



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT



Szerszámacélok karbonitridálása

Készítette:
Szurdán Szabolcs

Konzulens:
Veres Zsolt
egyetemi adjunktus

Fémtani és Képlékeny – alakítástani Intézeti Tanszék
2012.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	1
1. Kérgesítő hőkezelések	1
1.1. Felületi edzés	1
1.2. Termokémiai kezelés	1
2. Nitridálás.....	2
2.1. A nitridálás alapjai	2
2.2. Nitridált réteg szerkezete, tulajdonságai	4
2.3. Az ötvöző elemek hatása a nitridált réteg szerkezetére	5
3. Nitridálási eljárások.....	6
3.1. Sófürdős nitridálás	6
3.2. Fluidágyas nitridálás	7
3.3. Plazma nitridálás.....	8
3.4. Gáznitridálás	8
3.4.1. A telítés hőmérséklete	10
3.4.2. A telítés ideje	10
3.4.3. Az ammónia disszociáció foka	11
4. Karbonitridálás	11
4.1. A karbonitridálás elmélete	12
5. Karbonitridáló kísérletek	13
5.1. A kísérlet előzményei	13
5.1.1. A karbonitridált darabok befogása	13
5.2. Karbonitridálásra kiválasztott anyagminőségek	14
5.3. A karbonitridálást megelőző hőkezelés folyamata	15
5.4. A karbonitridáló berendezés	16
5.5. A karbonitridálás körülményei	17

5.6. A karbonitridálás menete	18
6. A kísérletek kiértékelése	20
6.1. Mintaelőkészítés NHT méréshez	20
6.1.1. A munkadarabok befogása fémkeretbe	20
6.1.2. Az előkészítés lépései	20
6.2. NHT mérése a karbonitridált darabokon.....	21
6.3. A kísérletek eredményei	22
6.3.1. X153CrMoV12 acél	22
6.3.2. X38CrMoV5-1 acél	23
6.3.3. 40CrMnMoS8-6 acél	24
6.3.4. A mérési eredmények összegzése.....	26
Összefoglalás	28
Felhasznált Irodalom.....	30

Bevezetés

A dolgozatom 3 féle anyagminőségű acél karbonitridálhatóságát vizsgálja.

A kísérletek során megvizsgáltam, hogy a nitridált darabok befogására melyik módszer a legalkalmasabb, illetve kidolgoztam az egyes acélok előzetes hőkezelési, nemesítési paramétereit. Ezek után pedig az X153CrMoV12, X38CrMoV5-1 és a 40CrMnMoS8-6 acél gázban történő karbonitridálását végeztem el. A célom az, hogy a 3 különböző karbonitridált acél eredményeit összehasonlítsam az elért nitridált réteg és vegyületi réteg vastagság szempontjából. A nitridálással a felület keménysége, ezáltal a kopásállósága is növelhető, miközben a mag szívós lesz.

1. Kérgesítő hőkezelések [3] [5] [17]

A különféle technikákat magába foglaló kérgesítő vagy felületi hőkezelésnek az a célja, hogy olyan alkatrészeket gyárthassunk, amelyeknek a felülete kopással szemben ellenálló, magja pedig a kellő szilárdság mellett nagy szívósságú legyen.

Az acélok ily módon történő hőkezelésének két féle módja ismert, a felületi edzés és a termokémiai kezelés.

1.1. Felületi edzés [5] [9] [10] [17]

A felületi edzés olyan hőkezelési mód, amely során a hőkezelési állapot, azaz a szerkezet megváltozik, de a kémiai összetétel nem. Az acél felületét lokálisan ausztenitesítik, majd vízben lehűtik, edzik. Az edzéssel létrehozott felületi réteg martenzites szövetű lesz, amely szövetelemnek a legfőbb tulajdonsága a nagy keménység, tehát így a felület nagy keménységű, a mag pedig a felületi edzést megelőző hőkezeléssel, nemesítéssel létrehozott szövetszerkezetnek megfelelően szívós marad.

Az acél összetételét nem változtató felületi hőkezelés megvalósítható lángedzéssel, indukciós edzéssel, lézeres edzéssel és elektronsugaras edzéssel.

1.2. Termokémiai kezelés [5] [17]

A termokémiai kezelés során a darab felületét valamilyen fémes vagy nemfémes, atomos, vagy ionos állapotban lévő ötvözőelemmel dúsítják, így a kialakult kéreg tulajdonságai

különbözőek lehetnek. A hőkezelés végén a mag és a felületi réteg különböző kémiai összetételű.

A kialakult felületi réteg vastagsága a darab méretétől és a hőkezelés jellegzetességétől függően néhány μm - től néhány mm-ig terjedhet.

A készre alakított darab felületi rétegébe megfelelő ötvözőelemet juttatunk, amelyet kellő mennyiségben tartalmazó közegben (szilárd, folyékony és gáznemű) a felületen ötvözendő darabbal bizonyos ideig érintkezésben tartjuk.

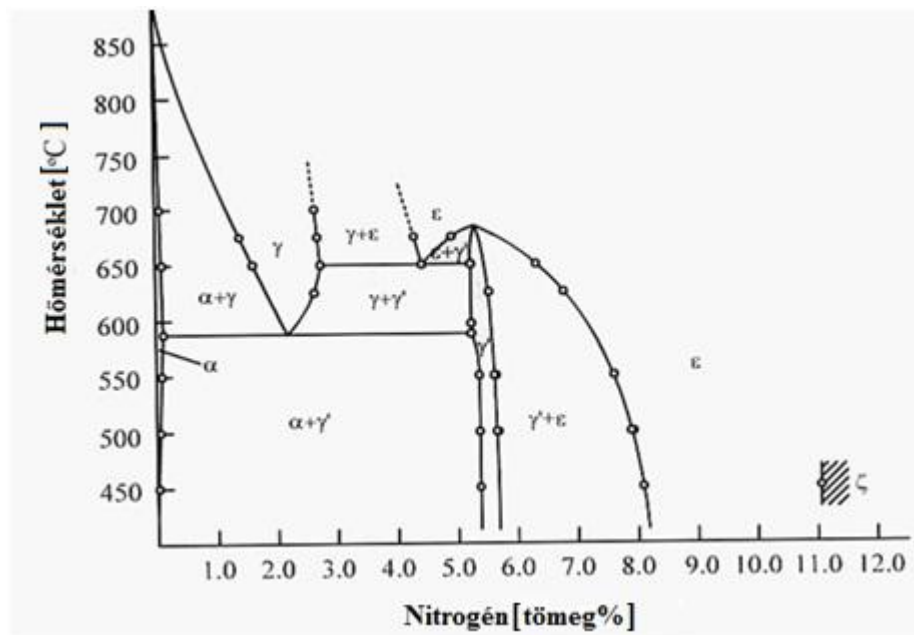
Az összetételt változtató kérgesítő eljárás 3 részfolyamatból tevődik össze. Az első, az ötvöző elemet atomos vagy ionos állapotban kell a felületre juttatni, ez a disszociáció eredménye. A második, az atomos vagy ionos állapotba került ötvözőelemnek adszorbeálódnia, megtapadnia kell az acél felületén és a harmadik részfolyamat, a felületen megtapadt elemeknek a felületi rétegbe kell vándorolnia, ezt nevezzük diffúciónak.

2. Nitridálás

A nitridálás alatt az acél nitrogénnel való felületi ötvözését értjük. A nitridálni kívánt darabon előzetes hőkezelést végeznek, amely legtöbbször nemesítés. A nemesítés célja, hogy a nitridálni kívánt darab a teljes keresztmetszetben megfelelő szívósságú és szilárdságú legyen. Mindemellett a finomszemcsés szövetszerkezet előállítása a cél, nemesítéssel szerkezeti acélok esetében szferoiditos szerkezet hozható létre, amely a kéreg ridegségének csökkenését és a diffúzió sebességének növekedését eredményezi. Ezzel a kérgesítő hőkezeléssel az acélon elvégzett előzetes hőkezeléssel elért szívósságot és szilárdságot tovább fokozzák. Olyan alkatrészeknél használják, amelyekkel szemben kopásállóság, nagy felületi keménység és kífáradási határ a követelmény, sőt még a korrózióval szembeni ellenállásban is javulás figyelhető meg.

2.1. A nitridálás alapjai [2] [3] [5] [8] [12] [17] [18] [20]

A nitridálást, mint termokémiai kezelést 500-580 °C között végzik, amely a Fe-N rendszerben az eutektoidos hőmérséklet alatt van, tehát allotróp átalakulás nem következik be. A teljes folyamat során az acél ferrites állapotban van, így kisebb feszültségek vannak jelen, számottevő vetemedéssel és térfogatváltozással nem kell számolnunk. A Fe-N egyensúlyi fázisdiagramját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A Fe-N kétalkotós rendszer egyensúlyi fázisdiagramja

Nitridáláskor az acélt aktív nitrogén jelenlétében hevítjük, amely során a nitrogén atomos, ionos állapotban jut be az acél felületébe, valamilyen nitrogént leadó közegből, amely lehet gáz, folyadék és plazma állapotban, tehát gáz-, sófürdős- és plazmanitridálást különböztetünk meg egymástól.

A gáznitridálás során a nitrogént leadó gáz általában ammónia, amely vagy tiszta, vagy nitrogénnel kevert állapotában lehet jelen. A keverékben a nitrogén aránya 75%-ig növekedhet, a nitridált réteg tulajdonságainak romlása nélkül. A tiszta ammónia vagy a gázkeverék a telítés hőmérsékletén a vas, vas – nitrid jelenlétében disszociál, melynek az egyik bomlásterméke az atomos nitrogén, amely a munkadarab felületén abszorbeálódik, majd a diffúzió segítségével bejut a darab belsejébe és ott adott vastagságú nitridált kérget hoz létre. A nitridált réteg heterogén, két részből áll, egy vegyületi rétegből és egy diffúziós zónából. A vegyületi réteget vas- nitridek alkotják, míg a diffúziós zónát nitrogénben dús ferrit, azaz nitroferrit és a nitrogénnek az acél ötvözetével alkotott finom nitrid kiválásai építik fel.

A következőkben egy acél esetében végig kísérhetjük a keletkezett fázisokat. Az acél felületén adszorbeálódott nitrogén elsőként a nitroferritben diffundál, miután meghaladta $0,1 \frac{m}{m}$ %-ot, azaz ebben a fázisban az oldhatósági határt, a Fe_4N (γ' – fázis) nitridek képződnek, majd a nitrogén koncentrációjának további növekedésével a Fe_{2-3}N (ϵ – fázis) nitridek keletkeznek. A gázban történő nitridálás során általában ilyen nitridált réteg alakul ki, amely

heterogén, azaz két részből tevődik össze. Az egyik része a vegyületi réteg, amely ϵ és γ' fázisból tevődik össze, a másik része pedig az előbb említett réteg alatt elhelyezkedő diffúziós zóna, ami α -nitroferritből áll, amiből a lehűlés során γ' – fázis válhat ki. Ez a folyamat az ötvözött és ötvöztelen acél esetében ugyanúgy zajlik le, a különbség csak annyi, hogy az ötvözött acél esetében a telítés hőmérsékletén még a diffúziós zónában az ötvözőelemek nitridjei is kiválnak, növelve ez által az acél felületi keménységét.

