

Diplomamunka

Feladat címe:
Váltóemelő függeszték áttervezése

Készítette:

Mátyás Gábor
MSc szintű CAD/CAM szakirányos hallgató
2020/2021 Tanév 2. félév

Konzulensek:

Dr. Szilágyi Attila

egyetemi docens
Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke

Kakuk Tibor

Folyamatmérnök
Projekt koordinátor / PPEE
ZF Hungária KFT Eger

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

Gépészmérnök mesterszak
CAD-CAM szakirány



Szám: SZG-2020/21-2-01ML.
Szerszámgépek Tanszéke
3515 Miskolc-Egyetemváros

MÁTYÁS GÁBOR

Neptun kód: RNYVBH
gépészmérnök jelölt részére

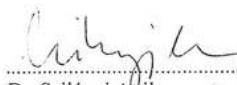
A TERVEZÉS TÁRGYKÖRE: **Berendezés tervezés**
A FELADAT CÍME: **Váltóemelő függeszték áttervezése**

A FELADAT RÉSZLETEZÉSE:

1. Tanulmányozza az 5T66.000.128 eszköz felépítését, funkcióját, körvonalazza az eszköz alkalmazása során felmerült műszaki problémákat. A problémák mélyebb értelmezéséhez végezzen szimulációs vizsgálatot fent nevezett eszközre.
2. A szimuláció elvégzéséhez 2D-s rajzok alapján készítse el az 5T66.000.128 eszköz jelenlegi 3D-s geometria alkatrészmodelljeit, majd a szükséges részletességű összeállítási modelljét.
3. Végezzen részletes szilárdsági számításokat a jelenlegi készülékre. A számítások alapján tegyen javaslatokat a fejlesztési lehetőségekre. Vizsgálja meg, van-e lehetőség a kereskedelemről beszerezni helyettesítő termékeket.
4. Vizsgálja meg, hogy más anyagválasztás esetén hogyan változnak a készülék műszaki paraméterei, mint például annak önsúlya, teherbírása.
5. Az elvégzett szilárdságtani számítások alapján vizsgálja meg, milyen konstrukciós egyszerűsítéseket lehet elvégezni a készüléken. Ezt követően – integrált mérnöki szoftver szilárdságtani modulját felhasználva – végezzen el ellenőrző szilárdságtani számításokat.
6. Tervezze meg 3D-ben a módosított készüléket, és készítse el a 2D-s gyártási dokumentációt. Készítse elő a CE jel megszerzéséhez szükséges műszaki dokumentációt.

TERVEZÉSVEZETŐ: Dr. Szilágyi Attila
Egyetemi docens
KONZULENS: Kakuk Tibor
Projekt koordinátor
A DIPLOMAMUNKA KIADÁSÁNAK IDŐPONTJA: 2021.02.10.
A DIPLOMAMUNKA BEADÁSÁNAK HATÁRIDEJE: 2021.04.30.




Dr. Szilágyi Attila egyetemi docens

1. A diplomaterv módosítása: *szükséges (módosítás külön lapon)*
nem szükséges

Miskolc,

.....
tervezésvezető

2. A tervezést ellenőriztem:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. A diplomaterv *beadható*
nem adható be

Megjegyzés:

.....

Miskolc,

.....
konzulens aláírása

.....
tervezésvezető aláírása

4. A diplomaterv *szövegoldalt,*
..... *db rajzot,*
..... *egyéb mellékletet,*
..... *CD mellékletet tartalmaz.*

5. A diplomaterv bírálatra *bocsátható*
nem bocsátható

A bíráló neve:

Miskolc,

.....
Dr. Szilágyi Attila
intézetigazgató, egyetemi docens

6. Osztályzat:

a bíráló javaslata:

a tanszék javaslata:

a Záróvizsga Bizottság döntése:

Miskolc,

.....
a Záróvizsga Bizottság elnökének aláírása

1. Eredetiségi nyilatkozat

Alulírott: Mátyás Gábor;

Neptun-kód: RNYYPBH

a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának hallgatója kijelentem
CAD/CAM szakos hallgatója kijelentem és büntetőjogi és fegyelmi felelősségem
tudatában nyilatkozom és aláírásommal igazolom, hogy a

Váltóemelő függeszték áttekintése

című projektfeladatom saját önálló munkám, az abban hivatkozott szakirodalom
felhasználása a forráskezelés szabályi szerint történt.

Tudomásul veszem, hogy plágiumnak számít:

- szószerinti idézet közlése idézőjel és hivatkozás megjelölés nélkül;
- tartalmi idézet hivatkozás megjelölés nélkül;
- más publikált gondolatainak saját gondolataként való feltüntetése.

Alulírott kijelentem, hogy a plágium fogalmát megismertem, és tudomásul veszem,
hogy plágium esetén dolgozatom visszautasításra kerül.

Miskolc 2021 év május hó 19 nap

.....

hallgató

Tartalomjegyzék

1. Eredetiségi nyilatkozat.....	3
2. Bevezetés.....	6
2.1. A probléma.....	6
2.2. A lehetséges megoldások, feladatkitűzések.....	7
3. Emelőkengyel üzemmódok.....	9
3.1. Daruzási üzemmód.....	9
3.2. Szerelési üzemmód.....	10
3.3. Szilárdsági számítás a régi konstrukcióra.....	11
3.3.1 Emelőszem ellenőrzése:.....	11
3.3.2 Emelőcsap ellenőrzése.....	13
3.3.3 Adapter tengely ellenőrzése.....	14
3.3.4 Rögzítő tengely ellenőrzése.....	15
4. Piackutatás.....	16
4.1. 1-es jelű alkatrész: U kengyel.....	16
4.2. Opció 1: DIN 582 szemes anya.....	16
4.3. Opció2: Hegeszthető rögzítési pontok[5].....	18
5. Rögzítéstechnológia.....	19
5.1. A választék.....	19
5.2. Csavarrögzítés.....	20
5.3. Elégtelen csavarbiztosítási módszerek.....	20
5.3.1 DIN 7980 Rugós alátétek, hengeres fejű csavarokhoz.....	21
5.3.2 Legyezős alátét DIN 6797 Fogazott alátét DIN 6798.....	22
5.4. Működő csavarrögzítések.....	23
5.4.1 Sasszeg+anya előírt nyomatékra meghúzva:.....	23
5.4.2 Nagyszilárdságú csavarok:.....	23
5.4.3 Kémiai menetrögzítés pl.: Loctite, Loxeal [11].....	24
5.4.4 Nordlock [12] DIN 25201.....	26
5.5. Egyéb rögzítési lehetőségek.....	30
5.5.1 Hegesztés, a nem oldható kötés.....	30
6. Korrozóvédelem.....	32
6.1. Vegyi barnítás vagy feketítés [14] [15].....	32
6.2. Porfestés [17].....	34
6.3. Galvanizálás.....	35
6.3.1 A galvanizálás technológiája [18].....	35
6.3.2 Galvánrezezés.....	35
6.3.3 Galvánnikkelezés.....	35
6.3.4 Galvánkrómozás.....	36
6.3.5 Galvánhorganyzás.....	37
6.3.6 Galvánónozás.....	37
6.3.7 Nemesfémbevonatok leválasztása.....	38
6.3.8 Tűzhorganyzás [20].....	39
6.4. Korrozíóálló acélok:[21] [22].....	40
6.5. Anyag- / bevonatválasztás:.....	41
7. Gyártástechnológia.....	42
7.1. Vízvágás (Water jet cutting).....	42
7.2. Lézervágás [29].....	45
7.3. Plazmavágás ISO 17916:2016(en) 3.10 [32].....	51
7.4. Lángvágás [33][34].....	52
7.5. Technológiák összehasonlítása.....	54

8. Anyagválasztási lehetőségek.....	55
8.1.1 EN AW-6082 (AlMgSi1)[35].....	55
8.1.2 EN AW-7022.....	55
8.1.3 EN AW-7075 [37] [38].....	56
8.1.4 S235JR (1.0037).....	56
8.1.5 S355JR (1.0045).....	56
8.1.6 EN 10025:3 S460N.....	57
8.1.7 Nagyszilárdságú termomechanikusan hengerelt acélok MSZ EN 10025-6.....	57
9. Anyagválasztás.....	58
10. Konstruktív megfontolások.....	59
11. Tapasztalatok, vélemények.....	60
12. Szilárdsági számítás a új konstrukcióra.....	70
12.1. Emelőszem ellenőrzése:.....	70
12.2. Emelőcsap ellenőrzése.....	73
12.3. Adapter tengely ellenőrzése.....	76
12.4. Rögzítő tengely ellenőrzése.....	77
13. Gazdaságossági számítások, árajánlatok összehasonlítása.....	79
13.1. Régi konstrukció:.....	79
14. Új termék bevezetése a jövőben.....	79
15. Összefoglalás.....	80
16. Summary.....	81

2. Bevezetés

2.1. A probléma

A bejövőáru részlegén az SAP-ben előírt véletlenszerű mintavétellel, és az SAP-ben lévő ellenőrzési utasítások alapján mérik és dokumentálják a bejövő komponensek mért karakterisztikáit, és ezek alapján döntenek el, hogy a szállítmány kiengedhető-e a termelésbe vagy sem.

A váltó gyártása 50-60 szerelőállomáson megy át és ugyanennyi ember keze munkája kapcsolódik hozzá. Az FMEA alapján a fontosnak ítélt karakterisztikákat mérjük és ellenőrizzük. Műszakonként ellenőrzik a folyamatok állapotát "helyességét" SPC-vel és a mestermérésekkel mérőgépek beállításait, mérőeszközök állapotát.

Még ilyen mennyiségű és minőségű mérések és ellenőrzések ellenére is előfordulhat, hogy szőrszál kerül a levesbe!

Nagyon sok egyéb tényező is bezavarhat ami miatt a végteszt (Teszt) részlegén "Nem megfelelő" minősítést kaphat a váltó, ugyanis a végátvételi követelmények is nagyon szigorúak. A tényezőket magukat nem ismeretlenem, mert ez napról-napra bővül, de a NiO státuszt kapó váltó következő állomása Visszabontó részleg, ahol a Teszt-ről kapott adatokból kiderül, hogy mi a probléma a termékkel - mi a tünet-, és váltó visszabontása során kiderítik, hogy mi a probléma gyökérok, hogy ezen tapasztalatok birtokában, meghozzák a szükséges intézkedéseket, a termelésben lévő kollégákat kitréningeljék, hogy legközelebb ne fordulhasson elő a probléma.

Miután dokumentálták a problémát és az illetéseket is értesítették, a probléma javításra kerül, vagy alkatrészcserevel, vagy cserékkel. A javítás után a váltó hamarosan vissza megy a Tesztre, hogy kiderüljön, megfelelő-e. Ha igen, akkor megy tovább a raktárba, ha nem akkor a visszabontós rész kezdődik előlről. Nagyon ritkán több probléma is lehet a termékben, és nem mindegyiket lehet könnyen kiszűrni.

Ezen függeszték ebben a lépésben jön szóba, mert ezen az eszközön végzik a kollégák a váltó problémafeltárását és javítását.

Ezen eszközön adódik át a kollégák teljes terhelése a váltótartó állomásra, ezzel daruzzák ki és be a termékeket az állomásra. A váltó önsúlya olajjal 160 kg, tehát ezen terhelést kell minimum elbírnia. A környezeti terhelést + 20kg-ra adnám meg, mert nincsenek extrém terhelések, préselések. **Még.**

Az egyik legfőbb probléma a készülékkel kapcsolatban, hogy lassú az átfutási ideje.

Az elmúlt évek alatt felbukkanó problémák a függesztékkel / váltótartó kengyelel:

- csak Németországban gyártották eddig, és egy gyártónak van CE nyilatkozata. Ebből kifolyólag, mivel teheremelő függesztékről van szó, minden javítás új teherpróbát von maga után (ez természetes), de minden konstrukciós módosítás csak a gyártó és az EK-t létrehozó közreműködésével, hozzájárulásával lehetséges.

- nagyon ritkán, de sajnos leesnek a biztosítógyűrűk a tengelyekről amivel egészség-, és életveszélyes helyzet keletkezik (4),
- Az U kengyel amibe a daruhorog beakasztható, és ezzel történik a váltó ki- és beemelése, elhajolhat, volt rá példa (1),

2.2. A lehetséges megoldások, feladatkitűzések

A beszállítóktól csak 2D-s rajzokat kapunk, de kell 3D modell is a könnyebb, gyorsabb gyárthatóság érdekében.

A fentebb említett problémákból jön a feladat lényege, hogy kellenek 3D-s modellek a régi változathoz, konstrukciós módosítások - egy kis technikai vérfrissítés átvizsgálás és módosítás.-, melyeket számításokkal kell alátámasztani egy új készülékhez.

Amennyiben a módosítások megoldhatóak, jönnek a 3D-s majd 2D-s műhelyrajzok, a gyártás, és üzembehelyezés.

Nagy vonalakban az üzembehelyezéshez kell:

- használati útmutató,
- kabantartási útmutató,
- kockázatelemzés,
- az EK, v CE,
- gyártói megfelelőségi nyilatkozat.

A 2D-s rajzok alapján a jelenlegi készülék megtervezése azért is szükséges, mert abból kiderül és jobban látható, hogy az alkatrészeknek mi a funkciója, és miért van pont ott, azaz: mire gondolt a költő.

