeres) jelölhetőséget. Lévéen saját színük, bizonyos típusú töltőanyagok vagy önkioltó adalékanyagok csökkenthetik a műanyag alkalmasságát a lézeres jelölésre. Ugyanakkor bizonyos önkioltó rendszerek adalékanyagai javíthatják a lézeres jelölés kontrasztját.

2. A kísérleti anyagok és a vizsgá- lathoz használt eszközök

Az együttműködő ipari partnerünkkel egyeztetett és előzetesen kísérleti céllal kipróbált szakmai programnak megfelelően elvégeztük a hat különböző autóiipari villamos vezeték szigetelésén a lézersugaras jelöléseket, majd az elhelyezett lézersugaras jelölések anyagvizsgálatát.

A jelek TRUMPF VectorMarc VMc 5 típusú munkaállomáson készültek, 55 kHz frekvencia, 5 μ s impulzushossz és 0,05 mm átfedés alkalmazásával; a ciklusidő 120 ms.

A vizsgálatok célja az volt, hogy meghatározzuk a lézersugár behatolási mélységét, hatását és az esetleges szerkezeti elváltozásokat a szigetelésnek a felület alatti zónájában. A vizsgálatokat a következő színű vezetékeken végeztük:

- sárga,
- piros,
- piros-fekete,
- zöld-sárga,
- fekete-H,
- fekete-R.

A lézeres jelölési kísérletek után a jelölések topográfiai jellemzőit Nikon SMZ-2 típusú sztereobinokuláris mikroszkóppal vizsgáltuk. A huzalok keresztcsiszolatainak optikai mikroszkópos vizsgálatát Olympus PMG-3 fémmikroszkóppal végeztük. A lézersugár behatolási mélységét a mikroszerkezeti fotókon kvantitatív képelemző módszerrel mértük.

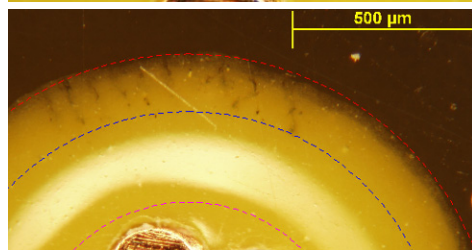
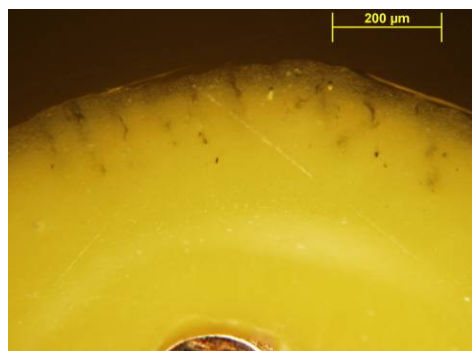
3. A kísérletek eredménye

3.1. A sárga színű vezeték vizsgálata

Az 1. és 2. ábrán látható a lézersugaras jelölés felületi képe, illetve a keresztcsiszolatról készített kép. A behatolási mélységet a külső szaggatott vonalig terjedő távolság jelenti. A lézersugár szűk csatornákon, de viszonylag mélyre hatol be.



1. ábra. A 2×0,6 mm-es jelölés képe a szigetelés felületén



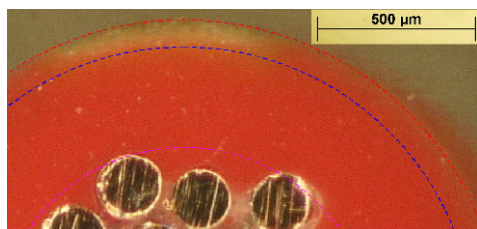
2. ábra. A lézersugár által érintett zóna a keresztcsiszolaton; a behatolási mélység 159 mikrométer

3.2. A piros színű vezeték vizsgálata

A 3. és a 4. ábrán látható a lézersugaras jelölés felületi képe, illetve a keresztcsiszolatról készített kép. A behatolási mélységet a 4. ábrán a szaggatott vonalak köze jelöli. A lézersugár széles csatornákon, de viszonylag kis mélységre hatolt be, a felületi kitöltés teljesen egyenletes.



