

## Az aktív ernyő anyagának szerepe a plazmanitridálás során

### The role of the material of active screen during the plasma nitriding process

Kovács Dorina,<sup>1</sup> Szabó Annamária,<sup>2</sup> Kemény Alexandra<sup>3</sup>

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest, Magyarország*

<sup>1</sup> [dorina@eik.bme.hu](mailto:dorina@eik.bme.hu)

<sup>2</sup> [annamaria.szabo97@gmail.com](mailto:annamaria.szabo97@gmail.com)

<sup>3</sup> [alexa@eik.bme.hu](mailto:alexa@eik.bme.hu)

---

#### Abstract

In this research the effect of the active screen's material was investigated. 42CrMo4 steel was plasma nitrided with unalloyed steel, titanium and nickel active screen at 490 and 510 °C for 4h in 75 % N<sub>2</sub> + 25 % H<sub>2</sub> gas mixture. Scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrometry (EDS) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) were used for the characterisation of the surface properties. Iron-nitride was not formed on the surface with nickel screen. The evaluation of examination results showed that most of the detected nitrogen was molecular (N<sub>2</sub>) in the formed layer.

**Keywords:** *active screen plasma nitriding, X-ray photoelectron spectroscopy.*

#### Összefoglalás

A kutatás során az aktív ernyő anyagának szerepét vizsgáltuk plazmanitridálás során. 42CrMo4 típusú acél nitridáltunk ötvözetlen acélból és titánból készített, valamint nikkellebevonatos aktív ernyővel. A plazmanitridálás 490 és 510 °C-on, 4 órán keresztül 75% N<sub>2</sub> + 25% H<sub>2</sub> gázkeverékkel történt. A vizsgálatokhoz pásztázó elektronmikroszkópot, energiadiszipatív röntgenspektrometriát és röntgenfotoelektron-spektrometriát alkalmaztunk. A vizsgálatok kimutatták, hogy a nikkellebevonatos ernyővel vas-nitrid nem képződött a felületen, továbbá a nitrogén többnyire molekuláris (N<sub>2</sub>) formában van jelen a képződött rétegben.

**Kulcsszavak:** *aktív ernyős plazmanitridálás, röntgenfotoelektron-spektrometria.*

---

#### 1. Bevezetés

A nitridálás egy olyan termokémiai felületkezelési eljárás, mely során a nitrogénnek a felületbe diffundáltatásával és a jelen lévő atomokkal alkotott nitridfázisok létrehozatalával kemény, kopásálló réteg hozható létre. A nitrogén intersztíciós ötvözőként oldódik a vas szilárd oldataiban, valamint képes reakcióba lépni és vegyületet alkotni az acél egyes ötvözőivel, alkotóelemeivel [1, 2]. A hőmérséklet növelésével fokozódik az acélban található vasatomok rezgőmozgása, ami lehetővé

teszi a nitrogénatomoknak a vas kristályrácsába történő bediffundálását. A szilárd oldat telítése után a nitrogén képes a vas atomjaival vegyületet is alkotni, mellyel az alkatrész felületén összefüggő, a szilárd oldatban oldott nitrogén hatásához képest nagyobb keménységű réteget alkot [3, 4].

A plazmanitridálást, más néven ionnitridálást, az 1920-as években vezették be mint felületkezelési eljárást. Amint a gáz ionizációja megkezdődik, az ionok bombázzák a munkadarab felületét. Ezt a jelenséget porlasztásnak is nevezik, azért,

mert az ionok becsapódása a fémfelületről le tudja szakítani az ott megtapadt felületi szennyeződés anyagának atomjait és a fématomokat is. A kezdeti porlasztás befejeztével, mely a felület tisztítását szolgálja, a felgyorsult nitrogénionok hevítik a munkadarabot, egészen a nitridálási hőmérsékletig, melyet a feszültség szabályozásával érnek el. Ezt követően megkezdődik a nitrogénionok diffúziója az anyag belseje felé, valamint a nitridképződés [5–8]. A plazmanitridálási eljárás során belül három eljárásváltozatot különböztethetünk meg: egyenáramú plazmanitridálás (DCPN – direct current plasma nitriding), aktív ernyős plazmanitridálás (ASPN – active screen plasma nitriding) és aktív ernyős, előfeszítéssel plazmanitridálás (ASBPN – active screen biased plasma nitriding). Az ASPN-eljárást a hagyományos plazmanitridálás technológiai hibáinak elkerülése érdekében (üregeskatód-hatás, sarokhatás) fejlesztették ki [9–11].