Az áttervezés során figyelembe kívánom venni:

- Piacutatás: a jelenleg a piacon kapható termékekkel ki lehet-e váltani egy olcsóbb, de ugyanolyan biztonságos, vagy megbízhatóbb kereskedelmi termékkel,
- Gyártástechnológia: optimalizálni a konstrukciót, de inkább csak egyszerűsíteni, hogy ne legyen benne ennyi hegesztés. Ilyen bonyolultságú és összetett varratok esetén külön készülékezés kell, hogy a szerkezet ne vetemedjenel, ne torzuljon, a varratkészítés közben ne mozduljon el semmi.
- Rögzítéstechnológia: a kötőelemek funkció, teherbírás, használhatóság szempontjából való megvizsgálása
- Tapasztalatok, vélemények: az eddig előfordult hibák, nem-megfelelőségek, a kollégák használat során szerzett tapasztalatait, véleményét kell összegyűjteni egy biztonságosabb, megbízhatóbb eszköz létrehozására.

- Új termék bevezetése a jövőben: amennyiben a jövőben új, nehezebb terméket kívánnánk gyártani, lehet, hogy átlépne a kengyel a maximális terhelhetőségét, és most van lehetőség rá, hogy ezt a problémát elkerüljük.

Az a furcsa probléma állt elő, hogy az állomások felett szolgálatot teljesítő daruk maximális teherbírása max 250 kg, a kengyel maximális megengedett terhelhetősége 180 kg, a váltótartó kengyel önsúly kb 15 kg, azaz összesen 195 kg.

Emelőgép Biztonsági Szabályzat alapján a névleges teherbírás 125%-ával kell egy statikai terhelési vizsgálatot elvégezni:

“47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet Emelőgép Biztonsági Szabályzat kiadásáról

7.2.9.2.2 A külsőleg is látható hibákat szemrevételezéssel kell megállapítani. A teherfelvevőket legalább minden harmadik felülvizsgálat során statikai terhelési vizsgálatnak kell alávetni, a névleges teherbírás 1,25-szörösével.”

[1] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99900047.gm>

$195 \times 1.25 = 243,75$ → Ezt a konfigurációt 244kg-mal kell teherpróbázni.

Tehát ha növelni szeretném a névleges teherbírást a használatban lévő darukkal nem lehetne le teherpróbázni, mert elérnénk a 250kg-os limitet.

Tehát ha szeretnék egy 200+ kg-os teherbírású kengyelt, cserélni kellene a darukat, ami biztos, hogy nem fog megtörténni, mert nincs semmi értelme (jelenleg), de a jövőben problémát okozhat. Ezt az ellentmondást nem tudom, hogy jelen esetben hogy lehet feloldani, utána kell járni egy emelőgépszakértőnél. Lehet, hogy egy kitétel a használati útmutatóban vagy a megfelelőségi nyilatkozatban megfelelő, hogy a maximális teherbírás 300 kg, de csak 250 kg fog az adattáblán szerepelni a készüléken.

250 kg terhelhetőséggel 15kg-os önsúllyal a darut már $250 \times 1.25 + 15 = 327,5$ kg-mal terhelnénk. Ez már egyenértékű a daru teherpróbájával is.

A cél az lenne, hogy egy 300kg terhelhetőségű, tehát a teherpróbán maradó alakváltozás nélkül megtartó 375 kg-mal terhelt tartó tervezése. Az új változatnál ezzel az értékkel fogok számolni, de a hivatalos maximális teherbírás csak 250 kg lesz.

3. Emelőkengyel üzemmódok

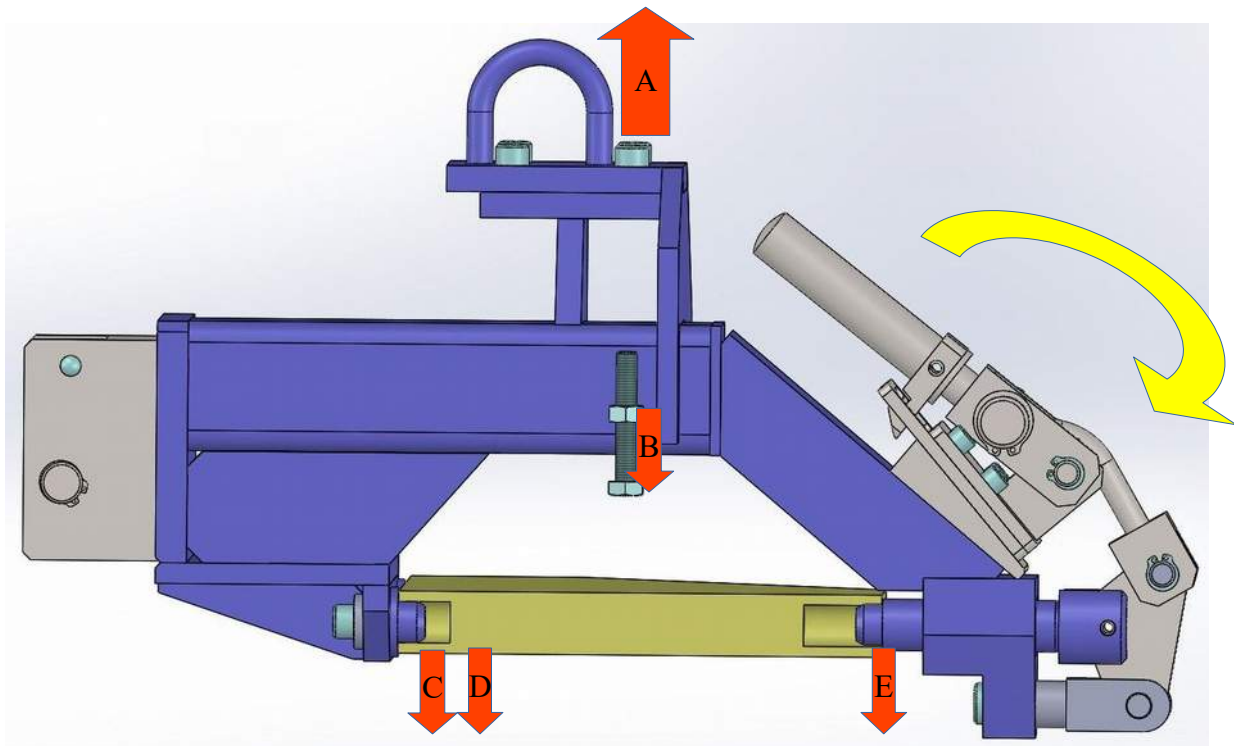
A legelején szükséges tisztázni, hogy ennek a kengyelnek több üzemmódja van és üzemmódonként változik a terhelés.

1. üzemmód: daruzás

2. üzemmód: szerelés

Az újra rajzolt modellek segítségével szemléletesebben is be lehet mutani.

3.1. Daruzási üzemmód

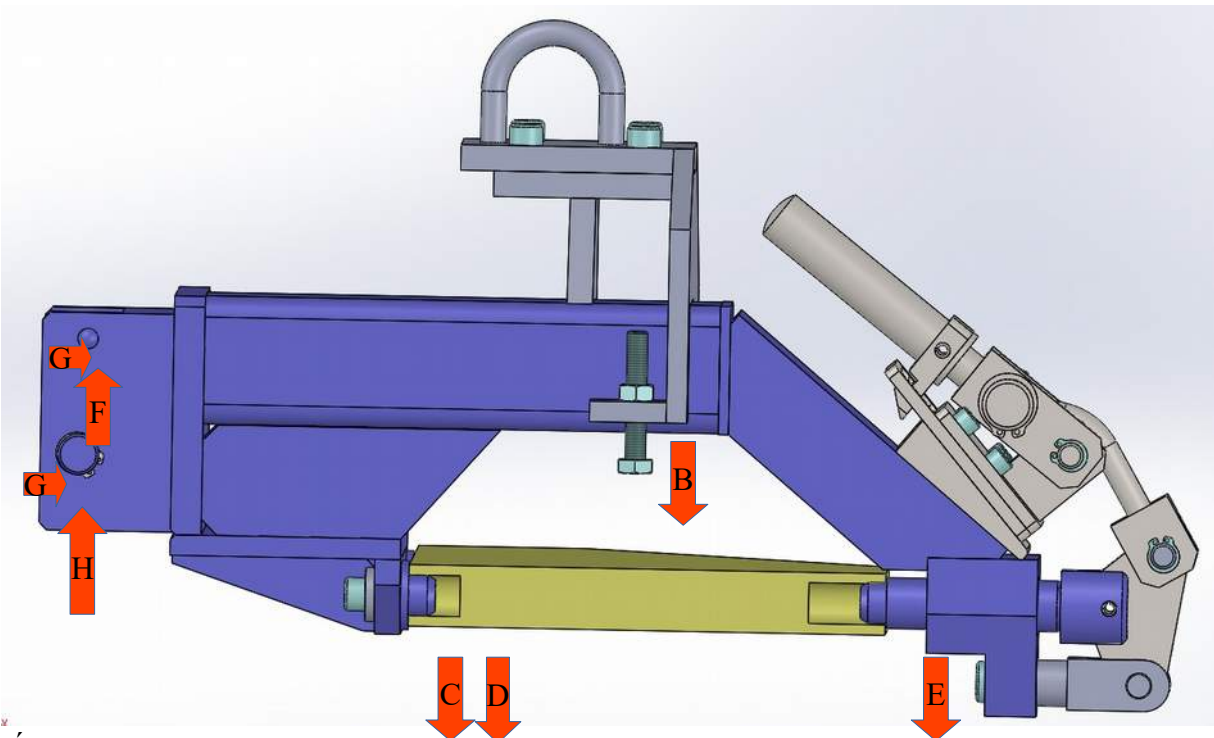


Ábra 1: Magyarázó ábra: daruzási üzemmód

Magyarázat: Az “A” pontban jelölt U kengyelbe csatlakozik a daruhorog, A “B” pont jelöli a kengyel önsúlyát, a sárga tömb jelképezi a váltót és a “C”, “D”, “E” pontok a terhelését. A “D” pont szinte csak elforgás ellen tájol (jelenleg fedésben van). A sárga nyíllal jelölt mechanizmus nyitja-zárja az “E” jelű felüggesztési pontunkat.

(2D- ábra szükséges/ajánlott a számításokhoz). A szürkén maradt alkatrészek nem vesznek fel érdemi terhelést. A 2D-s rajzok birtokában viszonylag gyorsan belátható, hogy az “A” pont és a csatlakozása valószínűleg szűk keresztmetszet lesz/lehet.

3.2. Szerelési üzemmód



Ábra 2: Magyarázó ábra: Szerelési üzemmód

Látható, hogy ebben az üzemmódban aszimmetrikus a terhelés és emiatt lényegesen nagyobb nyomatékkal terheli a kengyel a tartó állványt.

(2D ábra szükséges/ajánlott a számításokhoz)

Amint bedaruzták a szerelvényt a rendeltetési helyére az "E" pont veszi fel a függőleges irányú terhelést A "G" sík pedig tájol forgatás ellen - egy rövid ideig - ezzel párhuzamosan a darulánc meglazul, a legvégén biztosítják egy hengeres csappal az "H" ponton, és csak ezek után kerül le az "A" pontról a daruhorog.

3.3. Szilárdsági számítás a régi konstrukcióra

Alapadatok:

- Teherbírás: $T = 180 \text{ kg}$
- Saját tömeg: $m = 15 \text{ kg}$

Megengedett feszültségek:

Az MSZ EN 13155:2003+A2:2009 szabvány előírásai szerint a teherviselő elemek mechanikai szilárdságának a következő követelményeknek kell megfelelnie:

- A szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy a teher leejtése nélkül viselje el a névleges teherbírás háromszorosával egyenlő statikus terhelést még akkor is, ha maradó alakváltozás lép fel.

- A szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy maradó alakváltozás nélkül viselje el a névleges teherbírás kétszeresével egyenlő terhelést.

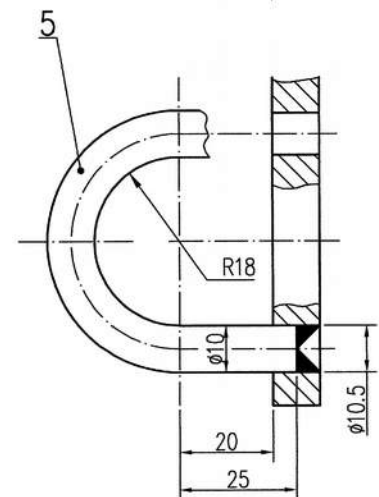
A fenti előírások értelmében a megengedett feszültségek: $\sigma_{meg} = \frac{R_m}{3}$ és $\sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{2}$

3.3.1 Emelőszem ellenőrzése:

Adatok:

- Átmérő: $d = 10 \text{ mm}$
- Emelőszem száruk középvonalainak távolsága: $L = 46 \text{ mm}$
- Horog szélesség: $B_h = 15 \text{ mm}$
- Anyag: St 52-3 EN; 10025-2:2004 alapján S355JR (1.0045)
- Folyáshatár: $R_{p0,2} = 355 \text{ MPa}$
- Szakítószilárdság: $R_m = 490 \text{ MPa}$
- Megengedett redukált feszültség:

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{p0,2}}{2} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \quad \sigma_{meg} = \frac{R_m}{3} = \frac{490}{3} = 163 \text{ MPa}$$



Ábra 3: Emelőszem

Mivel az alacsonyabb értéket kell figyelembe venni a szakítószilárdságra való méretezés a mérvadó.