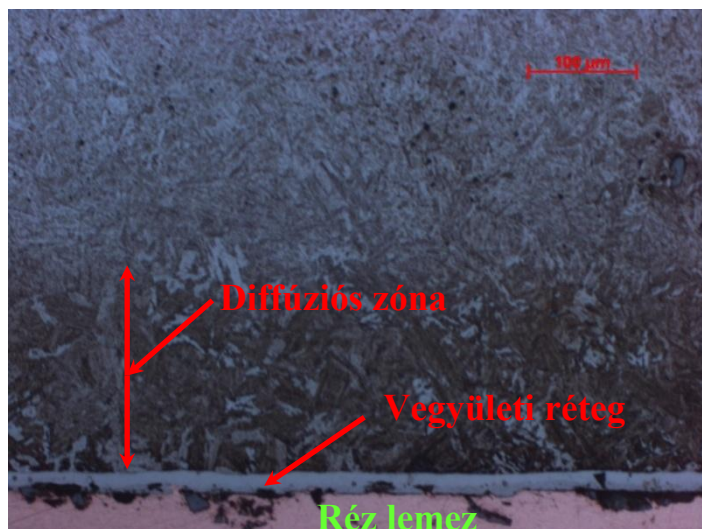
2.2. Nitridált réteg szerkezete, tulajdonságai [12] [17] [18] [20]

A nitridált réteg szerkezete a 2. ábrán látható felépítés szerint áll egy néhány mikron vastagságú vegyületi rétegből és a nitridált réteg jelentős részét kitevő maximum 0,7 mm vastagságú diffúziós zónából.

Az acélok vegyületi rétege ϵ és γ' vasnitrideket tartalmaz. Az ötvözött acélok esetében a vegyületi réteg keménysége nagyobb, de a vastagsága kisebb az ötvöztelen acélok vegyületi rétegéhez viszonyítva. A különbség oka az ötvöző tartalomban rejlik, hiszen az ötvöző tartalom növekedésével a vas nitridek helyett az ötvöző elemek nitridjei keletkeznek.

Az acél vegyületi rétegének ϵ – fázisa (Fe_{2-3}N) kis keménységű, rideg, azonban jó kopási tulajdonságokkal bír. A maximális kopásállóságot a vegyületi rétegben az $(\epsilon + \gamma')$ fázisok együttes jelenléte okozza.

A vegyületi réteg γ' – fázisa (Fe_4N) az előbb említett fázisnál nagyobb keménységű. A réteg keménysége meghaladhatja az 1000 HV – t is.



2. ábra A nitridált réteg szerkezete 10 órás karbonitridálás után

A nitridált réteg jelentős részét kitevő diffúziós zóna a vegyületi réteg alatt helyezkedik el. Ez a zóna nitrogénnel telített α – szilárd oldatból (nitroferritből) áll, az ötvözött acélok

esetében a nitroferrit mellett még az ötvöző elemek nitridjei is megjelennek. A Fe – N kétkotós diagramról (1. ábra) leolvasható, hogy a lehűlés során az α – nitroferritből γ' – nitrid válhat ki.

A teljes nitridált réteg keménységét az acél összetétele mellett a nitridálás technológiai paraméterei is, azaz a telítés hőmérséklete, ideje, valamint a gáztér aktivitása is befolyásolja. A diffúziós zóna keménysége a γ' - ben a legnagyobb és ez az acél belseje felé haladva csökken, az ötvözöttség mértékétől függően kisebb, vagy nagyobb mértékben.

Az alkatrészek nitridálása során maradó nyomófeszültség ébred az alkatrészek felületi rétegeiben, amely a fárasztó igénybevétellel és a töréssel szemben jobb ellenállást biztosít. A vegyületi réteg és a diffúziós zóna határán ébred a maximális maradó nyomófeszültség, a nitroferritben a nitrogén atomoknak az α – szilárd oldat rácsszerkezetébe történő beépülése, ezen kívül az ötvözőelemek nitridjeinek kiválása miatt. Ez a maradó nyomófeszültség értéke a két zóna határától az alkatrész belseje felé haladva egyre kisebb mértékű.

2.3. Az ötvöző elemek hatása a nitridált réteg szerkezetére [12] [17] [18] [20]

A kialakult nitridált réteg szerkezetét és tulajdonságait nagymértékben befolyásolja a nitridálás során a telítés hőmérséklete, ideje, a gáztér aktivitása és magának az alapanyagnak, az acélnak az összetétele.

A gázban történő nitridálás esetében, nagy mennyiségben a közepesen ötvözött acélokat alkalmazzák, mert a telítés hőmérsékletén az acélok ötvözői stabil nitrideket képeznek. Ezek az acélok a leggyakrabban Cr, Mo, V, Ti, W, Al és Si ötvözésűek lehetnek. Ezek az ötvözők megnövelik az α – fázis nitrogén oldóképességét, ezzel lehetővé téve, hogy a ferritben nagyobb mértékben oldódjon a nitrogén. Nem minden ötvöző változtatja meg az α – fázis nitrogén oldóképességét, ilyen ötvözők a Si és az Al. A Si és Al ötvözők oldódnak a γ' – fázisban, növelve annak keménységét, kopásállóságát.

Az acélban intersztíciósan oldódó karbon, a ferritben oldva csökkenti a ferrit nitrogén oldóképességét. A γ' – fázisban kis mértékben oldódik, az ε – fázis Fe_{2-3}N vegyületei karbonitrid jellegűek lesznek, Fe_{2-3}NC , továbbá növeli az ε – fázis koncentráció tartományát.

A fenti ötvöző elemek oldódnak a vegyületi réteg mindkét fázisában, a Fe – atomokat szubsztitúciósan helyettesítik, komplex nitrideket $[(\text{Fe}, \text{Me})_4\text{N}, (\text{Fe}, \text{Me})_3\text{N}, \text{stb.}]$ képeznek és a karbontartalomtól függően karbonitridek is keletkezhetnek.

A legerősebb nitridképző ötvöző az Al, amelynek jelenléte a nitridált acélok felületén nagy keménységű és kiváló kopásállóságú nitridált réteget alkot, amelynek a szívóssága és az alakíthatósága kicsi.

3. Nitridálási eljárások [1] [8]

A következő nitridálási technológiákat alkalmazzák az iparban, a sófürdős nitridálást, a fluidfürdős nitridálást, a gáz- és plazmanitridálást. Az évek során a nitridálás technológiáját egyre tökéletesebbre fejlesztik. A fejlesztés célja a nitridált réteg fázisösszetételének és a nitrogén koncentrációjának szabályozása egyre gazdaságosabb módon. A nitridálás mechanizmusa, hogy a közeg disszociációja során keletkezett atomos, ionos nitrogén abszorbeálódjon az acél felületén, majd végül az adszorbeálódott elem az acél felületi rétegeibe vándoroljon a diffúzió révén.

3.1. Sófürdős nitridálás [1] [8] [11]

A sófürdős nitridálás során a nitrogénben gazdag közeg alkáli földfémek, cianid - cianát sók keverékét tartalmazza olvadék állapotban.

A folyékony közegű sófürdős nitridálás alkalmas egyedi darabok hőkezelésére, mert a só olvadék egyenletesen, gyorsan és hatékonyan hevíti fel a kemencébe rakott darabokat. A folyékony közegű nitridálás alkalmas kopásálló nitridált réteg kialakítására. A nitridálni kívánt darabokat viszonylag alacsony hőmérsékleten körülbelül 540-580 °C fok között hőkezelik, melyeket egy előkészítő izzítás után helyeznek be a sófürdőbe. A képződött felületi réteg a technológia paramétereiktől, azaz a telítési hőmérséklettől, a telítés időtartamától és a fürdő kémiai összetételétől függ. Ez az eljárás egyenletes mélységű, vastag réteget hoz létre az acél felületén, amely jó felületi kopásállóságot és korrózióállóságot biztosít. A 3. ábrán a hőkezelt alkatrészek láthatóak közvetlenül a sófürdőből való kiemeléskor.



3. ábra Sófürdős kemence [7]

3.2. Fluidágyas nitridálás [1] [12]

A fluidfürdős kemence ammónia gázt, vagy ammónia és nitrogén gázkeveréket használ nitrogén forrásként. A fluidágyas nitridálási folyamat módszere hasonló a gázban történő nitridáláshoz, a hőátadási folyamata pedig a sófürdős nitridáláshoz hasonlít.

A fluidfürdő hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy folyadék, azzal az egy kivétellel, hogy a fluidfürdő nem nedves közegű. A fluidfürdős berendezésekben a finom eloszlású részecskéket áramló gázzal lebegésben tartják. Általában alumínium – oxid (Al_2O_3) részecskéket alkalmaznak.

A fluid ágyat felhevítik a kezelés hőmérsékletére, majd a gázkeveréket keresztüláramoltatják az ágyon. Jó hőátadás megy végbe akkor, amikor az alumínium – oxid szemcsék, amelyek mint egy fűtőközeg átadják a hőt a munkadarabnak. A fluidfürdős eljárás időtartama a nitrogén diffúziójától függ.

A fluidfürdő előnye, hogy a hőkezelt munkadarabok kemencéből történő eltávolítása után a fürdő visszanyeri a folyamat kezdeti hőmérsékletét, és készen áll egy következő darab hőkezelésére.

A legnagyobb hátránya az, hogy meglehetősen nagy mennyiségű reaktív gázt igényel a folyamat végrehajtásához.

3.3. Plazma nitridálás [6] [8]

A plazmanitridálást 350-600 °C között végzik. A hőkezelést vákuumkemencében 200-500 Pa nyomáson végzik, melynek a falazatát anódként a benne lévő darabokat pedig katódként alakítják ki, egymástól villamosan elszigetelve. Az eljárást ionizált gáz atmoszférában végzik, amely lehet ammónia, nitrogén, metán vagy hidrogén, de a kopásállóbb felületi réteg érdekében $N_2+H_2+CH_4$ gázkeveréket is alkalmaznak. A tartályba bevezetett gáz, illetve gázkeverék a nagyfeszültségű elektromos energia hatására ionizálódik, így keletkezik a plazma.

A katódként kapcsolt darabokat a plazma által felgyorsított pozitív töltésű ionok bombázzák, ez az ionzápor egy nagyon intenzív felülettisztítást eredményez, majd felhevíti az ionok mozgási energiájának bizonyos részének hővé alakulása által az acél felületét a nitridálás hőmérsékletére, amelyen a vasatomok reakcióba lépnek a nitrogén ionokkal és FeN - t hoznak létre. A FeN az acél felületén lebomlik, a nitrogén diffundál az acél felületébe létrehozva a nitridált réteget.

A plazmanitridálás a gázban, illetve a sófürdőben történő nitridáláshoz képest pontosabban szabályozható, hiszen egyfázisú réteg kialakítására is alkalmas a gázösszetétel szabályozásával. A 4. ábrán a kemencében lévő darabok láthatóak a plazmanitridálás során.



4. ábra Plazmanitridálás [6]

3.4. Gáznitridálás [1] [12] [17] [20]

A hagyományos gáznitridálás során alkalmazott nitrogénleadó közeg az ammónia. Régebben a nitridálást tiszta ammóniában végezték, de ekkor az ammónia jelentős hányada bomlás nélkül távozott. Ennek oka, hogy az ammónia bomlásakor a molekuláris gáz térfogata

a duplájára nőtt a retortában. A keletkezett nitrogén atomok csak egy kis része képes beépülni a felületbe, a nagyobb részük N_2 molekulát képez, emellett H_2 is képződik, ami lelassítja a fém-gáz határfelületen az ammónia határrétegbe jutását, ezzel egyidejűleg lassítja az atomos nitrogén képződését és annak adszorpcióját az acél felületén.