Az aktív ernyős plazmanitridálásnál a plazma nem közvetlenül a munkadarabon képződik, hanem a körülötte elhelyezett, ún. aktív ernyőn. Ebből adódóan az ionizált atomok és a hozzájuk tartozó pozitív töltésű ionok először az aktív ernyőt bombázzák. Az itt leválasztott vasionok a plazmában a nitrogénionokkal ütközve vas-nitridet alkotnak az aktív ernyő felülete mentén. A nitrid szemcsehalmozások között van olyan, amelyik megtapad az aktív ernyő felületén, azonban olyan is, amelyik az aktív ernyő perforáltságából adódóan keresztülröpül rajta, és megtapad a kezelendő munkadarabon, amelyet az aktív ernyő hősugárzása, valamint a gázbeadás és a vákuumszivattyú által fenntartott folyamatos plazmaáramlás melegít [11–13].

Az aktív ernyőt a felületszerkezete, próbatesttől való távolsága, anyaga jellemzi a következőben azonban csak az anyagra vonatkozó hatásokra térek ki. Naeem [14] kísérletében ausztenites acélból készült ernyőt használt, majd a felületi anyagösszetételi elemzésből megállapították, hogy nikkel és króm található a kezelt minta felületén, ami az aktív ernyő ionbombázásából eredő lerakódásnak köszönhető. Yazdani és társai [15] alumínium próbatestet nitridáltak ötvözetlen acél aktív ernyővel 550 °C-on, 75% N<sub>2</sub> + 25% H<sub>2</sub> gázkeverékkel, különböző ideig. A próbatesteken Fe<sub>3</sub>N-réteg alakult ki, amely a próbatest köré elhelyezett ernyőről leváló vasból és a vele egyesülő nitrogénből származik.

Nemcsak a fémes anyagcsoport plazmanitridálására fordítanak figyelmet a kutatók, hanem a polimerekére is. Polipropilént nitridáltak 5–15

perc között, vizsgálva, hogy a polipropilén felületi adhéziós tulajdonsága milyen mértékben változik. Megfigyelték, hogy ennyi idő után is Fe tapadt meg a felületen, ami mindenképpen az aktív ernyőről került oda [16].

Kutatásunk során ötvözetlen acél és titán alapanyagú, illetve nikkelbevonatú aktív ernyővel nitridáltunk titánt és nemesíthető acélt, arra keresve a választ, hogy az ernyő anyaga hogyan befolyásolja a nitridréteg kialakulását, továbbá milyen kapcsolatot létesít a próbatest anyagával.

## 2. Kísérletek és mérési módszerek

### 2.1. Felhasznált anyagok

A próbatestek 42CrMo4, illetve Ti-6Al-4V ELI anyagú, Ø20 mm rúdanyagból méretre darabolt korongok. A korongok magassága 6 mm. A nemesíthető acél próbatest nemesített állapotban került a plazmanitridáló kemencébe. Mindegyik próbatestet különböző SiC szemcseméretű csiszolópapírral csiszoltuk, majd 3 µm gyémántsuszpenzióval políroztuk. A nitridálás előtt etanolban, ultrahangos rezgetővel tisztítottuk.

Az aktív ernyőre vonatkozó anyagok és méretek az 1. táblázatban találhatók. A próbatestek mindegyik esetben az ernyő közepén helyezkedtek el. Az ernyők perforálása lézersugaras vágással készült. A nikkelbevonatot galvanizálással vittük fel, ~ 70 µm-es vastagságban.