- Terhelő erő:

$$F_t = (T + m) \cdot g = (180 + 15) \cdot 9.81 = 1913 \text{ N}$$

- Keresztmetszet:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{10^2 \cdot \pi}{4} = \frac{314}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

Húzás:

- Húzófeszültség:

$$\sigma = \frac{F_t}{A \cdot 2} = \frac{1913}{78.5 \cdot 2} = 12.2 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{megfelel}$$

Nyírás:

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{163}{\sqrt{3}} = 94 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{1913}{78.5} = 24.4 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{megfelel}$$

Hajlítás:

- Keresztmetszeti tényező:

$$K = \frac{d^3 * \pi}{32} = \frac{10^3 * \pi}{32} = 98.2 \text{ mm}^2$$

- Hajlítónyomaték:

$$M_h = \frac{F_t}{2} * \frac{L - B_h}{2} = \frac{1913}{2} * \frac{46 - 15}{2} = 14826 \text{ Nmm}$$

- Hajlítófeszültség:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{K} = \frac{14826}{98.2} = 151 \text{ Mpa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Redukált feszültség (HMH):

$$\sigma_{redukált} = \sqrt{\sigma^3 + 3 * \tau^2} = \sqrt{151^2 + 3 * 24.2^2} = 156.8 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Látható, hogy a 3.a “Daruzási üzemmód” fejezetben tett megjegyzésem az “A” emelőponttal kapcsolatban - gyanús, hogy ez lehet az egyik szűk keresztmetszet - beigazolódott.

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{p0.2}}{2} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \quad > \frac{R_m}{3} = \frac{490}{3} = 163 \text{ MPa}$$

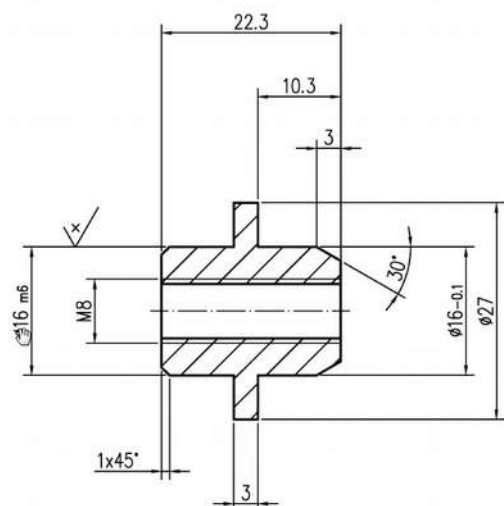
$$\sigma_{redukált} = 156.8 \text{ MPa}$$

Anyagminőség változtatásával, vagy méret növeléssel, konstrukciós változtatással meg lehet oldani a problémát.

3.3.2 Emelőcsap ellenőrzése

Adatok:

- Emelőcsapok száma: $N = 3$
- Belső átmérő: $d = 8 \text{ mm}$
- Külső átmérő: $D = 16 \text{ mm}$
- Terhelt hossz: $B = 10,3 \text{ mm}$
- Anyag: 16MnCr5 (DIN EN 10084 1.7131)
- Folyáshatár: $R_{eH} = \min 635 \text{ MPa}$ [2]
- Szakítószilárdság: $R_m = \min 1000 \text{ MPa}$ [3]
- Megengedett redukált feszültség:



Ábra 4: Emelőcsap

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{2} = \frac{635}{2} = 317.5 \text{ MPa} \quad \sigma_{meg} > \frac{R_m}{3} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ MPa}$$

Az alacsonyabb értéket kell figyelembe venni, ebben az esetben a folyáshatárra való méretezés a mérvadó.

- Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = \frac{T * g}{N} = \frac{180 * 9.81}{3} = 588.5 \text{ N}$$

Nyírás:

- Nyírt keresztmetszet:

$$A = \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} = \frac{(16^2 - 8^2) * \pi}{4} = 151 \text{ mm}^2$$

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{317.5}{\sqrt{3}} = 183.3 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{588.5}{151} = 3.9 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Hajlítás:

- Keresztmetszeti tényező:

$$K = \frac{(D^3 - d^3) * \pi}{32} = \frac{(16^3 - 8^3) * \pi}{32} = 352 \text{ mm}^3$$

- Hajlítónyomaték:

$$M_h = F_t * B = 588.5 * 10.3 = 6061 \text{ Nmm}$$

- Hajlítófeszültség:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{K} = \frac{6061}{352} = 17.2 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

- Redukált feszültség (HMH):

$$\sigma_{redukált} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{17.2^2 + 3 * 3.9^2} = 18.5 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

3.3.3 Adapter tengely ellenőrzése

Adatok

- Átmérő: $d = 8 \text{ mm}$

- Anyag: DIN6325 8xm6x60 : 1.2067 [4]

- Folyáshatár: $R_{p0.2} = 590 \text{ MPa}$

- Szakítószilárdság: $R_m = 750 \text{ MPa}$

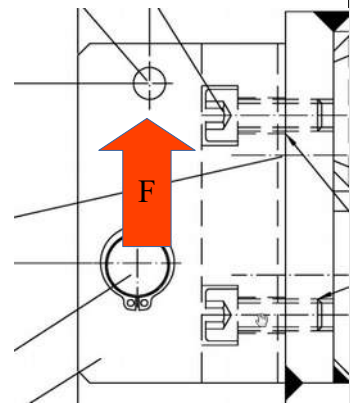
- Megengedett redukált feszültség:

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{p0.2}}{2} = \frac{590}{2} = 295 \text{ MPa} \quad \text{vagy, amelyik kisebb}$$

$$> \frac{R_m}{3} = \frac{750}{3} = 250 \text{ MPa}$$

Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = T + m \cdot g = 180 + 15 \cdot 9.81 = 1913 \text{ N}$$



Ábra 5: Adapter tengely

Keresztmetszet:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = \frac{8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = 100.5 \text{ mm}^2$$

Nyírás:

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{250}{\sqrt{3}} = 144 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{1913}{100.5} = 19 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

3.3.4 Rögzítő tengely ellenőrzése

Adatok

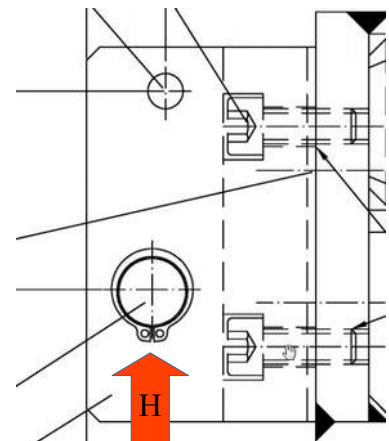
- Átmérő: $D = 16 \text{ mm}$

- Anyag: 16MnCr5; 1.7131

- Folyáshatár: $R_{eH} = \min 635 \text{ MPa}$ [2]

- Szakítószilárdság: $R_m = \min 1000 \text{ MPa}$

- Megengedett redukált feszültség:



Ábra 6: Rögzítő tengely

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{2} = \frac{635}{2} = 317.5 \text{ MPa} \quad \text{vagy, amelyik kisebb} \quad \sigma_{meg} = \frac{R_m}{3} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ MPa}$$

Az alacsonyabb értéket kell figyelembe venni, itt a folyáshatárra való méretezés a mérvadó.

Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = T + m \cdot g = 180 + 15 \cdot 9.81 = 1913 \text{ N}$$

Keresztmetszet:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = \frac{16^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = 402 \text{ mm}^2$$

Nyírás:

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{317.5}{\sqrt{3}} = 183.3 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{1913}{402} = 4.7 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Látható, hogy ebben az alkatrészben bőven van tartalék, tehát ezt nem kell módosítani.

4. Piackutatás

Abban biztos vagyok, hogy a 8HP típusú váltó tartására és emelésére alkalmas plug-and-play eszközt nem fogok találni egyetlen gyártó katalógusában sem, de arra látok esélyt, hogy néhány építőelemet le lehet cserélni.

4.1. 1-es jelű alkatrész: U kengyel

A daruhorog csatlakoztatására szolgáló U alakú kengyel. Ez veszi fel a teheremelésből származó terhelést amíg mozgatják a váltót. Szinte kizárólag függőleges irányú erőket kell felvennie.

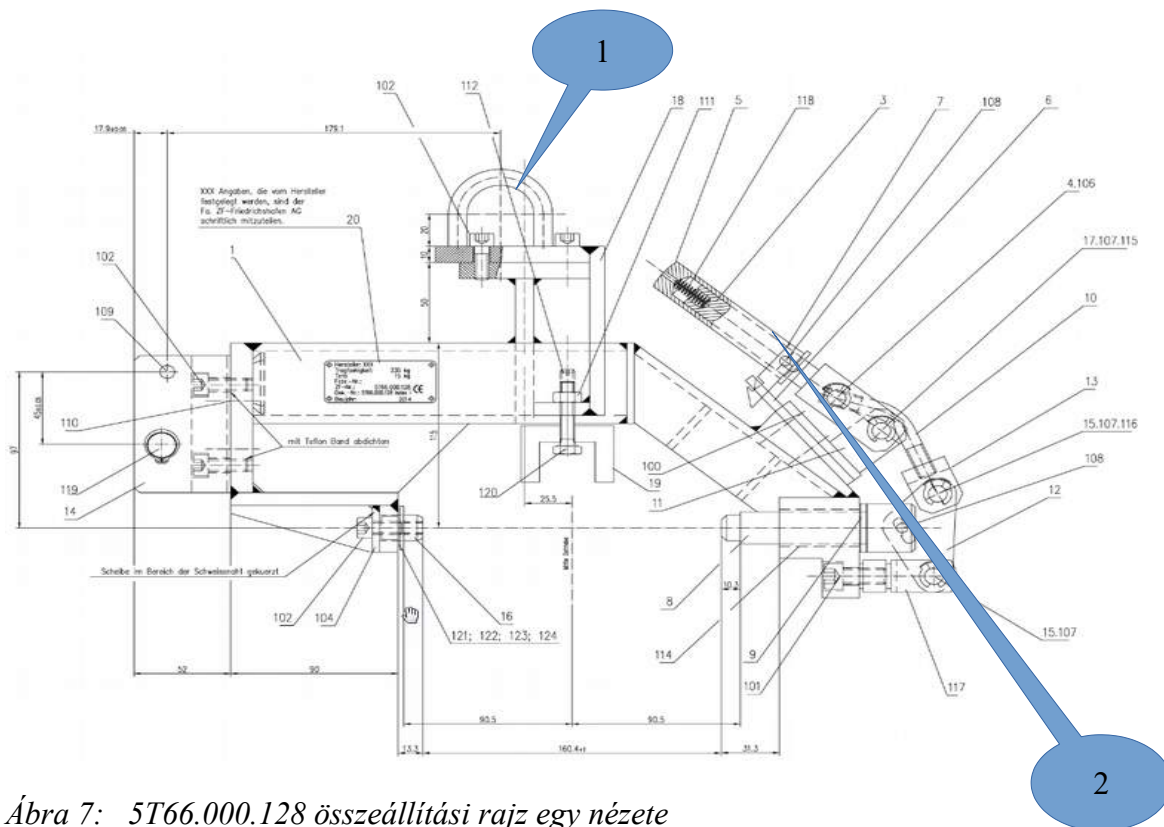
A szilárdsági számítás során bemutattam, hogy célszerű cserélni.

A kutatás során viszonylag sok megfelelő alkatrészt találtam de csak a legigéretesebbeket mutatom be.

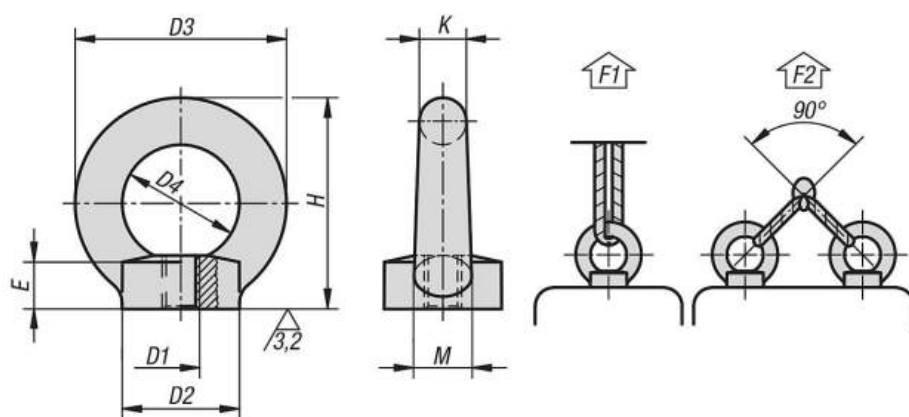
4.2. Opció 1: DIN 582 szemes anya

Standard, belsőmenetes szemes anya, ellenkező oldalról egy csavarral kell rögzíteni. Hátránya, hogy a felfekvő felülete kör keresztmetszetű és nem lehet elfordulás ellen biztosítani olyan könnyen.

Fontos, hogy a gyártónak be kell kérnie a beszállítótól a magyar nyelvű megfelelőségi nyilatkozatot, és azzal kell elküldenie a dokumentációt a vevő részére.



Ábra 7: 5T66.000.128 összeállítási rajz egy nézete



Ábra 8: emelőszem vázlat

Rendelési szám	Alaptestű anyaga	Acélkulcs	D1	D2	D3	D4	E	H	K	M	F1 max. kN	F2 max. kN	Terhelhetőség kg
07690-08	Acél	1.1141	M8	20	36	20	8,5	36	8	10	1,4	0,95	96,9
07690-10	Acél	1.1141	M10	25	45	25	10	45	10	12	2,3	1,7	173,4
07690-12	Acél	1.1141	M12	30	54	30	11	53	12	14	3,4	2,4	244,8
07690-16	Acél	1.1141	M16	35	63	35	13	62	14	16	7	5	510
07690-20	Acél	1.1141	M20	40	72	40	16	71	16	19	12	8,3	846,6

Ábra 9: DIN 582 Norelem szemes anya, választék

Terhelhetőség szempontjából a 07690-12 a határon mozog (244.8 kg), inkább az egy mérettel nagyobb az M16 lehet a befutó.

