

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI és INFORMATIKAI KAR



AKTÍV ERNYŐS PLAZMANITRIDÁLÁS BIAS PARAMÉTERÉNEK HATÁSA A RÉTEGSZERKEZETRE

TÉZISFÜZET

Készítette:

Szilágyiné Biró Andrea
okleveles műszaki menedzser

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY, GYÁRTÁSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK
GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY ÉS MECHANIKAI TECHNOLOGIA TÉMACSOPORT

Doktori Iskola vezető:

Dr. Tisza Miklós
a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Témacsoport vezető:

Dr. Tisza Miklós
a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Tudományos vezető:

Dr. Tisza Miklós
a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Társtémavezető:

Kocsisné Dr. Baán Mária
egyetemi docens

Miskolc
2017

Bíráló bizottság

Elnök:

Prof. Dr. Páczelt István

DSc, Professor Emeritus, Miskolci Egyetem

Tag és titkár:

Dr. Marosné dr. Berkes Mária

PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

Tagok:

Dr. Dobránszky János

DSc, tudományos tanácsadó, Budapesti Műszaki Egyetem

Dr. Tranta Ferenc

PhD, ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem

Dr. Mucsi András

PhD, egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem

Hivatalos bírálók:

Prof. Dr. Kolozsváry Zoltán

PhD, MTA külső tagja, S.C. Plasmaterm S.A.

Dr. Felde Imre

PhD, egyetemi docens, Óbudai Egyetem

TARTALOM

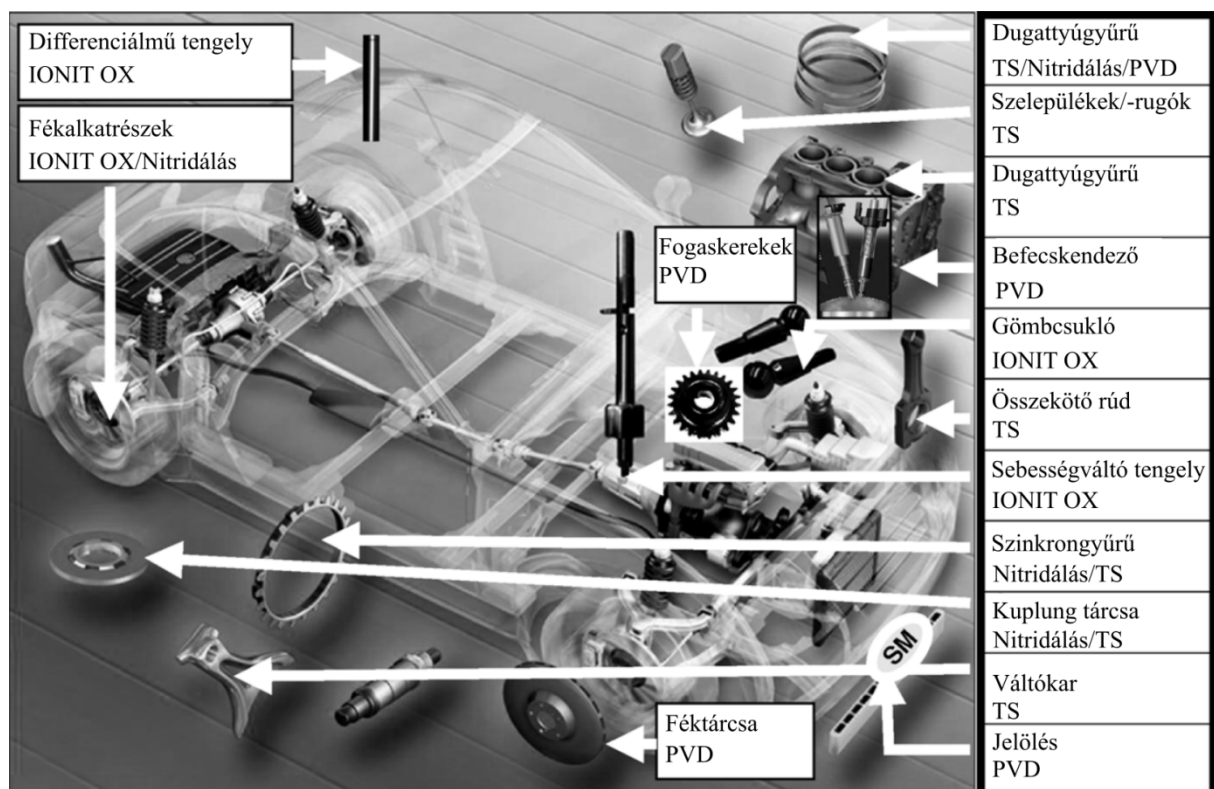
1. Bevezetés	4
1.1. Előzmények.....	4
1.2. Célkitűzés	5
2. A feladatok megoldásának módszere.....	7
3. Új tudományos eredmények.....	8
4. Hasznosíthatóság, továbbfejlesztési lehetőségek	10
5. Az értekezés témájához kapcsolódó publikációk.....	11
6. Tézisfüzetben hivatkozott irodalom.....	14

