

NYOMÁSTARTÓ EDÉNY HEGESZTÉSI HOZAGANYAG KÖLTSÉGE ÉS FÁRADÁSA

CALCULATION OF THE COST OF THE FILLER MATERIAL AND THE FATIGUE IN CASE OF A PRESSURE VESSEL

Erdős Antal *, Dr. Jármai Károly **

ABSTRACT

Pressure vessels play an important role in engineering today. Therefore, minimizing the costs associated with them can be crucial, either in terms of cost of production or cost of operation. These devices are often made with welded joints. Therefore, choosing the right welding technology and filler material is an important point in saving costs. From the operation side, the cost of maintenance and the number of cycles to failure during the operation.

1. BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlatban a tervezés egyik legfontosabb lépése a tervezendő berendezés geometriájának meghatározása, azaz méretezése. Nincs ez másként nyomástartó edények esetén sem. Első lépésként a falvastagságot kell meghatározni az MSZ EN 13445-3 szabvány szerint. Az erre vonatkozó számításokat, továbbá az egyes acélokra vonatkozó anyagköltségek meghatározását tartalmazza a Hegesztéstechnika 2018 XXIX. évfolyam. 2. számában olvasható. A most következő cikkben 23 különböző korrózióálló acél került összehasonlításra, a hegesztési költség, a hegesztési idő és a törésig elviselt ciklusszámok tekintetében. A változó igénybevételt a nyomástartó edény belsejében végbemenő nyomásváltozás okozza, mely a varratban húzófeszültséget eredményez.

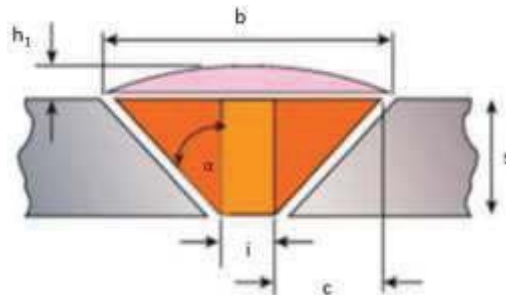
2. HOZAGANYAG KÖLTSÉGEK ÉS HEGESZTÉSI IDŐK

A vizsgált acélok mindegyike korrózióálló, és ezen magas ötvöztartalommal rendelkező acélok esetében a legfontosabb szempont a hegesztés során korrózióállóság megtartása a hegesztett kötésre a hegesztés után. Hozaganyag katalógusokban található ajánlott hozaganyagot az adott eljárásra adott alapanyaghoz.

A hozaganyag választás elvégezhető az ESAB Stainless Steel Technical Welding Handbook ajánlása alapján, melyben a különböző

alapanyagokhoz a vegyi összetételüknek megfelelően található ajánlás a különböző ferrites, ausztenites és duplex acélokhöz, minden ezen acélok esetén alkalmazott hegesztési eljárásokra, melyek a következők: tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés (121), kézi ívhegesztés (111), tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés; MIG-hegesztés (tömör huzalelektrodával) (131), tömör hozaganyaggal (huzal / pálca) végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés; tömör hozaganyagot TIG hegesztés (141) [1].

A következő lépés a költség számításokban, a varrat tömegének meghatározása. Ehhez szükség van a varrat geometriájának ismeretére, így meg lehet határozni a keresztmetszetét, amit majd a varrat hosszával megszorozva adódik a varrat térfogata, ezt szorozva a hegyanyag sűrűségével adódik a varrat tömege. A keresztmetszet számítása különbözik sarokvarrat és tompavarrat esetén, előbbi esetén egy kicsit egyszerűbb, utóbbi esetében a számítás folyamata bonyolultabb. A vizsgált ammónia szintézis konverter csak tompavarratokat tartalmaz, így a továbbiakban csak az kerül feldolgozásra. Ennek a paraméterei láthatóak a 1. ábrán.



