

Additív gyártás felhasználása zománcozott berendezések javítási technológiájának fejlesztéséhez

Improving the repair technology for enamelled equipment using additive manufacturing

KASZÁS Zsombor Gábor¹, VARGA Gábor², Dr. POÓS Tibor³

¹Rimóczi és Társa Kft., 1181 Budapest, Vasvári Pál u. 6., Tel.: + 36 1 297 0300,
<https://rimoczifilters.com>, zsombi@rimoczifilters.com

²Rimóczi és Társa Kft., 1181 Budapest, Vasvári Pál u. 6., Tel.: + 36 1 297 0300,
<https://rimoczifilters.com>, gabor.varga@rimoczifilters.com

³Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., D épület 110., Tel.: +36 1 463 2529,
www.epget.bme.hu, poos.tibor@gpk.bme.hu

Abstract

Enamelled equipment is extensively utilised within chemical and pharmaceutical environments. However, the presence of enamel defects invariably restricts available repair options and poses a heightened risk of further damage. The solution to this predicament lies in the creation of a 3D-printed tantalum patch which can be non-destructively attached to the enamel surface. Glass enamel coated devices are utilised extensively in the chemical industry and in the active pharmaceutical ingredient manufacturing technologies. The primary function of the glass enamel coating is to protect against corrosion and to ensure that the manufactured product is in contact with a specifically passive surface during the manufacturing process. Glass enamel coatings find application in a wide range of industrial settings, including mixing reactors, distillation columns, and tanks, along with a variety of piping sizes, isolation fittings, filters, and associated accessories. In the present study, hydrodynamic, hydrostatic and penetration tests were conducted on a test reactor, with the resultant samples being monitored under real conditions and the findings and experiences being documented. The measurements were carried out under controlled reactor pressure and temperature, and under conditions that ensured adequate turbulence. Adequate sealing is a critical aspect in the application of the tantalum patch, as leakage will lead to device failure. The solution in the research topic is innovative, because not only in Hungary, but also among users worldwide, any necessary repairs to glass enamelled devices have been carried out by experts in the field using almost identical methods over the past 40 years. However, it should be noted that these repair methods have their limitations.

Keywords: tantalum patch, additive manufacturing, 3D printing, glass enamel reactor repair

Kivonat

Zománcozott készülékeket széleskörben alkalmaznak vegyi-, és gyógyszeripari környezetben, azonban a zománchibák megjelenésekor a javítási lehetőségek korlátozottak, további károsodás veszélyeit hordozzák magukban. Erre megoldást kínál az az eljárás, amikor célzottan a hibahelyre készül egy 3D nyomtatott tantálfolt, ami roncsolásmentesen rögzíthető a zománc felületére. A vegyiparban és a gyógyszeripari hatóanyaggyártó technológiákban nagy arányban használatosak üveg-zománc bevonatos eszközök, készülékek. Az üveg-zománc bevonat elsődleges célja a korrózió elleni védelem, illetve, hogy a gyártott termék egy kifejezetten passzív felülettel érintkezzen a termék gyártásakor. Üveg-zománc bevonattal készülnek keverős reaktorok, kolonnák, tartályok, széles mérettartományú csővezetékek, elzáró szerelvények, szűrők és kiegészítő eszközök. Kutatásunk során hidrodinamikai, hidrosztatikai és penetrációs vizsgálatokat végeztünk tesztreaktorban, amely során valós körülmények között monitoroztuk a létrehozott mintát, és dokumentáltuk az eredményeket és a tapasztalatokat. Szabályozott reaktortéri nyomás és hőmérséklet mellett, megfelelően turbulens körülmények között történtek a mérések. A megfelelő tömítettség kritikus szempont a tantálfolt

