

XIII. MAGYAR MECHANIKAI KONFERENCIA

MaMeK, 2019

Miskolc, 2019. augusztus 27-29.

Hegesztett nyomástartó edény optimalálása

Erdős Antal Gábor¹ Dr. Jármái Károly²

^{1,2} Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék

3515 Miskolc-Egyetemváros

vegyerda@uni-miskolc.hu, altjar@uni-miskolc.hu

Absztrakt: Jelen tanulmány egyik célja a hegesztett nyomástartó edényeknél elérhető költségcsökkentés elérése hő- és korrózióálló acélok alkalmazásával. Ennek során több a fent említett acélok három nagy csoportjába tartozó acélminőségek kerülnek összehasonlításra több szempontból is, melyek a következők: a tartály köpenyének tömege, a legkisebb számított falvastagság, a hegesztés hozaganyag költsége, a hegesztési folyamat ideje és az edény adott feltételek mellett a tönkremenetelig elviselt ciklusszáma. Ezek közül jelen cikkben a tömeg és az alapanyag költsége szempontjából kerülnek elvégzésre a vizsgálatok. További feladat az optimalással kapott falvastagság eredmények megfelelőségének visszaellenőrzése háromtengelyű feszültségállapokra analitikusan és végeselem szoftverrel is.

Kulcsszavak:nyomástartó edény, optimalálás, költségszámítás

1. Bevezetés

Napjaink iparának egyik meghatározó ágazata a vegyipar, különösen igaz ez hazánk északkeleti régiójára, gondoljunk csak a MOL Petrolkémiaira. Ezen vegyi üzemek számos korrózióálló közeggel dolgoznak, és az ilyen berendezések készítése elképzelhetetlen a korszerű korrózióálló acélok nélkül. Ezen acélok korrózióálló tulajdonságát a magas króm ötvözés biztosítja. További fontos ötvözők a nickel, a molibdén, a mangán, valamint kis mennyiségben tartalmazhatnak rezet és nitrogént is. Csoportosításukat szokás szerint az alapacél szöveteleme szerint szokás elvégezni, ennek alapján megkülönböztethetünk ausztenites, ferrites, illetve a kettő tulajdonságait ötvöző duplex acélokról. Széleskörű ipari alkalmazásuknak egyik legnagyobb hátránya a magas ötvözőtartalomból adódó költségük. Azonban ha a kezelendő közeg megkívánja az alkalmazásukat, úgy az megkerülhetetlen, ezen okból kifolyólag megéri ezen acélokkal is foglalkozni.

2. Nyomástartó edény falvastagsága

A számítások 23 különböző hő- és korrózióálló acélra lettek elvégzve, melyek közül ausztenites az alábbi: X1 CrNiMoCuN 25-20-7, X1 CrNiMoCuN 25-25-5, X2 CrNiMo 17-12-2, X2 CrNiMoN 17-11-2, X2 CrNiMoN 17-13-3, X2CrNi 18-9, X2CrNiMo 18-14-3, X2CrNiMo 18-15-4, X5 CrNiN 19-9, X5CrNi18-10, X6 CrNiMoTi 17-12-2, X6 CrNiTi 18-10. Ferrites: X2 CrMoTi 17-1, X2 CrMoTi 18-2, X2 CrNiN 23-4, X2CrTi 12, X2CrTiNb18, X3CrTi 17, X6 CrMoNb 17-1. A duplexek: X2 CrNiMoN 22-5-3, X2 CrNiMoN 25-7-4, X2 CrNiN 18-7.

A konkrét nyomástartó edény egy ammónia szintézis konverter, melynek a méretezését és az optimalálása kerül elvégzésre. A folyamat során, annak a térfogatát, vagy a sűrűség ismeretében a tömegét kell minimálni, így nyerhető a legkisebb alapanyagköltség a berendezéshez. Ehhez első lépés a falvastag meghatározása. Ez a falvastagság fogja betölteni az optimalálási folyamat során a változó szerepét.