1. BEVEZETÉS

1.1. Előzmények

Napjainkban a mérnöki munka egyik nagy kihívása és feladata a gépalkatrészek és szerszámok teljesítőképességének javítása a költségek lehető legalacsonyabb szinten tartása mellett. Számos mérnöki alkalmazásban az előállított termékeknek komplex igénybevételnek kell megfelelniük: a térfogati igénybevételnek jellemzően szívós alkatrész tud megfelelni, azonban a felületen fellépő helyi igénybevétel miatt egy nagyobb keménységű réteg meglete kívánatos a legkülső rétegben. A teljesítőképesség növelése ma már azonban nem csak műszaki elvárás. Az alkatrészek növelt élettartama gazdasági és környezetvédelmi előnyöket is jelent. A tovább üzemelő alkatrészek nemcsak a költségeket, hanem a hulladékok mennyiségét is csökkentik, ezáltal a fenntartható fejlődés fontos elemei is.

A mai műszaki fejlesztések során az anyagfejlesztés mellett előtérbe került az anyagok tulajdonságait minél szélesebb körben módosító technológiák fejlesztése (Subramanian-Strafford, 1993) (Totten, 1997) (Krauss, 2005) (Sun, 2009); ezen belül is a komplex igénybevételeknek való megfelelést biztosító felülettechnológiák. Magyarországon (is) a kutatások egyik húzóágazata a járműipar: a járműalkatrészek nagy részének teljesítőképessége és így élettartama javítható felülettechnológiák alkalmazásával (1. ábra). A felületmódosító technológiák – mint a nitridálás –, úgy változtatják meg a felületi réteg kémiai összetételét, hogy annak keménysége nagyobb lesz, mint az alatta lévő magnak. Ennek köszönhetően az általánosan szívós alkatrész jobban ellenáll a helyi felületi igénybevételeknek, így hosszabb élettartamú (Pye, 2003) (Mittemeijer, 2013) (Kolozsváry, 2014).



1. ábra Felülettechnológiák a járműiparban (Vetter et al, 2005)

A nitridálás technológiájának kutatása közel 100 éves múltra tekint vissza. Ez idő alatt a kutatók nemcsak a lezajló fémtani folyamatok megértésében (Bell, 1991) és a kialakult réteg

vizsgálatában érték el jelentős eredményeket, hanem kifejlesztettek olyan új technológiákat, amelyek tovább bővítik az alkalmazhatósági kört és a felületi réteg teljesítőképességét.

A nitridálásnak három iparban alkalmazott technológiaváltozata terjedt el. Ezek közül a gáznitridálás alkalmazása igényli a legkisebb beruházást, a sófürdős nitridálás (Pantazopulos, 2013) technológiai ideje a legrövidebb, míg a plazmanitridálás jelenti a legkisebb környezeti terhelést. Mindegyik változatnak vannak olyan előnyei, amelyek miatt egyes alkalmazásokra megfelelőek, míg más esetekben nehézségeik miatt másik technológiaváltozat alkalmazása lehet célszerű.

1.2. Célkitűzés

Értekezésemben a felületötvözesi technológiák egyik legújabb technológiai változatával, az aktív ernyős plazmanitridálással (ASPN) foglalkozom. Bár maga a nitridálás már közel egy évszázados múltra tekint vissza, annak legújabb változata a plazmanitridálás még sok kihívást, megoldandó feladatot állít a kutatók elé. A növekvő fogyasztói igények és a termékek sokszínűsége, a technológiák reprodukálhatóságának fokozott igényét támasztják a gyártók felé.

A Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében (korábbi nevén Mechanikai Technológiai Tanszéken) a hőkezelés kutatása és oktatása mindig fontos szerepet kapott. Bár a szervezett képzés keretein belül elsősorban a hagyományos technológiák ismertetése a cél, egy-egy speciális tantárgyban helyet kapnak az újabb, különlegesebb eljárások is. A tanszék ipari kutatásaiban is fontos szerepet tölt be a hőkezelés, különféle acélok, hangsúlyozottan a szerszámacélok felületötvöző hőkezelése mindig is súlyponti helyet foglalt el a tanszéki hőkezelési kutatásokban.

A gépipari alkatrészek egy jelentős csoportjánál elvárás, hogy a szívósságuknak köszönhetően jól ellenálljanak a darab egészére jellemző igénybevételnek, azonban rendelkezzenek olyan kemény felületi réteggel, amely a helyileg fellépő koptató, fárasztó, korróziós hatásokkal szemben biztosít védelmet. A felület-technológiák alkalmazása lehetővé teszi ilyen jellegű heterogén tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek kialakítását. E csoport fontos tagja a nitrogén felületi rétegbe való ötvözését jelentő nitridálás, és annak új technológia-változata a plazmanitridálás. Az elérhető változatok közül a legkisebb környezetterhelést a plazmatechnológia jelenti; fontos előnyös jellemzői közé tartozik a jó szabályozhatóság és reprodukálhatóság. Azonban már a legalapvetőbb irodalmak (Totten, 1997) (Pye, 2003) (Krauss, 2005) (Mittemeijer, 2013) sem vitatják, hogy a technológia alkalmazása során néhány olyan kihívással szembesülünk (élhatás, hőmérséklet-szabályozási problémák ívégési nyomok), amelyeknek nagy része az aktív ernyős plazmanitridálással kiküszöbölhető. A kisülés egy részének, vagy egészének áthelyezése egy közvetítő ernyőre nemcsak a hagyományos technológia nehézségeit oldja meg, hanem tovább bővíti a technológia alkalmazhatósági körét. Éppen ezért a technológia a termokémiai kutatások egyik kiemelkedő területe, amely számos előnye mellett sok megoldatlan kérdést is felvet – ezért is választottam kutatómunkám témájául.

