

A SZEMCSEMÉRET ÉS A MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA HEGESZTETT VARRATOKNÁL

INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN THE GRAIN SIZE AND THE MECHANICAL PROPERTIES IN CASE OF WELDED JOINTS

Kovács-Coskun Tünde¹, Pinke Péter², Bitay Enikő³

¹Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1081, Magyarország, Budapest, Népszínház u. 8; Telefon / Fax: +36-1-6665368, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

²Szlovák Műszaki Egyetem Pozsony, Anyagtechnológiai Kar Nagyszombat, Paulínska 16, 917 24 Trnava, Szlovákia, peter.pinke@stuba.sk

³Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, O.p.9, C.p.4, ebitay@ms.sapientia.ro

Abstract

It knows that between the grain size and the mechanical properties can find relation [1]. The Hall–Petch equation shows a relationship between the grain size and the yield strength. This equation valuable in case of low carbon steels. Also in the literature we can find a linear function to numerate the yield strength from the hardness. We made some welding samples and measured the hardness and the grain size in the welded joint and the heat affected zone. We find a strong correlation between the grain size and the hardness in case of the tested steel. We supposed in base of our results that we can find a correlation between the grain size and the yield strength too. The hardness test is very quick and simple test what we use always to control the quality of the welded joint and the heat affected zone. If our supposition is real and we can find a correlation between the hardness and the yield strength it can be very usefully during the design of the welding technology.

Keywords: Hall–Petch-equation, grain size, hardness, yield strength

Összefoglalás

A fémek anyagoknál ismert, hogy mechanikai tulajdonságaikra a szemcseméretnek jelentős hatása van [1]. A Hall–Petch-egyenlet a szemcseméret és a folyáshatár közötti összefüggést írja le. Ebben a cikkben kísérletet tettünk, gyakorlati méréseket felhasználva arra, hogy kapcsolatot teremtsünk a szemcseméret, a keménység, valamint a folyáshatár között a Hall–Petch-egyenlet felhasználásával. A szemcseméreteket egy alacsony karbontartalmú acél hegesztett kötésében, illetve hőhatásövezetében mértük. A vizsgált acélminőség esetében egyértelmű kapcsolatot tapasztaltunk a keménység és a szemcseméret között.

Ennek alapján feltételezhető, hogy a hegesztett kötés különböző részein a folyáshatár értéke is megváltozik az alapanyaghoz képest. A keménységmérés igen gyors és egyszerű vizsgálati mód, amit a hegesztett varratok ellenőrzése során egyébként is alkalmaznak. Felvázoltunk egy összefüggést, amely alapján a keménységből a folyáshatár meghatározható, ez a gyakorlatban hasznos lehet a méretezés és a kötés szilárdságának ellenőrzése során.

Kulcsszavak: Hall–Petch-egyenlet, szemcseméret, keménység, folyáshatár

Bevezetés

A gépészeti tervezési gyakorlat során gyakorta hivatkozunk a Hall–Petch-összefüggésre annak igazolásaként, hogy a mechanikai tulajdonságok és a szemcseméret szoros összefüggésben vannak, ezért a hőkezelés, hegesztés és más technológiák tervezése során igyekszünk a szemcsedurvulást elkerülni, finomszemcsés szerkezetet beállítani. Kísérletekkel igazolható, akár egy szokványos szakítóvizsgálattal is, hogy különböző szemcseméretű próbatesteket alkalmazva ez az összefüggés helytálló. Sajnos az irodalomban a Hall–Petch-egyenlet technológiai tervezés során való gyakorlati alkalmazásáról kevés szó esik.

Tanulmányunkban egy gyakorlati mérősorozat alapján arra kerestük a választ, hogy egy egyszerű keménységmérést elvégezve, hogyan kaphatunk a hegesztett kötés méretezéséhez segítséget nyújtó szilárdságértéket.

