

Plazmanitridálás hatása a mechanikai tulajdonságokra

Effect of plasma nitriding on the mechanical properties

KORSÓS Krisztián¹, MAGYARI Domonkos², Dr. KOVÁCS Dorina³

^{1,2,3}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Magyarország, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., www.att.bme.hu

¹korsos.krisztian@edu.bme.hu

²magyari.domonkos@edu.bme.hu

³kovacs.dorina@gpk.bme.hu

Abstract

Nowadays, applications where the surface and volume of a machine part are subjected to different effects are no longer surprising. Among the surface treatment processes, nitriding based on nitrogen diffusion is one of the most dynamically evolving processes. In our research, 42CrMo4 refractory steel specimens were plasma nitrided to reveal its effect on mechanical properties.

Keywords: plasmanitriding, 42CrMo4, tensile strength, active screen plasmanitriding, mechanical properties

Kivonat

Ma már nem meglepők az olyan alkalmazások, ahol a gépalkatrész felületét és térfogatát eltérő igénybevételek és hatások érik. A felületkezelő technológiák között az egyik legdinamikusabban fejlődő eljárás, a nitrogén diffúzióján alapuló nitridálás. Kutatásunk során 42CrMo4 nemesíthető acél próbatestet plazmanitridáltunk, hogy feltárjuk annak mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását.

Kulcsszavak: plazmanitridálás, 42CrMo4, szakítószilárdság, aktív ernyős plazmanitridálás, mechanikai tulajdonság

1. BEVEZETÉS

A műszaki technológiák untalan kutatása és fejlesztése kiemelkedő szerepet játszott az elmúlt évszázad ugrásszerű technológiai fejlődésében. E szemlélet tükrében kiemelt figyelmet kell szentelni nem csak új innovációknak, hanem a régiek fejlesztésének vagy azok magasabb szintű megértésének. Tekintettel arra, hogy a nitridálás elsősorban a felületi tulajdonságok módosítására alkalmas, így az eljáráshoz kapcsolódó vizsgálatok is főleg a nitridált próbatest felületére fókuszálnak.

Vélhető azonban, hogy a nitridálás, egyrészt az alkalmazott hőmérséklet, másrészt az adott mélységig módosított felület következtében a mechanikai tulajdonságokat is módosíthatja. E cikkben - a megszokottól eltérő módon - a nitridálás technológiájának térfogati, mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgáljuk.

2. ALAPVETŐ FELVETÉSEK

A nitridálás során célzottan módosítjuk a felület tulajdonságait, megfelelő hőmérséklet és atmoszféra alkalmazásával. Az alkalmazott hőmérséklet a nitridálás esetében 500-570 °C között változik, ami anyagösszetételtől függően a lágyító vagy megeresztő hőkezeléshez hasonló hatásokat válthat ki. A nitridálás hőmérsékletének beállításakor alapelv, hogy az eljárás hőmérséklete kisebb kell, hogy legyen, mint az utolsó hőkezelés hőmérséklete [1-4]. Ez az elv azt hivatott elkerülni, hogy a nitridálás során alkalmazott hőmérséklet módosítsa a korábban beállított tulajdonságokat. Ugyanakkor előfordulhatnak

olyan esetek is, amikor ezt az elvet követni nem tudjuk és a megfelelő nitridált réteg kialakításához olyan hőmérséklet szükséges, amely felül írhatja a korábbi hőkezelést és hatást gyakorolhat a próbatest tulajdonságaira.

A nitridáló felületkezeléssel kialakított vegyületi réteg és diffúziós zóna szilárdsági jellemzői eltérők az alapféméhez képest. Ha a felületkezelt alkatrészt térfogata mentén mechanikai terhelésnek tesszük ki, a megváltozott felületi tulajdonságok befolyásoló hatást fognak gyakorolni a térfogati tulajdonságokra.