4.3. Opció2: Hegeszthető rögzítési pontok [5]



Ábra 10: Hegeszthető rögzítési pontok

Rendelési szám rugós szalag nélkül	Rendelési szám rugós szalaggal	B	B1	H	H1	L	L1	S	Hegesztési varrat	Terhelhetőség kg
07720-1000	07720-1001	40	38	32	40	73	38	13	HV 5 + a3	1120
07720-2000	07720-2001	41	38	32	45	81	40	13	HV 5 + a3	2000
07720-3000	07720-3001	45	43	38	45	87	42	17	HV 8 + a3	3150
07720-5000	07720-5001	55	50	48	57	108	60	22	HV 12 + a4	5300

Ábra 11: Hegeszthető rögzítési pontok, terhelhetőség

Funkció szempontjából tökéletes, a terhelhetősége is elfogadható még a legkisebbnek is az 1120kg-mal. A méreteket majd ellenőrizni szükséges a 3D modellen.

Az adatlapon van egy nagyon fontos megjegyzés: A hegesztést egy EN 287-1 szerint minősített hegesztőnek kell elvégeznie

5. Rögzítéstechnológia

A csavarok annyira általános kötőelemek, hogy mindenki látott már százszámra, és mindenki tudja, hogy mire valók. Picit alul is becsüljük őket. Nagyon lebecsüljük őket, pedig valljuk be őszintén: ők tartják össze a világunkat és fontosabbak mint bármi más a gépészetben.

Röviden körbejárom a csavarok témakörét, bemutatok néhány általánosan használt típust előnyökkel hátrányokkal.

5.1. A választék

Meghajtási profilok: Torx, csapos Torx, inbusz, XZN, HLF, PZ, PH Mindegyik profilnak meg van a saját felhasználói köre, piaca.

A gépépítésben a legelterjedtebb az inbusz és a HLF, a gépjármű iparban a Torx.

Mind a Torxnak és az inbusznak van már fejlesztett változata, melyek a csavarozási nyomaték hatásvonalát javítja minél közelebb legyen a 90°-hoz, ergó csökken a szerszám kopása, csökken a csavar sérülésének esélye.

A süllyesztettfejű csavarok nagymennyiségű használatának alkatrész drágító hatása van, - ha be is szeretnénk süllyeszteni természetesen - mert jelentősen megnöveli a megmunkálási időt és a szerszámköltséget. De használatuk kifizetődő, mert a konstrukció jobban testreszabható, variálható.

SF BKNY: lényegesen kisebb a terhelhetősége és a meghúzási nyomatéka és ezt külön jelölik is egy nullával a szilárdsági jölés előtt: pl 010.9 A kúpos kialakítása miatt önközpontosító hatása van, mely nem mindig előnyös. Kétségkívül neki kell a legkisebb hely fizikailag, vékonyabb - nem funkció vagy biztonságkritikus - alkatrészek rögzítésére megfelelő.

Fő teherviselő elemet szerintem nem szabad vele rögzíteni, mert jelentősen alacsonyabb az elérhető meghúzási nyomaték, mint a hengeresfejű társaié.

5.2. Csavarrögztés

A csavarjaink megvannak húzva az előírt nyomatékra, az előírt kalibrációs pontossággal (4 %), de nem lenne hátrány, ha az első 10 130%-os túlterhelés vagy a folyamatos használat közben nem lazulnának ki, tehát valahogy biztosítani is kellene őket a kilazulás ellen.

Egy kötés megbízhatóságát legkönnyebben a Junker teszttel lehet megvizsgálni (DIN 65151 és ISO 16130 szerint)

Először a nem használható gépelemeket ismertetném, mert ez a felsorolás egyben indoklás is, hogy miért nem. A megbízható gépelemek feltárása bővebb kutatást igényel, melyet ezen pontban ismeretetek.

5.3. Elégtelen csavarbiztosítási módszerek

Egy Würth[6] kiadvány a következőket jelöli meg mint elégtelen csavarbiztosítási módszerek (4. oldal):

A lentebb felsorolt termékeknek nincs megbízható csavar biztosító hatása, se meglazítás ellen, se a kicsavarodás ellen:

- a) • Rugós alátét DIN 127, DIN 128, DIN 6905, DIN 7980
- b) • Hullámos rugós alátétek DIN 137, DIN 6904
- c) • Fogazott alátét DIN 6797, DIN 6906
- d) • Fűrészfogú biztosító alátét DIN 6798, DIN 6907
- e) • Biztosító alátét, külső orros DIN 432, Bizosító alátét dupla füllel DIN 463
- f) • Hatlapú hornyolt és koronás csavaranya DIN 935, DIN 937 Sasszeggel DIN 94

Megjegyzés:

Az a),b),c),d) kötőelemek mechanikai sérülésen alapulnak, hogy belenyomódnak a csavar fejébe és az összerögztendő tárgyba, és közben rugóként funkcionálnak. Értelemszerűen nagy felületi keménységű alkatészeken ezek nem jöhetnek szóba, és ismertetem is, hogy miért.

A DIN EN ISO 898-1 3-as táblázat [7] csavarok mechanikai és fizikai tulajdonsága alapján:

- $d \leq 8.8$ -as csavarnak min 250 max 320 HV10 ($F \geq 98$ N) 22-32 HRC
- 10.9 min 320 max 380 HV10 ($F \geq 98$ N) 32-39 HRC
- 12.9 min 385 max 435 HV10 ($F \geq 98$ N) 39-44 HRC

5.3.1 DIN 7980 Rugós alátétek, hengeres fejű csavarokhoz,

Anyag: Rugóacél / horganyzott kék Keménység: 430-530 HV

Egy 430-530 HV keménységű perem esetleg csak megkarcolja a 12.9-es csavar 385 HV-s felületét, de lehet, hogy csak összekoszolja. A 8.8-as csavar 250-320 HV-je esetén picit benyomódik az alátét a csavar fejébe.

Példa:

Amit fontos észben tartani, hogy célszerű a csavart a lehető legjobban kihasználni, ezek a számok a csavar folyáshatárát vagy az $R_{p0.2}$ -t 90%-ban közelítik meg.

- 8.8-as M8-as HF BKNY csavarnak az ajánlott szerelési előfeszítő erő $\mu = 0.14$ esetén 18,6 kN és ehhez 27,3 Nm-es meghúzási nyomaték társul.
- 12.9-es M8-as HF BKNY csavarnak az ajánlott szerelési előfeszítő erő $\mu = 0.14$ esetén 31.1 kN és ehhez 46.9 Nm-es meghúzási nyomaték társul.

Ezt a 18,6 és 31,1 kN-t illik ízelegetni.

Egy Audi Q7 [8] -nyilván változattól függően- 2205 kg-ról indul. A Tesla Model 3-as max 1847 kg [9].

- $18600 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 \Rightarrow 1896 \text{ kg}$
- $31100 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 \Rightarrow 3170 \text{ kg}$

Konkrétan erre a 18 kN-os terhelésre a mi kis alátéteink sajnos kilapulnak mint a palacsinta.

Alacsonyabb szilárdsági osztályokban alacsonyabb számokat kapunk (4.6,4.8,5.6,5.8,6.8), ott lehetséges, hogy nem használhatatlanok ezek a gépelemek, de az alacsonyabb szilárdságú gépelemek nem sűrűn használatosak a gépépítésben (és reményeim szerint) főleg nem teheremelő eszközökben, ahol emberi életek vannak a terhek alatt.

Háztartási gépek esetén előfordulhatnak, és elő is fordulnak ezek a kötőelemek, és a 7. ábrán látható kondenzátort 20+ évig tartotta helyén a fogazott alátét, de nem is volt meghúzva 20 Nm-re, tehát nem ördögtől való, de ezek nem emelőeszközökre valók.

Nem éppen a legfrissebb forrás, de a NASA kötőelem tervezési segédletének (Fastener Design Manual from NASA; 1990, NASA-RP-1228 [10] 9.oldal) véleménye is hasonló a rugós alátétről, és a többi sem teljességgel kielégítő nagyobb nyomatékok, terhelések esetén.

“The lockwasher serves as a spring while the bolt is being tightened. However, the washer is normally flat by the time the bolt is fully torqued. At this time it is equivalent to a solid flat washer, and its locking ability is nonexistent. In summary, a lockwasher of this type is useless for locking.”

“A rugós alátét rugóként működik a csavar meghúzása közben, és amikor a csavart meghúzzák a szükséges nyomatékra, teljesen kilapul. Ebben a pillanatban egyenértékű egy lapos alátéttel, ebben a pillanatban a biztosítási funkciója megszűnik. Összességében a ezen típusú alátét alkalmatlan biztosításra.”



Ábra 12: Rugós alátét [10]

5.3.2 Legyezős alátét: DIN 6797; Fogazott alátét: DIN 6798



Ábra 13: Fogazott alátét DIN 6798 Használati példa: mosógép kondenzátor rögzítése

A kisebb rögzítendő súlyokhoz és nem nemesített acél - nemesített acél, vagy edzett acél párosítások esetén használható alárendelt célokra. Poliamid betétes anya DIN 985 rázkódás szempontjából alacsonyan terhelt alkatrészekhez mint pl a lentebb látható mosógép dob tökéletesen megfelel. Nyilván ehhez kell egy megfelelő méretű csavar is.

Megjegyzés: magának a dobnak a fordulatszáma magas, főleg centrifugáláskor (1200 1/ min), de az csak radiális irányban hat, itt az anya axiális irányban rögzít, relatíve kisebb a terhelése.



Ábra 14: Poliamid betétes anya - DIN 985- mosógép dobon

5.4. Működő csavarrögzítések

5.4.1 Sasszeg+anya előírt nyomatékra meghúzva:

Bonyolult. A helyszíni szerelés nehéz, mert a csavart az anyával össze kell fűrni, és emiatt nem csereszabatos, tehát pótalkatrészt se lehet csak úgy leemelni polcról.

5.4.2 Nagyszilárdságú csavarok:

A nagy szilárdságú csavarok használata a rögzítésben azért terjedtek el, mert kevesebb anyagfelhasználással nagyobb biztonságot érhetünk el. Ezen csavarok használatának a célja, hogy a megfelelő nyomatékra meghúzva egy eléggé nagy előfeszítő erőt hozunk létre ami összefeszíti az alkatrészeket. Ebben az esetben a csavart egy húzórugónak is felfoghatjuk, csak a rugóerő ebben az esetben egyenlő a rugalmassági modulussal.

A rögzítési folyamat kulcsfontosságú eleme a súrlódás és a nyomaték mérése vagy meghatározása. A súrlódást tesztekkel, felületi érdesség megadásával, vagy kenőanyagokkal, bevonatokkal lehet változtatni, és a nagysorozatútermelés korában ezzel külön kutató részlegek foglalkoznak.

A nyomaték meghatározása egyszerűbb: kell hozzá egy rendszeresen karbantartott és rendszeresen kalibrált nyomatékkulcs, amivel meghúzzák az adott csavart. Ezt a folyamatot lehet, sőt ajánlott is dokumentálni

5.4.3 Kémiai menetrögzítés pl.: Loctite, Loxeal [11]

Mi okozza a csavarkötések meghibásodását?

A csavarkötések meghibásodását általában a csavarfeszültség lecsökkenése, a lazulás okozza. Ennek fő oka a relaxáció és az önkioldás.

Relaxáció

A relaxáció a csavarfeszültség változásának eredménye, mely a szorítóerő csökkenését eredményezi. Ezt az alábbiak okozhatják:

Megereszkedés – egymáson felfekvő alkatrészek érdes felületei nyomás hatására kisimulnak

Megfolyás – amikor az alkatrészek felületein jelentkező felületi nyomás meghaladja azok anyagának nyomószilárdságát, például felülettömítések szerelésekor.

Abban az esetben, ha a csavarkötés rugalmassága nem megfelelő, például túl merevek a csavarok vagy rossz l/d (hossz/átmérő) viszonyú csavarok kiválasztása esetén az elveszített csavarfeszültség nem kompenzálható.

Elfordulás, önkioldás

Az önkioldást dinamikus terhelésváltozások okozzák, mint például a vibráció vagy a hőmérséklet változása. Nem megfelelő előfeszítő erő, rosszul összeillesztett alkatrészek lehetővé teszik a relatív elmozdulásokat, melyek növelik az önkioldás kockázatát.

Ezek a terhelésváltozások rövid ideig tartó súrlódáscsökkenést okoznak, mely következtében az anya elfordul, kilazul. Ezen nagyon kis mozgások hatására végül bekövetkezik a csavarkötés meglazulása.

Míg a relaxációt csak konstrukciós változtatással tudjuk megelőzni, mint az l/d viszony módosítás vagy nagyobb rugalmasságú anyagok alkalmazása, addig az önkioldás különféle csavarrögzítési módszerek alkalmazásával megelőzhető.

Hogyan működnek a kémiai csavarrögzítők?

A kémiai csavarrögzítők egykomponensű termékek, melyek teljesen kitöltik a csavarmentek közötti hézagot. Levegőtől elzárva és fémmel érintkezve nagy mechanikai terhelhetőségű, kiváló kémiai ellenállóképességű műanyaggá szilárdulnak. Ez az anyag belső kohéziója, valamint a felületekhez való tapadása révén anyagzárat hoz létre a menetek között. Az anyagzár mindenfajta mozgást megakadályoz a menetben

Osztályozás

A csavarrögzítők kiválasztásakor számos tényezőt figyelembe kell venni, de mindezek közül

legfontosabb a szilárdság. Ez alapján a kémiai csavarrögzítőket három osztályba sorolhatjuk:

- könnyen szétszerelhető kéziszerszámokkal → Kis szilárdság:
- szétszerelés kéziszerszámokkal még lehetséges → Közepes szilárdság:
- szétszerelés kéziszerszámokkal nehéz, lokális melegítést alkalmazva magas hőmérsékleten oldható ($>250^{\circ}\text{C}$) → Nagy szilárdság:

A szilárdságon kívül számos körülményt figyelembe kell venni, hogy a speciális felhasználásokhoz a legmegfelelőbb csavarrögzítőt válasszuk ki.