1. ábra: A varrat keresztmetszeti méretei [2]

A számítások elvégzéséhez három paraméter ismerete szükséges: az ábrán α -val jelölt leélezési szög, a i -vel jelölt gyökhézag, és az a h_1 méret mellyel a varrat koronája magasabb a lemeznél és természetesen a lemezvastagság, melyet az ábrán s betű jelöl. Az első lépés a c -vel jelölt méret kiszámítása, melyre az alábbi összefüggés használható [3]:

* doktorandusz, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Intézeti Tanszék

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Intézeti Tanszék

$$c = s \cdot \tan(\alpha). \quad (1)$$

Ennek a segítségével meghatározható egy narancssárga háromszög területe [2]:

$$T_{háromszög1} = s \cdot (\tan(\alpha) \cdot s) \cdot \frac{1}{2}. \quad (2)$$

A két narancssal jelölt háromszög területe tehát [2]:

$$T_{háromszög} = s \cdot (\tan(\alpha) \cdot s). \quad (3)$$

A koronarész szélessége [2]:

$$b = 2 \cdot (\tan(\alpha) \cdot s) + i. \quad (4)$$

A rózsaszínnel jelölt koronarész területéhez meg kell határozni a varratdudor sugarát:

$$r = \frac{\frac{b^2}{4} + h_1^2}{2 \cdot h_1}. \quad (5)$$

Az r sugarú varratdudorhoz tartozó kör esetén a körcikk sarokpontja és a kör függőleges sugara által bezárt β szög:

$$\sin(\beta) = \frac{b}{2 \cdot r}. \quad (6)$$

Így a körszelet területe:

$$T_{körszelet} = \frac{r^2}{2} \cdot (\beta - \sin(\beta)) \quad (7)$$

Ekkor a zárójelben szereplő β -t mely nem szögfüggvényben szerepel radiánban kell helyettesíteni.

A középső sárga területrészt [2]:

$$T_{téglalap} = i \cdot s. \quad (8)$$

A teljes varratkeresztmetszet a fentiek összegeként számolható [2]:

$$T_{varrat} = T_{háromszög} + T_{körszelet} + T_{téglalap}. \quad (9)$$

A varrat tömegéhez ezt a keresztmetszetet meg kell szorozni a varrat hosszával és a varratfém sűrűségével [2]:

$$m_{varrat} = T_{varrat} \cdot L_{varrat} \cdot \rho_{varrat}. \quad (10)$$

A varrat súlyának meghatározására egy másik módszer is használható. A Böhler és a Voestalpine oldalán található Welding-Calculator is használható. Ebben a programban első lépésként a hegesztési eljárást kell kiválasztani, három közül választhatunk: a bevontelektródás kézi ívhegesztés, védőgázos fogyóelektródás kézi ívhegesztések és a fedettív hegesztés.

Ez a választás nem befolyásolja számottevően a számítás végeredményét, vagyis lényegében az eljárás választásának nincs befolyása a létrehozandó varrat térfogatára, tömegére. Második lépésként a varratalakját kell kiválasztani.

Itt 13 darab tompavarrat és a sarokvarrat közül választhatunk. Én az egyszerű V-alakú varratkialakítást választottuk. A következő és egyben utolsó lépés a szükséges adatok bevitele és a számítás elvégzése. Ekkor is hasonló adatok megadása szükséges mint, az előző manuális esetben, de itt a számítást a program automatikusan alvégzi a varrat tömegére vonatkozóan. Ekkor is szükséges a s -el jelölt lemezvastagság, az α -val jelölt nyílásszög (ekkor a varratra vonatkozóan kell megadni, míg az előző esetben a leélezés szögét kell megadni), l -el meg kell adni a hegesztés hosszát, i -vel a gyökhézagot és c -vel az élszalag méretét. Lehetőség nyílik a tömeg meghatározása után hozaganyagra vonatkozóan, például hegesztés esetén a huzalelektróda átmérőjének megadására, aminek a segítségével a szükséges huzalhosszra is kaphatunk egy közelítő értéket, hogy hány méter huzalelektródára lesz szükség a kész kötés létrehozásához.

