

# A plazmanitridálás során fellépő üregkátód hatás vizsgálata

## Investigation of the hollow cathode effect occurring during the plasmanitriding process

KORSÓS Krisztián<sup>1</sup>, KOVÁCS Dorina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Magyarország, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., www.att.bme.hu  
<sup>1</sup>korsos.krisztian@edu.bme.hu, <sup>2</sup>kovacs.dorina@gpk.bme.hu

### Abstract

*Today, nitriding, as one of the most defining thermochemical processes, occupies a solid place among industrial surface treatments. It is worth noting that not all versions of this nitrogen diffusion based process are as widespread as their advantages would justify, mostly because of their disadvantages, difficulties. One notable example of this is the plasmanitriding technology. In our research, we perform direct current plasma nitriding on 42CrMo4 steel, special test bodies designed for the execution of the tests, to investigate one of the difficulties of the technology, the hollow cathode effect.*

**Keywords:** hollow cathode effect, 42CrMo4, plasmanitriding

### Kivonat

*A nitridálás, mint az egyik legmeghatározóbb termokémiai eljárás, napjainkban is szilárd helyet foglal el az ipari felületkezelések között. Ugyanakkor nem minden nitridálási eljárás változat olyan elterjedt, mint ahogy azt előnyeik indokolnák. A plazmanitridálás technológiája, főleg fiatalága miatt a mai napig olyan kiküszöböletlen problémákkal rendelkezik, mely nagyban gátolja a széleskörűbb ipari elterjedését. Kutatásunkban 42CrMo4 anyagú, speciális, a vizsgálatok kivitelezésére tervezett próba testeken végzünk egyenáramú plazmanitridálást, a technológia egyik nehézségének, az üregkátód hatás jelenségének vizsgálatára.*

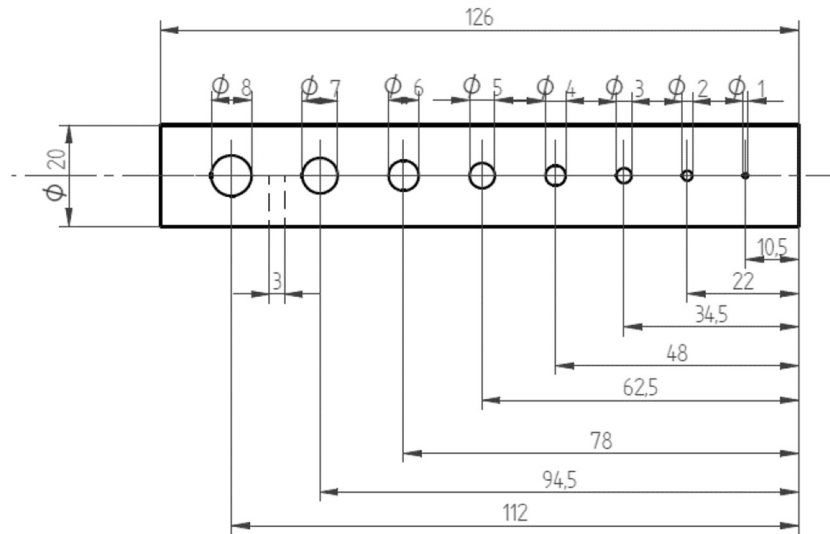
Kulcsszavak: üregkátód hatás, 42CrMo4, plazmanitridálás

## 1. Bevezetés

A nitridálás ma már vitathatatlanul az egyik legszéleskörűbben alkalmazott termokémiai eljárás mind az iparban, mind a kutatói körökben. A nitridálás, ami egy nitrogén diffúzió alapuló termokémiai eljárás, ma már több eljárásváltozattal rendelkezik. [1] Habár valamennyi eljárás rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal, az eljárás között kiemelkedő figyelmet érdekel a plazmaközegben végzett egyenáramú plazmanitridálás (DCPN – direct current plasmanitriding). Az eljárás még korántsem lett tökéletesítve, így a kezelhető felületek geometria és bonyolultság szempontjából limitáltak, az eljárás érzékeny a felület tisztaságára és olyan, a termék kezelés utáni integritását nagymértékben veszélyeztető jelenségek léphetnek fel, mint az üregkátód hatás, valamint az élhatás [2]. Kutatásunk során egy a DCPN eljárást érintő és azt geometriai komplexitásában gátló jelenséget, az üregkátód hatást vizsgáljuk azzal a céllal, hogy kialakulásának paramétereit meghatározzuk és a kialakulás esetén a kezelt termékre gyakorolt hatását felmérjük. Az üregkátód hatás a nitridálódó termékek zsákfurataiban és bemetszéseiben jelentkező, túl-ionizációs folyamat [3]. Említésre méltó azonban, hogy az üregkátód hatás, mint jelenség a kevésbé kutatott mérnöki területekhez tartozik, tekintettel arra, hogy az ipari szakemberek megfelelő mértékben fel vannak készítve az elkerülésére. Az ipari gyakorlatban a kritikus méretű furatokat jellemzően árnyékolják, vagyis valamilyen nem vezető anyaggal kitömik, illetve letakarják, így meggátolva a jelenség fellépését. Ugyanakkor megemlítendő, hogy az árnyékolt furat nem csak az üregkátód hatást nem szenved el, de a nitridálás során kialakuló nitridált réteg sem képes kialakulni rajta. Belátható tehát, hogy a jelenség kivédésénél messze előbbre mutatóbb a mélyebb megértését követő elkerülés, vagy akár előnyös felhasználás.