Rezgésekkel szembeni ellenálló képesség:

- Egyszerre tömíti és rögzíti a meneteket bármely pozícióban,
- Ellenáll a rezgéseknek és a lazító nyomatéknak a csavarfeszültség megszűnésekor is,
- Az összes mechanikus csavarbiztosítási módnál megbízhatóbb,

Megelőzi a berágódást és a korróziót:

- A folyadékfilm megelőzi a hideghegedést és a berágódást,
- A tömítő hatás megakadályozza a korróziót,
- Lehetővé teszi a szétszerelést,

Kiváló tartósság

- Ellenáll az iparban használt legtöbb folyadéknak és gáznak,
- Hőállóság 150°C-ig vagy tovább,
- Szakterületeken évtizedek óta bizonyít

Szorítóerő és csavarfeszültség megtartása:

- Kilazulás megakadályozása,
- Kontrolált előfeszítő erő,

Előnyök:

- Növelt megbízhatóság:
- Rezgés, ütés és ciklikus hőhatásnak ellenálló rögzítés,
- A menetek tömítettek, nincs korrózió,
- Az előfeszítő erő kontrolálható,

Hosszabb élettartamú végtermék:

- A rögzített menet nem lazul meg és szivárgásmentes lesz,
- Az előfeszítő erő megőrzése és a nagyobb meghúzási nyomaték plusz biztonságot nyújt,

Költség megtakarítás:

- Alacsonyabb fajlagos költségek, összehasonlítva a mechanikus csavarbiztosításokkal,
- Alacsonyabb tárolási, beszerzési, karbantartási és javítási költségek,
- A könnyű automatizálhatóság lecsökkenti a szerelési költséget és növeli a termelékenységét,

Alacsony beruházási költségek

- Széleskörűen alkalmazható a különféle menetméretekhez
- Kevés eszközigénnyel könnyen integrálható a termelési folyamatba

Hátrányok:

- Magas hőmérsékleten ($100-150 < C^{\circ}$) más megoldást kell találni,
- Viszonylag bonyolult felületelőkészítés, és tisztítás szükséges,
- Ha a csavart vagy anyát újra felszeretnénk használni, drótkéfével meg kell tisztítani, hogy eltávolítsuk a régi rögzítő maradványokat.

5.4.4 Nordlock [12] DIN 25201

Eljárás / elv [13]

A Nord-Lock rendszer két egyforma ékes alátétből áll, amelyek egyik oldalán radiális fogazás található, amely alakzáró módon belemélyed a felfekvő felületbe, a másik oldalán pedig ék alakú fogazás van elhelyezve, amely rezgés esetén megnöveli az előfeszítő erőt.

Alkalmazási területek

A Nord-Lock alátétpárok használata olyan helyeken különösen előnyös, ahol a csavarkötés magától kioldódhat. A Nord-Lock immár több mint 30 éve garantálja a maximális lecsavarodás elleni biztosítást, erős vibráció és nagy dinamikus terhelések esetén is.

A termék előnyei

- Optimális biztosítási megoldás erős vibráció és dinamikus terhelések esetén is
- A csavarkötések jól bevált biztosító rendszere
- Az összes szilárdsági osztályba tartozó csavarokkal/anyagokkal alkalmazható (max. 12.9)
- Egyszerűen oldható és teljesítményromlás nélkül újrafelhasználható
- Engedélyezett biztosítóelem



Ábra 16: Nord-lock "alátét" [13]

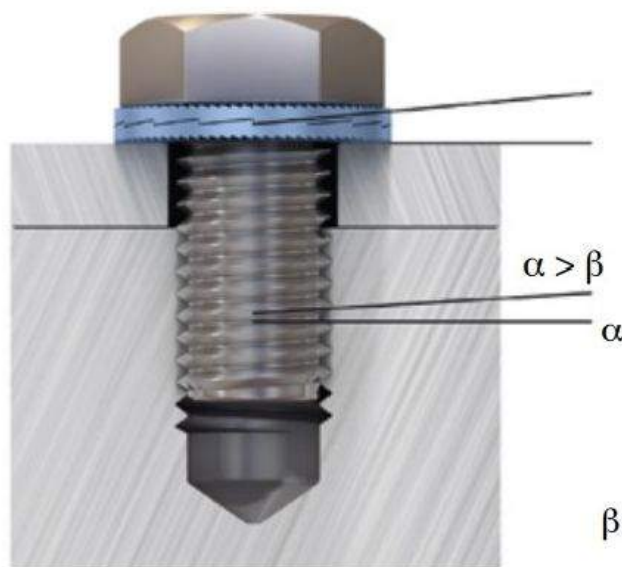


Ábra 15: Nordlock kötés zsákfuratnál [13]

Működési mód

Az ékes biztosító alátétek belső oldalán ékes felületek, a külső oldalukon pedig radiális bordák találhatók. Az ékes felületeket úgy alakítják ki, hogy az α szög mindig nagyobb, mint a β menetemelkedési szög. A párosával összetapadó alátéteket úgy kell alkalmazni, hogy a belső ékes felületek egymás felé nézzenek.

A csavar/anya meghúzásakor a Nord-Lock alátétek radiális bordái alakzáró módon benyomódnak a felfekvő felületbe. Az alátétpár szilárdan ül a helyén, mozgásra csak az ékfelületek között van lehetőség. Az ékhatás miatt az oldási irányba megtett legkisebb elfordítás esetén is megnő a rögzítő erő – így a csavar önmagát biztosítja.



Ábra 17: Az önmagát biztosító "alátét" működési vázlata [13]

Beszerezés

A Nord-Lock ékes biztosító alátétek az összes, akár a 12.9 szilárdsági osztályba tartozó csavarokhoz is használható. A Nord-Lock alátétek gond nélkül használhatók kötésbiztosításra menetes furatok, süllyesztett furatok, átmenő furatok vagy töcsavarok esetén is. Az átmenő furatoknál ügyelni kell arra, hogy két biztosító alátétpárt használjunk. Ezenkívül hosszú lyukak és lágy érintkező anyagok esetén megnövelt külső átmérőjű Nord-Lock alátéteket ajánlatos alkalmazni.

Figyelem: A Nord-Lock alátéteket nem szabad rögzítetlen kísérő alátéteken alkalmazni!

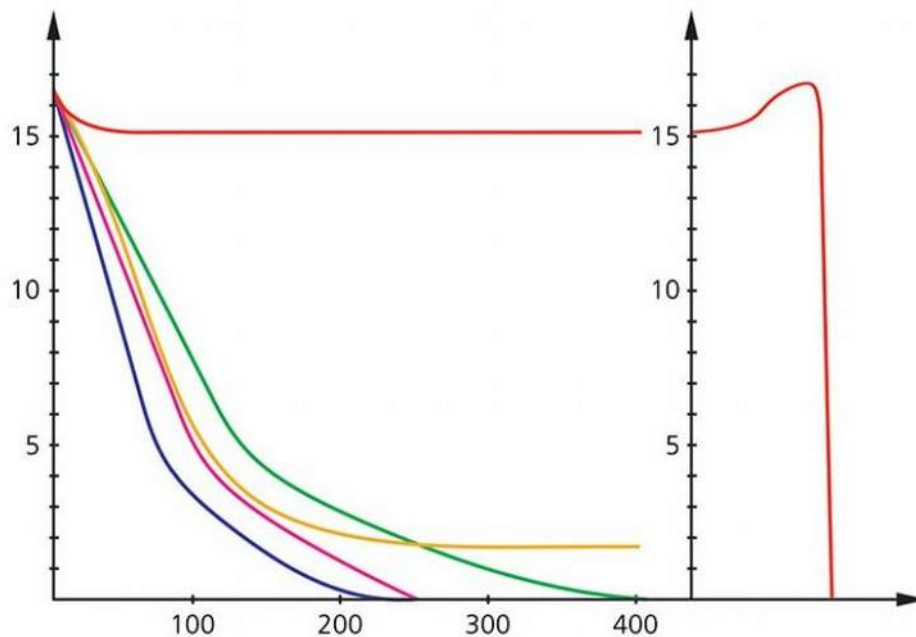
Választék:

Acél, horganyzott, keménység ≥ 465 HV 1.

nemesacél, keménység ≥ 520 HV 0,05

Rezgéstezt Nord-Lock alátétekkel

A DIN 65 151 szerinti Junker rezgéseszt jól bevált eljárás dinamikus terhelések hatása alatt álló csavarkötések biztonságának vizsgálatára és összehasonlítására. A csavarkötés csavartengelyhez képest keresztirányú terhelése alatt az előfeszítő erőt egy nyomásmérő szelencével folyamatosan mérik és feljegyzik.



Ábra 18: Junker rezgéseszt a DIN 65 151 szerinti (csavar M 8 (8.8), 25 mm befogási hosszal). [13]

A jobb oldali ábra a meglazítást mutatja

A fenti diagram az alátétek által eredményezett lecsavarodás elleni biztosítást mutatja be. A biztosítóelem nélküli vagy nem megfelelő biztosítóelemmel ellátott csavaroknál a megfogó erő jelentős csökkenése mutatható ki a növekvő terhelésváltozások nyomán. Ezek a biztosítóelemek rezgés hatására nem fejtenek ki biztosítóhatást. Ezzel szemben a Nord-Lock alátéteknél az előfeszítő erő a terhelés teljes időtartama alatt állandó marad. Az előfeszítő erő csak kismértékben csökken az elválasztó fugák és a menet között. Az ékek által eredményezett biztosítóhatást az előfeszítő erőnek a kioldási folyamat alatt fellépő jelentős növekedése teszi nyilvánvalóvá.

Piros = M 8 méretű szabványos anya Nord-Lock alátétekkel a folyáshatár 70%-ánál

Zöld = M 8 méretű szabványos anya csavaron, befogási hossz 50 mm

Sárga = anya műanyag betéttel (DIN 985)

Rózsaszín = rugós alátét

Kék = M 8 méretű szabványos anya

Hátrányok

Az ismeretterjesztő anyagok és katalógusok, csak sugallják, de vannak hátrányok is.

Nem vagy korlátozottan használható ha:

- nagy szilárdságú / felületi keménységűek az anyagok. Tehát pl: betétedzett, nitridált acélon.

- extra alátétet kell tenni a csavar feje alá, pl: távtartó
- Helyigényes, még ha néhány mm kell is neki, akkor is annyival csökkenhet a fogadó elemek mérete, ha süllyesztett furatba kell.
- Megsérti a rögzítendő tárgyak felületét, korrózióvédelmi szempontból ezt is figyelembe kell venni.
- Puha anyagokon mint pl műanyagok, fa nem használható.

5.5. Egyéb rögzítési lehetőségek

Csavar vagy anya hegesztése, pontozása: ez már nem kézierővel oldható kötés, nem szabványos megoldás, de kétségkívül működik. Extrém terhelés és rázkódás esetén használják, pl gépjárművek lengéscsillapítójának rögzítésénél lehet ilyennel találkozni. Megfelelő kivitelezése esetén egy légkulccsal, ütvecsavarozóval oldható.

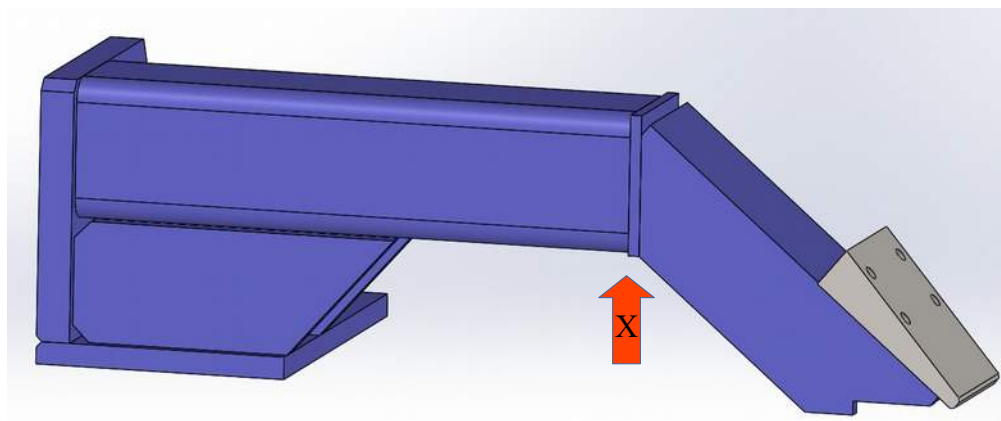
A problematikája, hogy nem utánhúzható, tehát ha zömült csavar feje és az anya közötti alkatrész akkor nem lehet utánállítani.

5.5.1 Hegesztés, a nem oldható kötés

A rögzítések csúcsán a hegesztés ül, mert ő a legmegbízhatóbb, és ár/érték arányban is kiváló, gyorsan kivitelezhető. Ami össze lett rögzítve hegesztéssel az csak ritkán oldódik ki magától pl: túlterhelés, varrathiba, hegesztői hiba, anyaghiba, korrózió.

A hátránya, hogy összetett szerkezetek esetén - ez esetben a függesztékem - a hegesztési varratok elhúzzhatják, és el is fogják húzni a szerkezetet, ami nem kalkulált terhelést okozhat a rendszernek.