A szintézisfolyamat során a konverterbe történő bevezetés előtt a gázt komprimálni kell, erre leggyakrabban dugattyús kompresszort alkalmaznak. A kompresszorban politróp reakció játszódik le, melynek alapegyenlete a következő [1]:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (1)$$

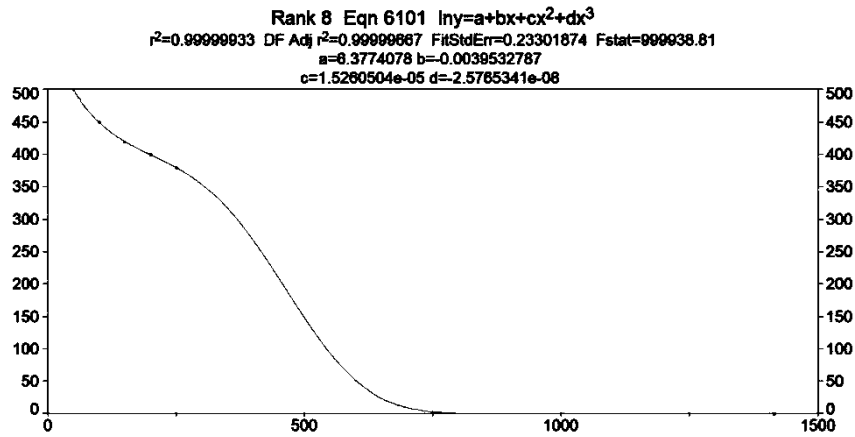
Innen a p_2 -t kifejezve, ezen a nyomáson lép ki a közeg a kompresszorból T_2 hőmérsékleten. Ezek lesznek azok a paraméterek melyeken a vizsgálatok elvégzésre kerülnek. Ez három eltérő hőmérséklet és nyomás párosítás lesz.

A vizsgált hőmérsékletek: 200 °C-on, 400 °C-on és 500 °C-on, valamint a 3 jellemző nyomásérték: 100 bar, 150 bar és 200 bar. Ezen értékek mind az ammóniagyártásra jellemző értékek, mégpedig egy-egy a kisnyomású eljárásra, egy a középnyomásúra, illetve a nagynyomásúra.

Egy vizsgált korrózióálló acél folyáshatár-hőmérséklet függvénye a 10028-7-es szabvány adatai alapján a létrehozott függvény látható az 1. ábrán.

X2 CrNiMoN 25-7-4:

$$\ln f_{y0,2} = 6,377 - 0,0039 \cdot T + 1,526 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 2,576 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 \quad (2)$$



1. ábra: Az X2 CrNiMoN 25-7-4 acél folyáshatár-hőmérséklet függvénye

Itt, és valamennyi ilyen függvény esetén a T helyére a három előre felvett hőmérsékletek közül a megfelelőt kell behelyettesíteni az adott acélra jellemző függvénybe. A falvastagságra vonatkozó képletet felírva, az MSZ EN 13445-3 szerint [2]:

$$s = \frac{D_e \cdot P}{2 \cdot f_d(T) \cdot z + P} + c. \quad (3)$$

Amelyben a D_e a konverter hengeres köpenyének külső átmérője, P a nyomás az edény belsejében (ennek értéke mindig az egyike a korábban felvetteknek), f_d a tervezési feszültség az adott hőmérsékleten, S a biztonsági tényező, z a hegesztési tényező, értéke 1 lesz, a c pedig a falvastagsági pótlék. A biztonsági tényezőről és az alkalmazandó anyagjellemzőről is ad előírást az MSZ EN 13445-3 táblázatos formában, ez összegezve a 1. táblázatban látható.

	Normál üzemi állapot	Tesztállapot
Nem ausztenites acélok $A < 30\%$	$f_d = \min \left\{ \frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_{m/20}}{2,4} \right\}$	$f_{teszt} = \left\{ \frac{R_{p0,2/t \text{ teszt}}}{1,05} \right\}$
Ausztenites acélok $30\% < A \leq 35\%$	$f_d = \left\{ \frac{R_{p1,0/t}}{1,5} \right\}$	$f_{teszt} = \left\{ \frac{R_{p1,0/t \text{ teszt}}}{1,05} \right\}$
Ausztenites acélok $A > 35\%$	$f_d = \max \left[\left\{ \frac{R_{p1,0/t}}{1,5} \right\}; \min \left\{ \frac{R_{p1,0/t}}{1,2}; \frac{R_{m/t}}{3} \right\} \right]$	$f_{teszt} = \max \left\{ \frac{R_{p1,0/t \text{ teszt}}}{1,05}; \frac{R_{m/t \text{ teszt}}}{2} \right\}$
Acélöntvény	$f_d = \min \left\{ \frac{R_{p0,2/t}}{1,9}; \frac{R_{m/20}}{3} \right\}$	$f_{teszt} = \left\{ \frac{R_{p0,2/t \text{ teszt}}}{1,33} \right\}$