A plazmanitridálás egy olyan modern technológia-változat, amely amellet, hogy a folyamat és így az általa elérhető kedvező tulajdonságok pontos szabályozhatóságát teszi lehetővé, kis környezeti terheléssel jár (Georges et al, 2010); így minden tekintetben megfelel a XXI. század követelményeinek. Előnyeinek köszönhetően a technológia ipari alkalmazása megjelenése után gyorsan terjedt (Georges et al, 2010), ma is fontos súlypontja a hőkezelő technológiák kutatásának. A plazmanitridálás során adódnak olyan nehézségek, amelyek nagy része kiküszöbölhető a legújabb fejlesztésű aktív ernyős plazmanitridálás alkalmazásával (Zhao, 1996), amely osztott kisülést alkalmaz a darabokon és a köréjük helyezett fém ernyőn

(Li-Bell, 2003) (Hubbard, 2007) (Gallo-Dong, 2010) (Li, 2010). E technológia-változat kutatása azonban még az elején jár (Venturini, 2011) (Somers, 2013), ezért jelentős kihívást jelent a mérnököknek (Doyle- Hubbard, 2009) (Nishimoto et al, 2009) (Nishimoto et al, 2010).

Az nitridálás szakirodalmának tanulmányozása során világossá vált számomra, hogy az aktív ernyős nitridálásnak olyan speciális technológiai paraméterei vannak, amelyek hatásának vizsgálata még nem teljes. Az egyes kutatók aktuális céljaiknak megfelelően végeztek kísérleteket az egyes befolyásoló tényezők hatásának vizsgálatára (Li-Bell, 2003) (Ahangarani, 2006) (Hubbard, 2007) (Gallo-Dong, 2010) (Li, 2010), azonban a különböző kísérletek összehasonlítása – még azonos paraméter vizsgálatára esetén is – nehézkes.

Az irodalomkutatásaim alapján így célul tűztem ki egy olyan szisztematikus kísérletsorozat elvégzését, amely vizsgálja az aktív ernyős plazmanitridálás elsődleges paramétereinek (Li et al, 2010), a darabokra kapcsolt másodlagos (továbbiakban BIAS) feszültségnek a hatását. Az elvégzett kísérleti munka során a nitridálásra alkalmas anyagok minél szélesebb körének vizsgálata volt a célom, a jelenségek minél általánosabb megfigyelésének érdekében. A szakirodalom az aktív ernyő egyik legfontosabb hatásával – a próbatesteken látható elszíneződést is okozó élhatás – jellemzésével keveset foglalkozik, így kutatómunkám másik területe a hagyományos és aktív ernyős rétegek összehasonlítása volt. A rétegek minősítése során az általánosan alkalmazott keménységmérésen és mikroszkópos vizsgálaton túl ball-on-disc típusú koptatóvizsgálatokkal is összehasonlítottam a kialakult rétegek vizsgálatát.

2. A FELADATOK MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE

A szakirodalmi áttekintés fontos részét képezte a plazmanitridálás technológiájának ismertetése. Ennek során a folyamat-specifikus tényezők és a réteg-kialakulás folyamatának leírása mellett különös figyelmet fordítottam a hagyományos plazmanitridálási eljárás (DCPN) alkalmazásakor fellépő nehézségek bemutatására, mivel tulajdonképpen ezek kiküszöbölésére irányuló fejlesztéseknek tulajdonítható az aktív ernyős plazmanitridálás kialakulása. Az aktív ernyős plazmanitridálás bemutatásakor a technológia mellett ismertettem az eddigi kutatások irányait és azok eredményeit.

A tématerület eddigi kutatásai eseti jelleggel vizsgálták az aktív ernyős plazmanitridálás paramétereinek hatását a kialakult rétegszerkezetre. Kutatásaim során lehetőségem volt rá, hogy az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet Laboratóriumában lévő plazmanitridáló berendezés használatával szisztematikus kísérletsorozatot végezzek acélok széles palettáján, és vizsgálhassam az aktív ernyős plazmanitridálás egyik legfontosabb paraméterének – a BIAS feszültségnek – a hatását a réteg szerkezetére és tulajdonságaira.

Kutatómunkám során 4 különböző típusú anyagcsoportból 7 anyagminőséget vizsgáltam, amelyek a leggyakrabban nitridált, gyengén és erősen ötvözött acélok közé tartoznak. Az elvégzett kísérletek során csak a BIAS feszültség értékét változtattam, minden egyéb technológiai paraméter állandó volt. Ily módon a kísérletsorozat alkalmas a BIAS paraméter hatásának kizárólagos vizsgálatára.