1. táblázat. Az aktív ernyő felületének anyaga és a perforáltsági méretek

Anyag	Átmérő (mm)	Lyukátmérő (mm)
DC01	100	5
Titán 1	100	18
Titán 2	55	6
Nikkel	100	5

### 2.2. Nitridálási körülmények

A plazmanitridálási kísérleteket saját kísérleti berendezésünkben végeztük el. Az ötvözetlen acél és titán ernyőkkel készült próbatesteket 490 °C-on, 4 órán keresztül, 75% N<sub>2</sub> + 25% H<sub>2</sub> gázkeverékkel nitridáltuk. A nikkelbevonatos próbatesteket 510 °C-on, szintén 4 órán keresztül, 75% N<sub>2</sub> + 25% H<sub>2</sub> gázkeverékkel kezeltük.

### 2.3. Vizsgálati módszerek

A próbatestek felületéről nitridálás után sztereomikroszkópos képek készültek Olympus SZX16 mikroszkóppal. Keménységet Buehler IndentaMet 1105 típusú mikro-keménységmérővel mértünk. Az EDS-mérésekhez Zeiss EVO MA10 elektronmikroszkópot és EDAX Z2 detektort, az XPS-mérésekhez Phoibos 100 MCD-5 detektort használtunk.

### 3. Plazmanitridálási kísérletek

A kísérleteket először titán alapanyagon végeztük el, a titán korrózióállóságának javítása céljából, azonban megfigyeltük, hogy az aktív ernyőről leváló részecskék megtapadnak a felületen. Ezt követően kezdtük el vizsgálni az aktív ernyő hatását acél alapanyagon.

#### 3.1. Titán alapanyagon végzett plazmanitridálás különböző anyagú aktív ernyőkkel

A nitridálás előtt és után tömegmérést végeztünk a próbatesten, melynek eredménye a 2. táblázatban látható.

2. táblázat. Különböző aktív ernyőkkel nitridált titán próbatestek tömegmérési eredménye

Minta jele	$m_{\text{kezd.}}$ (g)	$m_{\text{bef.}}$ (g)	$\Delta m$ (g)
Acélnyővel	8,4130	8,4146	0,0016
Titánnnyővel	8,3364	8,3365	0,0001

Megfigyelhető, hogy titánnnyővel a próbatesten szinte nem következett be tömegnövekedés, míg az acélnyő esetén a nitridált minta tömege nagyobb.

Közvetlenül a nitridálás után a felületről készült képek az 1. ábrán láthatók.

Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy az acélnyővel készült próbatest felülete matt maradt, míg a titánnnyővel készültén meglátszanak a felület-előkészítés nyomai, valamint a fényt különbözőképpen törli meg a felület optikailag aktív rétege. Egyértelműen látszik, hogy a TiN-re jellemző aransyárga szín [17] nem alakult ki, ami arra utal, hogy ilyen típusú nitrid nem alakult ki a felületen.

A titán próbatest alapkeménysége 332 HV<sub>0,01</sub> ± 25. Acélhálóval a próbatest keménysége 661 HV<sub>0,01</sub> ± 32, ami az alapkeménység duplája, míg titánnnyős nitridálás után a keménysége csak 436 ± 14 HV<sub>0,01</sub>-re változott. A titán nitridei nitridálás után akár 1400 HV keménységet is elérhetnek [18]. Vagyis ezek alapján vagy nem alakult ki vegyületi réteg, vagy annyira kis vastagságú réteg alakult ki, hogy a keménységmérés során a gyé-

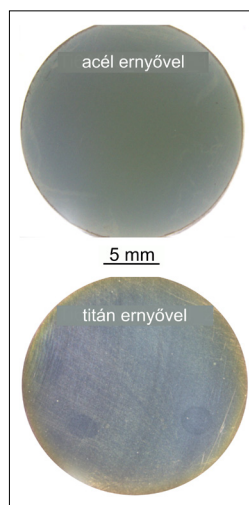
mánt mérőcsúcs átnyomódott a teljes rétegen.