1. táblázat: A tervezési feszültségek [2]

A táblázat mutatja, hogy az egyes acélokra, eltérő anyagjellemzőt és biztonsági tényezőt kell alkalmazni attól függően, hogy az adott acél szövetszerkezete hány százalékban tartalmaz ausztenitet. Ferrites acélokra a felső 30% ausztenit tartalom alatti acélokra érvényes képleteket, az ausztenitesekre és a duplexekre a 35% felettiekre érvényes képleteket kell alkalmazni. A falvastagsági pótlék a korrózió, erózió hatása miatti kompenzáció, melyet a kiszámított falvastagsághoz kell hozzáadni. Ennek értéke függ a berendezés üzemelési hőmérsékletétől, a nyomástartó edényben lévő és a vele kívülről érintkező közegektől, valamint az acéltól melyből a berendezés készül. A vizsgált berendezésben ammónia szintézis reakció zajlik magas hőmérsékleten. Mivel az acélok, amelyek a vizsgálat tárgyát képezik, azok emlyekből a konverter készülhet mindegyike korrózióálló, ebből kifolyólag további pótlékolásra nem szorul. Az ammónia, mint közeg nem veszélyes ezekre a típusú acélokra, ezért a forró gázokra érvényes 1,6 millimétert került hozzáadásra. Ezt a pótlékolást a köpeny külső és belső felületére is el kell végezni, így a teljes korróziós pótlék, melyet figyelembe vettem 3,2 mm. Ennek a számítása kerül elvégzésre 3 hőmérsékleten és 3 nyomáson, összesen tehát 9 esetben.

A reakció megengedett hőmérséklet és nyomástartománya a következő [1]:

$$200^{\circ}\text{C} \leq T_2 \leq 700^{\circ}\text{C}, \quad (4)$$

$$980665 \text{ Pa (100 at)} \leq p_2 \leq 98066500 \text{ Pa (1000 at)}. \quad (5)$$

A z-vel jeölt hegesztési tényező értékét mutatja az alábbi 2 ábra:

Megnevezés	Varratkategória			
	1	2	3	4
Varrattényező (varrat jószágfok)	1	1	0.85	0.7
Szerkezeti anyag	nincs korlátozás	szénacél $R_{eH} \leq 275$, ausztenites acél, nikkelötvezet, saválló acél	szénacél $R_{eH} \leq 360$, ausztenites acél, nikkelötvezet, saválló acél	szénacél $R_{eH} \leq 275$, ausztenites acél
Hegesztési technológia	nincs korlátozás		gépi hegesztés	nincs korlátozás
Röntgen, vagy ultrahangos varratvizsgálat mértéke	100%		10-25%	0%
Mágneses, vagy penetrációs varratvizsgálat mértéke	10%		10%	0%

2. ábra: A hegesztési tényező [3]

Ahogy látható a falvastagság számítások eredményei bőven a vastag lemezek kategóriájába esnek. Az acélgyártó azonban a vastag lemezekre nem tudja garantálni azt a folyáshatárt, melyet az ugyanabból az acélból készült, de lényegesen vékonyabb lemezekre, ez a határ 25 mm, alatta vékony felette vastag lemezzel beszélhetünk. Ennek oka a hibák jelenléte az acélban. A nagyobb vastagságban a hibák jelenlétének valószínűsége nagyobb, mint a vékonylemezekben. Erre vonatkozó információt találhatunk a konkrét acélgyártó honlapján az adott termékre vonatkozó leírásban, vagy az EN 10028-as szabvány vonatkozó fejezetében, a korrózióálló acélok az EN 10028-7 foglalkozik. A mechanikai tulajdonságokkal foglalkozó fejezetben található információ továbbá a százalékos szakadási nyúlásról és az ütőmunka értékekről, és a feszültségkorrózióval szembeni ellenállásáról is, ahogy az az alábbi 2. táblázatban is látható.