A nitridáláson belül ehhez a kutatáshoz plazmanitridálást alkalmaztunk, melyet további két technológiai változatra bonthatunk: hagyományos plazmanitridálás (angol nevén: direct current plasma nitriding – DCPN), illetve aktív ernyős plazmanitridálás (active screen plasma nitriding – ASPN). Két eljárás fő különbsége, hogy a plazma a DCPN elrendezésben közvetlenül a munkadarabon képződik, míg ASPN esetén a körülötte elhelyezett ernyőn. Mindkét módszernek megvannak az előnyei és hátrányai, így nem lehet egyértelműen kijelenteni, melyik nitridálási megoldás a legjobb, hiszen különböző alapanyagokhoz és geometriákhoz más-más megoldást kell választani [5-6].

3. A VIZSGÁLATI MÓDSZERTAN

A kutatásban alkalmazott anyag a 42CrMo4-es anyagminőségű, nemesíthető acél. Ez az anyagminőség széleskörű elterjedése miatt jól reprezentálja a mérnöki gyakorlatban felbukkanó anyagokat. Az acél vegyi összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

A vizsgált fém vegyi összetétele

1. táblázat

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)
0,38-045	≤ 0,4	0,6-0,9	≤ 0,025	≤ 0,035	0,9-1,2	0,15-0,3

A próbatestek előzetes hőkezelésként normalizálva lettek. A nitridálások során hagyományos és aktív ernyős plazmanitridálást végeztünk. Az aktív ernyős nitridálásnál két különböző lyukméretű ernyőt is alkalmaztunk, míg az ernyőátmérő egységesen 100 mm-re lett választva. A próbatesteket és azok felületkezelési paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

A próbatestek és kezelési paramétereik

2. táblázat

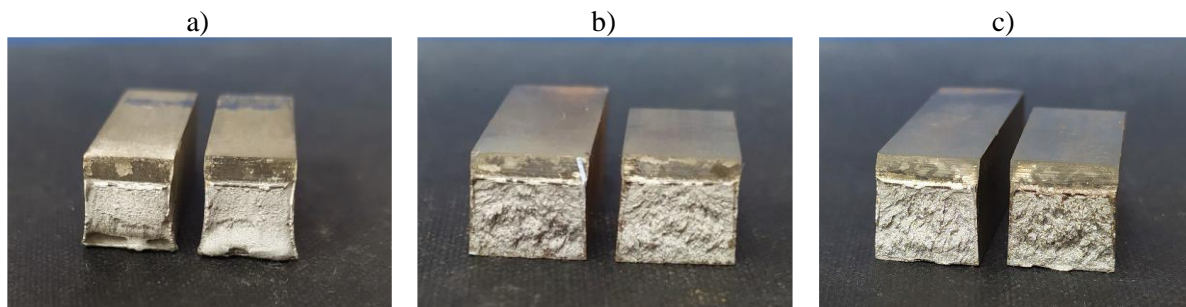
Jelölés	DCPN	100d12	100d18
Alkalmazott eljárás	DCPN eljárás	ASPN eljárás, 12 mm lyukátmérő	ASPN eljárás, 18 mm lyukátmérő
Kezelési hőmérséklet (°C)	600	490	490
Kezelési idő (h)	4	4	4

A kísérleteket egységesen 75% nitrogént és 25% hidrogént tartalmazó közegben végeztük el. A nagy nitrogén tartalmú közeg vélhetően nagy vastagságú vegyületi és diffúziós réteg létrejöttét teszi lehetővé, így annak hatása könnyebben vizsgálható a mechanikai tulajdonságokra. Az így előállított próbatesteken szakítóvizsgálatot és Charpy-féle ütőmunka vizsgálatot végeztünk, valamint pásztázó elektronmikroszkóppal rétegvastagságot mértünk. A választott anyagvizsgálati módszerek segítségével olyan mechanikai mérőszámok állapíthatók meg, melyek segítségével könnyen értékelhetők a mechanikai tulajdonságokban bekövetkezett változások.