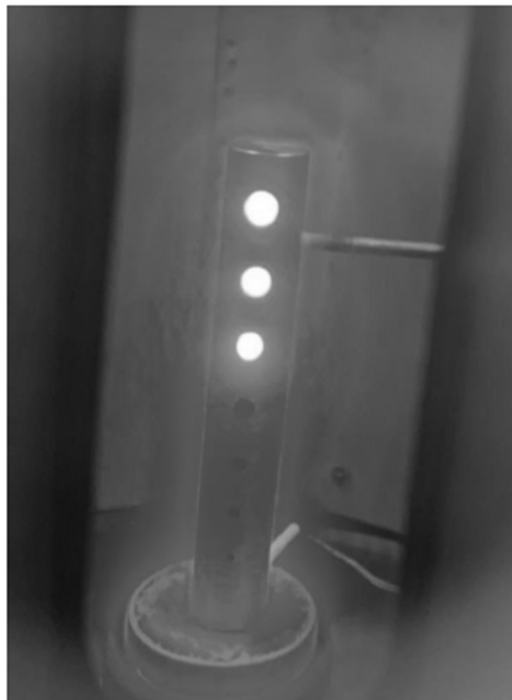
## 2. Kutatási módszertan

Kutatásunkhoz az 1. ábrán is látható speciális kialakítású próbatestet alkalmaztuk, amely célja a különböző furatméretek egységesített vizsgálatának lehetővé tétele akár egyidőben. A próbatestet 42CrMo4 jelzésű nemesíthető acélból készült forgácsolással előállítva. A nem kívánatos szerves szennyeződés miatti ívképződést a kezelést megelőző fél órás acetonos mosás előzte meg ultrahangos tisztító berendezésben.



1. ábra: A kísérletekhez használt próbatestet

Kutatásunk fő célja az üregkátód hatás kialakulásának paraméterhatásait vizsgálni, esetleges trendek vagy korrelációk meghatározásának érdekében és esetleges új paraméterek felismerése, meghatározása. A vizsgálatokat 25-75%-os hidrogén-nitrogén gázkeverékben végeztem minden esetben. [4] A vizsgálatokat változó nyomás, feszültség és furatméret mellett elsősorban az üregkátód hatás meglétét vizsgáltuk, így praktikusán megállapítva azokat a paraméter kombinációkat, melyek mellett létrejön az említett jelenség vagy nem. A nitridálás során létrejövő plazmát 2. ábra mutatja.



2. ábra: A kísérleti elrendezés (megfigyelhető az üregkátód hatás a furatokban)

A készüléket 66 Pa nyomásig vákuumoztuk, majd 15 percig nitrogén gázzal öblítettük. Az előkészítéseket követően a kiinduló nyomást 93 Pa nyomásra vettük és a kiinduló feszültséget 350 V-ra

választottuk. A vizsgálati előkészületeket követően a nyomást folyamatosan növeltük, míg ezzel egy időben - tekintettel arra, hogy a kamrában jelentkező nyomásnövekedés esetén, a próbatest felületén jelentkező áramsűrűség növekszik és a feszültség csökken – a feszültséget az előre meghatározott értékeken tartottuk. A vizsgált feszültségi értékek 350, 400, 450, 500, 550 és 600 V-ra adódott, míg a vizsgált nyomástartomány 93 és 240 Pa nyomás között változott. A vizsgálat során folyamatosan rögzítettük az adott feszültségi értéken azokat a nyomás értékeket, amelyek mellett, az adott furatátmérők túl-ionizációja, vagyis az üregkátód hatás megkezdődik.

