



Auszténites acél felületi keményítése robbantásos megmunkálással

Explosive Surface hardening of the Austenitic Steel

Kovács Tünde Anna

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnök Kar, Budapest, Magyarország,
kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The research focuses on the presentation and analysis of explosive welding and hardening processes. In practice, the direct method is used for explosive hardening, in which the explosive is placed on the surface of the metal to be hardened. The indirect method is not yet common in practice. In the indirect process, similar to explosive cladding, there is a gap between the explosive and the surface of the metal to be hardened. We conducted experiments on two different steel grades (X120Mn12, X5CrNi1810) using the same quantity and quality of explosive. Following direct and indirect hardening, the hardness measurement results showed that the hardness achievable with direct hardening (238 HV for X120Mn12, 263 HV for X5CrNi1810) was lower than that achieved by indirect hardening (472 HV for X120Mn12, 322 HV for X5CrNi1810) using a 1.5 mm gap distance.

Keywords: *explosive welding, plastic deformation, dislocation, cohesive bonding.*

Összefoglalás

A kutatás a robbantásos keményítési eljárások bemutatására és elemzésére fókuszál. A robbantásos keményítés során a gyakorlatban a direkt eljárást alkalmazzák, ami azt jelenti, hogy a robbanóanyagot a keményítendő fém felületére helyezik el. Az indirekt eljárás még nem jellemző a gyakorlatban. Az indirekt eljárás esetén, hasonlóan a robbantásos plattírozáshoz, a robbanóanyag és a keményítendő fém felülete között rés található. Azonos mennyiségű és minőségű robbanóanyaggal két különböző acélminőségen (X120Mn12, X5CrNi1810) végeztünk kísérleteket. A direkt és indirekt keményítést követően a keménységmérés eredményei azt mutatták, hogy a direkt keményítéssel elérhető keménység (X120Mn12-nél 238 HV, X5CrNi1810-nél 263 HV) kisebb volt, mint az indirekt eljárással (X120Mn12-nél 472 HV, X5CrNi1810-nél 322 HV) 1,5 mm-es réstávolságot alkalmazva.

Kulcsszavak: *robbantásos hegesztés, képlékeny alakváltozás, diszlokáció, kohéziós kötés.*

1. Bevezetés

A robbantásos alakítási és hegesztési technológiákat az első világháború után kezdték fejleszteni és alkalmazni. A technológia fizikai alapját a képlékeny deformációs hatás képezi, amelyet a fém kristályszerkezetében a deformáció által okozott súrlódásból keletkező hő segít [1]. A robbantás hatására keletkező nagy nyomású gáz lökéshulláma nagy sebességgel kapcsolja össze a robbantásos hegesztéskor a fémfelületeket. Az alakítási sebesség ebben az esetben jelentősen eltér a ké-

plékeny alakítás során alkalmazott alakítási sebességtől. A robbantással létrehozott alakítás egy nagy sebességű dinamikus hatás, mely a felületen középpontos kristályszerkezetű acélok kristályszerkezetében deformációt, fázisátalakulást okoz [1]. Jellemzően ezt a folyamatot az auszténites Hadfield-acél keményítésére használják, mivel ez az acéltípus hajlamos az alakítási keményedésre fázisátalakulással. Az auszténites szövetszerkezetű acéloknál szintén megfigyelhető az alakítás hatására bekövetkező fázisátalakulás, az alakítási

martenzít megjelenésével. Ennek ellenére ezt a keményítési eljárást nem alkalmazzák a gyakorlatban az ausztenites acéloknál.

A robbanásból származó lökéshullám keménységnövekedést okoz, de ennek a jelenségnek a paramétereit még nem sikerült teljes mértékben tudományos összefüggésekkel leírni. A deformációs sebesség hatásának elemzése az ausztenites acél γ - α' átalakulására régóta foglalkoztatja a kutatókat. A korai munkák egyszerűen csak megjegyezték, hogy ha a robbanásimpulzus időtartama (Δt) nő, akkor a martenzít mennyisége is nő, és az acél keménysége is növekszik (1. ábra) [2].

A Hadfield-acél hagyományos keményedési mechanizmusa főként diszlokációt, ikresedést, valamint dinamikus alakváltozási öregedést foglal magában [3]. Bár a robbanással keményített Hadfield-acél váltókat széles körben használják a vasutaknál világszerte, ennek az acélnek a robbantásos keményítése során bekövetkező alakváltozási mechanizmusa még nem teljesen ismert [4]. A Hadfield-acélból készült vasúti váltók robbantásos keményítése világszerte elterjedt technológia, amely lehetővé teszi a kereszteződések felületi és felület alatti keménységének növelését [2, 4, 5].

A Hadfield-acélöntvény tipikus alkalmazását mutatja a vasúti váltó csúcsán a 2. ábra.