A próbatestek keresztmetszetéről készült képek a 2. ábrán láthatók.

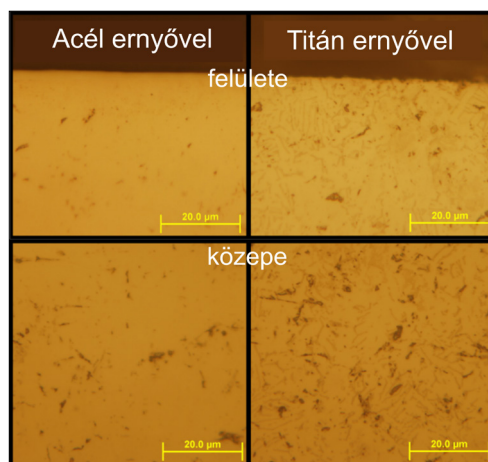
A fémmikroszkópos felvételeken látható, hogy nitridréteg nem alakult ki a felületen. A minták szövetszerkezete különböző a felülethez közel és a minta közepén.

A keresztmetszeten végzett mikrokeménységmérésből kiderült, hogy a keménység 0,1 mm-en keresztül csökken le az alapkeménységre, mely az előző képekkel együtt azt bizonyítja, hogy a nitrogén bediffundált az anyagba.

Az EDS-analízissel megmértük a felület összetételét, melynek eredménye a 3. táblázatban látható.



1. ábra. Különböző ernyővel nitridált titán próbatestek felületéről készült sztereomikroszkópos képek



2. ábra. Különböző ernyőkkel nitridált titán próbatestek keresztmetszetéről készült optikai mikroszkópos képek

**3. táblázat.** Különböző aktív ernyőkkel nitridált titán próbatetek EDS-analízissel mért felületi-anyagösszetétele

Elem (%)	Alapanyag	Acél-ernyővel	Titán-ernyővel
Ti	83,18	11,19	85,21
Al	6,10	0,18	6,72
V	4,33	0,91	3,77
O	6,15	7,34	1,14
Si	0,24	–	–
N	–	7,40	3,16
Fe	–	72,98	–

Jól megfigyelhető, hogy acélernyővel a felület Ti-tartalma jelentősen lecsökkent az alapanyaghoz képest, a vas pedig nagy mennyiségben megjelent. A titánernyővel készült próbatesten a titán mennyisége növekedett, de a további értékek nem változtak jelentősen. Mindkét esetben megjelent a nitrogén. Ezek azt bizonyítják, hogy az ernyőről leváló részecskék megtapadnak a felületen, sőt képek befedni a minta felületét.

### 3.2. Nemesíthető acélon végzett plazmanitridálás titán anyagú aktív ernyővel

Mivel a korábbi kísérletek során TiN-et nem tudunk létrehozni a felületen, de az ernyőről levált részecskék megtapadtak a felületen, ezért kisebb átmérőjű aktív ernyőre és 42CrMo4 összetételű acélra váltottunk. A próbatestet ASPN\_Ti-nek jelöltük.

A tömegmérésből származó eredményeket a 4. táblázat mutatja.

**4. táblázat.** Titán aktív ernyővel nitridált acél próbatetek tömegmérési eredménye

Minta jele	$m_{\text{kez.}}$ (g)	$m_{\text{bef.}}$ (g)	$\Delta m$ (g)
ASPN_Ti	12,5257	12,5267	0,0010

Tömegnövekedés itt is, ahogyan a korábbi méréseknél is, tapasztalható, azonban ebben az esetben keménységnövekedés nem történt, a próbatest nitridálás utáni keménysége az alapkeménység szórásán belül maradt, azaz  $320 \pm 20$  HV0,01. A felületen szintén nem alakult ki vegyületi réteg sem.