A hegesztés költségének meghatározásához a következő lépés a hozaganyag költségének meghatározása. Ezt úgy kapjuk meg, hogy az előzőekben meghatározott tömegét a szükséges varratfémnek meg kell szorozni az adott hozaganyag 1 kilogrammra vonatkoztatott költségével. Így a vizsgált acélminőségek között nem csak a falvastagság, hanem a hegesztési költségeket is figyelembe vehetők az anyagválasztás során. Példák a hozaganyagokra láthatóak a 1. táblázatban.

1. táblázat: Az alkalmazott hozaganyagok [1]

Acél	Bevont- elektróda	Huzal- elektróda	Fedőpor	AWI pálca
X2 CrMoTi 17-1	OK 61.20	OK Autrod 430Ti	OK Flux 10.94	OK Tigrod 308l
X2 CrMoTi 18-2	OK 61.20	OK Autrod 430ti	OK Flux 10.94	OK Tigrod 308l
X6 CrMoNb 17-1	OK 61.35	OK Autrod 430LNb	OK Flux 10.94	OK Tigrod 308

A meghatározott varratömegeket a megfelelő hozaganyag költséggel megszorozva kaphatjuk meg a hegesztés hozaganyag költségét. Ez az előzetes számítás azonban csak kivételes esetekben egyezik meg a tényleges hozaganyag költséggel. Ez a veszteségeknek köszönhető. Ilyen hozaganyagokra vonatkozó veszteség lehet például a sérült bevonatos vagy a nem megfelelően tárolt bevontelektroda, vagy a bevontelektroda el nem hegesztett része, vagy a huzalelektroda azon része védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztésnél, melyet az előtöltő nem tud kitolni a huzal dobról való lefutásakor. Ezeket a veszteségeket egy szorzótényezővel lehet figyelembe venni, melyekkel a tömegeket kell megszorozni az adott eljárásra jellemző tényezővel.

Ezek a tényezők feltételezik, hogy a gyártás megfelelően tiszta, fegyelmezett környezetben zajlik, és nem keletkezik egyéb okokból további veszteség. Ezeket a tényezőket mutatja az alábbi 2. táblázat [2].

Azonban adatokat ezekről a veszteségekről egyes gyártók közölnek a hozaganyag katalógusaikban, arra vonatkozóan, hogy az üzemi veszteség hogyan változik a hozaganyag típusának és átmérőjének függvényében.

2. táblázat: A hozaganyag veszteségtényezők [2]

Ívhegesztő eljárás	Szorótényező
<i>Kézi ívhegesztés (111)</i>	1,5
<i>Tömör hozaganyaggal (huzal / pálcá) végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (141)</i>	1,1
<i>Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (131)</i>	1,05
<i>Tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés (121)</i>	1,02

A hegesztési költség kalkuláció következő lépése a hegesztési idő, azon belül a varratfém leolvasztásához szükséges idő meghatározása. Ez függ a választott hegesztő eljárástól, hiszen azok leolvasztási teljesítménye is igen eltérő, és a leolvasztási idő elsősorban attól függ. Ennek a teljesítménynek a szokásos mértékegysége a kg/h, mely folyamatos hegesztésre vonatkozik, nem számolunk a salakolással, elektródacserével vagy egyéb időveszteségekkel. A leolvasztási teljesítményt számos tényező befolyásolja és ezek adott eljárásra adott áramerősség tartományra jellemző értékek, melyeket a 3. táblázat tartalmaz. Ezek ideális esetre vonatkoznak, mely során a legjobb minőségű varrat létrehozásához a lehető legkevesebb mennyiségű hozaganyagot alkalmazták, a lehető legnagyobb átmérővel a lehető legnagyobb áramerősség mellett, a lehető

legrövidebb idő alatt és a varrat tökéletesen hozzáférhető helyen található. Ezt lehetetlen elérni, mivel a legtöbb hegesztési feladat során hőbeviteli korlátok vannak, vagy a varrat nem vályúhelyzetben készül vagy egyéb okok miatt [2].