Az elkészült rétegeket felületi és keresztcsiszolaton mért mikrokeménység értékekkel és mikroszkópos vizuális vizsgálatokkal jellemeztem. A mikrokeménység mérés eredményei alapján állapítottam meg a diffúziós zóna mélységét (az alapanyagnál 50HV0,1-el nagyobb keménység eléréséhez tartozó távolságban), valamint a mikroszkópi képen mértem a vegyületi réteg mélységét. A mérési eredmények alapján megállapítható volt, hogy a BIAS csökkentésének hatása a nitridált alapanyag nitridképző ötvözőitől nagymértékben függ.

Elsőként alkalmaztam a Calotest mérési módszert a vegyületi réteg mélységének meghatározására. Ezzel az egyszerű módszerrel a vegyületi réteg mélysége keresztcsiszolat készítése nélkül gyorsan, pontosan és megbízhatóan kimutatható.

Három kiválasztott anyagminőségen ball-on-disc típusú kopásvizsgálatot végeztem ZrO₂ golyóval. A kopás jellemzésére a kapott súrlódási tényező diagramokon túl, profilometriai vizsgálatokat és scanning elektronmikroszkópos vizsgálatokat is alkalmaztam. Bár a nitridált rétegek jellemző igénybevételének modellezésére ez a módszer nem alkalmas, azonban adott koptató igénybevételnek való ellenállás összehasonlítására megfelelő. A rétegek vizsgálatakor oxidációs kopás volt megfigyelhető, a kopás mértéke és a mérhető súrlódási tényező a rétegszerkezettel összhangban volt.

A BIAS feszültség, mint technológiai paraméter hatásának elemzése mellett, kutatásaim során összehasonlítottam a DCPN és ASPN felületi rétegeket felületi keménység, rétegmélység és rétegekeménység szempontjából. Az eredmények alapján egyrészt megállapítható, hogy az eljárás során katódként kapcsolt ernyő lerövidíti a nitrogén ion becsapódási úthosszát, ezáltal nagyobb rétegmélység érhető el (mint a DCPN eljárásváltozattal) a többi technológiai paraméter változatlansága mellett. Másrészt az alkatrészeken alkalmazott kisebb feszültségnek köszönhetően a hagyományos plazmanitridáláskor jelentkező élhatás megszűnik. Az élhatás jellemzésére a felületi keménység mérését, valamint keménység-térképet alkalmaztam. Az eredmények alapján egyértelműen beigazolódott a nitridált réteg egyenletességében megmutatkozó különbség a két technológia esetében.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- T1. Aktív ernyős plazmanitridálás során a munkadarabokra kapcsolt másodlagos feszültség változtatásának hatása a technológiai paraméterek változatlansága mellett a kezelt anyagoktól is erősen függ:
- krómmal erősen (13%-ban) ötvözött acél esetében a másodlagos feszültség csökkenése a vegyületi réteg csökkenését okozza, azonban a rétegmélység kis mértékben változik,
 - krómmal közepesen (5%-ban) ötvözött acél esetében 17% másodlagos feszültség értéken a vegyületi réteg már nem alakul ki, de a rétegmélység még nem csökken nagymértékben (11),
 - krómmal gyengén (1-2%-ban) ötvözött acéloknál a másodlagos feszültség elsősorban a vegyületi réteg csökkenését okozza, a diffúziós zóna mélysége kisebb mértékben változik (10)(15);
 - nitridképzőkkel ötvözött nitridálható acél viselkedése a közepes krómtartalmú acélokéhoz hasonló (22).
- T2. Az aktív ernyős plazmanitridálás során a BIAS csökkentésével a korlátozott mennyiségű felvett nitrogéntartalom miatt a vegyületi réteg kialakulása időben később következik be, ami kedvez a nitrogén diffúziójának. A később kialakult vegyületi réteg miatt nem a legnagyobb BIAS feszültség eredményezi a legkeményebb diffúziós zónát. A rétegmélység és rétegmélység szempontjából 17%-nál nagyobb BIAS alkalmazása megfelelő eredményt hoz (15).
- T3. A Calotest módszer és a Nital marószert együttes alkalmazása egy új, kis roncsolással járó, gyorsan elvégezhető mérési módszer a vegyületi réteg mélységének keresztcsiszolat készítése nélküli meghatározására.
- T4. Nitridált rétegek ZrO₂ golyóval végzett ball-on-disc koptatóvizsgálata során a kopásnyom környezetében nagy mennyiségű vörös színű, lamellás törmelék keletkezése a jellemző kopási mechanizmus. Az egyes esetekben fellépő erős oxidációs kopási folyamat során a kopásnyom környezetében kevesebb a törmelék, amelynek színe fekete, alakja szemcsés. Gyenge oxidációs kopásnál a súrlódási tényező állandósult értéke nagyobb, azonban a kikopott keresztmetszet kisebb, mint erős oxidációs kopásnál.
- T5. Acélok hagyományos és aktív ernyős plazmanitridált rétegeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy azonos technológiai paraméterek (hőmérséklet, hőkezelési idő, gázösszetétel, kemencenyomás) alkalmazásakor aktív ernyős plazmanitridálás során az elérhető rétegmélység nagyobb. Ennek oka, hogy az aktív ernyő a kemence falánál közelebb helyezkedik el a darabokhoz, így – megfelelő BIAS érték alkalmazásakor – intenzívebbé teszi a nitridálást.
- T6. Acélok hagyományos és aktív ernyős plazmanitridált rétegeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a hagyományos plazmanitridálás során fellépő ékhatás következtében (34):
- a nitridált alkatrészek éléinek közelében a vizuálisan is megfigyelhető elszíneződés az alkatrész többi részéhez viszonyítva nagyobb keménységet jelent,