Ezért a gáznitridálási paraméterek szabályozhatóságára irányuló fejlesztéseket végeztek. Ennek eredménye, hogy napjainkban az ammóniát már nitrogénnel hígítják. Ebben a gázkeverékben a nitrogén 75%-ig is növekedhet a nitridált réteg tulajdonságainak romlása nélkül. Hiszen az ammónia mennyiségének csökkentésével csökken a vegyületi réteg nitrogén koncentrációja, ennek következtében csökken a réteg ridegsége és porozitása is. Az ammónia nitrogénnel történő hígítása következtében kevesebb H_2 képződik, így a nitridált réteg minőségi javulása figyelhető meg.

Jogosan merül fel az a kérdés, hogy hogyan keletkezik atomos nitrogén, amikor az ammónia nem disszociál a nitridálás hőmérsékletén. Az acélok nitridálása során jelenlévő Fe és Fe_2N katalizálja a bomlási folyamatot, a nitridálás előrehaladtával a Fe_2N mennyisége nő, ezáltal az ammónia bomlása biztosított, sőt a sebessége növekszik.



A kemencébe bevezetett ammónia a hőmérséklet és a folyamat során jelenlévő Fe és Fe_2N hatására disszociál, melynek során atomos nitrogén keletkezik. Az elemi nitrogén behatol a termikus diffúzió útján az α – szilárd oldatba, majd az α – szilárd oldattal vegyületeket képezve növeli annak keménységét, kopásállóságát és korrózióállóságát, így létrejön a vegyületi réteg, amit az angol szakirodalom „white layer” – nek, azaz fehér rétegnek nevez. Az elemi nitrogén a vegyületi rétegen keresztül tovább diffundál az acél belseje felé, ahol a nitrogén a szilárd oldatban lévő ötvözőkkel nitrideket képezve kiválik az oldatból, tovább növelve ezzel az acél felületi keménységét.

A kialakult nitridált réteg szerkezetére hatással van a nitridálni kívánt munkadarab összetétele és emellett fontos szerepe van még a nitridálás technológiai paramétereinek.

A nitridálás technológiai paraméterei a következők:

- a telítés hőmérséklete [$^{\circ}C$]
- a telítés ideje [h]
- az ammónia disszociáció foka [%] (a gáztér aktivitásának mértéke)

3.4.1. A telítés hőmérséklete [1]

A telítési hőmérséklet gáznitridálásnál 500-580 °C között változtatható, a megválasztott hőmérséklet az acél előzetes hőkezelésétől és a deformáció hajlamától függ. Ezek figyelembevételével ezen intervallumon belül a hőmérsékletet igyekszenek csökkenteni. Az acél előzetes hőkezelése általában a nemesítés, melynek a harmadik lépcsőjében végzett megeresztés hőmérsékletétől 30 – 50 °C – kal alacsonyabb telítési hőmérsékletet választanak, mert a nagyobb hőmérsékleten történő nitridálás során a vas valamely ötvözőjével kiválásokat hozhat létre, ami kisebb keménységet eredményez. A telítési hőmérséklet növelésével nő a nitridált réteg vastagsága, a felületi keménysége pedig csökken.

3.4.2. A telítés ideje [1] [12]

A nitridált réteg kialakulása diffúzió által szabályozott folyamat, amelynek időszükséglete van, így tehát a kialakult nitridált réteg vastagsága nagymértékben függ a telítési időtől.

A hagyományos gázban történő nitridálás során kialakult nitridált réteg heterogén szerkezetű, amely a vegyületi rétegből és a diffúziós zónából áll. A nitridált réteg jelentős részét a diffúziós zóna teszi ki, ezáltal az ebben a zónában lezajló diffúziós folyamatok a meghatározóak. A nitridálás során képződő vegyületi réteg egyfajta közvetítő közegként van jelen az acél felületén adszorbeálódott aktív nitrogén és a diffúziós zóna között. A vegyületi rétegben a nitrogén diffúziója kisebb, mint a diffúziós zónában, sőt még a folyamat előrehaladtával a nitridált réteg koncentrációjának és a vastagságának növekedésével megakadályozza a nitrogén atom átlépését a γ' és α fázishatáron, tehát kevés nitrogén atom diffundál az α – szilárd oldatba, így kisebb lesz a diffúziós zóna vastagsága, ezáltal kisebb lesz maga a teljes nitridált réteg vastagsága is. Tehát már tudjuk, hogy a diffúziós zónában a nitrogén diffúziójának hajtóerejét a vegyületi réteg nitrogén koncentrációja és az ennek a rétegnek a vastagsága fogja meghatározni.

Az ötvöztött acélok esetében a diffúziós zónában a nitrogén diffúziójának sebességét jelentősen fogják csökkenteni a nitridképző ötvözők, ilyen például a Cr, Mo, V. Minél nagyobb a diffúziós zóna ötvöző tartalma, annál kisebb mértékben növekszik a nitridált réteg vastagsága.

A telítési idő hatással van a felületi keménységre is, ahogy növelem az időt, úgy nő a felületi keménység, de egy bizonyos idő után megjelenik a ridegedés és a porozitás szerepe, amik a felületi keménység csökkenését okozzák.

3.4.3. Az ammónia disszociáció foka [1] [8] [12] [16] [18]

Az ammónia a nitridálás hőmérsékletén (általában 500 – 580 C között) nem disszociál, de akkor a nitridálás során hogyan keletkezhet aktív nitrogén? A válasz egyszerű, az acélban jelenlévő Fe és Fe₂N katalizálja a folyamatot, sőt a nitridálás során egyre nagyobb mennyiségben keletkező Fe₂N hatására az ammóniagáz bomlása egyre nagyobb mértékben következik be. Az ammónia gáz bomlásának mértékét az ammónia disszociáció fokának nevezzük.

Az aktív nitrogén biztosításához az ammónia folyamatos adagolása szükséges, hiszen a folyamatos adagolás nélkül dinamikus egyensúly állna fenn az el nem bomlott ammónia és a bomlástermékek között, így tehát mindig nagyobb lesz az el nem bomlott ammónia hányad, amely biztosítja az acél további nitrogénfelvételét.

A gáztérben lévő ammónia és bomlástermékei közötti pillanatnyi hányados aránya fejezi ki az ammónia disszociáció fokát. A gáztérben lévő aktív nitrogén mennyiségét, azaz a gáztér aktivitását, a nitrogén potenciállal (α_N) jellemezhetjük ((2) egyenlet), amitől függ az acél felületén kialakult nitrogénkoncentráció.

$$\alpha_N = \frac{p_{NH_3}^{\frac{2}{3}}}{(p_{H_2})^2} \quad (2)$$

Ahol: a p_{NH_3} az ammónia parciális nyomás, míg a p_{H_2} pedig a hidrogén parciális nyomása.

4. Karbonitridálás [14] [15] [18]

Napjainkban egyre nagyobb mértékben alkalmazzák a gázban történő nitridálást az acélok felületének korrózióállósága, kopásállósága, valamint keménység növelése érdekében. A gázban történő nitridálás kezelési ideje nagyon hosszú, akár több napot (2-3 napot) is igénybe vehet, ezáltal a nitridáláshoz használt technológiai gázokat is nagy mennyiségben használja föl ez az eljárás. E módszer nagy gázfelhasználása és a hosszú hőkezelési ideje miatt, olyan eljárást dolgoztak ki, amelyek csökkentik a kezelés hosszú idejét, gazdaságosabbá és takarékosabbá téve ezzel az eljárást, valamint javítják a hőkezelt munkadarabok tulajdonságait is. Ezt a módszert gyorsnitridáló eljárásnak is nevezik. Ez az eljárás a karbonitridálás, amely során a tiszta ammónia (NH₃) valamint az ammónia és a nitrogén (NH₃ + N₂) gázkeverék mellé szén – dioxidot (CO₂) is adagolnak a kemence retortájába. A CO₂ megköti a felület közelében keletkező H₂ – t, ezáltal a H₂ parciális nyomása lecsökken, az (1) egyenlet alapján az α_N nő, ennek eredményeképpen növekszik a nitrogén adszorpciója az acél

felületén. A karbonitridálás során ugyan olyan kezelési időt alkalmazva nagyobb vastagságú nitridált réteg érhető el, mint a nitridálás esetében.

4.1. A karbonitridálás elmélete [14] [15] [18]

A karbonitridálás is olyan termokémiai kezelés, amelyet tipikusan olyan hőmérsékleten végzünk, ahol az acél ferrites állapotban marad, azaz általában 500 – 580 °C közötti tartományban. E hőkezelési eljárás során a technológiai gáz, tiszta NH₃, vagy az NH₃ + N₂ gázkeverék, ami mellé néhány százalékban (maximum az ammónia mennyiségének 10% - a) CO₂ – ot is adagolnak.

A hőkezelési eljárások megnevezése, mint például az általam is végzett karbonitridálás elnevezés utal arra, hogy a folyamat során nitrogént és kARBONT diffundáltatunk az acél munkadarabok felületébe.

A karbonitridálás két fő hatást gyakorol az acélok tulajdonságaira, amelyek általában kedvező mikroszerkezeti változásokat eredményeznek a felületi réteg megváltoztatásával. Az első, olyan vegyületi réteg kialakulása, amelynek a komponensei jellemzően ε és γ' vas karbonitridek [ε – Fe₂₋₃(NC) és γ' – Fe₄(NC)]. A vegyületi réteg a kopással és a korrózióval szembeni ellenállást növeli. A másik a diffúziós zóna, amely a vegyületi réteg alatt alakul ki. A karbonitridálás során is a diffúziós zóna nitrogénben dús ferrit, a karbonnal történő dúsítása szinte elhanyagolható. Ebben a rétegben a nitrogén egyrészt intersztíciósan van oldva a ferrites mátrixban, másrészt pedig a karbonnal és az ötvözőelemekkel együtt nitrideket és karbonitrideket képezve kiválások formájában van jelen. Ezek a kiválások növelik a diffúziós zóna keménységét és a munkadarab kifáradási határát.

A karbonitridálás során, mint ahogy már azt az előbb is említettem a NH₃ + N₂ gázkeverék mellé még adagolnak CO₂ –ot is, amely lerövidíti a termokémiai kezelés hosszú idejét. A bevezetett CO₂ reakcióba lép a telítés hőmérsékletén H₂ – re és atomos nitrogénre bomlott ammónia H₂ komponensével vízgőz keletkezése közben ((3) egyenlet), melynek hatására lecsökken a retorta atmoszférájának hidrogén koncentrációja, megnövelve ezzel a nitrogénpotenciál értékét.



A (3) egyenletet megfigyelve látható, hogy a vízgőz keletkezése mellett CO is keletkezett, amely a fém – gáz határrétegében lévő H₂ – nel további reakciót eredményez vízgőz és atomos karbon keletkezése közben ((4) egyenlet).



Ennek a reakciónak a következménye a nitrogénpotenciál értékének további növekedése, növelve ez által a technológiai gáz nitrogénleadó képességét.