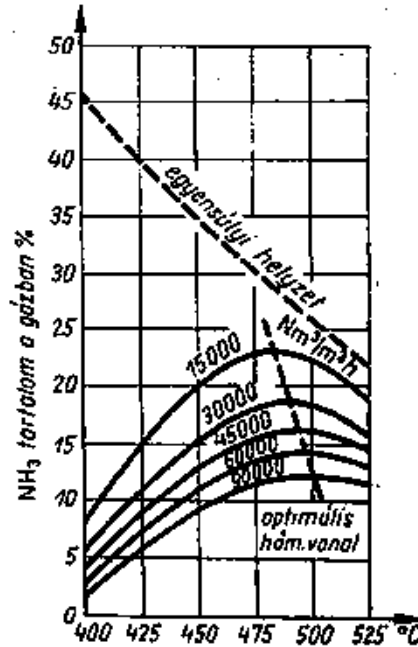
Acélfajta		Termék típus	Maximális lemezvastagság	$R_{p0.2\%}$		R_m	Szakadási nyúlás	Ütőmunka			Szemcseközi korrózióval szembeni ellenállás
Acél neve	Acél száma			szalag szélessége <300 mm	szalag szélessége >300 mm			hosszirány 20 °C	keresztirány 20°C	keresztirány 40°C	
X2 CrNiMo N 25-7-4	1.4410	C	6 mm	535 MPa	550 MPa	750 - 1000 MPa	20 %	100 J	60 J	40 J	igen
		H	12 mm	515 MPa	530 MPa						
		P	75 mm	515 MPa	530 MPa	730 - 930 MPa					

2. táblázat: Szabvány szerinti mechanikai tulajdonságok [4]

A terméktípusnál szereplő betűk jelentése a következő: C a hidegen hengerelt szalag, H a melegen hengerelt szalag és P a melegen hengerelt lemez. Ezek a szabványból vett értékek szobahőmérsékletre vonatkoznak, de emelt hőmérsékleten is szükség van rájuk. Feltételezve, hogy a vastag lemez folyáshatára is azonos lefutást követ a hőmérséklettel, akkor a vastagabb lemezre engedett folyáshatárt elosztva a vékonylemezekre vonatkozó folyáshatárral nyerhető egy gyengítési tényező, mely minden acéltípusra jellemző, ezzel a tényezővel megszorozva a vékonylemezekre már kiszámolt magas hőmérsékleten érvényes folyáshatárt nyerhető a vastagabb lemezre érvényes. Ezután ezzel a folyáshatárral ismét el kell végezni a falvastagság kiszámítását.

3. A nyomástartó edény optimalizálása

A feladat a tartály optimalizálása, ez a térfogat, vagy az adott hőálló acél sűrűségének ismeretében a tartály tömegének minimalizálását jelenti. Az optimalizálás célfüggvénye az a köpeny térfogata, melynek értéke nem változtatható meg túlzottan nagy mértékben, mert a gáz tartózkodási ideje sem változhat nagyobb mértékben, ha mégis akkor nem követhető az optimális hőmérséklet lefutás. Így a konverter mérete maximálisan $\pm 10\%$ -ot változhat. A vizsgált konverter belső átmérője 1200 mm, a magassága $h=16700$ mm, a külső átmérője pedig 1400 mm. Az egész konverterre kiterjedő arányos változást feltételezve, mind a külső és a belső térfogat is $\pm 10\%$ -ban térhet el az eredetitől. Ez az optimális lefutás látható a 3. ábrán [1].



3. ábra: A konverter optimális hőmérsékletvonalai [1]

Az eredeti belső térfogat:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot ((600\text{mm})^2) \cdot 16700\text{mm} = 1,8887 \cdot 10^{10}\text{mm}^3. \quad (6)$$

Az eredeti konverter külső térfogata:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = \pi \cdot ((700\text{mm})^2) \cdot 16700\text{mm} = 2,5707 \cdot 10^{10}\text{mm}^3. \quad (7)$$

Így a belső térfogatra vonatkozó intervallum:

$$1,6983 \cdot 10^{10}\text{mm}^3 \leq V \leq 2,0757 \cdot 10^{10}\text{mm}^3. \quad (8)$$

És a külsőre:

$$2,3137 \cdot 10^{10}\text{mm}^3 \leq V \leq 2,8278 \cdot 10^{10}\text{mm}^3. \quad (9)$$