Hegesztési kísérletsorozatot végeztünk vastaglemezek (8 mm) sarokvarratának hegesztésére. A technológiai paraméterek ellenőrzése miatt a varrat ellenőrzését is elvégeztük, amely mikrocsiszolat szövet-szerkezet- és szemcseméret-meghatározásból és keménységmérésből állt. A hegesztett szerkezetek gyártástechnológiájának (paraméterbeállítás) meghatározásakor figyelembe kell venni a hőbevitelből következő átalakulásokat és szemcsedurvulást. Acélok esetében az átalakulási és szemcsedurvulási hajlam függ az előzetes hidegalkitítás mértékétől, valamint a választott hegesztési eljárás paramétereitől. A varratok elkészítése során igyekeztünk a változók számát minimálisra csökkenteni, így a vizs-

gált hegesztett varratok esetében a paramétereket nem változtattuk, előzetes hidegalkitást pedig nem végeztünk.

A kis szilárdságú, alacsony karbon-tartalmú acélon végzett keménységmérésből és szemcseméret-meghatározásból kapott adatsorozatot, az irodalomból ismert Hall–Petch- (1), valamint a keménység-szilárdság kapcsolatára (2) felállított összefüggéseket felhasználva kíséreltük meg a folyáshatár meghatározását.

1. A szemcseméret és a mechanikai tulajdonságok kapcsolata

1.1. Hall–Petch-összefüggés

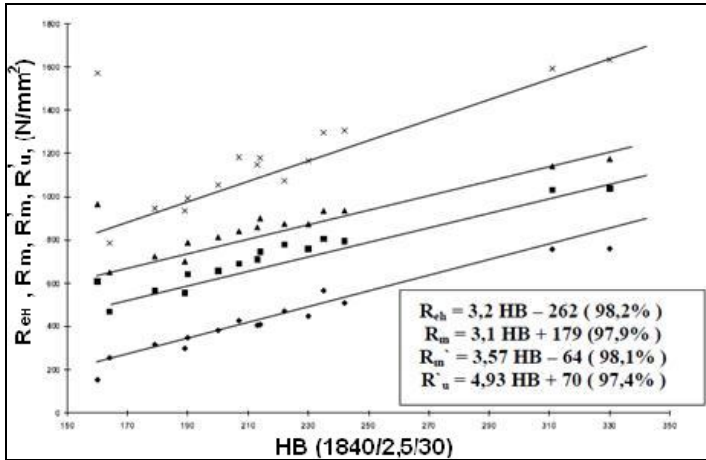
A Hall–Petch-összefüggés (1) kapcsolatot teremt a fémek anyag szemcsemérete és folyáshatára között, amelyből adódóan a folyáshatár és az átlagos szemcseméret négyzetgyöke között fordított arányosság van [2].

$$R_{eH} = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

Ahol: k anyagtól függő állandó, d átlagos szemcseátmérő, R_0 (szilárdsági konstans).

1.2. A szemcseméret-keménység kapcsolata

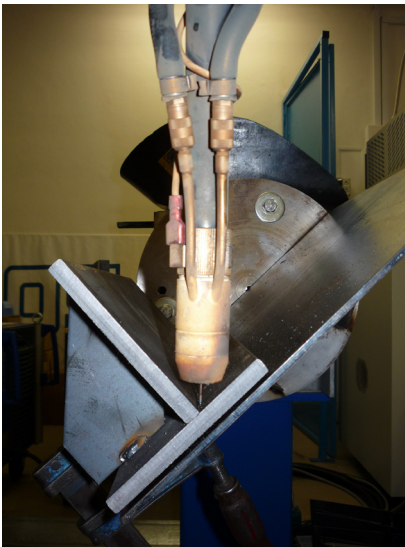
Az 1. ábrán látható, hogy a keménység ($HB_{1840/2,5/30}$) és a folyáshatár (R_{eH}), valamint a szakítószilárdság között szoros összefüggés mutatható ki számos acél, alumínium- és rézötvözet esetén [3].



1. ábra. Brinell keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata [3]

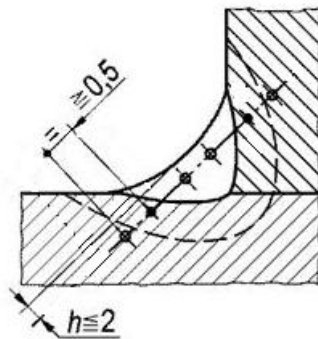
2. A szemcseméret és a keménység méréssel megállapított értékei

A szemcseméretet fémmikroszkóppal, a keménységet ($HB_{1840/2,5/30}$) keménységméréssel határozzuk meg PA helyzetű sarokvarratok esetében, S235JR acélon mérve.