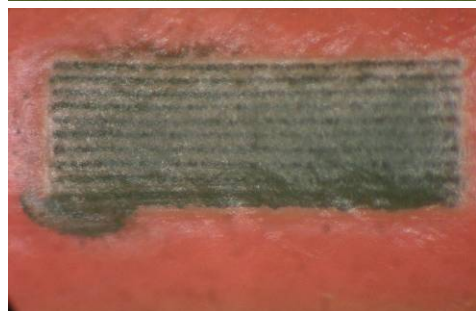
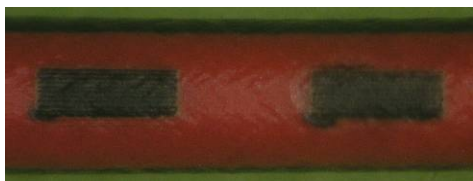
3. ábra. A 2×0,6 mm-es jelölés képe a szigetelés felületén



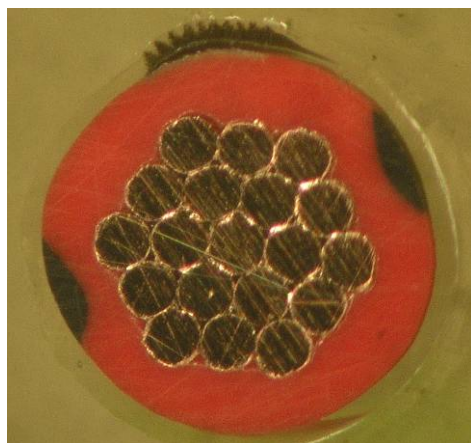
4. ábra. A lézersugár által érintett zóna a keresztcsiszolaton; a behatolási mélység 88 mikrométer

3.3. A piros-fekete színű vezeték vizsgálata

Az **5. ábrán** látható a lézersugaras jelölés felületi képe, a **6. ábrán** pedig a csiszolatról sztereomikroszkóppal készített kép.

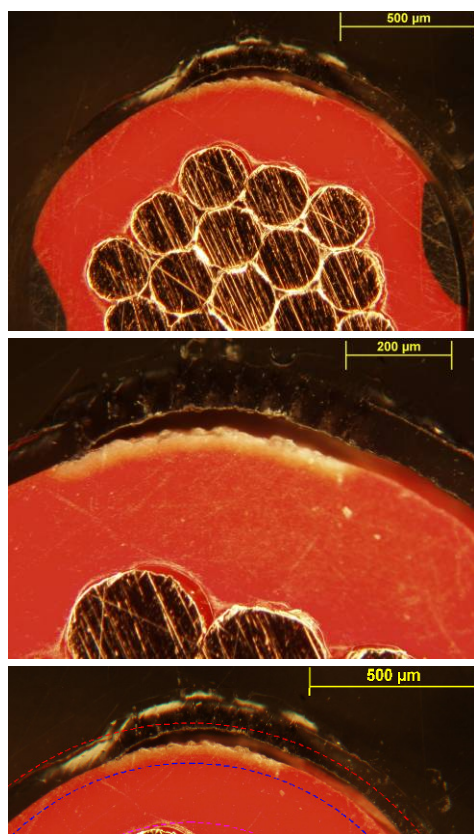


5. ábra. A lézeres jelölés a piros színű anyag felületén



6. ábra. Sztereomikroszkóppal készített makrofotók a keresztcsiszolatról. Jól látható az átlátszó bevonati réteg határa is a hő okozta szétválás miatt.

A behatolási mélységet a **7. ábrán** a szaggatott vonal jelöli. A lézersugár az átlátszó rétegben befelé szélesedő csatornákon hatolt be, és elválasztotta azt a piros színű szigetelőtől, amelyben már kicsi a behatolási mélysége.

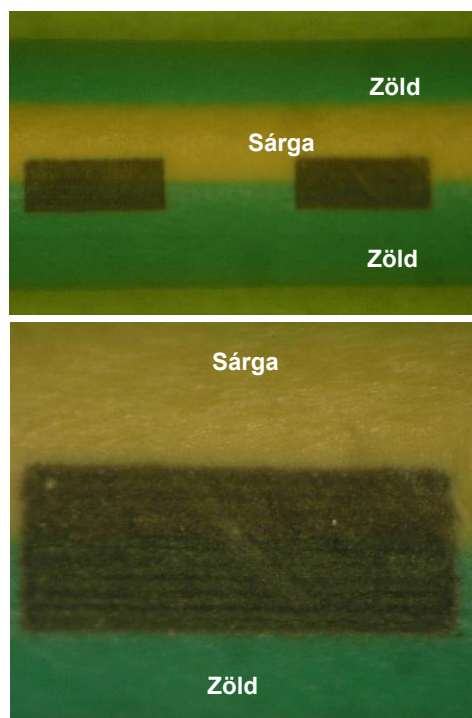


7. ábra. Fém-mikroszkóppal készített makrofotók a keresztcsiszolatról. A lézersugár behatolási mélysége 117 mikrométer