Ezekből a térfogatra vonatkozó korlátokból visszszámolható a sugarak határértékei, amellet a feltétel mellett, hogy a tartály magasságát állandó értéken hagyjuk:

$$r_{alsó} = \sqrt{\frac{V_{balsó}}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{1,6983 \cdot 10^{10}\text{mm}^3}{\pi \cdot 16700\text{mm}}} = 568,9499 \text{ mm}. \quad (10)$$

$$r_{felső} = \sqrt{\frac{V_{bfelső}}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{2,0757 \cdot 10^{10}\text{mm}^3}{\pi \cdot 16700\text{mm}}} = 628,9978 \text{ mm}. \quad (11)$$

$$R_{f_{fels\acute{o}}} = \sqrt[2]{\frac{V_{kf_{fels\acute{o}}}}{\pi \cdot h}} = \sqrt[2]{\frac{2,8278 \cdot 10^{10} \text{mm}^3}{\pi \cdot 16700 \text{mm}}} = 734,1607 \text{ mm}. \quad (12)$$

$$R_{f_{als\acute{o}}} = \sqrt[2]{\frac{V_{kb_{els\acute{o}}}}{\pi \cdot h}} = \sqrt[2]{\frac{2,3137 \cdot 10^{10} \text{mm}^3}{\pi \cdot 16700 \text{mm}}} = 664,0799 \text{ mm}. \quad (13)$$

Ezen határok között kell lennie a tartály átmérőinek azzal a feltétellel, hogy a különbségüknek meg kell egyeznie a falvastagsággal. A falvastagság megegyezik a hengeres köpeny rész külső és belső sugarainak a különbségével is. Így a falvastagságok kiszámítása után, a térfogatra történő optimalálás során is adódik két sugár, melyek különbségeinek meg kell egyeznie a kiszámolt falvastagsággal.

Ez az egyezés biztosítható az optimalálás során a következő képpen: Microsoft Excel visszaszámolja a falvastagságot is, és ahhoz határozza meg azt a két sugarat, melynél a tartály hengeres részét adó acél térfogata a legkisebb lesz, továbbá a Solverben való feltétel megadása során a következő egyenlőséget kell megadni: a számolt falvastagság legyen egyenlő a két sugár különbségével is. Ezzel a módszerrel minden vizsgált acéltípusra meghatározható az adott hőmérséklet és nyomás párosításhoz tartozó optimális (minimális) anyagterfogat, és vele a tartály külső és belső sugarai és azok különbségeként a falvastagság is.

Ezen adatok alapján az adott esetekre választható egy-egy optimális anyag, egyrészt a költség, másrészt pedig a tömeg, a beépített anyagmennyiség szempontjából. Specifikusan az X2 CrNiMoN 25-7-4 jelű duplex acél kilogrammonkénti ára 964 forint. A számított geometria és az azokból adódó köpeny tömege és anyagköltsége látható a 3. és 4. táblázatokban.

	Az optimalálással kapott külső átmérő [mm]	Az optimalálással kapott belső átmérő [mm]	Az optimalálással kapott falvastagságok [mm]
T₁ és p₁	656,4238	628,9978	27,426
T₁ és p₂	664,0799	624,8693	39,2106
T₁ és p₃	664,0799	613,2958	50,7841
T₂ és p₁	664,0799	625,3422	38,7377
T₂ és p₂	664,0799	608,2772	55,8027
T₂ és p₃	664,0799	591,6568	72,4231
T₃ és p₁	664,0799	598,2096	65,8703
T₃ és p₂	664,0799	569,0412	95,0387
T₃ és p₃	697,9469	568,9499	128,997

3. táblázat: Az optimális anyagok

	A térfogat [mm ³]	A tömeg [kg]	A költség [Ft]
T₁ és p₁	1848647486	14511,88	9316629
T₁ és p₂	2650239360	20804,38	13356411
T₁ és p₃	3401669898	26703,11	17143396
T₂ és p₁	2619235375	20561	13200161
T₂ és p₂	3723150294	29226,73	18763561
T₂ és p₃	4768940297	37436,18	24034028
T₃ és p₁	4360083577	34226,66	21973513
T₃ és p₂	6145432460	48241,64	30971136
T₃ és p₃	8569723308	67272,33	43188835

4. táblázat: Az optimális anyagok

Mindkét esetben a minimális értékre kell törekedni. Ezeket az egyes szempontokból legjobb anyagokat tartalmazza az alábbi 5. táblázat.