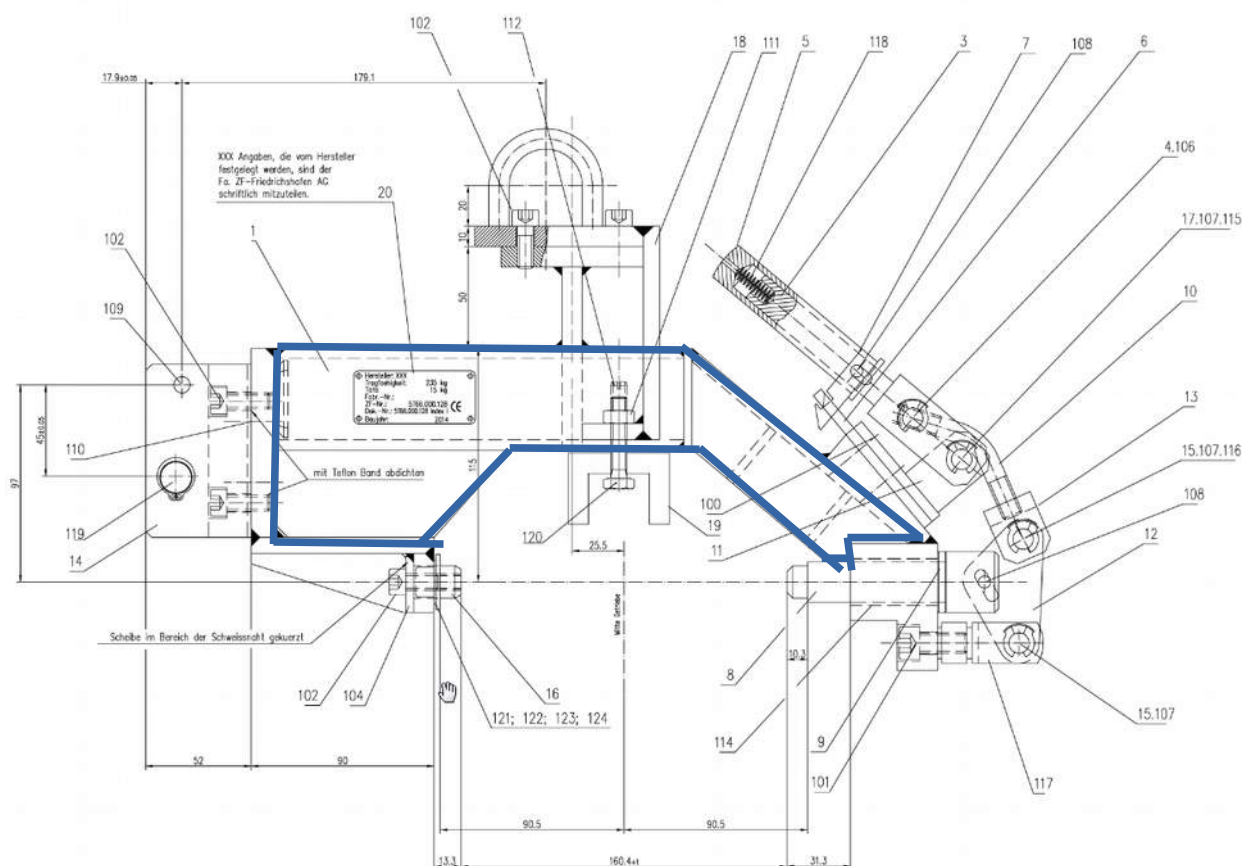
A fenti képen látható szerkezet 11 alkatrészből épül össze, és mindegyik hegesztve van. Az X-szel jelölt csatlakozási ponton mindenféle képpen szeretnék változtatni, mert túl éles az átmenet az alkatrészek között. Ez a szerkezet érzékeny a hegesztési vetemedésre, és nehéz pontos méretet megadni, mert túl sok helyen kell hegesztetni.



Ábra 19: 5T66.000.128 a hegesztett szerkezet részlete

Ezt a problémát meg lehet előzni készülékezéssel, hogy egyhelyben fixen tartja a hegesztett komponenseket és nincs szabad mozgási lehetősége a szerkezetnek, vagy szimmetrikusan hegeszteni, de az vagy gépi megoldású 2 robot egyszerre tükörszimmetikusan húzza varratot vagy 2 hegesztő kell hozzá.

Ezen problémákra látok egy megoldást: technológiára optimalizálni a szerkezetet.



Ábra 20: 5T66.000.128 technológiai egyszerűítési koncepció

6. Korrózióvédelem

A korrózióvédelem célja, hogy a tárgyak, eszközök, építmények ne lépjenek reakcióba a környezetükkel, vagy csak minimálisan megengedett szinten.

6.1. Vegyi barnítás vagy feketítés [14] [15]

A Blackfast vegyi barnítás szobahőmérsékleten végezhető barnító (feketítő) eljárás egy egyszerű bemeztéses eljárás, amelyet főként gyártó cégek számára fejlesztettek ki. Az eljárás nem befolyásolja a termék méreteit, egységes színezést képez a megmunkált felületen, csavarmenetekben és üregekben egyaránt. A barna színezést a fém felszín kémiai konverziója során kapja meg a termék. Az eljárás magában foglalja a zsírtalanítást, a kondicionáló fürdőbe merítést és a színező oldatba merítés fázisait. A végső, víztelenítő olajba való bemeztés biztosítja a korrózió elleni védelmet.

Mivel a hideg vagy meleg barnítási eljárás aránylag egyszerű, és nem igényel komoly felszerelést, az iparban nagyon sok helyen alkalmazzák azt.

A barnítás technológiájában megkülönböztetünk hideg vagy meleg barnítást. Előbbi szoba hőmérsékleten, míg utóbbi 140 fok körüli fürdőben történik.

A két eljárás között a végeredményben sok különbség nincs, a folyamat a hideg barnítás esetében gyorsabb, és olcsóbb, a normál hőmérséklet miatt egyszerűbben kivitelezhető, automatizálhatóbb, azonban a magasan ötvöztött acél alkatrészeknél kevésbé hatásos.

A meleg barnítással viszont a magasan ötvöztött acélokat is kezelni lehet, mint pl. fegyver alkatrészek, speciális szerszámok, stb. Ezeket a darabokat hideg barnítással igen nehezen, vagy egyáltalán nem tudjuk megvédeni. Mondhatnánk azt is, hogy a



Ábra 21: Vegyi barnítás Blackfast gyártó eljárása szerint [14]

képvisel, de használata csak ott lényeges, ahol ezt az igények kéri, költsége a magas hőmérséklet miatt (is) nagyobb. A melegbarnítás másik előnye, hogy kopásállóbb magnetit réteg keletkezik, ezáltal tovább tart a védelem.[16]

Előnyök:

- gyors,
- anyagában színezett az alapanyag, nincs lehámlás,
- jó folyamatparaméterek mellett homogén esztétikus külső,

- enyhe korrózióvédelem,
- kis és nagysorozathoz is megfelelő

Hátrányok:

- enyhe korrózióvédelem, csak beltérre ajánlott, tapasztalataim alapján nedves környezetben inkább dekorációs célú,
- minimális beruházás szükséges.

6.2. Porfestés [17]

A technológia így is ismert: Szinterezés, elektrosztatikus festés, elektrosztatikus porszórás.

A porfestés során műanyag por alapú színezett festéket hordunk fel elektrosztatikusan, valamint levegő befúvással egy adott felületre (általában fém) porfestő szórópisztoly segítségével ~100 kV feszültséggel. A fém felületén az elektrosztatikusan feltöltődött porfesték megtapad, amit 180-210 °C-on beégetünk. Az így keletkezett felület kiválóan ellenáll a környezeti behatásoknak, kisebb mechanikai sérüléseknek, nem elhanyagolható szempont a tartós, rugalmas, hő és UV álló bevonat.

A porfestés előkészítése

A porfestés előtt a felületkezelni kívánt anyagot minden szennyeződéstől, zsírtól, előző esetleges bevonattól meg kell tisztítani. Erre több eljárás is alkalmazható, ami függ a munkadarab méretétől, anyagától, a korábbi bevonattól. A felület tisztítását követően zsírtalanítás és foszfátózás következik. Így növelhetjük a felület korrozioállóságát és egyben javítja a porfesték tapadását a felületre.

Porfésés előnyei

- Gyors termelést tesz lehetővé
- Számtalan elérhető szín
- Gazdaságos eljárás
- Környezetkímélő technológia
- Nincs károsanyag kibocsátás

A porfestéssel szemben támasztott követelmények

A porfesteni kívánt munkadarab felülete legyen olaj, zsír, szilikonmentes, valamint egyéb mechanikai sérülésektől, karcoktól mentes.

A porfesték csak megfelelő tisztaságú felületre vihető fel. Amennyiben a felület korrodált, vagy egyéb szennyeződés, korábbi bevonat található rajta, azt el kell távolítani.

A porfesteni kívánt tárgyat technikai furattal kell ellátni, amennyiben nincs olyan lyuk, furat, vagy egyéb kialakított rész, ahol a tárgyat fel lehet akasztani

A porfestendő munkadarab ellen kell álljon 220 °C-os hőmérsékletnek, 40 percen át.

Amennyiben a munkadarab összetett (pl: szerelt felni esetében), úgy az összeszerelésnél alkalmazott ragasztó, vagy szilikon a kemencébe égetéskor meglágyul, és kifolyik. Ezáltal a porfestett munkadarabot tönkreteszi. Ez plusz költséget okoz.

Látható az hátránya a eljárásnak, hogy sérülés esetén a festett rész lepattan, és kivan téve a környezet hatásának. Nordlock alátét esetén a szereléskor biztosan sérül a felület, valószínűleg a sima csavar meghúzásakor is lepattanna a festék.

A lehulló festék tisztasági problémát okozna ebben az esetben.

6.3. Galvanizálás

6.3.1 A galvanizálás technológiája [18]

A galvanizálás lényege, hogy a védendő fém felületén olyan védőréteget hozunk létre, mely az alapfémeket megvédi a korróziótól. A bevonandó tiszta, zsírtmentes és fényes munkadarabot (katód) fém sóoldatos galvánfürdőbe merítik és egy egyenáramú áramforrás negatív sarkára kötik. A pozitív sarkokra a kicsapandó fémből, pl réz készült lemezt kötnek. Az elektromos áram hatására a pozitív töltésű fémionok a sóoldatban a munkadarab felületéhez áramlanak, majd ott elektronokat vesznek fel, ezáltal semleges fématomokká válnak, és lerakódnak a munkadarab felületén. A bevonófémből készült lemez eközben a kivált fématomok mennyiségével egyező értékben fogy. Az eljárás alkalmazható réz, ón, nikkel, horgany, fényes horgany, kadmium, króm, keménykróm, ólom rétegek felhordására ill kicsapására. Gyakran alkalmazzák különböző fémek bevonására

6.3.2 Galvánrezezés

A galvanikusan leválasztott rézbevonat önmagában általában nem alkalmas korrózió elleni védelemre. Diszítésre pedig a levegőn való gyors elszíneződése, foltosodása miatt nem használható. A galvanikus rézréteget túlnyomóan más fémbevonatok alá közbelső bevonatként (pl. nikkel, nikkel-króm stb.) használják, ahogy a fentebbi példában is láthattuk. Egyre jobban bővül azonban a technikai rézréteg alkalmazása. Az elektrotechnikában való elterjedését a rézbevonatú felületek jó forraszthatóságának is köszönheti. A galvanikusan leválasztott rézbevonat tulajdonságait a leválasztáshoz alkalmazott elektrolit típusai és a leválasztás körülményei határozzák meg.

6.3.3 Galvánnikkelezés

A fémtárgyak korrózió elleni védelmében egyik leggyakrabban alkalmazott eljárás a nikkelezés, mert a galvanizálással leválasztott nikkelbevonat korróziós hatásoknak semleges, lúgos és gyengén savas atmoszférában is jól ellenáll. A védendő tárgy alapanyaga legtöbbször acél, cinköntvény, réz- és ötvözetek. A vas, acél, réz és egyes rézötvözetek közvetlenül nikkelezhetők. Ólomtartalmú rézötvözetek, ón- és cinkalapfémek azonban csak cianidos előrezezés után vonhatók be nikkellel.

A galvántechnikai gyakorlatban nikkelbevonatot alkalmaznak:

- díszítő,
- védő-díszítő és
- műszaki célokra.

A felhasználás körülményeitől függően eltérő megjelenésű és tulajdonságú nikkelbevonatot lehet leválasztani. Díszítő célra általában önálló bevonatként vagy közbenső rétegként alkalmazzák.

Védő-díszítő célra a nikkelbevonat önállóan, vagy réz-nikkel-króm ill. Nikkel-króm bevonatrendszer tagjaként alkalmazzák. E bevonatok külső megjelenésén kívül rendkívül fontos a leválasztott bevonat korrózióállósága is. A galvanikus nikkelbevonatot acél- és cinköntvény felületén ún. katódos bevonatnak nevezzük. Ez azt jelenti, hogy a bevonat hibahelyein (karcolás, lyukak stb.) mindig az alapfém korróziója indul meg

6.3.4 Galvánkrómozás

A krómot közismerten kiváló tulajdonságai sokoldalú felhasználásra, ideális díszítő- és védő bevonatok készítésére teszik alkalmassá. A króm oxidációval szembeni ellenállása a nemesfémekkel vetekszik. A lúgokkal és az oxidáló hatású savakkal szemben teljes mértékben ellenáll, a haloidsavak azonban megtámadják a krómot. Színe hasonlít a platinához, de a galvanizálás körülményeinek, az elektrolit összetételének megváltoztatásával kék, szürke és fekete krómbevonat is készíthető. A króm fényessége, fényvisszaverőképességével jellemezve kb. azonos az ezüstével. A króm fontos tulajdonságai közé tartozik keménysége és kopásállósága.