Tehát a folyamatok során a fenn látható egyenletek alapján atomos karbon és egyre nagyobb mennyiségben atomos nitrogén keletkezik, amelyek adszorbeálódnak az acél felületén, majd a felületbe diffundálva létrehozzák a vegyületi réteget és a diffúziós zónát. A karbonitridálás során képződött ϵ [$\text{Fe}_{2-3}(\text{NC})$] és γ' [$\text{Fe}_4(\text{NC})$] fázisok koncentrációja kisebb a vegyületi rétegben, mint a nitridálás során képződött fázisok koncentrációja, ezáltal több nitrogén tud átdiffundálni a vegyületi rétegen keresztül a diffúziós zónába, növelve ezzel a zóna keménységét. Azonban itt számolni kell azzal, hogy a karbon koncentrációjának növekedése a vegyületi rétegben csökkenti a vegyületi rétegen keresztül diffundáló nitrogén atomok mennyiségét. A karbonnak a nitrogén diffúzióját gátló tulajdonsága miatt a nitridált réteg vastagságának növekedése is lelassul az idő előrehaladtával.

A CO_2 mennyisége maximum az ammónia mennyiségének a 10% - a lehet. Ez a határ, ami alatt a CO_2 kedvező hatása érvényesül, növeli a kemence atmoszféra aktivitását. E határ fölött azonban a kedvezőtlen hatása érvényesül, csökkenti a nitridáló atmoszféra aktivitását, másrészt a reakciók során nagy mennyiségű vízgőz keletkezik, ami a hőkezelés során végbemenő folyamatokat kedvezőtlenül befolyásolja.

5. Karbonitridáló kísérletek

5.1. A kísérlet előzményei

A kísérleteim során a nitridált darabokon előzőleg kikísérleteztem, hogy az egyes befogók közül a hideg, a meleg beágyazó és a munkadarabok keretbe történő befogása közül, melyik módszer alkalmas legjobban a nitridált darabok vizsgálatához. A különböző anyagminőségű, X38CrMoV5-1 és a X153CrMoV12 acélokon előzetes hőkezelést, nemesítést hajtottam végre a nagy szilárdság és szívósság érdekében. A 40CrMnMoS8-6 acélon nem kellett nemesítő hőkezelést elvégezni, mert az acélgyártó ezt már elvégezte.

5.1.1. A karbonitridált darabok befogása

Az egyik módszer a darabok befogása fémkeretbe, itt figyelni kell arra, hogy a befogókeretnek hasonló kopási tulajdonságokkal kell rendelkeznie, mint a befogott darabnak.

Szem előtt kell tartani azt is, hogy a darab és a keret közé lágyított rézlemez helyezzünk el, mert nélküle a vegyületi réteg lepattogna az előkészítés során. A második módszer a próbatestek beágyazása műgyantába, ez a hideg beágyazás. A harmadik módszer pedig a darabok meleg beágyazása, melyet egy bizonyos hőmérsékleten körülbelül 150-180 °C között végeznek, ezért nevezik meleg beágyazásnak, ebből két darab is volt.

Azt tapasztaltuk, hogy a fémkeretbe befogott darabok esetén tudtunk pontos mérést végezni az előkészítés (csiszolás, polírozás, maratás) folyamata után, mind a nitridált réteg vastagság mind a vegyületi réteg vastagság meghatározása során. A másik két esetben, mind a hideg beágyazónál, mind a meleg beágyazónál a nitridált réteg nagymértékben lepattogzik, míg a befogó keretnél a lágyított rézlemeznek köszönhetően nem pattogzik le.

5.2. Karbonitridálásra kiválasztott anyagminőségek

A kísérleteimet a Miskolci Egyetem Fémtani és Képlékeny-alakítástani Tanszékének Hőkezelő laborban végeztem el. A kísérleteimet különböző anyagminőségű acélokon végeztem el:

- X153CrMoV12 (Magyar Szabvány: K8; EN – Számjel: 1.2379)
- X38CrMoV5-1 (Magyar Szabvány: K12, K12P; EN – Számjel: 1.2343)
- 40CrMnMoS8-6 (EN – Számjel: 1.2312)

A különböző acélok vegyi összetételeit az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat Különböző acélok vegyi összetételei [19]

X153CrMoV12					
C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
1,55	0,30	0,30	11,30	0,75	0,75
X38CrMoV5-1					
C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
0,38	1,10	0,40	5,00	1,30	0,40
40CrMnMoS8-6					
C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	S (%)
0,40	0,40	1,50	1,90	0,20	0,08

Az **X153CrMoV12** hidegalakító szerszámacél általános jellemzői közé tartozik, hogy erősen ötvözött és a hőkezelés hatására csekély méretváltozással reagál. Magas nyomószilárdság, nagyon jó abrazív kopásállóság és jó szívósság jellemzi. Alkalmas az

általam is végzett levegőn történő edzésre. Vágó- és kivágó szerszámokként, hidegalakító hengereként, műanyag-alakító formák és betéteként, ollóként, hajlító-, húzó-, és hidegfolyató szerszámokként alkalmazzák. [19]

Az **X38CrMoV5-1 melegalakító szerszámacél** általános jellemzői a nagyon jó szívósság és melegszilárdság, ez az acél is alkalmas levegőn történő edzésre. Jó a hőrepedés -, és hőingadozás állósága, hővezető képessége és a meleg kopásállósága. Általánosan alkalmazzák öntőszerszámokként, kovácsszerszámokként, melegalakító szerszámacélokként és extruder - szerszámokként. [19]

A **40CrMnMoS8-6 műanyag - alakító szerszámacél** általános jellemzői pedig a kiváló és gazdaságos forgácsolhatóság, ami a kis mennyiségű kén ötvözőnek köszönhető. A kén ötvözőnek sajnos hátránya is van, a szívósság keresztirányban alacsonyabb, mint hosszirányban, azaz a szívóssági értékek anizotrópok. A szilársági értékek egyenletesek a teljes keresztmetszet mentén a jó átédződése által. Szerszámkeretként, általános gépészeti alkatrészekként és készülékelemenként, valamint műanyag - és gumialakító szerszámokként alkalmazzák. [19]

5.3. A karbonitridálást megelőző hőkezelés folyamata

A nitridálás előtt a munkadarabokat mindig előzetes hőkezelésnek vetjük alá, amely lehet nemesítés, leginkább ezt használják, lehet normalizálás és esetenként lágyítás is. E hőkezelési módok biztosítják a kívánt kiinduló szövetszerkezetet, mely ferrit és karbid fázisokat tartalmaz. A kísérleti darabjaim méretei: 25 mm x 20 mm x 12 mm.

Az **X153CrMoV12** – es acél nemesítő hőkezelését a gyártó ajánlása alapján végeztem el. A munkadarabokat a 25 °C - os kamrás kemencébe helyeztem és együtt hevítettem fel (ezt az ajánlott lépcsős hevítés ellenére a kis méretű darabok miatt mertem megpróbálni) a kemencével 1070 °C – ra. A kemencével együtt történő hevítés során a darabot nem éri nagymértékű hősokk és ezért csekély az esélye a repedés keletkezésének. A beállított hőmérséklet elérése után 30 perc hőntartás következett, ezután pedig szobahőmérsékletű levegőn edzettem. Az ausztenitesítés után az X153CrMoV12 – es acélt kétszeri megeresztésnek vettem alá. A kétszeri megeresztés azért szükséges, mert az erősen ötvözött acélban viszonylag nagy mennyiségű maradék ausztenit található az edzés után és az első megeresztés után még mindig marad viszonylag nagy mennyiségű át nem alakult ausztenit, ezért alkalmaztam a második megeresztést, amely után már nagyon kis mennyiségű maradék ausztenit található az acélban. [19]

A **X38CrMoV5-1** – as acélt 1020 °C – on ugyanolyan körülmények között edzettem. A megeresztést itt háromszor végeztem el. A nemesítés pontos körülményeit, az ausztenitesítés hőmérsékletét, idejét és a megeresztés hőmérsékletét, idejét a Böhler Kereskedelmi Kft. acélkatalógusából a megfelelő acélminőségre előírt tényezői alapján választottam ki. [19]

A **40CrMnMoS8-6** – os acélt előnemesítve szállítják, ezért ennél az acélminőségnél úgy döntöttem, hogy már nem végzek előzetes hőkezelést.

Az acélok nemesítési paramétereit a 2. táblázat szemlélteti:

2. táblázat A különböző acél típusok nemesítési körülményei

Acél típus	Ausztenitesítés		Edzés		Megeresztés	
	Hőmérséklete	Hőntartás ideje	Hőmérséklete	Közeg	Hőmérséklete	Hőntartás ideje
X153Cr MoV12	1070 °C	0,5 h	kb. 25 °C	levegő	1.megeresztés:520°C 2.megeresztés:480°C	2*2 h
X38Cr MoV5-1	1020 °C	0,5 h	kb. 25 °C	olaj	1.megeresztés:460°C 2.megeresztés:490°C 3.megeresztés:450°C	3*2 h

5.4. A karbonitridáló berendezés

A karbonitridálást az Anyagtudományi Intézet által üzemeltetett SLR-5 típusú hőkezelő kemencén végeztem el. A berendezés villamos ellenállás fűtésű álló retortás kemence, melynek mérete Ø500*1000 mm, így alkalmas viszonylag nagyméretű alkatrészek hőkezelésére is. (5. ábra)



5. ábra SLR – 5 típusú karbonitridáló kemence

A kemence adagolása felülről történik. A kemence hűthető fedelét egy hidraulikus emelőszerkezet segítségével helyeztem a kemencére, a kettő között egy tömítés foglal helyet, mely a gázszigetelést hivatott elvégezni. Ez a szigetelés légmentesen lezárja a kamrát, nem engedi be a környezeti levegőt a kemence belső terébe és a kemencéből sem engedi ki a különböző, esetenként mérges gázokat.

A rotaméterek és mágnesszelepek segítségével a hőkezelő gázokat a megfelelő ütemben és mennyiségben tudjuk a kemence fedelén keresztül a retortába juttatni. A mágnesszelepeket előre programozott módon lehet nyitni és zárni, míg a roteméterek kézzel szabályozhatóak. A gázok bevezetése úgy történik, hogy a hőkezeléshez szükséges gázok egy terelőlemez és a kemence fala között jutnak a retortába. A gázok a kemence falán felmelegszenek és így kerülnek érintkezésbe a darabokkal. A gázok áramlását a kemence fedelén elhelyezett szívó ventilátor biztosítja. A berendezést a hőkezeléshez szükséges gázokkal (ammónia, széndioxid, nitrogén) palackokból látjuk el.

A fedélben elhelyezett termoelem adatai alapján a hőmérséklet szabályozását az előre programozható szabályozó végzi, amilyen a mágnesszelepeket is vezérli. A kemence hőmérsékletének szabályozása és a gázok adagolása összehangolt és automatikus. A kemencében elhelyezett termoelem összeköttetésben áll egy digitális LCD kijelzővel, amelyről a hőkezelés bármely időpillanatában leolvashatjuk a hőmérsékletet.

A kemence fedelén található még egy próbakivevő zsilip, amely segítségével a kísérleti darabok a hőkezelés megszakítása nélkül behelyezhetőek, illetve kivehetőek. A kísérleteim során ezt a zsilipet használtam a darabok kivételéhez.

A kemence 10mbar túlnyomással üzemel. A hőkezeléshez szükséges gázok a gáztáblán keresztül jutnak a kemencébe, a fölösleget éppúgy, mint a hőkezelés során keletkezett H_2 és CO gázt egy a kemence fedelén elhelyezésre kerülő fáklya elégeti, csökkentve ezzel a környezetszennyezést.