2. ábra. PA helyzetű hegesztés CLOOS Qirox QRC 320 típusú ívhegesztő robottal [1]

A varratokat PA (vályú helyzetű sarokvarrat) helyzetben a 2. ábra szerint hegesztettük MSG normál fogyóelektrodás irányított rövidzárlatos védőgázos (Corgon18 védőgáz alkalmazása mellett) ívhegesztési technológiával egy CLOOS Qirox QRC 320 típusú ívhegesztő robottal az Óbudai Egyetem, Bánki Kar CLOOS robothegesztő laborjában. A robothegesztés lehetővé tette, hogy az egyes darabok teljesen azonos beállítások mellett készüljenek el. A kézi hegesztésből adódóan ugyanis bizonyos pontatlanságok, bizonytalanságok származhatnak [4].



3. ábra. A keménységmérési pontok a varratban és a hőhatásövezetben

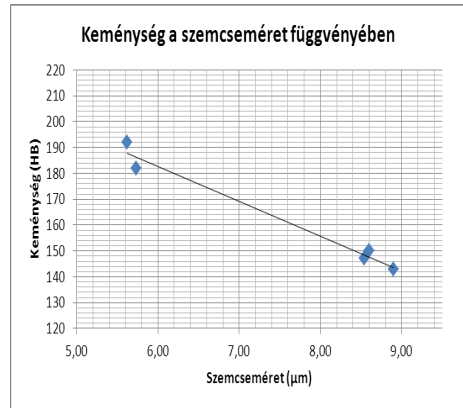
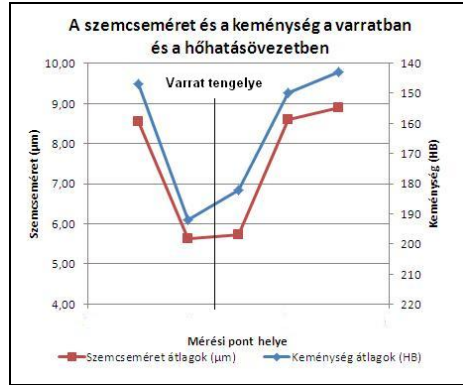
A mérési eredményeket az **1. táblázat** foglalja össze. A keménységértékek, valamint a szemcseméret a varratban azonos koordináták mentén két azonos elrendezésű és azonos technológiával hegesztett sarokvarrat metszetén kerültek meghatározásra.

1. táblázat. Átlagos szemcseméret és a keménység az azonos koordinátájú pontokon mérve

Szemcseátmérők (µm)	Keménységek (HB _{1840/2,5/30})
8,54	154,75
5,62	201,25
5,73	193
8,60	158,75
8,90	150

A varratban és a hőhatásövezetben a mérési pontokat a **3. ábra** szemlélteti. A keménységmérés eredményeit, valamint a szemcseméretet a varratban, illetve a hőhatásövezetben a **4. ábra** mutatja.

A **4. ábrán** a keménység és a szemcseméret változása szoros korrelációt mutat, melyet lineáris egyenessel közelítettünk, de erre a kapcsolatra egyértelmű függvénykapcsolatot nem tudtunk felírni. Természetesen az elvégzett mérések száma alapján egyértelműen nem mondható ki, hogy keménység és a szemcseméret között a kapcsolat lineáris. Kutatásaink során tervezzük, ennek nagyszámú kísérletből és mérési eredményekből történő meghatározását.