3. táblázat: *Hegesztő eljárások leolvasztási teljesítménye [2]*

Hegesztő eljárás	Leolvasztási teljesítmény [kg/h]	
	Minimum	Maximum
<i>Kézi ívhegesztés (111)</i>	0,4	5,5
<i>Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (131)</i>	0,6	12
<i>Tömör hozaganyaggal (huzal / pálcá) végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (141)</i>	0,2	1
<i>Tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés (121) egy huzalelektrodával</i>	3	16

Ha pontosabb értékre van szükség, akkor a leolvasztási teljesítmény egy gyakorlatiasabb úton is meghatározható. Mégpedig a hegesztendő lemezből vegyünk egy darabot, majd mérjük le annak a súlyát, ezután az adott eljárással készítsünk rá egy varratot az adott paramétereknek megfelelően, úgy hogy közben az időt rögzítjük. Ezután mérjük le ismét a darab tömegét, majd a két tömeg különbségét elosztva a mért idővel megkaphatjuk a leolvasztási teljesítményt [2].

Az előzőekben meghatározásra került a leolvasztandó varratfém súly, a fenti táblázatból pedig kiolvasható a hozaganyag leolvasztási sebessége, előbbi az utóbbival elosztva adódik a varrat létrehozásához szükséges idő.

4. táblázat: *Az üzemeleti tényező értékei [2]*

Hegesztő eljárás	Üzemeleti tényező [%]
<i>Kézi ívhegesztés (111)</i>	15-30
<i>Tömör hozaganyaggal (huzal / pálcá) végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (141)</i>	25-40
<i>Gépesített tömör hozaganyaggal (huzal / pálcá) végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (141)</i>	80-90
<i>Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (131)</i>	30-45
<i>Gépesített tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (131)</i>	80-90
<i>Tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés (121)</i>	80-95

Azonban a kötés elkészítésének ideje nem csak a leolvasztás teljesítménye befolyásolja. A másik tényező melynek jelentős befolyása van üzemeleti tényezőnek nevezik. Ez egy olyan százalékos érték,

melynél az ív égési idejét viszonyítjuk a kész kötés elkészítéséhez szükséges időhöz. A tényező értékei láthatóak az alábbi 4. táblázatban [2].

Meg kell azonban jegyezni, hogy ez a tényező nem tartalmazza az előkészületi időket, akár a hegesztő berendezésre, akár a gyártmányra vonatkozóan. Az egyes gyártmányok specifikus tulajdonságai akár csökkenthetik, akár növelhetik is ennek értékét.

Veszteség időnek számít minden, amit a hegesztő a hegesztésen kívül végez. Ide tartozik a fűzővarratok készítése, salak eltávolítása, felületek tisztítása, elektródacsere, hegesztési pozíció változtatása, munkadarabok ki- és behelyezése a hegesztő készülékbe [2].

Az üzemelési tényező növelése az egyik módszer a termelékenység növelésére. Egyik lehetséges módszer a helyes munkaszervezésen keresztül is növelhető az üzemelési tényező, vagy másik nagyobb üzemelési tényezőjű eljárás választása. A táblázat értékeit vizsgálva a gépesítés is egy jó módszer az üzemelési tényező és azon keresztül a termelékenység növelésére. Azonban ez egyedi és kis sorozatok gyártása során nem biztos, hogy kifizetődő, az átállás ideje és beruházás költsége nem biztos hogy megtérül [2].

A hegesztési költségekhez tartozik a gázvédelmű eljárásoknál a védőgázok és fedettívű hegesztésnél a huzal mellett a fedőporok költsége is. A védőgázt vizsgálva a hagyományos vállig érő palack körülbelül 10000 liter gázt tartalmaz. Az átlagos gázfogyás nagyjából 12-15 liter percenként, ezzel a gázáramlási sebességgel egy palack nagyjából 10-12 munkaóra elegendő, és tartalmazza az ív gyújtásához és a kialvása utáni gázfogyást is.