5.5. A karbonitridálás körülményei

Az előzetes hőkezelés után a megeresztés során keletkezett revét eltávolítottuk, majd a darabokat alkohollal lemostuk és megszáritottuk. A reve eltávolítása a felületről azért fontos, mert a nitrogén és a karbon csak lassan tud átdiffundálni a reverétegen. A darabokat egy huzalra erősítettük fel és úgy helyeztük be a retortába egy a kemence fedelén elhelyezett próbakivevő zsilipen keresztül. A karbonitridálás viszonylag hosszú hőkezelési folyamat és így a zsilip nélkül a berendezés a kísérletezésre nagyon drága és nehézkes lenne, mert csak a

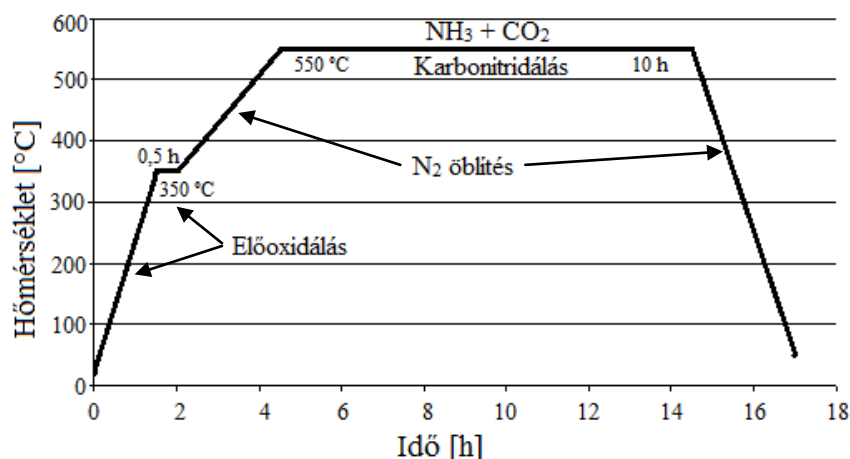
hőkezelési ciklus végén vehetnénk ki a darabokat. Egy huzalra egyszerre 5 próbateetet erősítettünk fel és a zsilipen keresztül helyeztük be a kemencébe, ahonnan meghatározott időközönként vettük ki egyenként a darabokat.

A nitridálásakor alkalmazott technológiai paraméterek:

- A nitridálás gázösszetétele:
 - ❖ NH_3 (Ammónia): 250 l/h
 - ❖ CO_2 (Szén-dioxid): 25 l/h
 - ❖ N_2 (Nitrogén): 250 l/h
- A nitridálás hőmérséklete: 550 °C
- A nitridálás időtartamai: 2h; 4h; 6h; 8h; 10h

5.6. A karbonitridálás menete

A karbonitridálás folyamatát a legegyszerűbben egy hőmérséklet-idő diagram segítségével lehet szemléltetni. (6. ábra)



6. ábra A karbonitridálás folyamatát ábrázoló diagram

A 6. ábrán látható hőmérséklet – idő diagramon megfigyelhető, hogy a görbe négy részre tagolódik, ezáltal a karbonitridálás folyamatát is négy részre bonthatjuk.

Az első rész az **előoxidáció** szakasza, mely során a hőkezelt darabokat a kemencébe helyezés után 350 °C – ra hevítettük fel és ott fél órán keresztül légköri atmoszférán tartottuk. Az előoxidáció során leégetjük, oxidáljuk a darabok felületén esetlegesen visszamaradt szennyeződések és mosószer maradványokat, így biztosítjuk a megfelelő felületet a nitrogén és a karbon adszorpciójának. Ez azért fontos, mert ha az acél felülete nem fém tiszta, akkor a

hőkezelés során ráégett szennyeződések és szerves anyagok megakadályozzák a nitrogén és a karbon adszorpcióját a felületen, és így nem alakul ki az elvárt nitridált réteg.

A második szakasz az **öblítés**, mely folyamat alatt nitrogént juttattunk a kemence terébe. Az öblítés során eltávolítjuk a kemencében lévő oxigént, hogy kritikus mennyiségű oxigén ne legyen a kemencében, ehhez biztosítanunk kellett a kemence térfogatának ötszörös átöblítését. Ezt úgy valósítottuk meg, hogy 2 órán keresztül 1000 liter nitrogén gázt juttatunk be a körülbelül 400 liter térfogatú kemencébe óránként, miközben a kemencét a karbonitridálás hőmérsékletére fűtöttük fel.

A harmadik rész a **karbonitridálás** folyamata. Miután a kemence belső hőmérséklete elérte az előírt telítési hőmérsékletet, beadagoltuk a 250 l/h nitrogént, 250 l/h ammóniát és 25 l/h CO₂ – ot tartalmazó gázkeveréket. Az ilyen arányú gázkeverék, amelyet mi is használtunk a karbonitridálás során, a szakirodalom is általánosan ajánlja. Az általunk beállított 550 °C – on az ammónia és a széndioxid disszociál a Fe, vagy a Fe₂N jelenlétében, majd a keletkezett atomos nitrogén és karbon adszorbeálódik a munkadarabok felületén, ezután a darabok felületi rétegébe diffundál. A karbonitridálás során a két fontos paraméter, a nitrogénpotenciál és a karbonpotenciál. Az előbbi a nitrogén aktivitása, ami az ammóniából felszabaduló atomos nitrogén mennyiségét jelenti, míg az utóbbi pedig a széndioxidból keletkezett atomos karbon mennyiségét jelenti. Ez a két paraméter egymásra is hatással van, ezért a kezelés során az optimális értéket kell kialakítani.

Az általunk végzett hőkezelés utolsó fázisa az **öblítés**. Ez az utolsó fázis arra szolgál, hogy eltávolítsuk az el nem bomlott ammóniát és a folyamat során keletkezett hidrogént. Az NH₃ éghető és irritáló hatású, míg a hidrogén robbanásveszélyes. Az öblítés úgy történt, mint ahogy a karbonitridálást megelőző öblítés zajlott, óránként 1000 l mennyiségű nitrogén gázt juttatunk a kemence terébe, két órán keresztül, miközben a kemencét szobahőmérsékletűre hűtöttük le.

A karbonitridálás során a felfűtés kezdetétől egészen a lehűtés végéig fáklyázunk a főleg gázok, illetve a hőkezelés során keletkezett gázok elégetésére.

6. A kísérletek kiértékelése

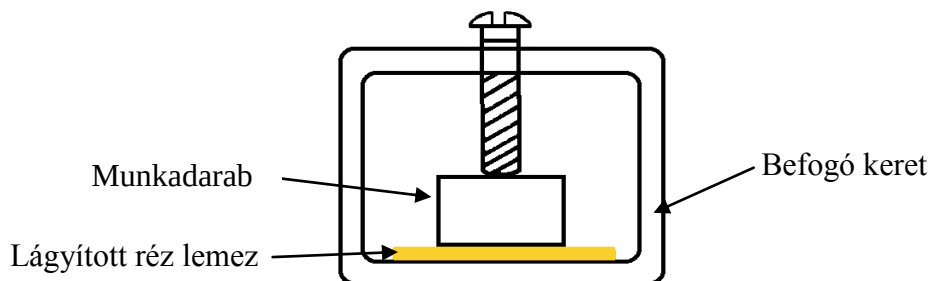
6.1. Mintaelőkészítés NHT méréshez

Az általam karbonitridált acélok vizsgálata előtt a darabokat félbevágták és egy befogó keretbe behelyezve a kerettel együtt készítettem elő, csiszoltam, políroztam, NHT – t mértem mikrokeménység – mérő segítségével. A keménységmérés után megmarattam a darabokat és ezután vizsgáltam meg az acélok szövetszerkezetét.

Az NHT (nitridált réteg vastagság) meghatározása során minden egyes acél esetében diagramban ábrázoltam a darabok keménység lefutását (keménységtraverz diagram), majd a magkeménységhez hozzáadtam 50 HV0,02 - t, ahol egy vonalat húztam a keménységtraverz diagramon a 8. ábrán látható módon. Az általam húzott egyenes és a keménység-lefutási görbe metszi egymást, a metszéspontot levetítve megkapjuk, hogy mekkora az NHT.

6.1.1. A munkadarabok befogása fémkeretbe

A munkadarabokat egy megfelelően kiválasztott fémkeretbe mechanikusan fogattam be. (7. ábra)



7. ábra A darabok befogása mechanikusan

A darabok előkészítése, a vizsgálat a kerettel együtt történik. A darabok befogása során a keret és az acél közé lágyított rézlemezt helyeztem el a 7. ábrán látható módon. A lágy rézlemeznek köszönhetően a rideg, kemény nitridált réteg nem pattogzik le.

6.1.2. Az előkészítés lépései

A **csiszolást** egy függőleges tengelyű vízszintes helyzetű gépi csiszoló berendezésen mechanikusan végeztem el 5 különböző szemcsefinomságú csiszolópapíron.

A **polírozást** egy függőleges tengelyű vízszintes helyzetű gépi polírozó berendezésen végeztem el 3 μm – es posztón.

A **maratás** során minden egyes munkadarabot 5 másodpercig 2% - os Nitalban marattam.

Az acélminőségek maratására alkalmazott maratószer, azaz a 2%-os Nital összetétele:

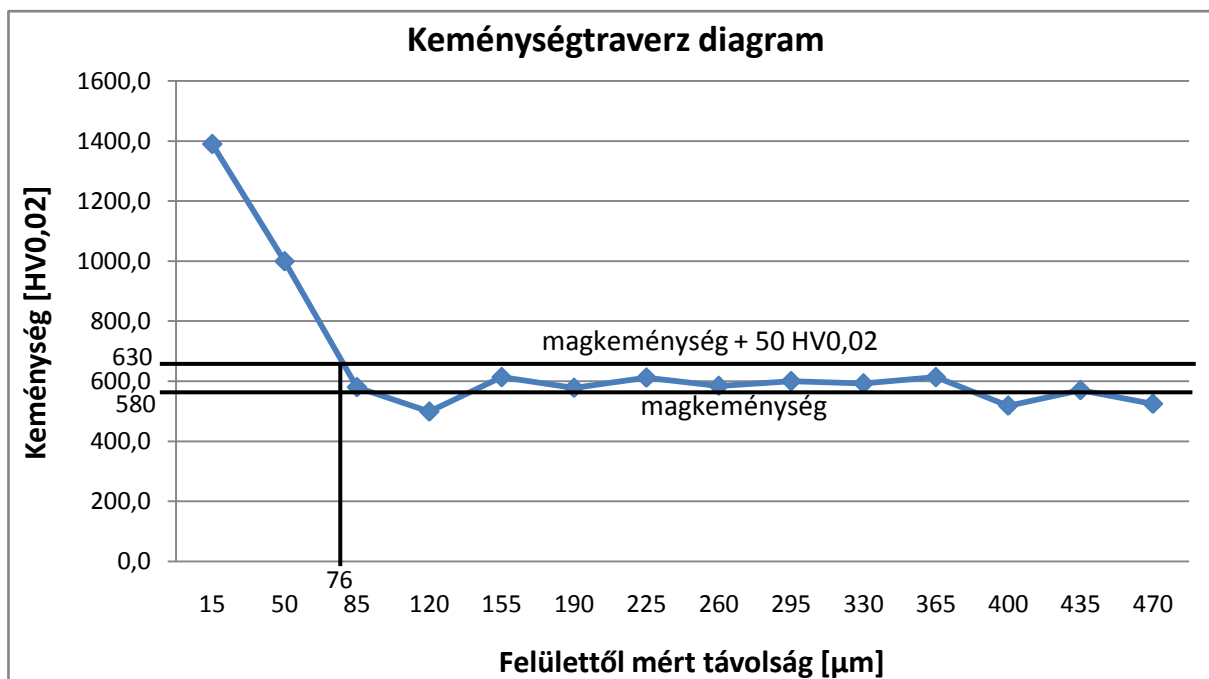
- 98% etil-alkohol (amely 96% - os tisztaságú)
- 2% salétromsav, HNO_3

6.2. NHT mérése a karbonitridált darabokon

A polírozást követően, de még a maratás előtt a darabokon NHT – t mértem mikrokeménység – mérő segítségével. A keménység meghatározását egy Instron típusú Vickers mikro keménységmérő berendezésen végeztem. A mérőeszköz az Anyagtudományi Intézet Fémtani és Képlékeny- alakítástani Tanszékén található. A keménységmérő automata működésű, mely alkalmas sorozatmérésre. A sorozatos keménységmérést összesen 15 darabon végeztem el, az alkalmazott terhelő erő 20 gramm, a lenyomatok középpontja közötti távolság 35 μm , a terhelési idő 10 másodperc.