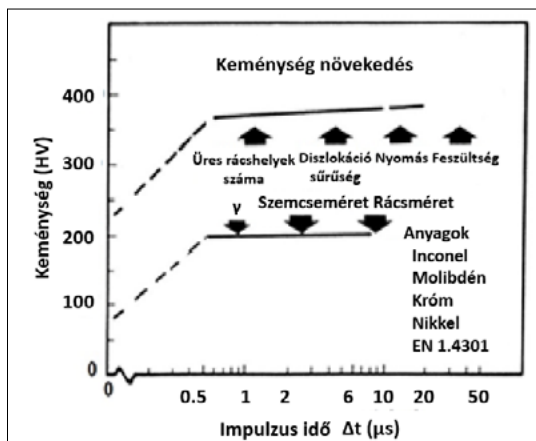
Szakirodalmi hivatkozások utalnak arra, hogy a nagy sebességű alakítás okozta képlékeny deformáció hatására a Hadfield-acél alakváltozás által kiváltott feszültségátalakuláson megy keresztül, és γ ausztenitből α ferrit vagy ε martenzít alakul ki. Kimutatták, hogy a γ ausztenitből ε martenzítbe történő átalakulás a deformációs sebességtől

függ [6]. A robbantásos keményítési technológia az ausztenites rozsdamentes acél keménységét és kopásállóságát is képes növelni [7, 8]. Az ausztenites rozsdamentes acél nagy alakíthatósággal, alacsony keménységgel és nagyon jó korrózióállósággal rendelkezik. Hőkezeléssel a keménység növelése nem érhető el. Természetesen vannak kiválasztottan keményíthető rozsdamentes acélok, de ezek kémiai összetétele eltér a nagy mennyiségben alkalmazott ausztenites rozsdamentes acéloktól [9, 10].

2. Robbantásos megmunkálási technológiák

2.1. Robbantásos plattírozás

A robbantásos plattírozási technológia célja, hogy a robbanásból származó nagy sebességű alakítással fémeket kapcsoljanak össze. A kialakuló kohéziós kötés miatt ezt az eljárást hegesztésnek tekintjük [10]. Mivel hőt nem közlünk, illetve az alakváltozásból és a robbanásból létrejövő hő hatására a fémek megolvadása nem jellemző, ezért ez a hidegsajtoló hegesztések csoportjába tartozó eljárás. Az eljárás anyagtudományi alapja a nagy sebességű alakítás hatására bekövetkező alakváltozás, mely során az összekapcsolódó anyagok atomjai kötést létesítenek egymással anélkül, hogy keveredés jönne létre. Ezt az eljárást általában nagy felületek, pl. sík lemezek összekapcsolására alkalmazzák jellemzően a gyakorlatban. Ezzel az eljárással számos eltérő fém is összehegeszthető, melyeket ömlesztő hegesztéssel nem tudnak összehegesztetni (pl. acél, titánnal) [11, 12]. A robbantásos hegesztési technológia mére-



1. ábra. Keménységnövekedés a robbanási impulzus-idő függvényében [2]



2. ábra. Ausztenites mangánacél vasúti kitérő

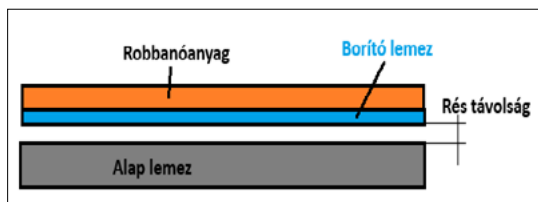
tezése során figyelni kell a robbanóanyag kiválasztására. A robbanóanyagok kiválasztása során figyelembe kell venni a robbanóanyag robbanási sebességével kapcsolatos kritikus határértéket. Az anyagban a hangsebességnek kisebbnek kell lennie, mint a borítólemez és az alaplemez ütközési sebessége [13, 14]. A kiválasztott robbanóanyag-mennyiséget a borítólemez vastagsága és sűrűsége segítségével lehet meghatározni. Nagy méretű lemezek összehegesztése esetén az alaplamezt és a borítólemezt egymással párhuzamos elrendezésben helyezik el, melyek között a borítólemez vastagságából számított rést hagynak. A párhuzamos elrendezést a 3. ábra mutatja.

A réstávolság tapasztalati ajánlások szerint a borítólemez 0,5–1,6 szorosa közötti kell hogy legyen, ami egy tapasztalati érték. A réstávolság az az út, amit a borítólemez megtesz és rácsapódik az alaplamezre. Ha ez a távolság túl nagy, a becsapódás során a lemezek roncsolódhatnak, és jelentős keménységnövekedés tapasztalható. Ha a távolság túl kicsi, akkor pedig a lemezek felülete nem kapcsolódik össze megfelelően [7].

A robbantásosan plattírozott kötés metszete a robbantás irányában a robbanás lökeshullámát követő hullámvonal. A kötés mindkét oldalán a keménység növekszik az alapfém keménységéhez képest. Ez a varrat hő- és alakítási hatásövezetének tekinthető, ami egy igen keskeny tartomány (1–2 mm). A keménység mértéke a robbantásos plattírozás paramétereitől és az alkalmazott anyagok keménységére, vagyis anyagjellemzőitől függ.