	A tömeg alapján	Az anyagköltség alapján
T ₁ és p ₁	X2 CrNiMoN 25-7-4	X2 CrNiMoN 25-7-4
T ₁ és p ₂	X2 CrNiMoN 25-7-4	X3 CrTi 17
T ₁ és p ₃	X2 CrNiMoN 25-7-4	X2 CrNiMo 17-12-2
T ₂ és p ₁	X2 CrNiMoN 25-7-4	X2 CrNiMo 17-12-2
T ₂ és p ₂	X2 CrNiMoN 25-7-4	X2 CrNiMo 17-12-2
T ₂ és p ₃	X2 CrNiMoN 25-7-4	X2 CrNiN 18-7
T ₃ és p ₁	X6 CrMoNb 17-1	X2 CrNiMo 17-12-2
T ₃ és p ₂	X6 CrMoNb 17-1	X2 CrNiMo 17-12-2
T ₃ és p ₃	X6 CrMoNb 17-1	X2 CrNiMo 17-12-2

5. táblázat: Az optimális anyagok

A táblázatból az látszik, hogy ha pusztán a beépített anyag tömegét vesszük figyelembe, akkor T₁ és T₂ hőmérsékleten a X2 CrNiMoN 25-7-4 acél bizonyul a legjobbnak, a legmagasabb T₃-on pedig a X6 CrMoNb 17-1 jelű.

Ha viszont költség oldalról vizsgáljuk az acélokat, akkor a legkisebb hőmérsékleten és nyomáson a legerősebb acél bizonyul a leggazdaságosabbnak is, vagyis ebben az esetben a drágább acél annyival erősebb is, hogy azt költség szempontjából is megérje alkalmazni, ez azonban csak ebben az egy esetben igaz. A nagyobb p₂ nyomáson, de hasonló hőmérsékleten az X3 CrTi 17 a legjobb, hasonló szempontok szerint, melynek folyáshatára nem sokkal marad el az előző acéltól, de ára annál kedvezőbb.

A maradék 7 esetből 6 alkalommal a X2 CrNiMo 17-12-2 acél a legkedvezőbb költség szempontjából, mely a kedvező folyáshatár és költség párosításának köszönhető (ennek az acélnek az egyik legkisebb a tömegre vonatkoztatott költsége, amellet, hogy a mechanikai jellemzői nem sokkal maradnak el az ebből a szempontból legjobbaktól). Az említett egy kivételes esetben a X2 CrNiN 18-7 acél bizonyult a megfelelőnek.

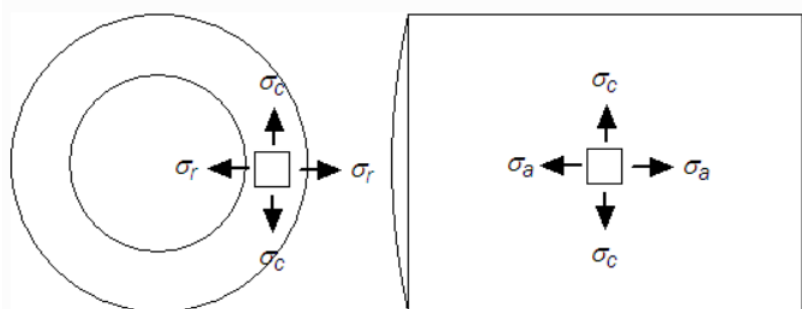
A költség szerinti megközelítés egyértelmű. Viszont a tömeg szerinti megközelítésnek is van létjogosultsága például abban az esetben, ha a nyomástartó edényt egy meglévő keret fogja alátámasztani, melynek ismert a teherbírása, akkor abban az esetben az adott tömegű szerkezet kiválasztása a feladat minimális költség mellett. Ekkor az X2 CrNiMoN 25-7-4 a legjobb választás.

4. Ellenőrzés háromtengelyű feszültségre

Ez a falvastagság csak akkor igaz, ha fennáll a vékonyfalúság feltétele, amely a következőt takarja: a tartály falvastagságának és a külső átmérőjének aránya kisebb kell legyen, mint 0,16 [2].

$$\frac{s}{D_o} \leq 0,16 \quad (14)$$

Abban az esetben ha ez a reláció nem áll fenn, akkor a nyomástartó edény nem tekinthető vékony falúnak. Mivel a kiszámolt falvastagságok a vastaglemezek kategóriájába esnek, ezért habár a membránállapotra vonatkozó feltétel teljesül a kiszámolt és optimált falvastagságot, valamint az ezekre érvényes külső és belső átmérőt ellenőrizni háromtengelyű feszültségi állapotra. Ez az állapot látható az alábbi 4. ábrán.