A keménységmérést a nitridált réteg szélétől a darab közepe felé végeztem el, figyelembe véve azt, hogy a lenyomatok közötti távolság a lenyomat méretének 2,5-szerese legyen, ezért volt a méréseim során a lenyomatok közötti távolság 35 μm .

Minden darabon 3 helyen mértem keménységsorozatot, melyek mindegyike 12 – 14 lenyomatból áll. A kapott keménység értékeket táblázatban vázoltam a hozzájuk tartozó távolságokkal, majd diagramban ábrázoltam a darabok keménység lefutását (keménységtraverz diagram), melyet a 8. ábra szemléltet.



8. ábra Az X153CrMoV12 acél keménységtraverz diagramja 2 órás karbonitridálás után

Ezek után meghatároztam az NHT – t a 6.1. –es alfejezetben leírt módon.

6.3. A kísérletek eredményei

A kemencébe egyszerre helyeztük be a darabokat, melyeket egy kivevő zsilipen keresztül a hőkezelés megszakítása nélkül vettük ki 2 óránként. A darabok levegőn hűltek. A nitridált próbadarabok elvágása, köszörülése, befogása, majd előkészítése után következett a darabok vizsgálata. A karbonitridált munkadarabokat acél minőségként külön – külön vizsgáltam. Minden darabon keménységsorozatot vettem fel a darab szélétől a közepe felé haladva. A mérési eredményekből meghatároztam a nitridált réteg vastagságát (NHT).

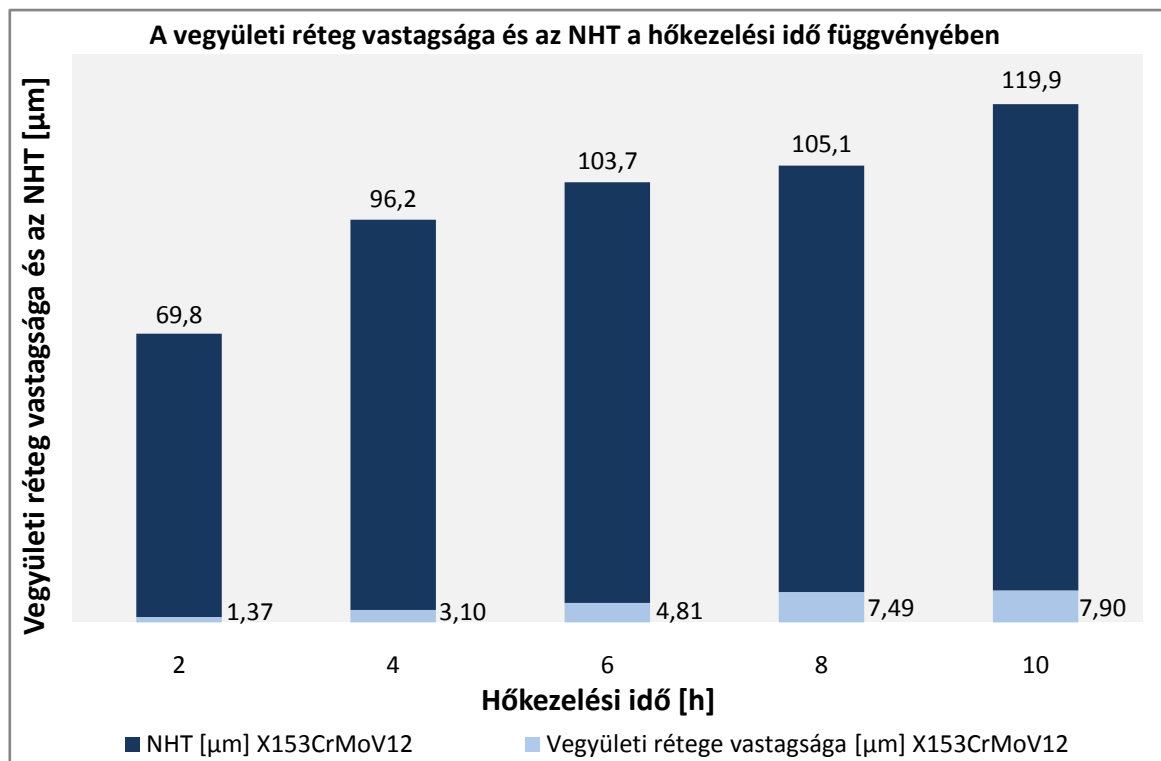
Ezután egy képelemző szoftver segítségével a darabokról készült szövetképeken több helyen is megmértem a vegyületi réteg vastagságát.

A különböző acélminőségek mérési eredményeit külön – külön ismertetem, majd ezek után összegzem a mérési adatokat.

6.3.1. X153CrMoV12 acél

Az X153CrMoV12 acél vizsgálata során három keménységsorozatot vettem fel, amelyek egyenként 14 lenyomatból álltak. A kapott keménység értékeket táblázatban vázoltam a hozzájuk tartozó távolságokkal, majd az elkészített táblázat adatai alapján egy keménységtraverz diagramot készítettem. A 8. ábrán látható módon meghatároztam a

karbonitridált acélok NHT értékeit, amelyeknek az átlagát vettem. Egy képelemző szoftver segítségével lemértem a vegyületi rétegek vastagságát, melyet minden egyes darabnál 3 különböző helyen mértem meg, majd vettem a 3 adat átlagát, ezeket az adatokat ábrázoltam a hőkezelési idő függvényében, melyet a 9. ábra szemléltet.



9. ábra Az X153CrMoV12 acél esetében a vegyületi réteg vastagsága és az NHT a hőkezelési idő függvényében

A 2 órás karbonitridálás során 69,8 μm vastagságú nitridált réteget és 1,37 μm vastagságú vegyületi réteget tudtunk előállítani, amely látható a 9. ábrán.

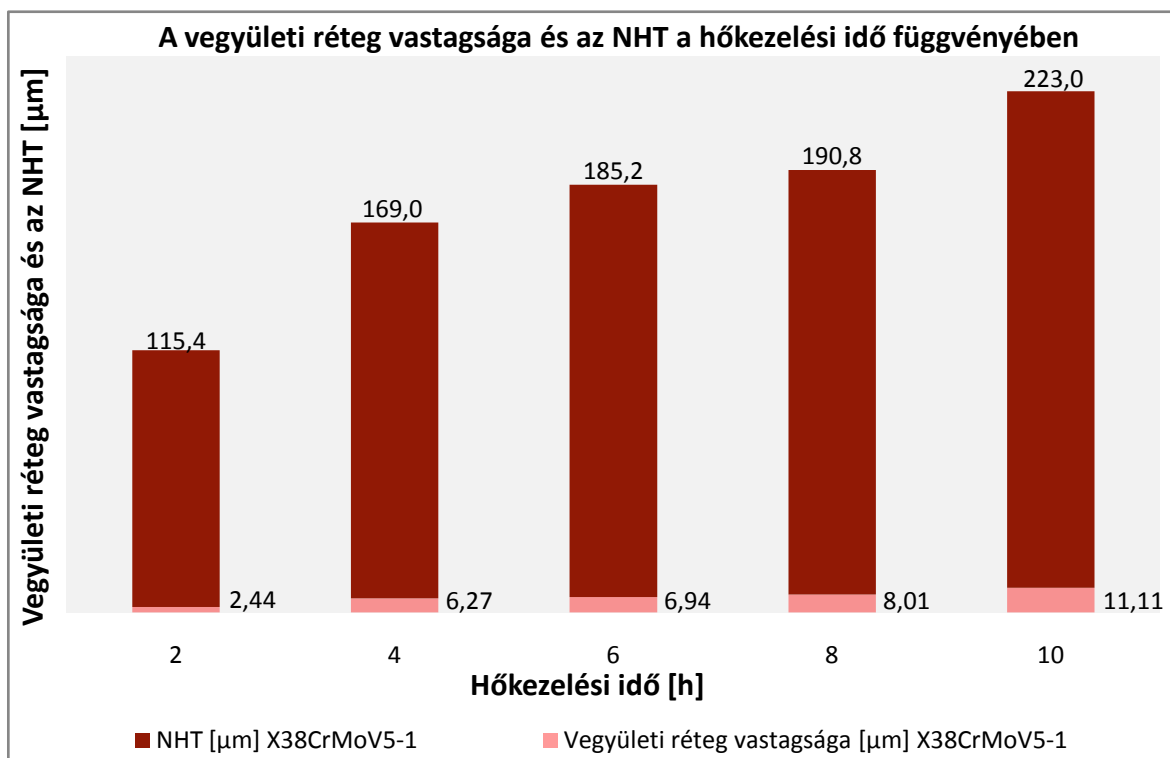
A 9. ábrán megfigyelhető, hogy a hőkezelési idő növekedésével mind a vegyületi réteg, mind a nitridált réteg vastagsága növekszik. Ennek oka, minél hosszabb a hőkezelési idő, annál több nitrogén és karbon tud diffundálni az acél magja felé.

6.3.2. X38CrMoV5-1 acél

Az X38CrMoV5-1 acél vizsgálata ugyanúgy történt, mint az előző esetben. Három helyen mértem keménységsorozatot, amelyek egyenként 14 lenyomatból álltak. A kapott keménység értékeket táblázatban vázoltam, a hozzájuk tartozó távolságokkal, majd az elkészített táblázat adatai alapján egy keménységtraverz diagramot készítettem. A 8. ábrán látható módon meghatároztam a karbonitridált acélok NHT értékeit, amelyeknek az átlagát vettem. A minták szövetszerkezetéről készült szövetképeken 3 különböző helyen egy képelemző szoftver segítségével megmértem a vegyületi réteg vastagságát. A minden egyes darabnál kapott 3

érték átlagát vettem. Az átlag NHT és átlag vegyületi réteg vastagság adatokat ábrázoltam a hőkezelési idő függvényében, melyet a 10. ábra szemléltet.

A 10. ábrán megfigyelhető, hogy ennél az acélminőségnél viszonylag rövid hőkezelési időtartam, 2 óra alatt az előző acélminőséghez képest közel dupla olyan vastagságú vegyületi réteget tudunk előállítani. Ugyan ez a tendencia figyelhető meg a nitridált réteg vastagságának szempontjából is. Ez a különbség az ötvözettségben rejlik, ezt az eredmények összegzésében részletesebben kifejtem.