### 3. Vizsgálati eredmények

Az eljárási paraméterek függvényében, az üregkátód hatás kialakulásának vizsgálata során arra a következtetésre jutottunk, hogy az üregkátód hatás jelentkezése nagy mértékben függ a próbatest hőmérsékletétől, oly módon, hogy a nagyobb hőmérséklettel rendelkező próbatestekben jelenlévő furatokban, csak nagyobb nyomás és feszültség értékek mellett jelentkezik a túlionizáció, mint szobahőmérsékleten.

Tekintettel arra, hogy a furatokban jelentkező túl-ionizáció intenzívebben hevíti a furatot és környékét, így kísérleti tapasztalatként elmondható, hogy kis hőmérsékleten jelentkező üregkátód hatás a próbatest hevülésének köszönhetően a megfelelő hőmérséklet tartományt elérve „stabilizálódik” és leáll. További felvetés, hogy a nitridálási eljárást megelőző előmelegítés esetlegesen képes megóvni a próbatestet a furatokban jelentkező túl-ionizációtól. Megjegyzendő ugyancsak, hogy méréseink során többször is tapasztaltuk, hogy az üregkátód hatás jelensége messze a vártnál erőteljesebb hevítő hatást gyakorolt a próbatestre, mely a jelenség esetleges hasznos felhasználását is lehetővé teszi. Ezt a 3. ábrán látható piros színű izzás mutatja.



3. ábra: Az üregkátód hatás aktív zajlása okán túlhevült darab

Vizsgálatainkat úgy végeztük, hogy a hőmérséklet hatása ne befolyásolja a kapott eredményeket, ugyanakkor megjegyzendő, hogy a mérés során intenzív hevülés jelentkezik a próbatesteken. A mérések között a próbatest folyamatosan hűl, így a mérési eredményeket hőmérséklet tartományokra vettük fel.

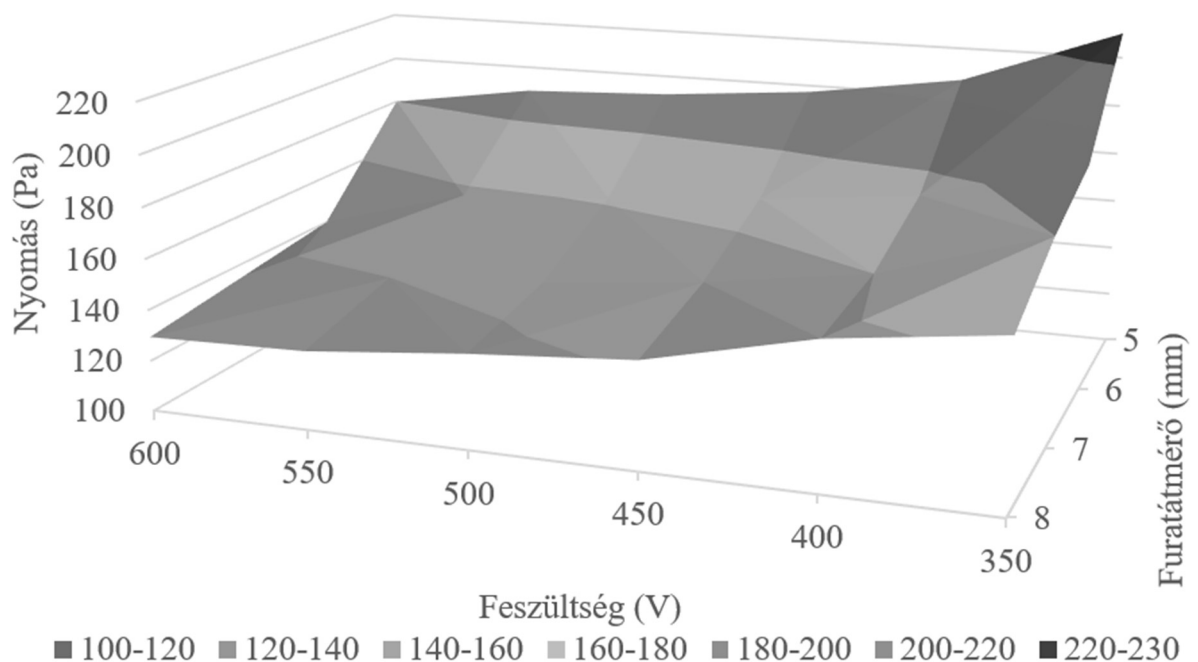
Érdeemes tehát leszögezni, hogy az általunk meghatározott feszültség és nyomás értékek kizárólag a 175 és 200 °C közötti hőmérséklettel rendelkező próbatestekre érvényesek. Feltételezhető továbbá, hogy mivel az üregkátód hatás jelentkezése az áramsűrűséggel köthető össze közvetlenül, így a furatok teljes felülete, ezáltal a mélysége is befolyásolja a jelenséget. Tekintettel arra, hogy az általunk vizsgált furatok mélysége egységes volt, így erre gyakorolt hatását jelen kutatásban nem vizsgáltuk. Kísérleti eredményeinket az 1. táblázat foglalja össze.