Mivel az ív égési ideje ismert és a gázvédelmet elég ezen időtartamra biztosítani, az átlagos 11 liter gázfogyást feltételezve a szükséges gáz mennyisége kiszámolható, ha a kettőt összeszorozzuk egymással.

A költségét illetően ezt a meghatározott gázfogyást ha elosztjuk az egy palackból kinyerhető gázzal, akkor megkapjuk, hogy a hegesztés során hány palack kerül felhasználásra [2].

A számolt értéket mindig a nagyobb egész szám felé kell kerekíteni, ezt megszorozva egy palack kereskedelmi árával a gázköltség számolható. Mivel minden acél korrózióálló, ezért a használt védőgáz alapvetően argon. De meg lehet említeni, hogy napjainkban a leolvasztási teljesítmény fokozására 1-2%-ban oxigént is tartalmazhat a védőgáz. Védőgázos fogyóelektródás hegesztésre én ezzel az utóbbival számoltuk úgy, hogy az adott esetben a felhasznált védőgáz mennyiség 2%-a oxigén, erre is meghatározva hogy a varrathoz hány palack szükséges, melyre az oxigénpalack kereskedelmi árát kell alkalmazni [2].

A fedőport illetően feltételezzük, hogy 1 kg varratfém létrehozása során 1 kg fedőpor kerül felhasználásra. Ez az arány feltételezi, hogy a hegesztés megfelelő körülmények között zajlik, és hatékony fedőpor visszanyerő rendszer működik a folyamat során. Ezen hegesztési segédanyagok szükséges mennyisége és így a költségük is egyszerűen kiszámíthatók [2].

3. A KIFÁRADÁS FIGYELEMBEVÉTELE NYOMÁSTARTÓ EDÉNYEKNÉL

Ezen számítások elvégzésére is található segítség az MSZ EN 13445-3-as szabványban, csakúgy mint a nyomástartó edényekre vonatkozó egyéb számításokra.

A számítási folyamatnak alapvetően két alapvető információra van szüksége [3]:

- A feszültség vagy terhelési ciklusok, melyek az adott pontra jellemzők
- És a fáradási szilárdságra vonatkozó jellemzők ugyanabban a pontban

A feszültség tartomány becslése [3]:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{P_{max}} \cdot \eta \cdot f. \quad (11)$$

Ahol a képletben szereplő kifejezések a következők:

- $\Delta\sigma$ a feszültségi tartomány,
- ΔP a nyomásváltozás,
- P_{max} a megengedett nyomás maximális értéke,
- η a feszültségi tényező,
- f a tervezési feszültség értéke az adott hőmérsékleten.

A képlet azon az alapvető feltételezésen nyugszik, hogy a maximális terhelésnél (P_{max}) jelentkezik a maximális feszültség (σ_{max}). A maximális terhelés meghatározása során több tényezőt is figyelembe kell venni, többek között a biztonsági tényezőt és a különböző falvastagsági pótlékokat ezek figyelembevételével és a berendezés tulajdonságaival együtt határozzák meg. A feszültségi tényező pedig a maximális terhelésnél fellépő feszültség arányát fejezi ki, az adott hőmérsékletre vett tervezési feszültséghez képest. Ennek a tényezőnek a hatására került be a hegesztési tényező az edény falvastagságának kiszámítására irányuló képletbe [3].