10. ábra Az X38CrMoV5-1 acél esetében a vegyületi réteg vastagsága és az NHT a hőkezelési idő függvényében

A 2 órás karbonitridálás során 115 μm vastagságú nitridált réteget és 2,44 μm vastagságú vegyületi réteget sikerült előállítanunk, amelyet a 10. ábra is szemléltet.

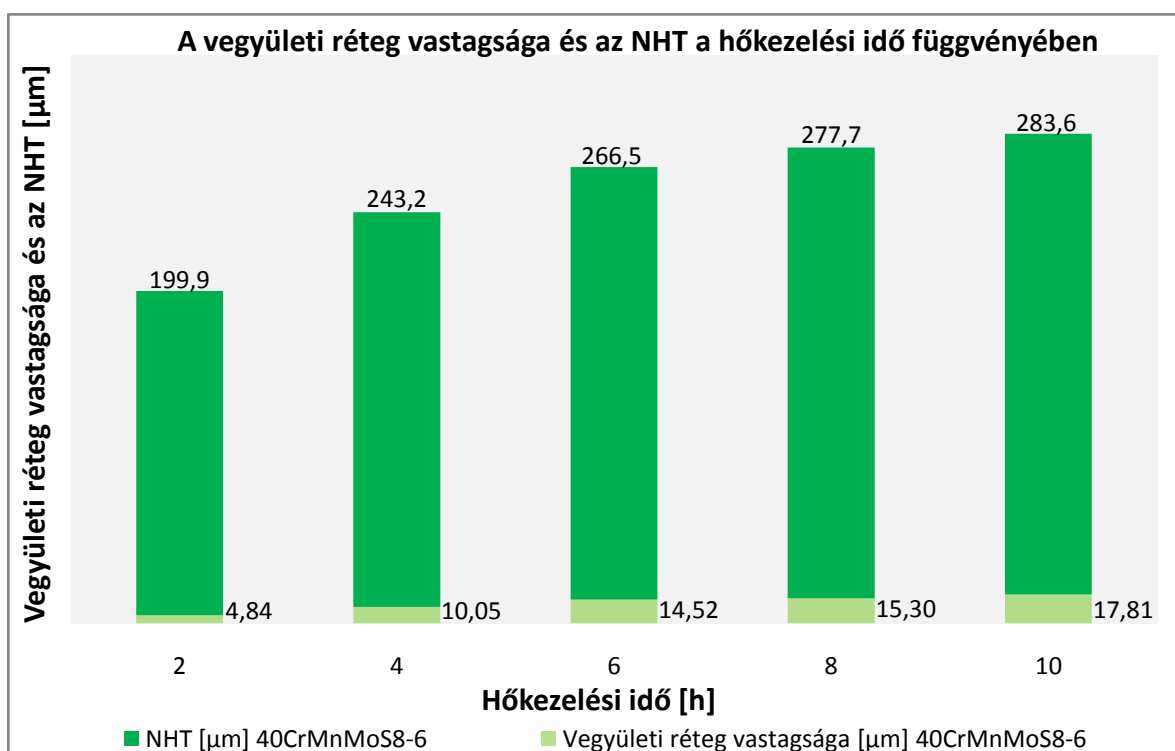
A 10. ábrán is megfigyelhető, hogy a hőkezelési idő növekedésével mind a vegyületi réteg, mind a nitridált réteg vastagsága növekszik. Ennek oka, minél hosszabb a hőkezelési idő, annál több nitrogén és karbon tud diffundálni az acél magja felé.

6.3.3. 40CrMnMoS8-6 acél

Az 40CrMnMoS8-6 acélminőség vizsgálata során, mint az előző két esetben is, minden egyes darabon 3 keménységlefutást mértem, melyek ebben az esetben 12 lenyomatból álltak. A kapott keménység értékeket táblázatban vázoltam, a hozzájuk tartozó távolságokkal, majd az elkészített táblázat adatai alapján egy keménységtraverz diagramot készítettem. A 8. ábrán

látható módon meghatároztam a karbonitridált acélok NHT értékeit, amelyeknek az átlagát vettem. Ebben az esetben is a darabok maratott felületéről, 3-3 helyen mikroszkóp segítségével szövetképet készítettem, majd egy képelemző szoftver segítségével megmértem a vegyületi rétegek vastagságát és az egyes daraboknál kapott 3 érték átlagát vettem. Az átlag NHT és átlag vegyületi réteg vastagság adatokat ábrázoltam a hőkezelési idő függvényében, melyet a 11. ábra szemléltet.

A 11. ábráról leolvasható, hogy az X38CrMoV5-1 acélhoz képest közel kétszer akkora vastagságú nitridált réteget és vegyületi réteget állítottunk elő, míg az X153CrMoV12 acélhoz képest pedig ugyanez a különbség már körülbelül háromszor akkora, ez az ötvözöttség mértékétől függ, ezt az eredmények összegzésében részletesebben fejtem ki.



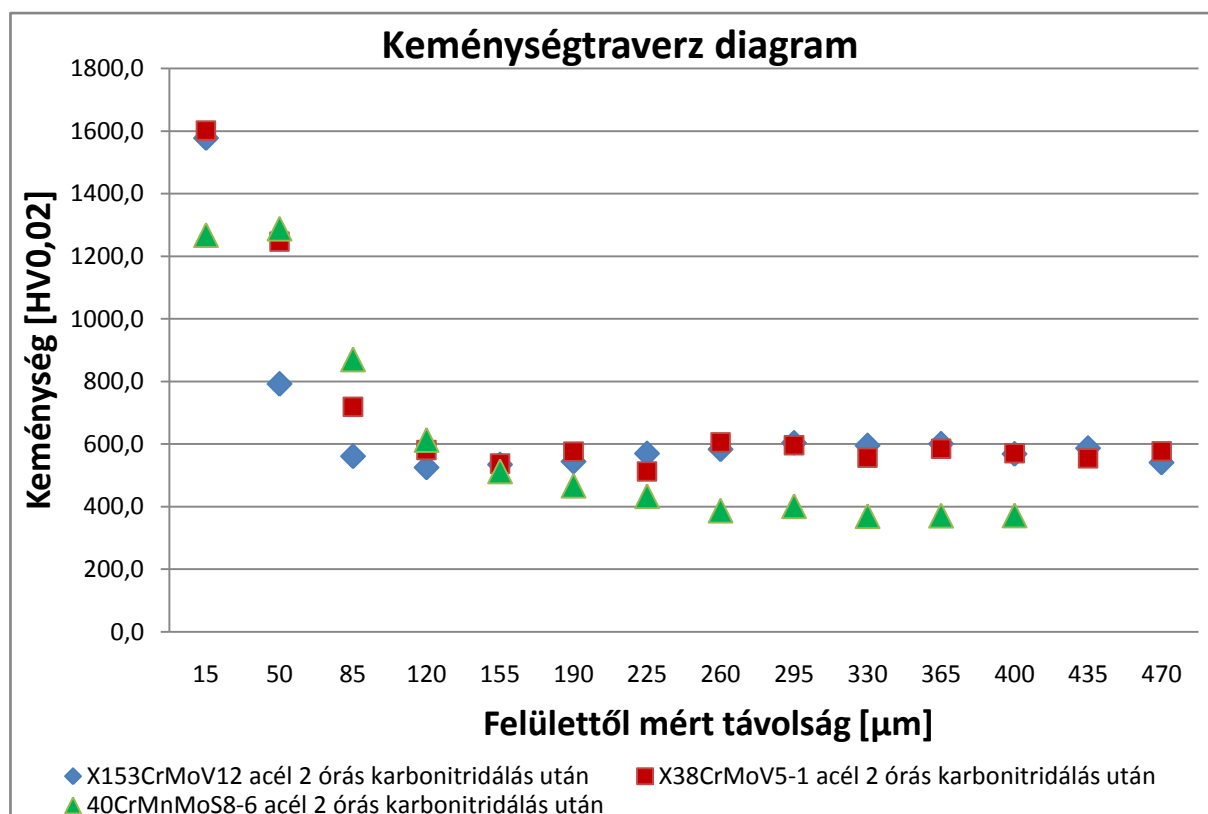
11. ábra A 40CrMnMoS8-6 acél vegyületi réteg vastagsága a hőkezelési idő függvényében

Itt megfigyelhető (11. ábra), hogy a 2 órás hőkezelés során 4,84 μm vastagságú összefüggő, tömör vegyületi réteg alakult ki és 200 μm vastagságú nitridált réteget tudtunk előállítani.

A 11. ábrán is megfigyelhető, hogy a hőkezelési idő növekedésével mind a vegyületi réteg, mind a nitridált réteg vastagsága növekszik. Ennek oka, minél hosszabb a hőkezelési idő, annál több nitrogén és karbon tud diffundálni az acél magja felé.

6.3.4. A mérési eredmények összegzése

A 12. ábráról leolvasható, hogy mind a három acélminőségnél a keménység a felülettől a mag felé haladva csökken, majd beáll egy átlag értékre, ami körülbelül a magkeménységnek felel meg.

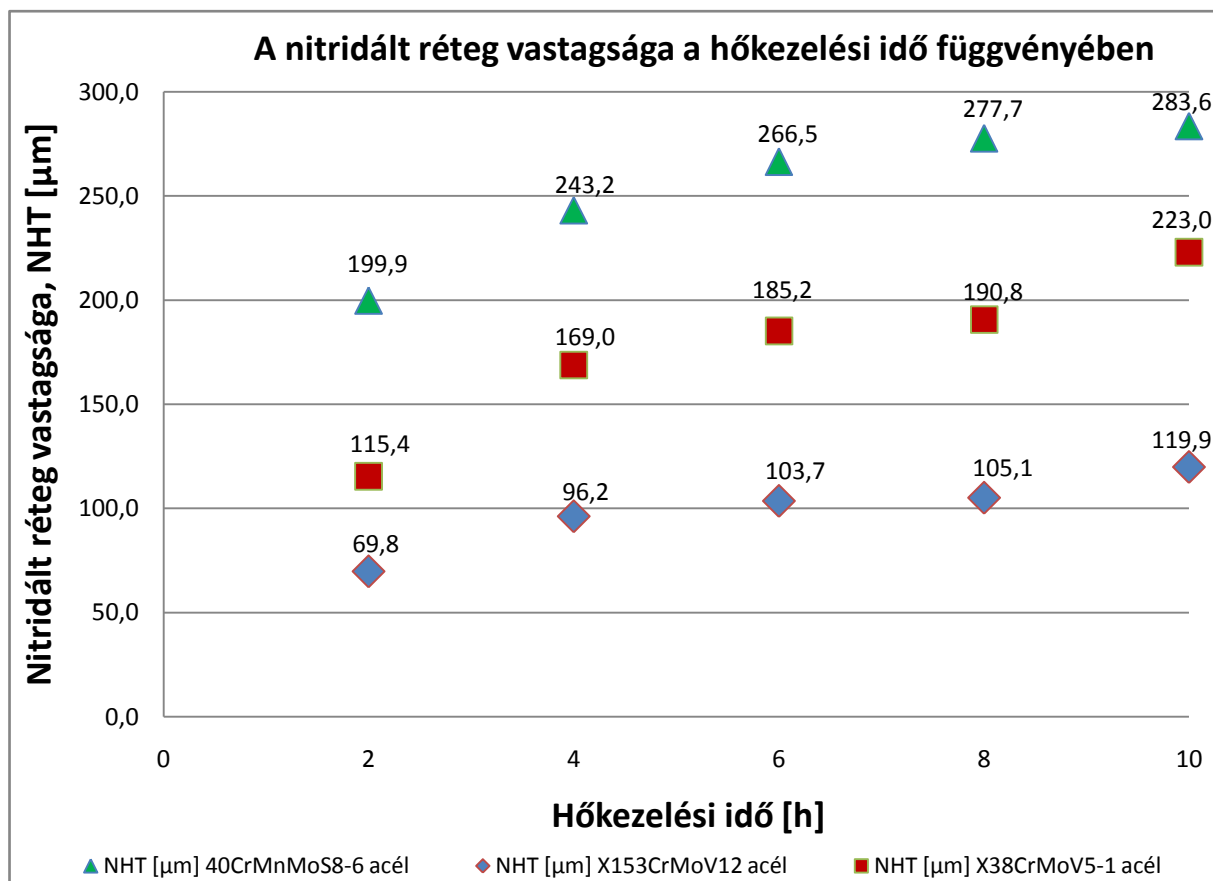


12. ábra A 3 különböző minőségű karbonitridált acél keménységtraverz diagramja

A 40CrMnMoS8-6 acél esetében (12. ábra zöld háromszög) megfigyelhető, hogy az első keménységérték után először nő a keménység és csak azután mutat csökkenő tendenciát. Ez alapján megállapítható, hogy az első lenyomat a vegyületi rétegben, és az azt követőek pedig a diffúziós zónában helyezkedik el.