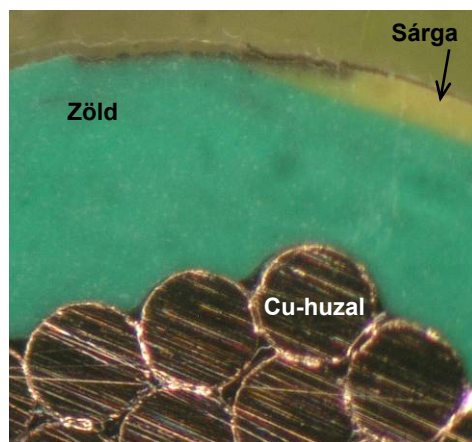
3.4. A sárga + zöld színű vezeték vizsgálata

A 8. ábrán látható a sárga és a zöld színű terület határára felvitt lézersugaras jelölés felületi képe, illetve a 9. ábrán a metallográfiai csiszolatról sztereomikroszkóppal készített kép. A behatolási mélységet a 10. ábrán szaggatott vonalak határolják a kétféle színű szigetelőanyagban egyaránt.

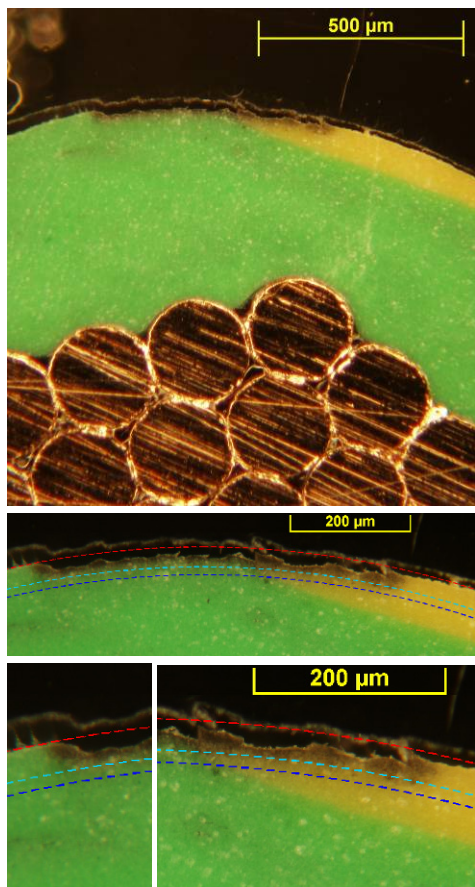
A lézersugár a sárga színű rétegben egyértelműen észlelhetően mélyebbre hatolt be, mint a zöld színű szigetelésbe, de mindkét anyagnál jóval kisebb a behatolási mélység a többihez képest.



8. ábra. A $2 \times 0,6$ mm-es jelölés képe a szigetelés felületén



9. ábra. Sztereomikroszkóppal készített kép a keresztcsiszolatról. Jól látható, hogy a zöld színű műanyagban valamelyest kisebb mértékű a lézersugár által okozott látható elváltozás.

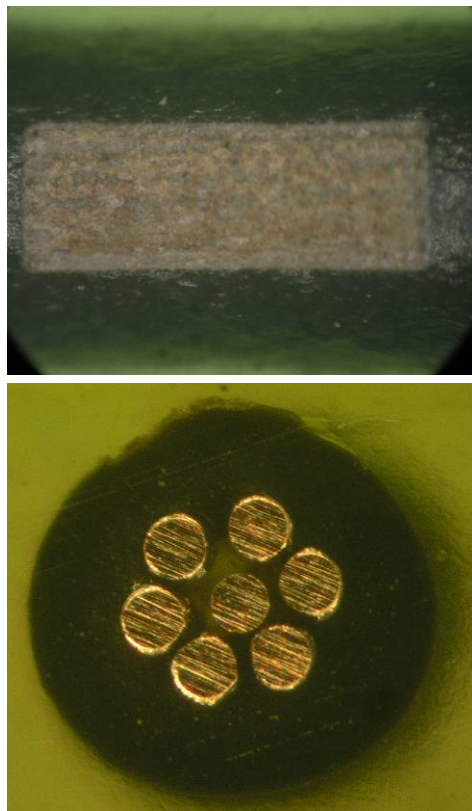


10. ábra. Fémmikroszkóppal készült kép a lézersugárral kezelt zóna keresztmetszeti csiszolatáról. A lézersugár behatolási mélysége a zöld anyagba 32, a sárga anyagba 45 mikrométer.