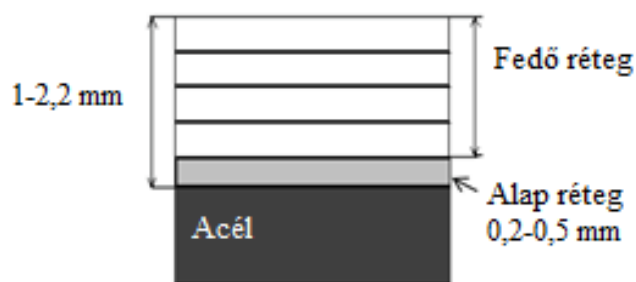
alkalmazása során, hiszen a szivárgás a készülék tönkremeneteléhez vezet. A kutatási téma ötletét adó megoldás azért is aktuális, mert nemcsak a hazai, de a világ felhasználói körében az üvegzománcozott eszközök esetlegesen szükséges javításait az elmúlt 40 évben közel azonos módszerekkel végezték a szakma hozzáértői. Ezeknek a javítási módszereknek pedig megvannak a korlátai.

Kulcsszavak: tantálfolt, additív gyártás, 3D nyomtatás, zománcozott reaktor javítás

BEVEZETÉS

Zománcozott készülékeket [1] széleskörben alkalmaznak vegyipari és gyógyszeripari környezetben, azonban a zománchibák megjelenésekor a javítási lehetőségek korlátozottak és azok további károsodás veszélyeit hordozzák magukban. Erre a problémára megoldást kínál a hibahelyre célzottan készített, 3D nyomtatott tantálfolt, ami roncsolásmentesen rögzíthető a zománc felületére.

A vegyiparban és a gyógyszeripari hatóanyaggyártó technológiákban nagy arányban használatosak üvegzománc bevonatos eszközök, készülékek [2]. Az üvegzománc bevonat elsődleges célja a korrózió elleni védelem, valamint az, hogy a gyártott termék egy kifejezetten passzív felülettel érintkezzen a gyártási folyamat során. A gyógyszeripari technológiákban a zománc alkalmazásának másik nagy előnye, hogy hosszú évtizedes tapasztalatok és vizsgálatok vannak arra, hogy önmagában a zománc a legkisebb mértékben sem károsítja az emberi egészséget. Az üvegzománc tartósságát annak pórusmentessége és a fémhordozóhoz képest a lehető legkisebb hőtágulási tényező különbsége adja. Ez pontosan elegendő, hogy a gyártása során természetes módon alakuljon ki a feszültség a zománcrétegben. Az acélfelületre finompor állapotban kerül felhordásra zománc, vízben diszpergálva vagy elektrosztatikus bevonatolással. Végül hőközléssel kerül kialakításra a szilárd réteg. A zománcot több rétegben viszik fel a felületre, amelyek vastagságát az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Üvegzománc rétegek és azok szokásos méretei

Az alapréteget 900°C-on égetik rá a felületre, 0,2 – 0,5 mm vastagságban. Ennek célja, hogy létrejöjjön a megfelelő tapadóhíd az első zománcréteg és a fém között. Ezután a fedőrétegek ráégetését közel 800°C-on végzik. A fedőrétegek száma általában 3-5 közötti, ezáltal a teljes zománcvastagság 1 – 2,2 mm között lesz. Fontos a sorrend, ugyanis a fedőrétegeket nem lehet közvetlenül a fémrétegre felvinni, csak az alaprétegre. A fedőrétegek kémiai és mechanikailag egyaránt nagymértékben ellenállóak bizonyos ideig [3]. A zománcréteg vastagságát és annak homogenitását időközönként ellenőrizni kell a mechanikai, vagy kémiai hatás következtében létrejövő kopás miatt. Ezáltal elkerülhető a készülék vázát adó szénacél szerkezet meglepetésszerű tönkremenetele. Reaktorok ellenőrzése például szikrainduktorral végzett folytonossági vizsgálat végzésével lehetséges, amely biztosítja a felület teljes zárását.