- a mért keménység értékek relatív szórása, és így a rétegtulajdonságok egyenletessége az aktív ernyős plazmanitridálás során kialakult réteghez képest kedvezőtlenebb,
- a jelenség valószínű oka a nagyobb nitrogéntartalom.

A Bíráló Bizottság által elfogadott tézisek:

- T1. Az aktív ernyős plazmanitridálás során a kisebb másodlagos feszültség értéknél a korlátozott mennyiségű felvett nitrogéntartalom miatt a vegyületi réteg kialakulása időben később következik be, ami kedvez a nitrogén diffúziójának. Nagyobb másodlagos feszültség értéknél a nagyobb mennyiségű felvett nitrogén a vegyületi réteg korai megjelenését, így a további diffúzió csökkenését okozza. Nemesíthető acélok esetében az elvégzett kísérletek alapján az adott technológiai paraméterek mellett kijelölhető az a másodlagos feszültség értéktartomány, amely a maximális keménységű diffúziós zónát eredményezi (15).
- T2. A Calotest módszer és a Nital marószert együttes alkalmazása egy új, kis roncsolással járó, gyorsan elvégezhető mérési módszer a vegyületi réteg mélységének keresztcsiszolat készítése nélküli meghatározására.
- T3. Nitridált rétegek ZrO₂ golyóval végzett ball-on-disc koptatóvizsgálata során a kopásnyom környezetében nagy mennyiségű vörös színű, lamellás törmelék keletkezése a jellemző kopási mechanizmus. Az egyes esetekben fellépő erős oxidációs kopási folyamat során a kopásnyom környezetében kevesebb a törmelék, amelynek színe fekete, alakja szemcsés. Gyenge oxidációs kopásnál a súrlódási tényező állandósult értéke nagyobb, azonban a kikopott keresztmetszet kisebb, mint erős oxidációs kopásnál.
- T4. Acélok hagyományos és aktív ernyős plazmanitridált rétegeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy azonos technológiai paraméterek (hőmérséklet, hőkezelési idő, gázösszetétel, kemencenyomás) alkalmazásakor aktív ernyős plazmanitridálás során az elérhető rétegmélység nagyobb. Ennek oka, hogy az aktív ernyő a kemence falánál közelebb helyezkedik el a darabokhoz, így – megfelelő BIAS érték alkalmazásakor – intenzívebbé teszi a nitridálást.
- T5. Acélok hagyományos és aktív ernyős plazmanitridált rétegeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a hagyományos plazmanitridálás során fellépő élfatás következtében (34):
- a nitridált alkatrészek éleinek közelében a vizuálisan is megfigyelhető elszíneződés az alkatrész többi részéhez viszonyítva nagyobb keménységet jelent,
 - a mért keménység értékek relatív szórása, és így a rétegtulajdonságok egyenletessége az aktív ernyős plazmanitridálás során kialakult réteghez képest kedvezőtlenebb.

4. HASZNOSÍTHATÓSÁG, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A kutatómunka hasznosíthatósági lehetőségei között először a plazmanitridálás technológiájának szélesebb körű elterjesztési lehetőségét említem. Ma Magyarországon az ipar nem igazán alkalmazza ezt a változatot, az eljárás kisebb ismertsége miatt. A vállalatok a már szélesebb körben ismert gáz és sófürdős nitridálást használják. Azonban a környezetvédelmi irányelvek fokozatos szigorodása miatt remélhetőleg a nagyobb vállalatok fel fogják ismerni a technológia előnyeit, és gyakorlati alkalmazása egyre szélesebb körben elterjed.

Az aktív ernyős plazmanitridálás ipari ismertsége minimális. Fontos hangsúlyozni, hogy a már meglévő berendezések kisebb átalakítással aktív ernyős kezelésre is alkalmassá tehetők, a technológia tervezése és kivitelezése a plazmanitridálás után nem igényel nagy átállást. Az eljárás alkalmazása több megközelítésből is jelentős ipari potenciált jelent:

- A nitridálás alkalmazása más felületi keménységet növelő technológiákkal szemben nagyobb méretstabilitást, jobb hőállóságot, nagyobb keménységet jelent. A nitridált réteg a betétben edzethez képest jobban szabályozható, magasabb hőmérsékletig stabil. A nitridáló eljárás nem igényel utólagos hőkezelést, az alkatrészek méretnövekedése és így a vetemedés veszélye minimális.
- Maga a plazmanitridálás, összehasonlítva egyéb nitridálási eljárásokkal, kisebb üzemeltetési költséget, pontosabb szabályozhatóságot, kisebb környezeti terhelést eredményez.