2.2. A robbantásos keményítési technológia

A robbantásos keményítési technológia a robbantásos plattírozási technológiához hasonló, mivel a robbantásból képződő nagy nyomású gáz lökeshullámait használják fel a fém felületének képlékeny alakváltozással történő keménység-növelésére. Az egyes fémek különböző mértékű keménységet mutatnak anyagjellemzőik függvényében. A keménység függ továbbá a keményítési technológiától. A hagyományos elrendezésben a



3. ábra. Robbantásos hegesztés párhuzamos elrendezése

robbanóanyagot közvetlenül a keményítendő fém felületére helyezik el (direkt keményítés), míg az újabb elrendezés esetén a fém felülete és a robbanóanyag között a robbantásos plattírozási elrendezés szerint rést hagynak (indirekt keményítés).

Az indirekt keményítési eljárásához 319 g Permont 10T por halmazállapotú robbanóanyagot használtunk. Az indirekt keményítési elrendezés esetében, mely azonos a robbantásos hegesztés elrendezéssel (3. ábra), a réstávolság 1,5 mm volt. A direkt keményítést azonos anyagú és mennyiségű robbanóanyaggal végeztük. A keményítést követően az acél próbatetek felületén Vickers-keménységet mértünk 1,2 kgf terheléssel. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Direkt és indirekt keményítéssel elérhető keménység

Anyag	Keménység HV		
	Alapanyag	Direkt	Indirekt
X120Mn12	110	238	472
X5CrNi18-10	215	263	322

Az eredmények alapján jól látható, hogy az indirekt keményítés nagyobb keménységet okozott mindkét acélminőség esetén, mint a direkt keményítés.

3. Következtetések

Az irodalomkutatás és a robbantásos keményítéssel kapott eredmények harmóniában állnak egymással. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az indirekt robbantásos keményítéssel ugyanazon acélminőségek esetében nagyobb keménység érhető el, mint a direkt eljárással, azonos robbanóanyagminőség és -mennyiség mellett.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zhang M., Lv B., Zhang F., Feng X.: *Explosion Deformation and Hardening Behaviours of Hadfield Steel Crossing*. ISIJ International, 52/11. (2012) 2093–2095.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.52.2093>
- [2] Meyers M. A., Murr L. E.: *Shock Waves and High-Strain-Rate Phenomena in Metals*. International Conference on Metallurgical Effects of High-Strain-Rate Deformation and Fabrication, Albuquerque, N.M., 1980. 91–111.
- [3] Davis J. R.: *Surface Hardening of Steels*. ASM International, (2002) 1–16.
- [4] Havlíček Petr, Busová Katerina: *Experience with explosive hardening of railway frogs from Hadfield steel*. Metal, Brno, Czech Republic, 2012.
- [5] Völgyi B., Kovács-Coskun T., Sikari-Nágl I.: *Had-*

- field acél keménységváltozása robbantásos alakítás hatására. In: FMTÜ XVIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Kolozsvár, Erdélyi Múzeum-Egyesület, (2013) 449–452.
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2013.99>
- [6] Lee Sang Hun, Choi Jeom Yong, Nam Won Jong: *Hardening Behavior of a 304 Stainless Steel Containing Deformation-Induced Martensite during Static Strain Aging*. Materials Transactions, 50/4. (2009) 926–929.
<https://doi.org/10.2320/matertrans.MRP2008416>
- [7] Staudhammer K. P., Frantz C. E., Hecker S. S., Murr L. E.: *Effects of Strain Rate on Deformation-Induced Martensite in 304 Stainless Steel*. In: Meyers M. A., Murr L. E. (eds.): *Shock Waves and High Strain Rate Phenomena in Metals*. Plenum, New York, 1981. 91–112.
- [8] Haraszti F., Kovács T.: *Plastic deformation effect of the corrosion resistance in case of austenitic stainless steel*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 175. 2017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/175/1/012048>
- [9] Kovács T., Kuzsella L.: *High Energy Rate Forming Induced Phase Transition in Austenitic Steel*. Journal of Physics-Conference Series 790. (2017) 012039.
- [10] Findik F.: *Recent developments in explosive welding*. Material&Design, 32/3. 1081–1093.
- [11] Holtzman A. H., Cowan G. R.: *Bonding of metal with explosives*. Welding Research Council Bulletin, New York, 1965. 1–21.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.017>
- [12] Pocalyko A.: *Metallic Coatings (Explosively Clad)*. Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 15. Third edition, 275–296.
- [13] Kugyela L., Daruka N., Kovács T. A.: *Explosive Welding of Metals for Electronic Applications in The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications, 2024.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_35
- [14] Lukács L., Szalay A., Zádor I.: *Explosive forming and aerospace*. Aeronautical Science Bulletins, XXIV/2. (2012) 431–446.