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

Az ütőmunka vizsgálat során általánosan megállapítható, hogy a próbatestek rendre szívósabban viselkedtek, mint a normalizált alapanyagú próbatest. A DCPN próbatest szívóssága kiemelkedő a nitridált próbatestek között is, feltehetően a jelentősen nagyobb kezelési hőmérséklet miatt. A próbatest törése során képlékeny alakváltozás volt megfigyelhető és a töretfelület jellege, valamint a szemcseméret is a szívós törés jellegzetességét viseli. A 100d12 és 100d18 próbatestek szívóssága is jelentősen

növekedett a kezelés hatására, ugyanakkor a két próbatest tulajdonságai nagyon közel esnek egymáshoz, így megállapítható, hogy az aktív ernyő lyukmérete nem, vagy csak nagyon kis mértékben gyakorol hatást az ütőmunkára (1. ábra).



1. ábra: A Charpy-féle vizsgálat során kapott töretfelületek a) DCPN, b) 100d12, c) 100d18 esetén

A hőmérséklet nem csak a felületi réteg kialakulásában játszik szerepet, hanem tulajdonság változtató hatása is van a próbatest teljesen egészére nézve is. Természetesen, ahogy korábban is leírásra került, ez a hatás csak akkor veendő figyelembe, ha olyan hőkezeltségű acélt nitridálunk, melynél a tovább lágyulás egyáltalán bekövetkezhet és a jelenség az alkalmazás szempontjából hátrányos lehet. Abban viszont ezen vizsgálatok alapján nem lehetünk biztosak, hogy az anyagszerkezetében változott felület képes-e olyan nagymértékű mechanikai tulajdonságváltozást eszközölni, ami az ütőmunkavizsgálatoknál érzékelhető lehetne. A vizsgálat alapján megállapított ütőmunka értékeket a 3. táblázat szemlélteti.

A meghatározott ütőmunkák

3. táblázat

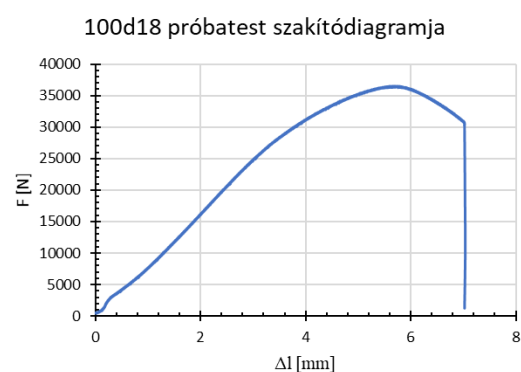
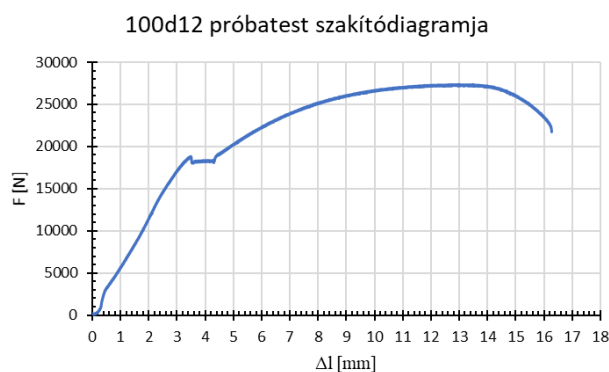
Megnevezés	Normalizált	DCPN	100d12	100d18
Ütőmunka (J)	11	46	25	27

A szakítóvizsgálat során kiszámoltuk a folyáshatárt és a szakítószilárdságot, melyek a 4. táblázatban láthatók. DCPN esetén az értékek közel azonosak maradtak a normalizált állapotú próbatesthez. Az aktív ernyős eljárással kezelt próbatestek mechanikai mérőszámok növekedést mutattak. 12 mm-es lyukméret alkalmazása esetén kisebb, míg 18 mm-es lyukméret esetén jelentősen nagyobb növekedés volt mérhető a próbatestek szakítószilárdságában. Megállapítható tehát, hogy a nitridálás nem csak, hogy megváltoztatja az anyag mechanikai tulajdonságait, de a tulajdonságváltozás nagymértékben befolyásolható az alkalmazott technológiai paraméterekkel.