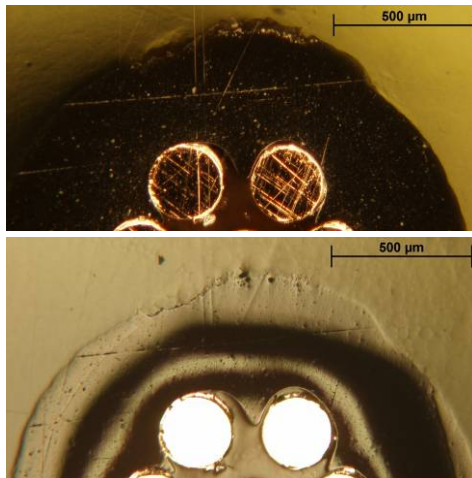
3.5. A fekete színű vezeték vizsgálata

A **11. ábrán** látható a jelölés felületi és metszeti képe, a **12. ábrán** a fémmikroszkóppal készített képek. A vezeték átmérője az összes közül a legkisebb (1,6 mm) volt, ezért itt már jelentősebb a téglalap alakú jelölési terület szélére és közepére beeső lézersugár beesési szögének eltérése.

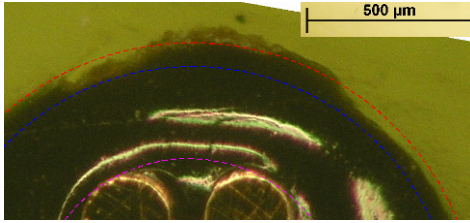
A behatolást a **13. ábrán** szaggatott vonal jelöli. A nagyobb felületi görbületváltozás ellenére a lézersugár viszonylag egyenletesen és kis mélységre hatolt be.



11. ábra. Makrofotók a felületről és a keresztcsiszolatról



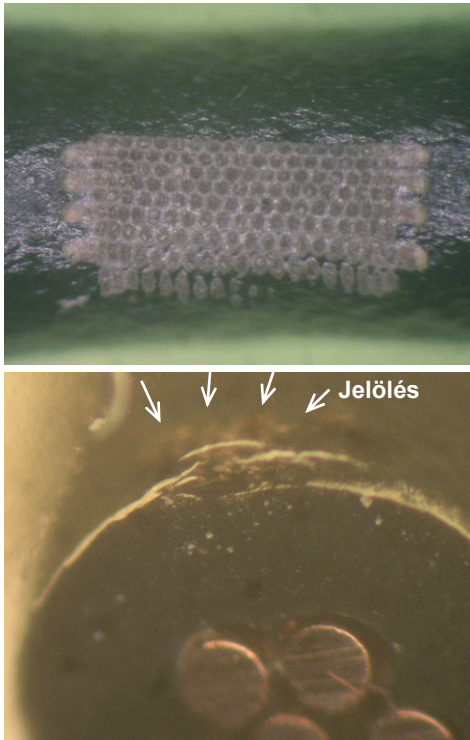
12. ábra. Világos és sötét látóteres kép a csiszolatról



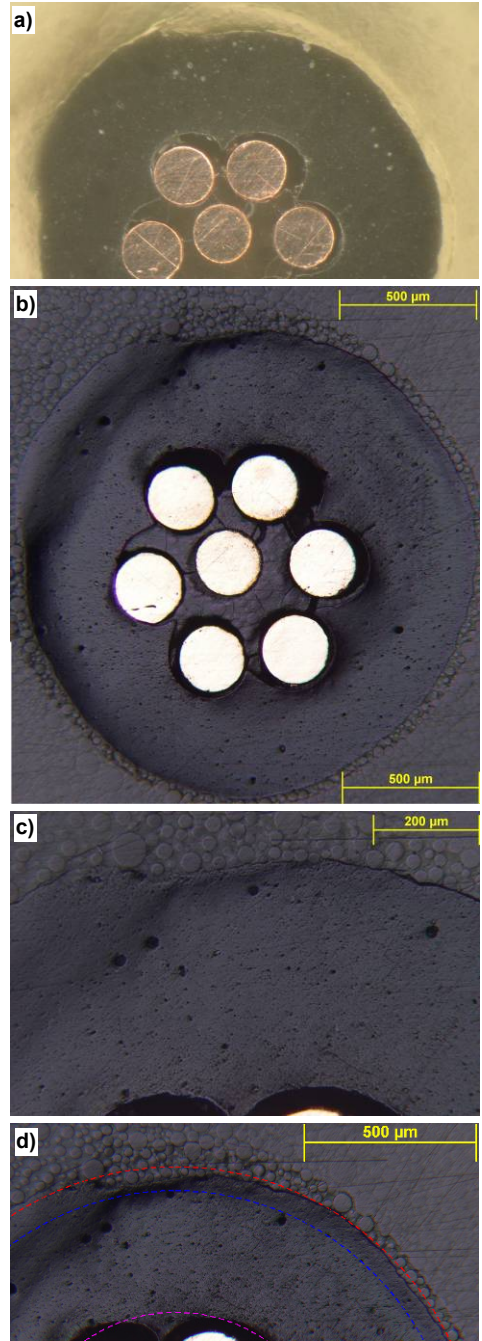
13. ábra. A lézersugárral kezelt zóna keresztcsíszolatán látható a lézersugár behatási mélysége: 72 µm