A galvanikus krómozás fő alkalmazási területei:

- díszítő és védő-díszítő krómozás,
- műszaki (kemény) krómozás

Díszítő krómozás esetén vékony krómbevonatot választanak le, általában nikkel közbenső bevonatra. A króm szerepe itt kettős, csökkenti a nikkelbevonat elmattulását és növeli a korrózióállóságot. A műszaki (kemény) króm bevonatot általában közvetlenül választják le acélra, alumíniumra vagy színesfémre. Jól krómozhatók a gyengén és közepesen ötvözött acélok, finomszemcsés öntöttvas. Különleges előkezeléssel krómozhatók az erősen ötvözött acélok, alumínium, réz, nikkel és ötvözeik. Nem krómozhatók: a grafit- vagy szilíciumtartalmú öntöttvas és az erősen ötvözött acélok. Legfontosabb felhasználási területe:

- kopásnak kitett alkatrészek (tengelyek, dugattyúk, szelepek, csapok stb.)
- prés- és fröccsöntőszerszámok, hidegalakítószerszámok bevonása,
- mérőeszközök illesztő felületeinek kemény bevonata stb.

6.3.5 Galvánhorganyzás

A vas- és acél alkatrészek korrózió elleni védelmében egyik leggyakrabban alkalmazott fémbevonat a cink (horgany). A horganyzás főbb jellemzői:

- a legolcsóbb galvanizálásra használható fém,

- a cink kevésbé nemes fém, mint az acél és ezért mindaddig megvéd a korróziótól, amíg a bevonat jelen van,

- a leválasztási és utókezelési technológia függvényében díszíthetősége és védőértéke széles intervallumban változtatható

- mérgezőhatása mérsékelt.

A cinkbevonatok díszítési célra általában nem alkalmasak, mert a légkör hatására képződő sóvegyületek a felület fémes színét és fényét teljesen elfedik. A vízzel tartósan érintkező cinkfelületen ugyancsak hamar kialakul az ún. cinkrozsda. Savaknak, lúgoknak a cink vagy csak igen gyengén, vagy egyáltalán nem áll ellen.

A galvanikusan leválasztott cinkbevonat tulajdonságait a leválasztáshoz alkalmazott elektrolit típusa és a leválasztás körülményei határozzák meg.

6.3.6 Galvánónozás

A galvanikus eljárással leválasztott ónt alkalmazzák az élelmiszeriparban, gépek és berendezések, továbbá a csomagolóanyagok felületvédelmére, a híradástechnikában és a mikroelektronikában használatos alkatrészek forrasztást elősegítő bevonataként, illetve a nyomtatott huzalozású lemezeket gyártásához (fémes maszkolás).

A galvanikusan leválasztott ón ezüstfehér, képlékeny, nagyon lágy fém. Levegő hatására a felületén vékony összefüggő oxidréteg keletkezik, amely megvédi a további korróziós károsodástól.

Az ón savas és lúgos elektrolitokból egyaránt leválasztható:

- Kénsavas elektrolitokból

Napjainkban a leggyakrabban használatos elektrolitok közé tartozik. A bevonat félfényes ill. matt lesz, ha az elektrolit négyértékű ónnal szennyeződik.

- Kloridos elektrolitokból

Sósavas közegből az ón egyenletes, finomszemcsés formában válik le és az elektrolit mélyszórása is igen jó. Ennek ellenére ma már nem használják, mivel a berendezéseket ez az elektrolit igen erősen korrodálja.

- Tetrafluorobórsavas elektrolitokból

A tetrafluorobórsavas elektrolitok kifejlesztését a gyors és vastag rétegű bevonatok készítése indokolta. Megfelelő adalékok segítségével a fürdőből fényes bevonat választható le.

- Lúgos elektrolitokból

Főleg alakos alkatrészek, vagy dekoratív célra készített, "jégvirág" mintázatú ónozás során használják. Az elektrolitból fényes bevonat azonban nem választható le.

6.3.7 Nemesfémbevonatok leválasztása

A nemesfémekhez tartoznak az ezüst, az arany és a platinafémek (platina, ródium, palládium stb.). A nemesfémeket a vegyi anyagokkal szembeni nagy ellenálló képesség jellemzi. Egyesek felületén vékony oxidfilm alakul ki, amely teljes védelmet nyújt a légköri oxidáció ellen. A nemesfémek technológiai tulajdonságai jók, ez magyarázza széleskörű alkalmazásukat. Rendkívül drágák, ezért a cél az, hogy minél vékonyabb bevonatokkal biztosítsák a velük szemben támasztott követelményeket.

“Kb. 1000 N/mm² feletti húzószilárdsággal rendelkező (mag- vagy felületi keménység 320 HV felett) nagyszilárdságú/betétedzett alkatrészek galvanikus bevonatai és 390 HV feletti keménységű rugókemény alkatrészek esetén az ismert eljárásoknál nem zárható ki biztonsággal a hidrogén-ridegedés veszélye; temperálással csökkenthető, de nem zárható ki teljesen (lásd DIN EN ISO 4042, 6. bek. / A függelék, DIN EN ISO 15330).

Alternatív bevonóeljárások, melyeknél a hidrogén-ridegedés veszélye megfelelő biztonsággal kizárható, ilyenek pl. a cinklamellás bevonatok, mint pl.:

– Geomet

– Delta Protect

”[19]

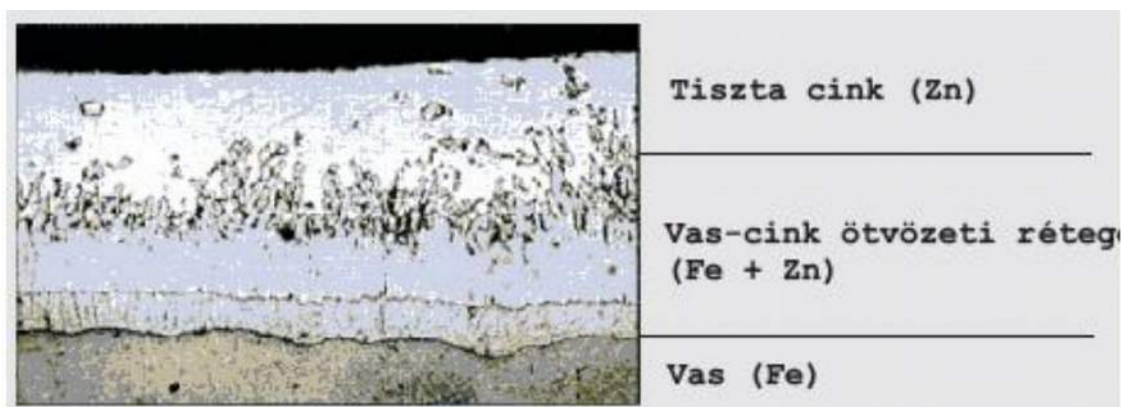
Tehát edzett, nemesített, betétedzett 1000 MPa feletti folyáshatárú acélokon semmilyen galvanizálás használata nem javasolt a hidrogén indukált feszültség repedés miatt.

6.3.8 Tűzihorganyzás [20]

Az előkészített acélszerkezeteket üzemi körülmények között olvasztott cinkbe (450 °C) merítve, azok felületén többfázisú horganyréteg alakul ki, ami kohéziósan kapcsolódik a fémalaphoz.

Kültéri szerkezeteken alkalmazott eljárás, mert hosszú ideig nyújt megfelelő védelmet környezettől függően. Pontosán megmunkált gépelemeken nem annyira elterjedt, mert nagy a bevonat vastagsága (0.070-0.150 mm) ami mechanikailag nem túl ellenálló.

Hegesztett szekezetek bevonására tökéletes.



Ábra 22: Tűzihorganzott acél felületének felépítése

A tűzhorgany bevonat élettartama

- A felületen cink-oxidból álló védőfilm (cinkpatina) képződik
- A korróziós fogyása igen lassú
- A horganyból újra termelődik (nedvesség hatására) → horganybevonat fogyása
- A felület korróziójával (vastagságcsökkenéssel) kell kalkulálni
- Horganybevonat vastagsága (50-150 µm)

Horganybevonat fogyása, korróziós sebessége (atmoszférikus igénybevételeknél)

Az élettartam növelhető:

- Vastagság növelésével
- DUPLEX bevonatokkal

6.4. Korrózióálló acélok:[21] [22]

A krómtartalom (>10%) miatt egy króm-oxid réteg jön létre a felületen. A króm-oxid réteg a felülethez nagyon jól tapad, hajlékony és sérülés esetén újraképződik.

4 típusa van:[20]

- martenzites (12-18 % króm)

- ferrites (12-18 % króm)

- ausztenites (17- 20% króm)

- ausztenites – ferrites (duplex), (20-25 % króm)

Célgéptervezésben mind a 4 fajtát vegyesen használják a követelményeknek megfelelően.

A korrózióálló acélok konyhasóval (kloridok) szemben ellenállóságának egy tájékoztató jellegű mértékegysége a PREN (Pitting resistance equivalent number), amelyet így lehet számolni:

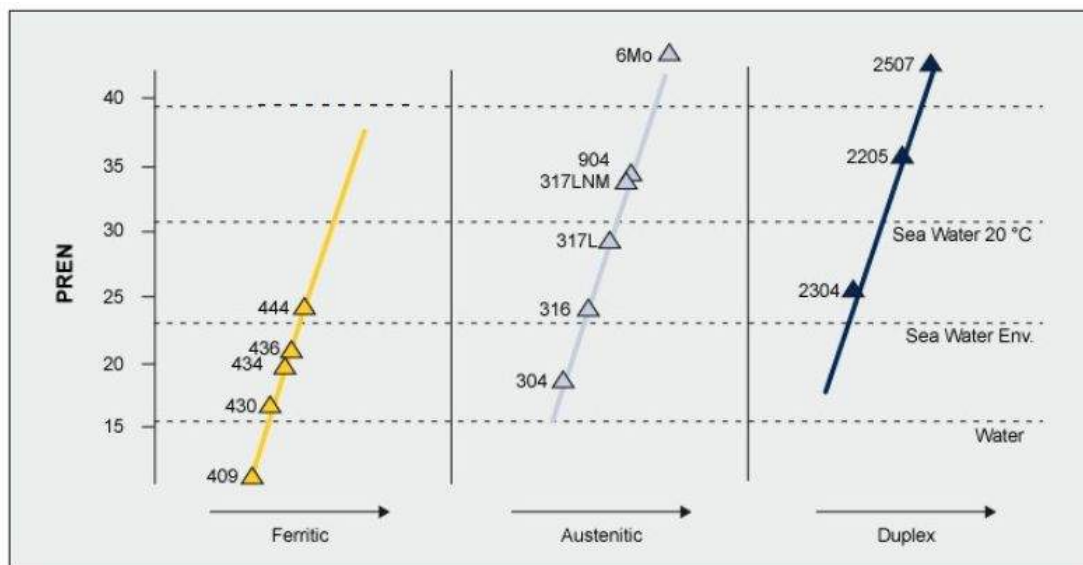
$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N} \text{ to } \text{PREN} = \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 30 \cdot \text{N}$$

Az alumínium ötvözetekre és a rozsdamentes acélokra jellemző korrózió típus a lyukkorrózió, ezért ez a jelzője, hogy “lyukkorrózió ellenálási szám”. [23]

Általánosságban elmondható, hogy a [24] alapján:

- vízálló acélok alsó határa PREN 15,
- sós **környezetben** a PREN 23-24 a minimális elvárás a hosszú élettartamért,
- A tengervíz ellenálásához minimum 31-es PREN kell,
- Az olaj és gáz iparban 32 PREN feletti acélokat használnak [25],
- hidrogén szulfidos (H₂S) környezetben 40 feletti PREN-es acélokat használnak.

- Elsősorban a lyukkorrózóra, klórra és egyéb ionokra, a tengervíz-ellenállóságra és a tengeri iparágakra lett kihegyezve.



Abra 23: Rozsdamentes anyagok PREN összehasonlítása

A korrózióvédelem vizsgálatára a sópermet kamra és a PREN is egy jó megoldás, inkább iránymutatásnak kell venni ezeket az adatokat, mert minden egyes korrozív anyag más-más követelményt igényel az acéloktól, és azokat is figyelembe kell venni.

6.5. Anyag- / bevonatválasztás:

Véleményem szerint nem indokolt a korróziómentes acélok ellenállása és extra felára ebben az esetben, mert a galvanizálás vagy tűzihorganyzás is bőven kielégíti a C1-C2-es követelményeket.

Kód	Korrozivitási kategória	Korróziós igénybevétel	Korróziós sebesség: a cinkre vonatkozó átlagos vastagság-vesztés $\mu\text{m/év}$
C1	Beltéri: száraz	Nagyon kicsi	$\leq 0,1$
C2	Beltéri: alkalmanként páralecsapódás Kültéri: szabadonálló vidéki belterület	Kicsi	$0,1 - 0,7$
C3	Beltéri: nagy nedvességtartalom, közepes légszennyezettség Kültéri: városi belterület vagy enyhe tengeri klíma (partvidék)	Közepes	$0,7 - 2,0$
C4	Beltéri: uszodák, vegyi üzemek stb. Kültéri: ipari belterület, vagy városi tengerparti klíma	Nagy	$2,0 - 4,0$
C5	Kültéri: Nagy nedvességtartalmú ipari terület, vagy nagy sótartalmú tengerpart	Nagyon nagy	$4,0 - 8,0$
Lm2	Tengervíz mérsékelt égövi területeken	Nagyon nagy	$10,0 - 20,0$

Abra 24: Korrozivitási kategóriák (MSZ EN ISO14713:2000)

[20]

Célszerűnek tartottam ismeretetni a lehetséges megoldásokat, ugyanis amint a vízzel való érintkezés rendszeres lenne, csak a tűzihorganyzás vagy a rozsdá-/ saválló acélok jelentenék a megoldást.