Zománchibák és sérülések lokális javítására több megoldást is kifejlesztettek. Mivel a javítás nagyon költséges, az az általános megoldás, hogy a zománcot teljesen eltávolítják, és újra felhordják a készülék felületére. A sérülés fajtájától függően, vagy tantál vagy nyers teflon (PTFE) alkalmazásával lehet orvosolni a kialakult lokális hibákat, de jellemző megoldás az is, amikor mindkét anyag egyszerre kerül felhasználásra. A kisebb felületi hibák javításánál a tantálfolt csavaros felerősítése az elterjedt megoldás. Ez a módszer megfelelő előkészítést igényel, a zománchiba környékét lekerekítik, lemunkálják, majd az acélköpenybe menetes zsákfuratokat készítenek. Ebbe megfelelő méretű teflon tömítéses, galléros tantálcsavart hajtanak be, így szigetelve el a hibát a gyártott terméktől. Az ilyen megoldások nem alkalmaznak ragasztási technológiát, csakúgy, mint a fémpótlásos javítás sem. Nagyobb hibák javításánál tantálfoltokat alkalmaznak, ami hasonló az előbb említett megoldásokhoz, azzal a különbséggel, hogy körkörösén, több csavarra van szükség a megfelelő leszorítóerő létrehozásához. Kritikus a felületelőkészítés, és a megfelelő lemunkálása a zománcnak, mivel ezekkel megelőzhetőek a további repedések. A felhelyezett foltot időközönként ellenőrizni kell, illetve a csavarok utánhúzására is szükség van.

MÉRÉS ÉS MÓDSZER

A keverős reaktor központi elemét képező zománcozott tartály felületének javítására használt tantálfolt alkalmazásának ellenőrzése a BME Gépészmérnöki Kar, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék Stokes Laboratóriumában történt. Az $\varnothing 50 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ méretű 3D nyomtatott tantálfoltot, valamint a mérések során alkalmazott reaktort a 2. ábra mutatja be. A reaktorban egy $\varnothing 90 \text{ mm}$ átmérőjű propeller keverő segítségével valósult meg a betöltött folyadék keverése, $160 \frac{1}{\text{min}}$ fordulatszámon.



2. ábra. Az additív gyártással készült tantálfolt (felületcsiszolás előtt) a) felülnézetben és b) oldalnézetben, valamint c) a reaktor (nyitott állapotban) és a keverésre használt propellerkeverő

A tantálfolt 7 db neodímium mágnessel került rögzítésre a reaktor javítandó részére és a tömítettséget egy fehér színű szilikon O-gyűrű, valamint a mágnesesek által létrehozott erők biztosították. A reaktor zárható.

A mérések során a tantálfolt alá $\sim 20 \text{ mm}$ hosszú pH-mérő lakmuszpapír kerül elhelyezésre. A reaktorba 20%-os háztartási étellecet és víz keveréke került betöltésre, amely keverék kémhatása $\text{pH} = 3,5$ volt. Amennyiben az üzemelés során a tantálfolt alá bejutott a folyadék, akkor a lakmuszpapír nemcsak nedves lett, hanem a savas kémhatás hatására el is színeződött. Ha a lakmuszpapír érintetlen maradt, akkor a tantálfolt megfelelően működött és így a tömítettség biztosított volt.

EREDMÉNYEK

Az 1. táblázat mutatja be a mérések eredményeit légköri nyomás, $160 \frac{1}{\text{min}}$ keverő fordulatszámmal, valamint eltérő folyadék hőmérsékletek esetére.

A lakmuszpapír különböző üzemeltetési paraméterek esetén

1. táblázat

Hőmérséklet, °C	20	50	80
Lakmuszpapír			

Az 1. táblázat alapján, 20°C , valamint 50°C -os kevert közegek esetén, a lakmuszpapír színe nem változott. Ezzel ellentétben, 80°C -os közeg esetén a papír egyes sarkai elszíneződtek. Ennek oka, viszont

nem az elégtelen tömítettség volt, hanem azt a tantálfolt leszerelése során, a nagyobb hőmérséklet hatására létrejövő ecetsav gőzök okozták. Ezek alapján a tömítettség megfelelő volt és a vizsgált módszer alkalmazható légköri nyomáson üzemelő reaktorok esetén.