Az aktív ernyős plazmanitridálás területén elért kutatási eredményeimhez kapcsolódóan az alábbi ipari hasznosíthatósági lehetőségeket emelem ki:

- a BIAS paraméter anyagoktól függő hatásosság szempontjából szükséges minimális értékének ismerete segíthet a technológiai költségek csökkentésében, valamint a hagyományos plazmanitridáló berendezések áttervezésében, átalakításában,
- az aktív ernyő alkalmazásával intenzívebbé tett nitrogénfelvételnek köszönhetően a technológiai idő rövidíthető, vagy ugyanannyi idő alatt nagyobb rétegmélység érhető el,
- az aktív ernyő alkalmazásával az alkatrészek felületi tulajdonságai homogénebbek, amely különösen kisebb méretű darabok esetén fontos.

Az aktív ernyős plazmanitridálás kutatása még számos kérdést meg kell, hogy válaszoljon. Az alábbi területek lehetnek a további kutatómunka fontosabb témakörei:

- az aktív ernyő geometriai jellemzőinek (furatméret, típus) hatása a rétegtulajdonságokra,
- az aktív ernyő anyagának hatása a felületi réteg összetételére,
- az aktív ernyővel nitridálható furatok mérete a technológiai paraméterek függvényében,
- nem vezető anyagok, például polimerek nitridálásának hatása azok felületi tulajdonságaira (Kauling et al, 2009).

5. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Angol nyelvű

- (1) Andrea Szilágyi Biró, Dr. Miklós Tisza: Nitrocarburising of low alloyed case hardening steels applying three different temperatures, Materials Science Forum Vol. 729 (2013) pp 13-18, © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN 0255-5476, doi: <https://www.scientific.net/MSF.729.13> Scopus: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=inward&eid=2-s2.0-84870759172>
- (2) Andrea Szilágyiné Biró: Trends of Nitriding Processes, Production Processes and Systems, vol. 6., 2013., No. 1. pp. 57-66., HU ISSN 1786-7983
- (3) Andrea Szilágyiné Biró: Active Screen Plasma Nitriding - State of the Art, PRODUCTION PROCESSES AND SYSTEMS 1: pp. 103-114. (2014), University of Miskolc
- (4) Andrea Szilagyine Biro, Endre Szabo, Dr. Miklos Tisza: Surface layers produced by modified Floe ferritic nitrocarburising, Materials Science Forum Vol 812 (2015) pp 253-258, © (2015) Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN 0255-5476, doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.812.253>, Scopus: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=inward&eid=2-s2.0-84924565856>
- (5) Andrea Bíró, Miklós Tisza: Carbonitriding of Low Alloyed Low Carbon Case Hardening Steels, International Conference of PhD Students, Miskolc, 8-14 August. 2010.
- (6) Bíró A.- Tisza M.: Carbonitriding of Low Alloyed Case Hardening Steels Below and Above the Iron-Nitrogen Eutectoid Temperature, XXV.microCAD, Miskolc, 2011.03.31.-04.01.
- (7) Andrea Szilágyi Biró, Dr. Miklós Tisza: Applying of Ferritic Nitrocarburising on Case Hardening Steels, XXVI.microCAD, Miskolc, 2012. 03.29-30.
- (8) Andrea Szilágyiné Biró, Dr. Miklós Tisza: Scratch Test of carbonitrided 34CrMo4, Mechanical Engineering 2012., Budapest, 2012. 05.24-25.
- (9) Andrea Szilagyine Biro, Maria Kocsis Baan: Comparison of Gas and Plasma Nitrocarburised Surface Layer of C45 Steel, Junior Euromat, Lausanne, Switzerland, 2014. 07. 21-25.
- (10) Szilágyiné Biró Andrea, Tisza Miklós: Active Screen Plasma Nitriding of Case Hardening Steels, MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference University of Miskolc, 20-21 April, , Section D2.
- (11) Szilágyiné Biró Andrea, Tisza Miklós: Active Screen Plasma Nitriding of Medium Carbon Steels, MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference University of Miskolc, 20-21 April, 2017. Section D2

- (12) Bíró A.- Tisza M.: Carbonitriding of Low Alloyed Case Hardening Steels Below and Above the Iron-Nitrogen Eutectoid Temperature, XXV.microCAD, ISBN 678-963-661-964-0 2011.03.31.-04.01. pp.11-16.
- (13) Andrea Szilágyi Bíró, Dr. Miklós Tisza: Applying of Ferritic Nitrocarburising on Case Hardening Steels, XXVI.microCAD, Miskolc, 2012. 03.29-30., CD, ISBN: 978-963-661-773-8
- (14) Andrea Szilágyiné Bíró, Dr. Miklós Tisza: Scratch Test of carbonitrided 34CrMo4, Mechanical Engineering 2012., Budapest, 2012. 05.24-25. CD, ISBN: 978-963-313-055-1
- (15) Szilágyiné Bíró Andrea, Tisza Miklós: Active Screen Plasma Nitriding of Case Hardening Steels: Publications of MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference University of Miskolc, 20-21 April, 2017., ISBN 978-963-358-132-2
- (16) Andrea Bíró, Miklós Tisza, Carbonitriding of Low Alloyed Low Carbon Case Hardening Steels, International Conference of PhD Students, University of Miskolc, 8-14 August. 2010., ISBN 978-963-661-939-8
- (17) Andrea Szilagyine Biro, Maria Kocsis Baan: Comparison of Gas and Plasma Nitrocarburised surface layer of 16CrMo5 Steel, European Conference on Heat Treatment and 21st IFHTSE Congress, 12–15 May 2014, Munich, Germany, Proceedings, pp 551-558, Scopus: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=inward&eid=2-s2.0-84915751194>