4. ábra: A háromtengelyű feszültségállapot [5]

Ekkor az edény falában a három feszültségkomponens a következő: radiális komponens, az axiális és a kerületi irányban ébredő úgynevezett Hoop-feszültség. Kiszámításukra az alábbi összefüggéseket kell alkalmazni [5].

$$\sigma_a = \frac{p_i \cdot r_i^2 - p_o \cdot r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (15)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i \cdot r_i^2 - p_o \cdot r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_o^2 \cdot r_i^2 \cdot (p_o - p_i)}{r_i^2 \cdot (r_o^2 - r_i^2)} \quad (16)$$

$$\sigma_c = \frac{p_i \cdot r_i^2 - p_o \cdot r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_o^2 \cdot r_i^2 \cdot (p_o - p_i)}{r_i^2 \cdot (r_o^2 - r_i^2)} \quad (17)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_r^2 + \sigma_c^2} \quad (18)$$

Amely összefüggésekben szereplő tagok a következők:

σ_a az axiális irányú feszültség,

σ_r a radiális irányú feszültség,

σ_c a kerületi irányú feszültség,

p_i a nyomástartó edény belsejében uralkodó nyomás, ez megegyezik az általam választott nyomásértékek egyikével (p_1, p_2, p_3),

p_o a külső nyomás, ez esetben egyezik a légköri nyomással, mely 1 bar, azaz 0,1 MPa,

r_i a nyomástartó edény belső sugara,

r_o a nyomástartó edény külső sugara,

σ_r a redukált feszültség.

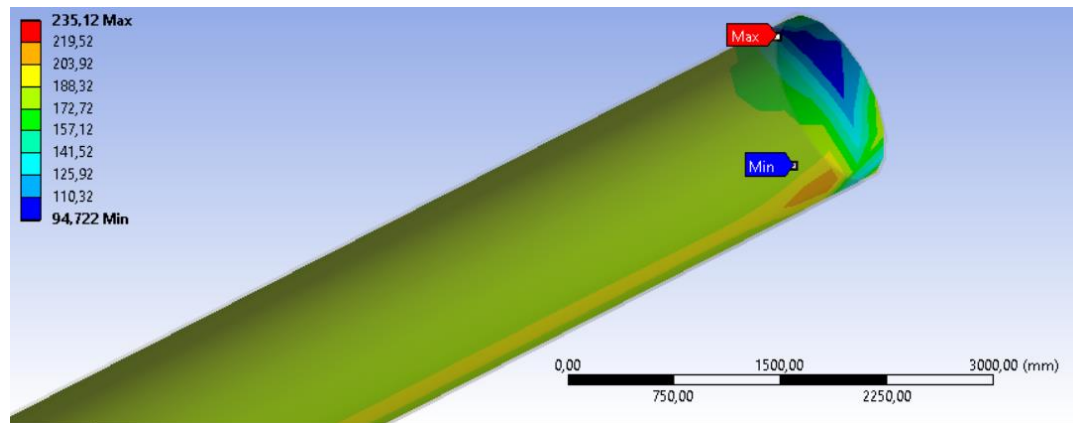
Akkor felel meg a kiszámolt és optimált falvastagság és geometria, ha a redukált feszültség kisebb, mint a tervezési feszültségi (az adott anyagjellemző és a biztonsági tényező hányadosa). A számítás eredményei láthatók a 6. táblázatban.