5.táblázat: A feszültségi tényező [4]

Részletes leírás		Részletszám	Megengedett nyomás maximális értéke	Körülmények	Feszültségi tényező	Kapcsolódó táblázatok	
Kúpos vagy hengeres fal	Körbemenő tompavarrat	Egyenlő falvastagság eltolás nélkül	S2.1	Hengeres falra 7.4-3 Kúpos falra 7.6-4	$D_1 = D_2$ és $e_1 = e_2$	$1,0 \cdot z$	1.1, 1.2, 1.5 és 1.6
		Nem azonos falvastagság eltolás nélkül	S2.2		$D_1 = D_2$	$1,1 \cdot z$	1.2
		Azonos falvastagság δ eltolással	S2.3		$e_1 = e_2 = e$	$(1 + \frac{\delta}{2 \cdot e}) \cdot z$	1.3, 1.5 és 1.6
		Általános eset (kombinált eltolás nem azonos falvastagsággal)	S2.4		$e_1 \leq e_2$	$(1,1 + \frac{\delta}{2 \cdot e}) \cdot z$	1.1-től 1.3-ig, 1.5 és 1.6
	Hosszirányú tompavarrat	S1.1	Alakhiba nélkül			$1,0 \cdot z$	1.1-től 1.3-ig, és 1.5

A vizsgált rész a fenti 5.táblázat alapján a S2.1-es csoportba tartozik. Így a η értéke 1 lesz, mert a varratjósági tényező értéke is 1. A maximális megengedhető nyomást pedig az alábbi összefüggéssel lehet meghatározni [3]:

$$P_{max} = \frac{2 \cdot f \cdot z \cdot e_a}{D_m} \quad (12)$$

ahol:

- f a tervezési feszültség (a folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosa),
- z a varratjósági tényező,
- e_a a falvastagság értéke a korróziós pótlék nélkül,
- D_m a középátmérő.

Képlet formájában a tényező:

$$\eta = \frac{\sigma_{max}}{f} \quad (13)$$

A gyakorlati tapasztalatokat figyelembe véve a tényező értéke ritkán van 3 alatt.

Egy nyomásciklusban, amely $P=0$ -tól $P=P_{max}$ -ig tart, ebben a speciális esetben a feszültség tartomány pontosan meg fog egyezni a maximális feszültséggel és a fenti összefüggésből könnyen kifejezhető:

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} = \eta \cdot f. \quad (14)$$

Ha a vizsgálatok több kritikus pontot is találtak, akkor azon pontokra mindegyikre külön-külön kell a feszültségi tényezőt meghatározni.

Mivel a falvastagság értéke minden esetben 25 mm felett van, ezért szükség van falvastagság miatti korrekciós tényezőre [3]:

$$C_e = \left(\frac{25}{e_n}\right)^{0,25} \quad (15)$$

A hőmérséklet is meghaladja a 100 °C-t, így az ebből adódó korrekciós tényező, először ferrites acélokra majd az ausztenitésekre, amellet a feltételezés mellett, hogy a hőmérséklet nem változik [3]:

$$C_t = 1,03 - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot t^* - 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*2}, \quad (16)$$

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{*2}. \quad (17)$$

A korrekciós tényezők segítségével a feszültségi tartomány [3]:

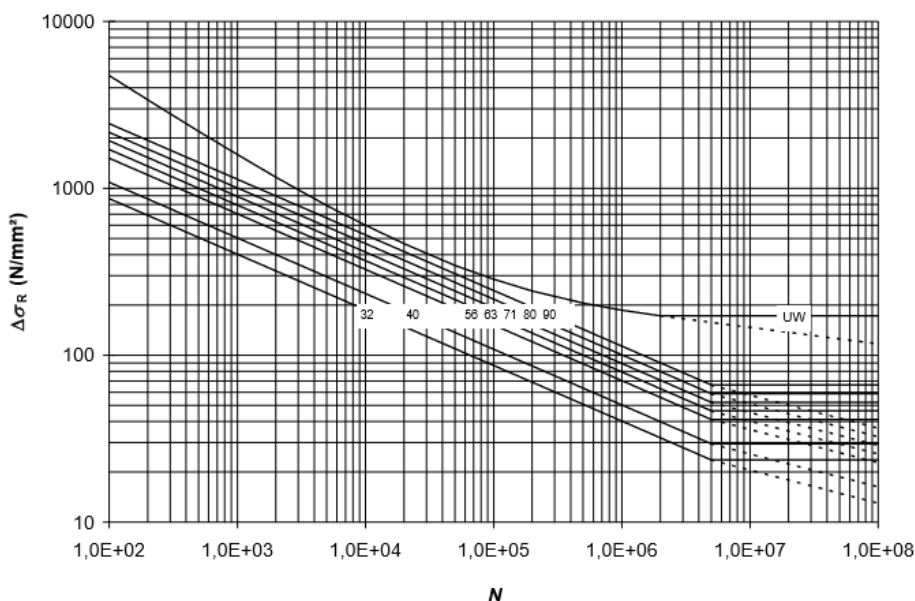
$$\Delta\sigma^* = \left(\frac{\Delta\sigma}{C_t \cdot C_e}\right). \quad (18)$$