ÖSSZEFOGLALÁS

A zománcozott berendezéseket széles körben alkalmazzák a vegyiparban és a gyógyszeriparban, ahol a zománcbevonat elsődleges szerepe a korrózió elleni védelem, valamint a gyártott termék érintkezésének biztosítása egy passzív felülettel. Ennek ellenére a zománchibák megjelenésekor a javítási lehetőségek erősen korlátozottak, és a hagyományos javítási technológiák jelentős idő- és költségráfordítást igényelnek. A tanulmány egy innovatív megoldást mutat be erre a problémára, amelynek alapját egy 3D nyomtatással előállított tantálfolt képezi. A tantálfoltot roncsolásmentesen lehet rögzíteni a zománchibás felületre, elkerülve a hagyományos eljárások korlátait, miközben biztosítja a készülék további használhatóságát és hosszabb élettartamát.

A kutatás során különféle hidrodinamikai, hidrosztatikai és penetrációs vizsgálatok kerültek elvégzésre egy tesztreaktoron, amelyben a tantálfoltot valós üzemi körülmények között teszteltük. A vizsgálatok szabályozott nyomás- és hőmérsékleti feltételek mellett, megfelelően turbulens áramlási körülmények között zajlottak. A tantálfolt alkalmazásával kapcsolatos kísérletek igazolták, hogy az új technológia sikeresen alkalmazható a zománcozott berendezések helyreállítására, miközben a javítási idő csökkenthető és a költségek is optimalizálhatóak.

A kutatás újszerűsége abban rejlik, hogy a zománcozott eszközök javítását évtizedek óta szinte változatlan módszerekkel végzik. Az újonnan kidolgozott technológia additív gyártás és mágneses rögzítési megoldások kombinációját alkalmazza, amely gyors és hatékony alternatívát jelenthet a hagyományos eljárásokkal szemben. A tantálfoltot neodímium mágnesek rögzítették, míg a megfelelő tömítettséget szilikon O-gyűrűk biztosították. A vizsgálatok eredményei alapján a tantálfolt megfelelő tömítettséget biztosított a különböző hőmérsékleteken (50°C ; 70°C és 90°C -on).

A kutatás rámutatott, hogy a 3D nyomtatott tantálfolt egy hatékony és gyors javítási megoldás lehet a zománcozott berendezések számára, amely különösen alkalmas légköri nyomáson üzemelő reaktorok esetén. A módszer egyik fő előnye, hogy a meglévő ipari infrastruktúrával könnyen integrálható, nem igényel jelentős szerkezeti átalakításokat, és minimális állásidővel lehetővé teszi a berendezések gyors javítását.

A jövőbeni kutatások célja a technológia továbbfejlesztése, amely magában foglalja a különböző fordulatszámok és tartálynyomások mellett végzett vizsgálatokat, valamint a mágneses rögzítés és tömítési technológiák további optimalizálását. Az új módszer jelentős ipari potenciállal rendelkezik, mivel lehetőséget kínál az üvegzománcozott készülékek tartós és költséghatékony helyreállítására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fentiekben bemutatott 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00139 számú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással valósult meg, *Additív gyártás felhasználása zománcozott berendezések javítási technológiájának fejlesztéséhez* projektcímen.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] De Dietrich, *GLASS-LINED REACTOR, GLASS REACTOR, MONOBLOC AGITATORS*, 2025.
Elérés: 2025. március 7. [Online].
Elérhető: https://www.expo21xx.com/process_industry/19714_st3_distiller_chemical/default.htm
- [2] De Dietrich, *Products Portfolio - Glass-lined Technology & other materials*, 2025 [Online].
Elérhető: <https://www.dedietrich.com/en/products-and-solutions>
- [3] G. Schäfer, 3.27 - *Degradation of Glass Linings and Coatings*, in *Shreir's Corrosion*, B. Cottis, M. Graham, R. Lindsay, S. Lyon, T. Richardson, D. Scantlebury, és H. Stott, Szerk., Oxford: Elsevier, 2010, o. 2319–2329.
doi: 10.1016/B978-044452787-5.00178-5.