3.6. Fekete színű, de eltérő összetételű szigetelés jelölése

A **14. ábrán** látható a lézersugaras jelölés felületi képe, illetve a keresztcsíszolatról készített képek. A behatolási mélységet a **14.d ábrán** a két külső szaggatott vonal jelöli. A lézersugár viszonylag kis mélységre és egyenletesen hatol be.



13. ábra. A jelölés sztereomikroszkóppal készített képe a felületről és 45°-os perspektívából



14. ábra. A vezeték keresztcsíszolatáról készített képek. A lézersugár behatolási mélysége 66 mikrométer

7. Összefoglaló értékelés

Elvégezve a különböző vastagságú és színű vezetékek szigetelésén található lézersugaras jelölések vizsgálatát, bemutattuk azt, hogy milyen változások mennek végbe a szigetelőanyagok felülete alatti zónában.

A lézersugaras jelölési mechanizmusok közül a hőszínezés technológiai tartományában kívántunk maradni, ami a 3.6. alfejezetben bemutatott vezeték kivételével minden esetben sikeresen meg is valósult; az említett kivétel esetében már a habosítási folyamatba is belecsúszott a technológia.

Mérésekkel meghatároztuk a lézersugár hatására elváltozást szenvedett zóna mélységét is, amely mérési adatokat az 1. táblázatban összegeztünk.

1. táblázat. A jelölések behatási mélysége metrikus értékben és a szigetelés vastagságának százalékában megadva

Sorsz.	Szín	Behatolás	
		μm	%
1.	Sárga	159	39,0
2.	Piros	88	21,2
3.	Piros-fekete	117	40,3
4.	Zöld-sárga	45	11,0
5.	Zöld-sárga	32	7,9
6.	Fekete-H	72	18,4
7.	Fekete-R	66	15,7

A mérési eredmények alapján egyértelműen levonható az a következtetés, hogy a lézersugaras jelölés behatolási mélysége jelentősen függ a vezetékek szigetelésének színétől és nyilvánvalóan az anyagától.

A technológiai változók szerepét nem elemeztük, mivel éppen az azok változatlansága esetén kapott eredmény az egyik fő kérdés a gyártási folyamatban. Természetesen a lézersugár behatolási mélysége tudatosan befolyásolható.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Cornish P: *Laser beam absorption and mark depth of laser marked wires*. Ref: ST0012, Spectrum Technologies Ltd. Bridgend, UK (1997)
- [2] LATI Thermoplastics laser marking. LATI Industria Termoplastici S.p.A. Veduggio Olona (2008)
- [3] Bosman J: *Processes and strategies for solid state Q-switch laser marking of polymers*. Thesis Enschede, Veldhoven, The Netherlands (2007)
- [4] *The ultraviolet (UV) laser marking performance of common aerospace wire and cable constructions*. Abbreviated report, ST0057, Spectrum Technologies PLC, Bridgend, UK (2008)
- [5] Zhang J, Williams C: *Development of RoHS compliance colored ptfе tape for aerospace electric wire insulation*. 60th IWCS Conference, Charlotte, USA, November 6–9, 2011, Paper 5-3.
- [6] Varga B: *Lézeres jelölés alkalmazása az elektronikai termékek azonosítására*. Elektronet: elektronikai informatikai szakfolyóirat, 16 (2007:2) 32–34.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők közül Bitay Enikő kutatómunkáját a Magyar Tudományos Akadémia Domus ösztöndíjprogramja, valamint az A1-CT-TOK-12 Határon Túli Tapasztalt Oktató-kutatói Ösztöndíj támogatta.