Magyar nyelvű

- (18) Cserjésné Sutyák Ágnes, Frigyk Gábor, Kocsisné Baán Mária, Kuzsella László, Marosné Berkes Mária, Szabó Endre, Szilágyiné Bíró Andrea [Kocsisné Baán Mária, Marosné Berkes Mária, Szilágyiné Bíró Andrea (szerk.)]: Nitridálás – korszerű eljárások és vizsgálati módszerek Miskolc: Miskolci Egyetem, 2015. 296 p., ISBN:978-963-358-080-6
- (19) Szilágyiné Bíró Andrea - Nagy Dóra - Kocsisné Dr. Baán Mária: A gáz és plazma közegű karbonitridálás összehasonlítása a kialakult rétegmélység szempontjából, XVIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2013. március 21-22., ISSN 2067 - 6 808, pp.387-390.
- (20) Marosné Berkes M, Szilágyiné Bíró A., Lőrincz A., Koncsik Zs. Műszerezett karcvizsgálat alkalmazása karbonitridált acélok felületi rétegének minősítő eljárásában, GÉP 66:(1) pp. 28-35. (2015)
- (21) Szilágyiné Bíró Andrea, Tisza Miklós: A nitridált réteg porozitásának csökkentése ciklikus Floe gáznitridálással, GÉP 67:(1-2) pp. 33-38. (2016) ISSN 0016-8572
- (22) Szilágyiné Bíró Andrea, Tisza Miklós Aktív ernyős plazmanitridálás BIAS feszültségének hatása nitridálható acél nitridált rétegére, GÉP, LXVIII. Évfolyam, 2017., 1. szám, pp. 34-39., ISSN 0016-8572
- (23) Bíró Andrea – Szabó Endre – Dr. Tisza Miklós: Gyengén ötvözött, kis karbon tartalmú acélok karbonitridálása, Műszaki Tudomány az Észak-alföldi Régióban 2010 Konferencia előadásai, Nyíregyháza, 2010. május 19., Szerkesztette: Pokorádi László, Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság

Műszaki Szakbizottsága, ISBN: 978-963-7064-24-1, Debrecen, 2010. pp.227-232.

- (24) Bíró A.- Szabó E.- Tisza M.: Betétedzésű acélok karbonitridálása, Gép, 62. k. (2011) 4. sz. pp. 46-49.
- (25) Andrea Szilágyi Biro, Dr. Miklos Tisza: Karbonitridált 51CRV4 anyagminőség súrlódási együtthatójának mérése karcvizsgálattal, OGÉT, 2012.04.19-22., pp.444-447.
- (26) Szilágyiné Bíró Andrea: Innovációs trendek a nitridálásban, Gép, LXIII. évfolyam, 11. szám, pp 43-48., ISSN 0016-8572
- (27) Szilágyiné Bíró Andrea - Bulla Péter - Szabó Endre: Gáz és plazma karbonitridált rétegek GDOES profiljának összehasonlítása, XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó - OGÉT 2013, 2013. 04.25-28.. ISSN:2068-1267, pp. 391-394.
- (28) Bíró A.- Szabó E - Tisza M: Betétedzésű acélok karbonitridálása különböző hőmérsékleten, XXIV. Hőkezelő és Anyagtudomány a gépgyártásban Országos Konferencia Előadások, Szerkesztette: Dr. Tóth Tamás, Balatonfüred, 2010. október 6-8. pp.74-79.
- (29) Bíró A.- Tisza M: Különböző hőmérsékletű karbonitridálások összehasonlítása, Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa, Miskolc, 2010.11.10. pp. 7-12
- (30) Szilágyiné Bíró Andrea – Tisza Miklós: Betétedzésű acélok különböző hőmérsékletű karbonitridálása, Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa, 2011.11.08. pp. 114-119.
- (31) Szilágyiné Bíró Andrea, Szabó Endre, Dr. Tisza Miklós: Karbonitridálási kísérletek és fejlesztések a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén, XXV. Hőkezelő konferencia Előadások, Balatonfüred, 2012.10.03-05., pp. 71-77.
- (32) Szabó Endre, Szilágyiné Bíró Andrea: Nyomásos öntőszerszámok élettartamát befolyásoló tényezők, XXVI. Hőkezelő Konferencia Előadások, Balatonfüred, 2014.10.08-10. pp 226-231
- (33) Szabó Endre, Szilágyiné Bíró Andrea: Oxikarbonitridálási technológia és berendezése, XXVII. Hőkezelő konferencia Előadások, Balatonfüred, 2016.10.05-07., ISBN 978-615-5270-31-4, p. 180-184
- (34) Szilágyiné Bíró Andrea: Aktív ernyős plazmanitridálás gyakorlati tapasztalatai gyengén és erősen ötvözött nemesíthető acélokon, Előadások, Balatonfüred, 2016.10.05-07., ISBN 978-615-5270-31-4, p. 185-189

6. TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT IRODALOM

Ahangarani Sh., Mahboubi F., Sabour A.R.: Effects of various nitriding parameters on active screen plasmanitriding behavior of a low-alloy steel, *Vacuum* 80 (2006) 1032–1037

Bell, T.: Gaseous and Plasma Nitrocarburizing in Metals Handbook Volume 4: Heat Treating, 1991, ASM International, SAN: 204-7586

Doyle, E.D., **Hubbard**, P.: Innovation in nitriding, 1st Mediterranean Conference on Heat Treatment and Surface Engineering, Dec. 1-3, 2009; Sharm El-Sheikh; EGYPT

Gallo, S. C., **Dong**, H.: On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding, *Vacuum* 84 (2010) 321–325

Georges, J., Georges, J., Lebrun, J.: Plasma-nitriding and postoxidising: An innovative and eco-friendly solution with strong reduced consumption of gas and energy, Nitriding an Nitrocarburising Conference Proceedings, 29 – 30 April 2010, Aachen, Germany

Hubbard, P.: Characterisation of a Commercial Active Screen Plasma Nitriding System, PhD Thesis, RMIT University, Australia, 2007.

Kauling Alan P., Soares Gabriel V., Figueroa Carlos A., de Oliveira Ricardo V.B., Baumvol Israel J.R., Giacomelli Cristiano, Miotti Leonardo: Polypropylene surface modification by active screen plasma nitriding, Proceedings of the 2nd "French-Brazilian-Polymer" FBPOL2008 Conference, Materials Science and Engineering: C, Volume 29, Issue 2, 1 March 2009, p. 363–366

Kolozsváry Z.: Nitriding Structure and Properties of Nitrided Layers in Dossett, J., Totten, G.E. (ed.): ASM Handbook, Volume 4D, Treating of Irons and Steels, 2014, ISBN: 978-1-62708-066-8

Krauss, G.: Steel Processing, Structure and Performance, ASM International, ISBN: 978-0-87170-817-5, 2005, p.452-470.

Li, C. X. : Active screen plasma nitriding – an overview, *Surface Engineering* 2010 Vol. 26, No. 1–2 135-141

Li C. X. – **Bell** T.: Principles, Mechanism and Applications of Active Screen Plasma Nitriding, *Heat Treatment of Metals*, 2003.1., p. 1-7

Li Y., Wang L., Zhang D., Shen L.: Influence of bias voltage on the formation and properties of iron-based nitrides produced by plasma nitriding, *Journal of Alloys and Compounds* 497 (2010) p. 285–289

Mittemeijer, E.J.: Fundamentals of Nitriding and Nitrocarburizing, in Dossett, J., Totten, G.E. (ed.): ASM Handbook, Vol. 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, 2013, pp. 619-646.

Nishimoto, A., Tokuda, A., Akamatsu K.: Effect of Through Cage on Active Screen Plasma Nitriding Properties, *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 5 (2009) pp. 1169 - 1173

Nishimoto A, Nagatsuka K., Narita R., Nii H., Akamatsu K.: Effect of the distance between screen and sample on active screen plasma nitriding properties, *Surface & Coatings Technology* 205 (2010). p.365–368

Pantazopoluos G.: Liquid Nitriding of Steels: in Dossett, J., Totten, G.E. (ed.): ASM Handbook, Vol. 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, 2013, p. 680-690.

Pye, D.: Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, **2003**, ISBN: 978-0871707918

Somers, M. A. J.: Nitriding and Nitrocarburizing; Current Status and Future Challenges. Paper presented at Heat Treat & Surface Engineering Conference & Expo **2013**, Chennai, India.

Subramanian C. – Strafford and K. N.: Towards optimization in the selection of surface coatings and treatments to control wear in metal-forming dies and tools, Materials & Design Volume 14, Issue 5, **1993**, Pages 291–298

Sun, Y :Influence of materials science on heat treatment and surface engineering, International, Heat Treatment and Surface Engineering, **2009/3**

Totten, G. E., Howes, M. A. H.: Steel Heat Treatment Handbook, **1997**, ISBN: 9780824797508

Venturini, L.F.R., Artuso, F.B., Limberger, I. da F., Javorsky, C. de S.: Differences on the Nitrided Layer Between Classic Active Screen Plasma Nitriding and Active Screen Plasma Nitriding with a Semispherical Cathodic Cage, IFHTSE 19th Congress, Glasgow, **2011**

Vetter J., Barbezat G., Crummenauer J., Avissar J.: Surface treatment selections for automotive applications, Surface & Coatings Technology 200 (2005) p. 1962 – 1968

Zhao, C., Li, C.X., Dong, H., Bell, T.: Study on the active screen plasma nitriding and its nitriding mechanism, Surface & Coatings Technology 201 (**2006**) 2320–2325