A meghatározott szakítószilárdságok

4. táblázat

Megnevezés	Normalizált	DCPN	100d12	100d18
R_m (MPa)	705	702	726	960
$R_{p0.2}$ (MPa)	555	535	598	748

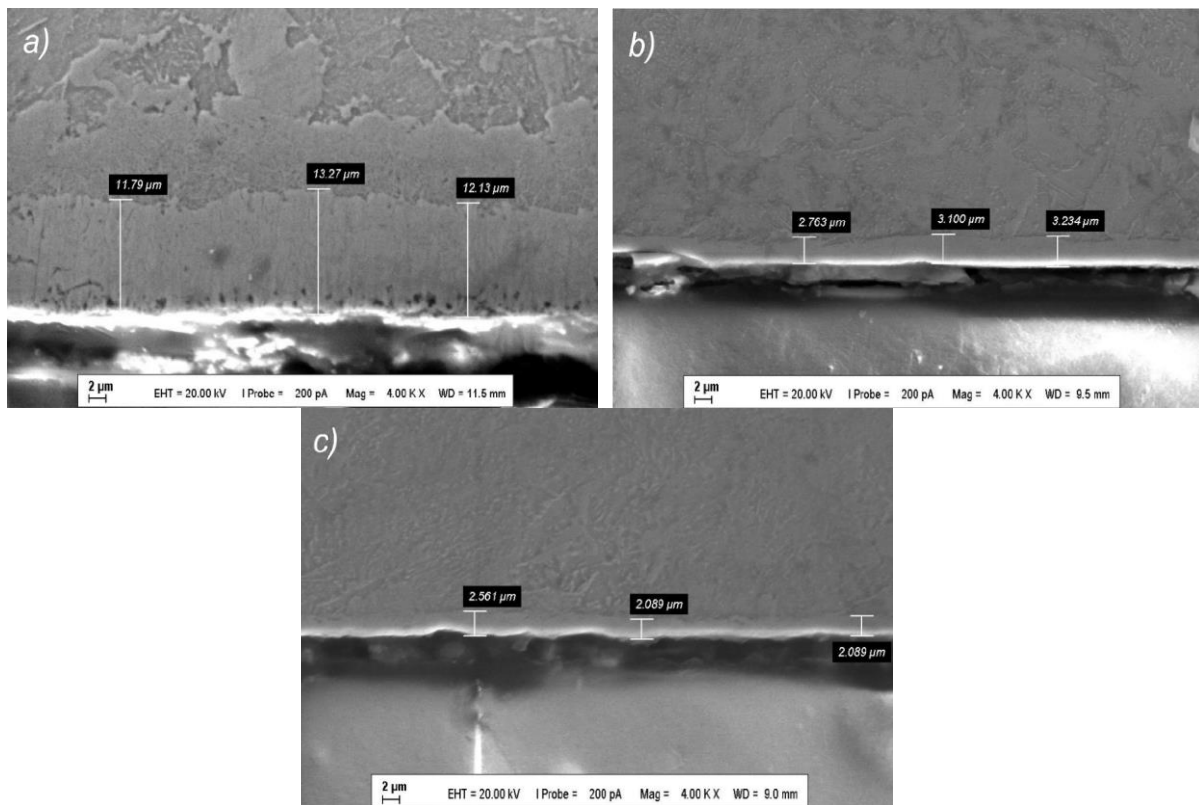


2. ábra A 100d12 és 100d18 próbatestekre jellemző szakítódiagramok összehasonlítása

A próbatestekhez tartozó szakítódiagrammok elemzését követően meghatározható, hogy a normalizált próbatest egy lágycélhoz hasonló, jellegzetes szakítógörbével rendelkezik. A DCPN és 100d12 próbatest esetében a szakítódiagram karakterisztikája megegyeznek a normalizált próbatestével, ugyanakkor a 100d18 próbatest szakítódiagramja merőben eltérő (2. ábra). A táblázatból is kiolvashatóan a szakítószilárdsága és folyáshatára is jelentősen nagyobb és a szakadáshoz tartozó képlékeny alakváltozás jelentősen kisebb. Alakját tekintve nem figyelhető meg rajta a folyáshatár jellegzetes szakasza, valamint a rugalmas és képlékeny alakváltozást elkülönítő szakasz sem.