Az érvényes fáradási szilárdsági görbék láthatóak a fenti 2. ábrán. Ha a ciklusszám kisebb, mint $5 \cdot 10^6$, akkor a hegesztést tartalmazó részeknél [3]:

$$\Delta\sigma_R = \left(\frac{C_1}{N}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (19)$$

Ha a ciklusszám ezt meghaladja, vagy a terhelés amplitúdó nem állandó, akkor szintén a hegesztett kötést tartalmazó részeknél [3]:

$$\Delta\sigma_R = \left(\frac{C_2}{N}\right)^{\frac{1}{5}}. \quad (20)$$



2. ábra: Fáradási szilárdsági görbék [4]

Állandó terhelésamplitúdóra [3]:

$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_D. \quad (21)$$

A C_1 , C_2 és a σ_D konstansok meghatározására szolgál az alábbi 6.táblázat, melyben az értékek találhatóak az osztály szerint [3]:

6.táblázat: A konstansok [3]

Osztály	Kifáradási határ	Levágási határ	A fáradási szilárdsági görbe konstansai	
			$5 \cdot 10^6$ ciklusszám alatt C_1	$5 \cdot 10^6$ ciklusszám felett C_2
90	66,3	36,4	$1,5 \cdot 10^{12}$	$6,4 \cdot 10^{15}$
80	58,9	32,4	$1 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{15}$
71	52,3	28,7	$7,2 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{15}$
63	46,4	25,5	$5 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{15}$
56	41,3	22,7	$3,5 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{14}$
40	29,5	16,2	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
32	23,6	12,9	$6,6 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^{13}$

A hegesztett kötések nem tartalmazó területekre a feszültségi tartományokat az alábbi összefüggésekkel kell meghatározni. Ha a ciklusszám kisebb, mint $5 \cdot 10^6$, akkor a hegesztést tartalmazó részeknél [3]:

$$\Delta\sigma_R = \frac{46000}{\sqrt{N}} + 140. \quad (22)$$

Ha a ciklusszám ezt meghaladja és a terhelésamplitúdó is változik [3]:

$$\Delta\sigma_R = \left(\frac{C_3}{N}\right)^{\frac{1}{10}}. \quad (23)$$

Ekkor a konstansok meghatározására az alábbi az előzőhöz hasonló 7.táblázat szolgál.

7.táblázat: Konstansok meghatározása [3]

Osztály	Kifáradási határ	Levágási határ	A fáradási szilárdsági görbe konstansai
			$2 \cdot 10^6$ ciklusszám felett C_3
UW	172,5	116,7	$4,7 \cdot 10^{28}$

Ezek után a megengedett ciklusszám meghatározható. Ha a $\Delta\sigma^* > \Delta\sigma_D$, akkor az alábbi képleteket kell alkalmazni hegesztett kötésekre illetve azokon kívülre [3]:



$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^{*2}. \quad (24)$$

$$N = \left(\frac{46000}{\Delta\sigma^* - 140}\right)^2. \quad (25)$$

Ha a feszültségek minden esetben kisebbek a $\Delta\sigma_D$ -nél, akkor a ciklusszám elméletileg végtelen. Ha a feszültségi tartomány a levágási feszültség alatt van, akkor eltekintünk a fáradás hatásától.