A furatátmérő és alkalmazott feszültség függvényében felvett nyomásértékek, melyek elérését követően az üregkatód hatás jelentkezik. (mértékegység: Pa)

1. Táblázat

		Furatátmérő (mm)			
		8	7	6	5
Alkalmazott feszültség	600	129,32	134,66	139,99	179,98
	550	130,66	139,99	157,32	189,32
	500	136,66	143,99	161,32	191,98
	450	141,32	150,65	166,65	197,32
	400	155,99	159,99	173,32	206,65
	350	163,99	179,98	190,65	231,98

A megállapított feszültség, nyomás és furatátmérő értékek alapján a 4. ábrán látható biztonsági diagram definiálható, amelyben a kifeszített sík alatt nem, felette pedig jelentkezik az üregkatód hatás.



4. ábra: A megállapított ÜHK biztonsági diagram 175 és 200°C között (a felületen láthatóan színek eltérő nyomástartományokat jelölnek)

A diagram és a táblázatba foglalt adatok alapján megállapítható, hogy a feszültség, a nyomás és a furatátmérő csökkentésével az üregkatód hatás kialakulásának lehetősége csökken, ugyanakkor a kísérleti tapasztalatok alapján a kezelési hőmérséklet csökkenése a jelenséghez szükséges paraméterekhez tartozó értékek csökkenéséhez vezet. Megállapítható tehát, hogy az egyenáramú plazmanitridálás során fellépő furat túl-ionizáció kialakulásának paraméterei számszerűsíthetők.

## 4. Összefoglalás

Kutatásunk eredményei a következő tételekben foglalhatók össze:

- Az üregkatód hatás nagyobb nitridálási nyomáson előbb következik be.
- Az üregkatód hatás nagyobb nitridálási feszültségen előbb következik be.
- Az üregkatód hatás nagyobb furatátmérő esetén előbb következik.
- A korábban taglalt paraméterek rendre a furat felületén keletkező áramsűrűséggel függenek össze, ami arányos a felület méretével, vagyis a furatátmérővel és mélységgel, a kamrában lévő nyomással, tehát a kamrában lévő lehetséges ionok számával és végül a berendezésben keltett feszültséggel, vagyis a kamratérben lévő ionokra gyakorolt gyorsító hatással. Megállapítható tehát, hogy minden olyan paraméter növelése, ami növeli az áramsűrűséget, elősegíti az üregkatód hatás kialakulását.
- Az üregkatód hatás nagyobb nitridálási hőmérsékleten később következik be. A jelenség korábban nem taglalt lehetőségeket nyit fel, miszerint a nitridálni kívánt furat előmelegítésével elkerülhető a jelenség, illetve a furat túl-ionizáció aktív zajlása miatti hevülés idővel stabilizálhatja a jelenséget.
- A 3. ábrán is látható üregkatód hatás okozta hatékony hevülés a jelenség még mélyebb megismerését követően felhasználható az esetlegesen nitridálásra tervezett próbatestekbe helyezett „hevítő” furatokkal.

### Irodalmi hivatkozások

- [1] Dossett J., Totten G. E., Asm handbook, vol. 4a, Steel heat treating fundamentals and processes, Asm International, Materials park, OH, United States, 2013
- [2] Kovács D., Szabó A., The separation of e- and g'-phases in the plasma nitrided layer by colour etching techniques, Metall. Res. Technol. 118, 315 (2021)
- [3] Naeem M, Shafiq M, Zaka-Ul-Islam M, Nawaz N, Diaz-Gullián J.C, Zakaullah M: Effect of cathodic cage size on plasma nitriding of aisi 304 steel, materials letters, 2016, 181, 78-81
- [4] Kovács D.: Az aktív ernyő szerepének elemzése a plazmanitridálási eljárásban, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Phd értekezés, Budapest, (2019)