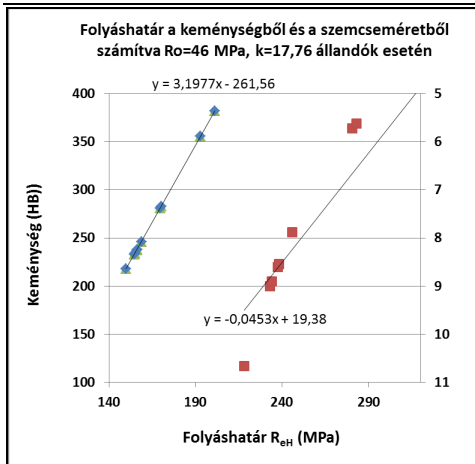
4. ábra. Keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata [1]

Felhasználva az **1. ábra** összefüggéseiből a folyáshatárra vonatkozó egyenletet (2), valamint a Hall-Petch-összefüggést (1), amelyeket ha egymással egyenlővé teszünk, az alábbi (3) összefüggést kapjuk.

$$R_{eH} = 3,2 \cdot HB - 262 \tag{2}$$

$$3,2 \cdot HB - 262 = R_0 + k \cdot d^{-\frac{1}{2}} \tag{3}$$

Mérési eredményeink és a belőlük számított keménység-szilárdság értékek lineáris kapcsolatot mutatnak az **5. ábra** szerint.



5. ábra. Keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata

A felírt összefüggések segítségével számíthatjuk a folyáshatárt a k tényezőből

2. táblázat. Számítással meghatározható szilárdsági értékek

HB keménységből (2) számított folyáshatár R_{eH} (N/mm ²)	Szemcseméret d (μ m)	Átlagérték k [5]	Hall Petch- (1) összefüggésből számítva ($R_0=46$ MPa, $k=17,76$) R_{eH} (N/mm ²)
233,2	8,54	17,76	238,18
382	5,62		282,90
355,6	5,73		280,62
246	8,60		237,51
218	8,90		234,25

3. Következtetések

Keménység- és szemcseméret-méréseket végeztünk sarokvarrat hegesztését követően. Az irodalomban található összefüggések alapján kiszámítottuk a lokális folyáshatárt a szemcseméret és a keménység függvényében. A szemcseméretből és a keménységből meghatározott folyáshatárértékek között eltérést tapasztaltunk. A varrat tengelyétől távolabbi pontokon, ahol a keménység már az alapanyaghoz közeli, a folyáshatár-értékek mind a szemcseméret-

az (1) és (2) összefüggések szerint. A 2. táblázat azonos soraiban a felírt (3) összefüggés alapján közel azonos értékeknek kellene szerepelniük, ezzel szemben a varrat közepén, ahol a szemcseméret lecsökken (5,62–5,73 μ m), a számított folyáshatár értékek jelentősen eltérnek.

A mérési eredményeinkből kapott függvény az irodalomban talált (2) összefüggéssel közel azonos a keménység és a folyáshatár tekintetében. A Hall–Petch-összefüggés alapján számított értékek szintén illeszkednek egy hatványgörbére, de itt meg kell jegyezni, hogy a számításaink során R_0 és k értékére az irodalomból átvett közelítő értékeket alkalmaztuk.

méréssel történő igazolása vezethet eredményre annak megítélésében, hogy a szemcseméret és a szilárdság közötti összefüggést meghatározhatjuk.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet kívánnak mondani a Cloos Crown International Kft.-nek, valamint Végh Sándornak a cég munkatársának, aki a hegesztési kísérletekben nyújtott támogatást, valamint Szilágyi Gábor egyetemi hallgatónak, aki a mérésekben segítette munkánkat.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Szilágyi G., Kovács-Coskun T., Pinke P.: *Az összeállítási pontatlanság hatása a hegesztési*

paraméterek korrekciójára sarokvarratok esetén. FMTÜ XVIII. EME, Kolozsvár, 2013, 383–386.

- [3] Krállics Gy., Fodor Á.: A 17–4 PH Martenzites korrózióálló acél fázisátalakulásának vizsgálata dilatométerrel. *Anyagvizsgálók lapja* 2005/4. 107–109.
- [2] Varga Ferenc, Tóth László, Guy Pluvinage: *Anyagok károsodása és vizsgálata különböző üzemi körülmények között.* Miskolci Egyetem, 1999. 33.
<http://edu.bzlogi.hu/mtesting/szoftverek/kem-enys.pdf>
- [4] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika I.*, EME, Kolozsvár, 2010. 53–68.
- [5] Pinke P., Kovács-Coskun T.: *Mérnöki anyagtudomány.* Példatár II., ÓE egyetemi jegyzet, Budapest, 2012. 32–33.