A próbatestek keresztcsiszolatain 2% Nitálos maratás után optikai mikroszkóppal, valamint pásztázó elektronmikroszkóppal rétegvastagságmérést végeztünk. A DCPN próbatesten sarkainál megfigyelhető volt a hagyományos plazmanitridálás egyik jellegzetes hibája, a sarokhatás.

Megállapítható, hogy a hagyományos nitridálás esetében közel 5-ször akkora vegyületi réteg alakult ki, mint az aktív ernyős eljárás során (3. ábra), bár ez a nitridálás nagyobb hőmérsékleten zajlott.



3. ábra Vegyületi rétegek vastagsága elektronmikroszkópon. a) DCPN; b) 100d12; c) 100d18

A próbatesteken végzett mikrokeménységmérések alapján meghatározhatóvá vált a kialakult diffúziós zóna vastagsága is. Látható, hogy a DCPN eljárással kialakított diffúziós zóna jóval vastagabb, tekintettel a nagyobb kezelési hőmérsékletből fakadó intenzívebb diffúzióra. Az aktív ernyős eljárás eredményei csak kismértékben térnek el egymástól, így megállapítható, hogy az aktív ernyő alkalmazott lyukmérete jelen esetben sem gyakorolt jelentős hatást a kialakult rétegre.

A meghatározott felületi keménységek

5. táblázat

Megnevezés	DCPN	100d12	100d18
Max keménység (HV)	811	883	867
Meghatározott rétegvastagság (mm)	0,25	0,15	0,15

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás célja, hogy felderítsük a plazmanitridálás gyakorol-e bármilyen hatást az általunk vizsgált próbatesteken. Az eredmények és a belőlük levonható következtetések a következők:

- A nitridálási hőmérséklet következtében a próbatesteken megeresztődés volt tapasztalható az ütőmunka vizsgálata során.
- A szakítóvizsgálat során a próbatestek ugyanolyan vagy jobb szilárdsági tulajdonságokat produkáltak, mint az etalon próbatest, szembe menve a korábbi vizsgálatok eredményével.
- Feltételezhetően a kialakult nitridált réteg ellensúlyozta a csökkent szilárdsági és ezzel együtt növekedett szívóssági tulajdonságokat.

A vizsgálati eredmények és a levont következtetések egyértelműen jelzik, hogy a nitridálás során érzékelhetően módosulnak a mechanikai tulajdonságok.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszékét a megfelelő vizsgálati berendezések biztosításáért. A szerző konferencia részvételét a BME Gépészmérnöki Kar NTP-HHTDK-21-0051 pályázata támogatta.

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] Szabó A: *Helyszíni metallográfiai vizsgálatok*, XXIX. Nemzetközi Gépészeti Konferencia OGÉT 2021, 2021, 136-139

[3] Tolnai F, Varbai B: *Effect of Heat Treatment on the Microstructure of Duplex Stainless Steel Welds*, Acta Materialia Transylvanica, 2020, 3, 103-107

[4] Hajagos-Nagy K: *In-situ TEM Investigation of Solid Phase Transformations and Reactions*, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 2021, 65 (3), 252-260

[5] Szabó A, Szlancsik A: *Titán alapú aktív ernyős plazmanitridálás: Titanium based active screen plasma nitriding*, XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT 2020: 28th International Conference on Mechanical Engineering, 2020, 85-88

[6] 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