Ha a $\Delta\sigma^*$ a levágási határfeszültség és a kifáradási határfeszültség közé esik, akkor a ciklusszámra az alábbi összefüggések érvényesek hegesztett kötésekre és az azokon kívüli területekre [3]:

8. táblázat: Az osztályok értéke [3]

Részlet-szám	Kötés típusa	Ábra	1-es vagy 2-es tesztcsoport	3-as tesztcsoport	Megjegyzés	Kapcsolódó táblázatok
1.5	Teljes beolvadású tompavarrat egy oldalról hegesztve		63 40	40	Roncsolásmentes anyagvizsgálat után a varrat jelentős hibától mentes Ha biztosítani lehet a teljes beolvadás Ha a belső oldalt nem lehet vizuálisan vizsgálni, a teljes beolvadásról nem lehet meggyőződni Minden egyéb esetben	S1.1-től S2.4-ig, DE1. CE1.2, FE3
1.6	Teljes beolvadású tompavarrat egyoldali folyamatos megtámasztással		56 40	40	Csak körvarratok, a varrat minimális magassága egyenlő a lemeztávolsággal Többsoros varrat megbizonyosodva a gyök teljes beolvadásáról Egysoros varrat Minden egyéb esetben	S2.1-től S2.4-ig

$$N = \frac{C_2}{(\Delta\sigma^*)^5}, \quad (26)$$

$$N = \frac{C_3}{(\Delta\sigma^*)^{10}}. \quad (27)$$

Az osztály pedig az alábbi EN 13445-3-ban szereplő 8. táblázat segítségével lehet megállapítani. A 40-es osztály és a hozzá tartozó konstansok kerültek felhasználásra.

A számoláshoz a ΔP értéket a már előzetesen felvett az ammóniagyártás kisnyomású eljárására jellemző értékek 10%-ában került meghatározásra. A számoláshoz a ΔP értéket a már előzetesen felvett az ammóniagyártás kisnyomású eljárására jellemző értékének 10%-ában került meghatározásra.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az általunk vizsgált nyomástartó edény hegesztési költségének meghatározása során az első lépés a hozaganyag kiválasztása volt az egyes acélokhoz négy különböző hegesztési eljárásra. Maga a kiválasztási folyamat az acélok kémiai összetétele alapján történt. A varratelőkészítés és a lemeztávolságok, valamint a hegesztési hossz segítségével meghatározható a leolvasztandó hozaganyag tömege és a hozaganyagok kereskedelmi költségének segítségével a hozaganyag költsége is. Az egyes ívhegesztő eljárásokra jellemző leolvasztási teljesítményekből visszaszámolva az ív égési idejét a hegesztési folyamat során, és ebből az üzemi tényező segítségével a korrigált hegesztési időt. Végezetül

feltártuk egy lehetséges számítási módot a nyomástartó edények fáradására, azon belül az elviselt ciklusszámra vonatkozóan, melyet az MSZ-EN 13445-3-as szabvány elírásai alapján lett elvégezve. További feladat a megbízhatóság-alapú költségsszámítás, amint az bordázott lemezeknél került kiszámításra [4].

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű "Fiatallódó és Megújuló Egyetem - Innovatív Tudásváros - a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése" projekt részeként - a Széchenyi 2020 keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://eng.esab.co.kr/Web-App/Upload/2012/03/28/Stainless%20Steel%20Welding%20Handbook.pdf> (a letöltés dátuma 2018.09.20)
- [2] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-costs-096> (a letöltés dátuma: 2019.03.05.)
- [3] MSZ-EN 13445-3 2002: Unfired pressure vessels part-3: Design
- [4] Luis M.C. Simões, Jármai Károly, Virág Zoltán: Hosszirányú merevítőekkel ellátott hegesztett lemezek megbízhatóság alapú költségsszámítása, GÉP, Vol. LXIX. No. 2, 45-48. old. 2018, ISSN 0016-8572