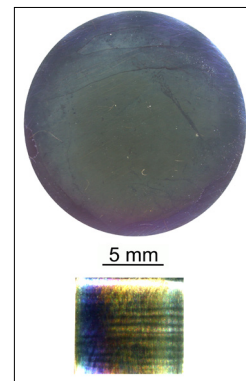
A nitridálás után a felületen különböző színárnyalatokat vettünk észre, ami a 3. ábrán látható. Ezek között a próbatest szélén az arany szín is megjelent, ezért az EDS-elemzés során a próbatest különböző pontjait vizsgáltuk. A mérési eredményeket a 5. táblázat mutatja.

**5. táblázat.** Titán aktív ernyővel nitridált acél próbatetek EDS-analízissel mért elemösszetétele

Elem (%)	Alapanyag	ASPN_Ti közepe	ASPN_Ti széle
N	–	7,46	4,86
O	–	5,17	3,51
Al	–	0,17	–
Si	0,28	0,24	–
Ti	–	5,98	3,37
Cr	1,41	1,18	1,21
Fe	99,4	79,79	87,05
Mo	0,12	–	–
Mn	0,74	–	–

Megfigyelhető, hogy a próbatestre az ernyőből szintén rakódott le a felületre titán, azonban a szélén várt TiN-réteg biztosan nem alakult ki, hiszen a vastartalom ebben a pontban nagyobb, mint a közepén, továbbá a nitrogén mennyisége is csökkent ahhoz képest. A pontosabb meghatározáshoz XPS-analízist alkalmaztunk [19, 20], melynek eredményei a 6. táblázatban láthatók.

A felületen kialakult réteg teljesen lefedi az alapanyagot, mivel a spektrumokon nem látszik vas, króm vagy molibdén. A kialakult rétegben van titán és nitrogén is, azonban nincsenek kötésben. A próbatest eltérő színei titán-oxid kialakulására utalhatnak, azonban a mérések során (bár a kialakult kötések közelebb állnak a TiO<sub>2</sub>-höz, mint a TiN-hez) nem jelenthető ki teljes bizonyossággal, hogy a felületet csupán egy titán-oxid-réteg borítja. A legvalószínűbb, hogy a felületen egy TiN<sub>x</sub>O<sub>y</sub>-réteg keletkezik, amelynek vastagsága és összetétele a hely függvényében változhat.

**3. ábra.** Titánernyővel nitridált, 42CrMo4 acél próbatest sztereomikroszkópos képe. Az alsó képen láthatók a nitridálás során kialakult színárnyalatok

**6. táblázat.** Titán aktív ernyővel nitridált acél próbatetek XPS-analízissel mért elemösszetétele a minta közepén

Elem	Mennyiség (%)
C1s	74,88
N1s	2,22
O1s	16,06
Ti2p	4,24
Ca2p	1,53
Mn2p	0,36
Si2p	0,38
Na1s	0,07

### 3.3. Nemesíthető acélon végzett plazmanitridálás nikkelbevonatos aktív ernyővel

Az aktív ernyő alapanyaga ötvözetlen acél, melyre galvanizálással 70 µm vastagságú nikkelréteget vittünk fel.

A nitridálást követően a felület egyenletes, világosszürke színű lett (4. ábra), melyen némileg még látszottak a polírozás nyomai, így arra következtünk, hogy vegyületi réteg ismét nem keletkezett a próbatesten.

Az optikai mikroszkópos képen (5. ábra) látható, hogy vegyületi réteg nem keletkezett, amit a keménység is igazol. Ennél a próbatestnél sem növekedett a próbatest keménysége, szóráson belül maradt, ami  $420 \pm 45$  HV0,01.

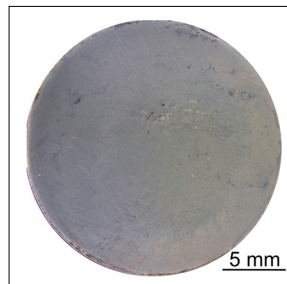
További vizsgálatokat végeztünk el XPS-analízissel, melyhez először leporlasztottuk a felület felső 100 nm-ét, majd ebben a mélységben megvizsgáltuk az anyagösszetételt. Az erre szolgáló grafikon a 6. ábrán látható.