A diffúziós zónában a keménység kívülről befelé haladva csökken, mert a felülethez közel eső részekben több nitrid vált ki, mint a maghoz közelebb eső részekben.

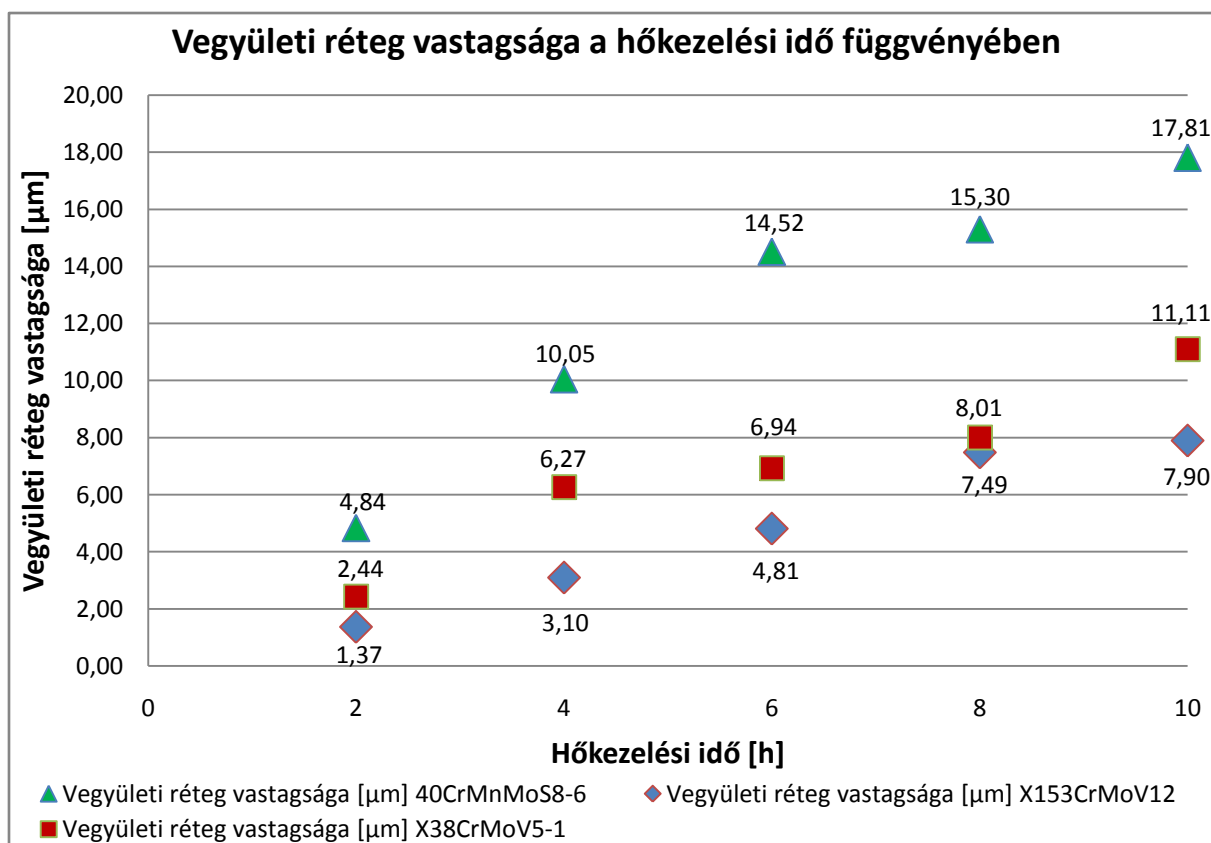
A másik két acéltípus adatainak is ugyanezt a tendenciát kellene mutatnia, de ez a különbség annak tudható be, hogy a vegyületi réteg vastagsága olyan kicsi, hogy a kezdő lépték, 15 μm miatt átléptem a vegyületi réteget és már egyből a diffúziós zóna keménységét mértem meg.



13. ábra A 3 különböző minőségű karbonitridált acél nitridált réteg vastagsága a hőkezelési idő függvényében

A 13. ábrán megfigyelhető, hogy a 3 féle acélminőség közül a legtöbb ötvözőt tartalmazó X153CrMoV12 acél nitridált réteg vastagsága körülbelül harmad, a közepes ötvöző tartalommal rendelkező X38CrMoV5-1 acél nitridált réteg vastagsága pedig fele akkora, mint a legkevesebb ötvözőt tartalmazó 40CrMnMoS8-6 acélnek. Igaz ezek a különbségek a hőkezelési idő növekedésével kissé változnak, de akkor is megfigyelhető, hogy milyen hatással van az ötvözöttség mértéke a kialakult nitridált réteg vastagságára. Ennek oka, hogy a nagyobb mennyiségű ötvöző nagyobb mértékben csökkenti a nitrogén atomok diffúzióját az acél magja felé.

Látható, hogy a nitridált réteg vastagsága az elvártak szerint a kezelési idő előrehaladtával növekszik.



14. ábra A 3 különböző minőségű karbonitridált acél vegyületi réteg vastagsága a hőkezelési idő függvényében

Ez az ábra is jól szemlélteti, hogy a nagyobb ötvöző mennyiség nagyobb mértékben gátolja a nitrogén atomok diffúzióját az acél belseje felé. Tekintsük meg például a 2 órás karbonitridálás után az X153CrMoV12 acél vegyületi réteg vastagsága 1,37 μm, míg az X38CrMoV5-1 acélé 2,44 μm, a 40CrMnMoS8-6 acél vegyületi réteg vastagsága pedig 4,84 μm, tehát itt is megfigyelhető, az előbbinél a háromszoros, míg az utóbbinál a kétszeres különbség a 40CrMnMoS8-6 acél vegyületi réteg vastagságához képest. A 14. ábra is szemlélteti, hogy a kezelési idő növekedésével a vegyületi réteg vastagsága növekszik.

Összefoglalás

A dolgozatomban három féle acélminőség karbonitridálhatóságát vizsgáltam. Megvizsgáltam a különböző befogók alkalmazhatóságát a nitridált darabok vizsgálatának esetében, valamint kidolgoztam az acélok nemesítési paramétereit.

A kísérleteim során először is megvizsgáltam, hogy a nitridált darabok vizsgálatára a fémkeretbe történő befogás adja a legjobb eredményt, mivel a hideg és a meleg beágyazó alkalmazásakor az előkészítések során a vegyületi réteg nagymértékben lepattogott. Ezek után

végrehajtottam az előzetes hőkezelést, ami nemesítés volt, amelynek a paramétereit a 2. táblázatban foglaltam össze.

A kísérletem fő része az acélgyártó által előnemesített 40CrMoMnS8-6 acél és az általam nemesített X153CrMoV12 és az X38CrMoV5-1 acélok gázban történő karbonitridálása volt. A célom az volt, hogy a 3 féle acélminőséget összehasonlítsam az elért nitridált réteg és vegyületi réteg vastagság szempontjából. A kapott adatokat táblázatokban foglaltam össze és diagramokon ábrázoltam, ezek alapján meghatározható, hogy a kevesebb ötvöző tartalommal rendelkező acél vegyületi réteg és nitridált réteg vastagsága nagyobb, mint a nagyobb mennyiségű ötvözőt tartalmazó acél vegyületi réteg és nitridált réteg vastagsága, mivel a nagyobb mennyiségű ötvöző nagyobb mértékben gátolja a nitrogén atomok diffúzióját az acél magja felé.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 "A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése" nevű projekt támogatásával valósul meg.

Felhasznált Irodalom

- [1] Lizák József: Hőkezelés: Gyakorlati segédlet, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1996 Budapest
- [2] Éles László – Dr. Szőke László: Minőségi és Nemesacélok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [3] Dr. Verő József – Dr. Káldor Mihály: Vasötvözetek Fémтана, Műszaki Könyvkiadó
- [4] Varga Ferenc – Tóth László – Guy Pluinage: Anyagok Károsodása és Vizsgálata Különböző Üzemi Körülmények Között, Miskolci Egyetem, 1999
- [5] http://gerikozl.atw.hu/MA_13.pdf
- [6] <http://www.innopress.hu/hun/tech/tech17.html>
- [7] <http://www.szerszamedzo.hu/b4.html>
- [8] <http://www.sze.hu/~czinege/Fel%FCleti-techn/ft-04-3-anyagfelv%E9tellet-j-ft.pdf>
- [9] <http://www.sze.hu/~czinege/Fel%FCleti-techn/ft-03-anyagfelv-n%E9lk-ft.pdf>
- [10] <http://www.industrystock.de/html/product-program-de-68555.html>
- [11] <http://www.szerszamedzo.hu/t6.html>
- [12] David Pye – Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, 2003
- [13] Cseh – Bognár Sándor: Metallográfiai Vizsgálatok, 2012
- [14] E. V. Pereloma, A. W. Conn, R. W. Reynoldson, Comparison of ferritic nitrocarburising technologies, 2001.
- [15] A. Leineweber, T. Gressmann, E. J. Mittemeijer, Simultaneous control of the nitrogen and carbon activities during nitrocarburising of iron, 2011
- [16] Tömöry Tiborné, Az ammónia gáz disszociáció fokának szerepe a nitridálási folyamatokban, Kohászati Lapok 1956. 5. sz.
- [17] ASM Handbook, Heat Treating, 2006
- [18] Dr. Tisza Miklós, Szabó Endre, Lukács Zsolt; Nyomásos öntés szerszámainak vizsgálata, Egyetemi jegyzet
- [19] Böhler Kereskedelmi Kft. Szerszámacélok, Nemesacélok (Katalógus)
- [20] Veres Zsolt, Szabó Endre, Roósz András, új hőkezelési lehetőség a fémtani, képlékenyalakítási és nanotechnológiai intézetben: gáznitridálás, Anyagmérnöki Tudományok, 37. kötet, 1. szám (2012)