$$\sigma_r \leq f_d \quad (19)$$

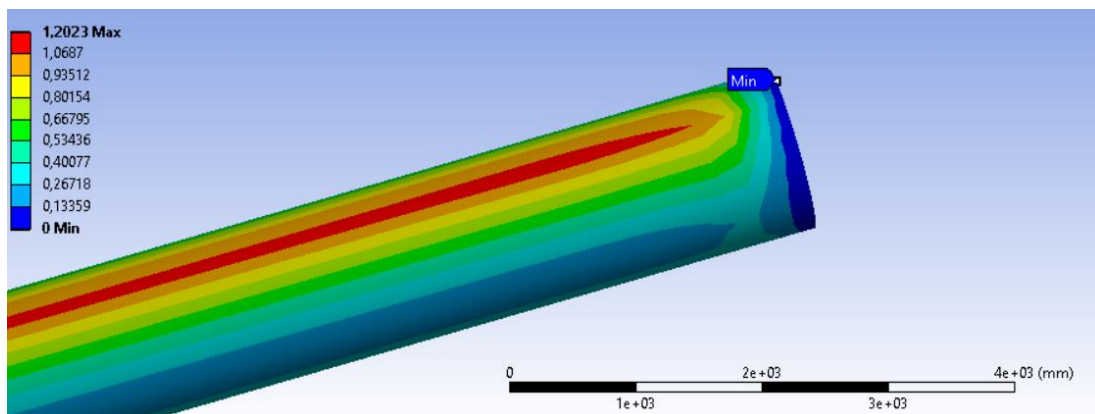
	A redukált feszültség [MPa]	A tervezési (megengedett) feszültség [MPa]
T₁ és p₁	257,1932	269,1187
T₁ és p₂	179,8012	269,1187
T₁ és p₃	137,1489	269,1187
T₂ és p₁	274,1171	181,8666
T₂ és p₂	186,9374	181,8666
T₂ és p₃	141,5953	181,8666
T₃ és p₁	209,3682	100,964
T₃ és p₂	140,8965	100,964
T₃ és p₃	106,1808	100,964

6. táblázat: A redukált és a megengedett feszültségek

A táblázat adatiból tisztán látszik, hogy erre az acélra a legkisebb hőmérsékleten, mely 100 °C mindegyik nyomásértékre megfelel háromtengelyű feszültségre számítások alapján. A legerjedtebb ammóniagyártó eljárás a kisnyomású vagy Haber-Bosch eljárás, az erre jellemző nyomás-hőmérséklet érték a vizsgáltak közül a p₁ és a T₁ párosítás áll a legközelebb. Így a továbbiakban ennek az ellenőrzése fog megtörténni az "Ansys 2019 R1" szoftver segítségével. A feszültségeloszlás látható az 5. és az alakváltozás a 6. ábrán.



5.ábra: A feszültségeloszlás a konverter köpenyében



6.ábra: A converter köpeny alakváltozása

A számítással kapott érték a feszültségre 257,1932 MPa, míg a szoftverrel 235,12 MPa. Ez az eltérés, amelynek értéke 8,582%. Az eltérés több forrásból is adódhat, egyik lehet például, hogy a modell pontossága nem megfelelő. Vagy az anyag megadásából, hiszen a program specifikusan nem tartalmazza az egyes acéltípusokat, alapesetben csak az előre betápláltak közül lehet választani, ezek acélra az egyszerű szerkezeti acél és a korrózióálló acél. Utóbbi azonban nem elegendően pontos a vizsgált duplex acél esetére. Emiatt ez új anyag megadását kívánta, ami elvégzésre került.

5. Összefoglalás

Bemutatásra került egy emelt hőmérsékleten üzemelő nyomástartó edény falvastagságának meghatározása és optimalítása, mely több különböző acélra került elvégzésre. Továbbá meghatározásra került a vizsgált berendezés köpenyének anyagtérfogata, tömege és ezekből adódóan az anyagköltsége. Ezutóbbi kettő szolgáltatja az összehasonlítás alapját, amelyek alapján egy rangsor került felállításra, így meghatározva az adott nyomás-hőmérséklet párosításhoz tartozó legjobbnak tekinthető acélt több szempont alapján is. Az optimált falvastagság ellenőrzésre került analitikusan és végeelem szoftverrel is.

Hivatkozások

- [1] Somló György: Vegyipari eljárások, Tankönyvkiadó, Budapest 1974
- [2] MSZ-EN 13445-3 2002: Unfired pressure vessels part-3: Design
- [3] Kollár György: A héjszerkezetek tervezésének gyakorlati kérdései (<https://docplayer.hu/14689500-A-hejszerkezetek-tervezesenek-gyakorlati-kerdesei-1-a-nyomastarto-edenyek-tervezesenek-altalanos-elvei.html> a letöltés dátuma:2018.02.04.)
- [4] DIN-EN 10028-as szabványok 2008-02: Flat products made of steels for pressure purposes
- [5] https://www.engineeringtoolbox.com/stress-thick-walled-tube-d_949.html (a letöltés dátuma:2018.11.28)