Ahogy a 6. ábrából kiolvasható, a nitrogén nem létesített kötést a vassal, tehát nincs vas-nitrid – az előzetes feltevéseket igazolva –, valóban nem keletkezett a felületen. A nitrogén 84%-ban molekuláris (N<sub>2</sub>) formában van jelen a vizsgált rétegben, ami annak porózusságával magyarázható. Kismértékben (16%) karbo-nitrid is megjelent, amelynek felületkeményítő hatása nem volt kimutatható a keménységmérés során.

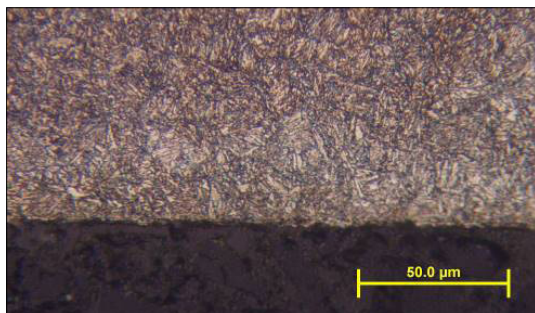
## 4. Összefoglalás

Az aktív ernyő felületének anyaga az alábbi módokon befolyásolja a nitridált munkadarab felületi tulajdonságait aktív ernyős plazmanitridálás során:

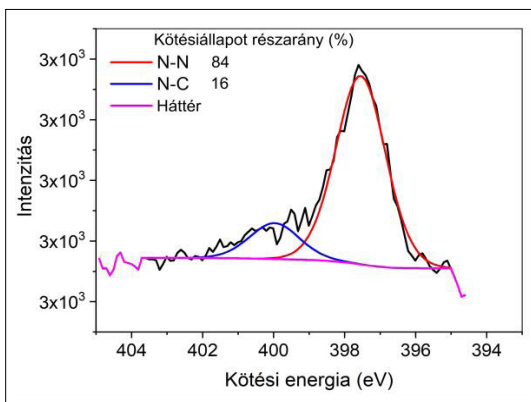
– nincs keménységnövelő hatás;



**4. ábra.** Nikkelbevonatos aktív ernyővel nitridált 42CrMo4 acél próbatest sztereomikroszkópos képe



**5. ábra.** Nikkelbevonatos aktív ernyővel nitridált 42CrMo4 acél próbatest szövete képe



**6. ábra.** Nikkelbevonatos aktív ernyővel nitridált 42CrMo4 összetételű próbatest XPS-mérési grafikonja

- nem alakult ki vegyületi réteg a felületen, tehát nem képződik vas-nitrid;
- az aktív ernyőből származó részecskék lerakódnak a felületen.

Nikkelbevonatú aktív ernyő esetén, 75% N<sub>2</sub> + 25% H<sub>2</sub> gázkeverék használatával, 510 °C-on, 4 órás aktív ernyős plazmanitridálással az ernyő felületéből származó nikkel beötvöződik a felületbe több száz nm-es vastagságban, miközben vas-nitrid-fázisok nem alakulnak ki. Ez akár új felületötvözési eljárásnak is tekinthető.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak Takáts Viktornak, a debreceni Atommag Kutató Intézet munkatársának és Dobos Gábornak, a BME Atomfizika Tanszék munkatársának az XPS-mérések elvégzéséért.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Yaghmaee M.S, Kaptay G.: *The Solubility of Nitrogen and Nitrides in Ternary Liquid Iron Alloys. The Limits of the 'Solubility Product' Concept*. Materials Science Forum, 414–415. (2003) 491–496.
- [2] Koložsváry Z.: *Nitriding structure and properties of nitrided layer*. ASM Handbook, Volume 4D, Heat Treating of Irons and Steels (2014) 88–96. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v04d.a0005986>
- [3] Szilágyiné B. A.: *Trends of nitriding processes*. Production Processes and Systems, 6. (2013) 57–69.
- [4] Aizawa T., Wasa K.: *Low temperature plasma nitriding of inner surfaces in stainless steel mini/micro-pipes and nozzles*, Micromachines, 8. (2017) 1–9. <https://doi.org/10.3390/mi8050157>
- [5] Szilágyiné B. A., Kocsisné B. M.: *Comparison of gas and plasma nitrocarburised surface layer of 16CrMo5 steel*. Proceedings – European Conference on Heat Treatment and 21<sup>st</sup> IFHTSE Congress (2014) 551–558.
- [6] Börner K., Burlacov I., Spies H., Biermann H., Hamann S., Röpcke J.: *Investigations on the active screen plasma nitriding process*. In: 13<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering (2012) 96–99.
- [7] Middendorf C., Mader W.: *Growth and microstructure of iron nitride layers and pore formation in  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>N*. Zeitschrift für Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques, 94. (2003) <https://doi.org/10.3139/146.030333>
- [8] Kenéz L., Kutasi N., Filep E., Jakab-Farkas L., Ferencz L.: *Anodic plasma nitriding in hollow cathode (HCAPN)*. HTM – Journal of Heat Treatment and Materials, 73. (2018) 96–105. <https://doi.org/10.3139/105.110344>.
- [9] Li Y., Zhang S., He Y., Zhang L., Wang L.: *Characteristics of the nitrided layer formed on AISI 304 austenitic stainless steel by high temperature nitriding assisted hollow cathode discharge*. Materials and Design, 64. (2014) 527–534. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.023>.
- [10] Sousa de R. R. M., Araújo de F. O., Costa da J. A. P., Dumelow T., Oliveira de R. S., Alves C.: *Nitriding in cathodic cage of stainless steel AISI 316: Influence of sample position*. Vacuum, 83. (2009) 1402–1405. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.04.054>
- [11] Salavat M. K., Soltanieh M., Niasari M. H.: *Diffusion Layer Growth Mechanism in ASPN Method Using an Iron Cage for St52 Steel*. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'16) (2016) 1–8. <https://doi.org/10.11159/mmme16.106>
- [12] Gallo C. S., Dong H.: *On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding*. Vacuum, 84. (2009) 321–325. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.07.002>
- [13] Zaho C., Li C. X., Dong H., Bell T.: *Study on the active screen plasma nitriding and its nitriding mechanism*. Surface and Coatings Technology, 201. (2006) 2320–2325. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.03.045>
- [14] Naeem M., Sha M., Zaka-ul-islam M., Ashiq A., Díaz-Gullién J. C., Shahzad M., Zakaullah M.: *Enhanced surface properties of plain carbon steel using plasma nitriding with austenitic steel cathodic cage*. Materials and Design, 108. (2016) 745–753. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.044>
- [15] Yazdani A., Soltanieh M., Aghajani H.: *Active screen plasma nitriding of Al using an iron cage: Characterization and evaluation*. Vacuum, 122. (2015) 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2015.09.018>
- [16] Kauling A. P., Soares G. V., Figueroa C. A., Oliverira de R. V. B., Baumvol I. J. R., Giacomelli C., Mioti L.: *Polypropylene surface modification by active screen plasma nitriding*. Materials Science and Engineering, C, 29. (2009) 363–366. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.07.002>
- [17] Kamat A. M., Copley S. M., Todd J. A.: *Effect of processing parameters on microstructure during laser-sustained plasma (LSP) nitriding of commercially-pure titanium*. Acta Materialia, 107. (2016) 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.01.051>
- [18] Nishimoto A., Nii H., Narita, Akamatsu K.: *Simultaneous duplex process of TiN coating and nitriding by active screen plasma nitriding*. Surface and Coatings Technology, 228. (2013) 558–562. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.021>
- [19] Kovách G., Csorbai H., Dobos G., Karacs A., Pető G.: *Formation and characterization of electric contacts on CVD diamond films prepared by ion implantation*, Materials Science Forum, 473–474. (2005) 123–128. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.123>
- [20] Takáts V., Csík A., Hakl J., Vad K.: *Diffusion induced atomic islands on the surface of Ni/Cu nanolayers*. Applied Surface Science, 440. (2018) 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.087>