7. Gyártástechnológia

A jelen korban a víz- plazma - lézer vágás annyira elterjedt, hogy már a kicsi vagy közepes vállalkozások is rendelkeznek ilyen gépekkel, melyeknek a megmunkálási pontossága kielégítő ilyen szerkezeti elemek gyártásához. Ez nagyban leegyszerűsítheti a konstrukciót, funkció összevonásokat lehet végzni megfelelő tervezés esetén: kevesebb alkatrész kellhet.

A feladat jelenlegi állapotára már rendelkezésre állnak az újrarajzolt 3D-s modellek, melyek segítségével jobban meg lehet érteni egy funkciót, vagy logikát.

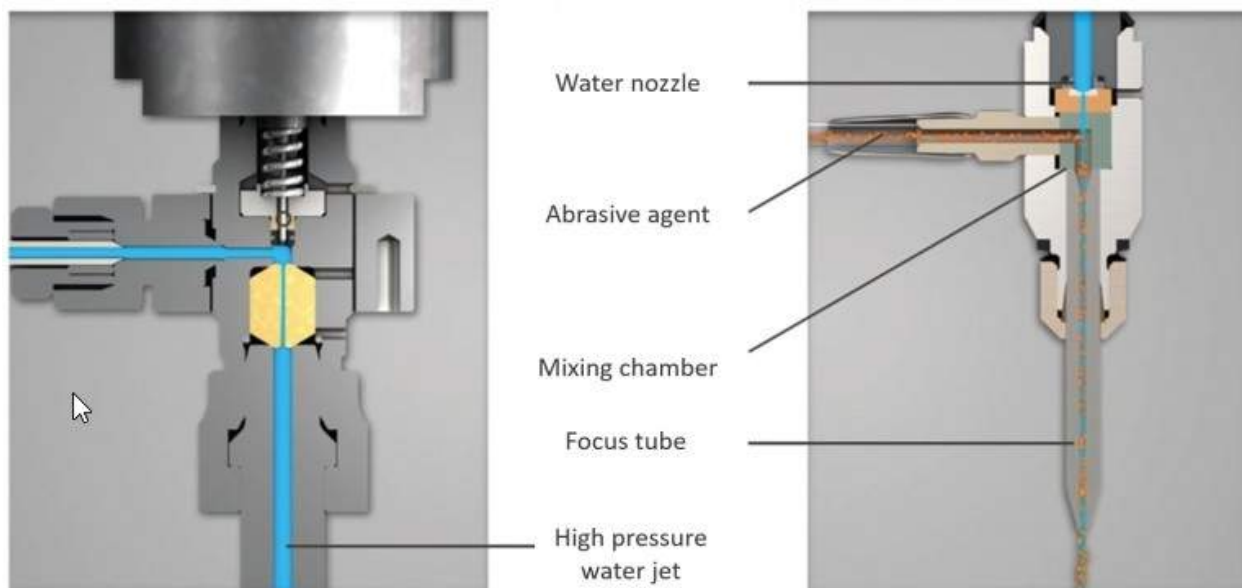
7.1. Vízvágás (Water jet cutting)

A vízvágás alapelve, hogy a vizet nagy nyomáson átréselik egy fúvókán (4000-6000 bar), mely során nagy sebességre gyorsul fel. A víz a hangsebesség 2-3 szorosával hagyja el a fúvókát, és ezzel a nagy energiatartalmú közeggel végzik el a megmunkálásokat.

A vízvágáson belül több technológiai elágazás jött létre a követelményeknek megfelelően:

Vízugaras vágás (Abrasive Water Jet cutting -AWJ):

[26]



Ábra 25: Vízugaras vágás

Finom abrazív Vízugaras (Fine Abrasive Water Jet cutting (FAWJ))

A Water Jet Sweden cég szerint az NCM 10-et - az első mikro vízugaras vágófejüket - 2008-ban fejlesztették ki, mely akkoriban a legpontosabb vízvágó fej volt a világon. Ez a speciális fej lehetővé tette az abrazív sugár 0.2 mm-re való csökkentését. A FAWJ eljárás nagyon finom 230-240 grites abrazív anyagot igényel, melyet speciális CNC vezérlésű adagoló adagol a vízhez.

Egyéb konstrukciós megoldások is szükségesek voltak a pontosság eléréséhez pl.: cseppfogó a rezgések csökkentésére, nagypontosságú X-Y Renishaw szán.

A megmunkálási típust a finom lézer megmunkálás és az EDM azaz a huzalszikra között lévő pontossági és sebességi követelmények közé szánták.

A finom vízsugarasvágás összehasonlítása a vízvágással: [27]

15 mm vastag szerszámacél extrudáló szerszám.

Finom vízsugarasvágás NCM 10-zel:

Max. sebesség: 11 mm/min

Min. sebesség: 4 mm/min

Elérhető megmunkálási pontosság: 0.02 mm

Megmunkálási idő: 1 h 30 min

Gépidő költség: € 180

Szíkraforgácsolással:

Sebesség: 1 - 2 mm/min

Elérhető megmunkálási pontosság:: kb 0.001 mm

Megmunkálási idő: > 8 hours

Gépidő költség: € 480

Tiszta Vízsugaras vágás (Pure Water Jet cutting PWJ)

Az adalékanyagoktól mentes tiszta víz eróziós hatását használják fel. Gépészeti szempontból nem annyira jelentős, de a könnyűiparban jól hasznosítható eljárás fa, papír, műanyagok, bőr, élelmiszerek vágására.[28]

Átlagos fűvóka átmérő 0.1 mm

Vágási sebesség: 300 mm /sec

Víznyomás: 3000bar

A gyámánt fűvókára minimum 1500 órás használati időt adnak meg. <https://www.foodcut.fr>

7.2. Lézervágás [29]

A lézerek felhasználhatósága figyelemre méltó, vágás, jelölés, gravírozás. A technológiával számos anyagot lehet vágni és jelölni mint pl: fa, papír, parafa, és néhány műanyagfajta. A gravírozás tulajdonképpen bármelyik szerves anyagon végbevihető. A fő anyag-célközönsége inkább acél, rozsdamentes acél, anodizált alumínium, kő, üveg. A nagyon tükröződő anyagok nyers alumínium, ezüst, réz nem kedveznek a CO2 lézernek, sőt inkább meghaladják a lehetőségeit, ezért más hullámhosszt kell választani.

Maga a lézergravírozás az iparban a megnövekedett minőségi követelmények miatt jelentősen terjedőben van, mert gyors és pontos és jól olvasható DMC-t (Data Matrix Code), vonalkódot rajkszámot lehet maradandóan a darab felületére íni.

A gravírozás, mint technológia nem lesz kibontva ezen dolgozat keretében, de fizikailag megegyezik a vágással, csak más a teljesítenyszint, és más a cél.

A lézervágás alapja, hogy az anyagot egy pontban a lézersugár segítségével felhevítjük és ezt a pontot egy meghatározott pálya mentén mozgatjuk CNC vezérlés segítségével, és ott az anyag elpárolog.

A legsűrűbben használt lézerek a CO₂ és a szilárdtest lézerek (Nd:YAG, fiber or disc lasers) Mindegyik típusnak meg van a maga területe, folyamata, gépesítése, és természetesen az előnyei-hátrányai.

A lézerek tulajdonságai:

- **CO₂ lézer**

A CO₂ lézer a legáltalánosabban használt a vágásoknál, mert a teljesítmény és a működési költség magasabb mint a szilárdtest lézereknél, ráadásul a hatásfoka nagyobb teljesítménynél jobb. A legfőbb probléma a CO₂ lézerekkel kapcsolatban, hogy a sugár kibocsátott hullámhossza 10.7 µm. Ez a hullámhossz nem továbbítható optikai szálon keresztül. Ezen okból kifolyólag a CO₂ lézereket főleg vas alapúfémek 2D és 3D vágására használják speciális gépekben.

Ideális választás ott, ahol a nagy pontosságú és jó minőségű vágás szükségeltetik. A vágott felület minősége szebb mint a fiber lézer vágásnál. Nem a marás vetélytársa, de sokkal gyorsabb gazdaságosabb megfelelő tervezés esetén.

Minden vékony és közepes vastagságú anyag vágására alkalmas, és bizonyos anyagvastagság felett gyorsabb is mint a fiber vágás.

Minden vágási folyamat megkezdése előtt ajánlott a gépet leellenőrizni, hogy kitudjuk a gép lehetőségeit teljesen használni.

Hűtőfolyadék hőmérséklet, és a műhely belső hőmérsékletének az ellenőrzése és beállítása a vágási teljesítményhez. Példa: egy melegebb helyen üzemelő 80 W CO₂ lézer esete: meg kell bizonyosodni róla, hogy a hűtés hozzá van igazítva a hőterheléshez, mert 24 °C (75 °F) felett jelentősen csökkenti a lézer teljesítményét.

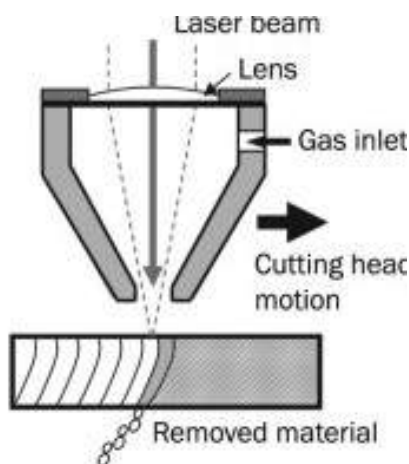
Szükséges a rendszeres lencse tisztítás is, mert a felhordódott szennyeződés drámaian csökkenti a teljesítményt és a pontosságot, esetleg egy váratlan lencserepedés is a küszöbön áll.

- **Fiber lézer**

A fiber lézervágás a leggyorsabb módja, hogy a vékony fém lemezeket kettévágjuk. Azokra a célokra a legmegfelelőbb ahol nincsenek szigorú elvárások a vágott felület felületi érdességével szemben. Minden fém vágására alkalmas a vékonytól a közepes vastagságig.

- **Szilárdtest lézerek**

Szilárdtest lézerek általánosságban drágábbak mint az azonos teljesítményű CO₂ vetélytársaik. Ebben az esetben az emittált fény hullámhossza 1.05-1.07 μm amit optikai szálon lehet továbbítani. Ez a tulajdonság lehetővé teszi azt, hogy a vágófejet felszereljék egy robotra, vagy bármilyen vezérelt mozgásra alkalmas vázra, és a sugarat üvegszálon keresztül továbbítják a vágófejhez. A



Ábra 26: A lézervágófej vázlatja.

fény ezen a hullámhosszon jobban elnyelődik a nem vas fémekben, mint pl: alumínium, titánium alapú ötvözetek, nikkel, stb. Ezen típusú lézer inkább automatizált gyártósoron szokták használni, ahol a vágási folyamatot robottal hajtják végre.

Miután a sugár létrejött, a lézer típusától függetlenül a vágófejhez kell irányítani. A vágófej lencsési fókuszálja a fényt, aminek ekkor kevesebb mint 0.2 mm az átmérője. Ezen sugár fókuszálásával nagy, $1.4 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$ energiasűrűséget lehet elérni. A 26. ábra mutatja a vágófej vázlatát.

Ebben egy időben a lézernyalábbal párhuzamosan gázt áramoltatnak a vágórésbe, anyagfüggő, hogy ennek a gáznak mi a feladata.

Vas fémek

Vas alapú fémek vágásakor közel 100%-os tisztaságú oxigént fecskendeznek be, melynek hatására exoterm oxidációs folyamatok játszódnak le, - az oxi-acetilénhez hasonlóan. Ez az anyag megolvasztásban segít, azzal, hogy a vágott felület hőmérsékletét megnöveli, de a másodlagos feladata, hogy a megolvasztott anyagot kifújja a vágórésből. Ezt a hatást folyamatosan tanulmányozzák, és volt már rá példa, hogy a vágósebességet 100%-kal tudták növelni, ezzel, hogy a nitrogént lecserélték oxigénre.

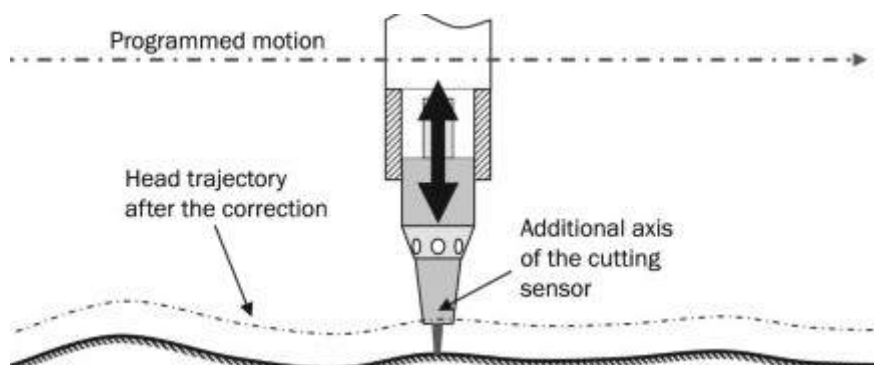
Nemvas fémek

Nem vas fémek és egyéb anyagok: Ezekben az esetekben inert gázt használnak, többnyire nitrogént, argont, vagy héliumot, hogy védjék a hevített területet. A gáznyomás elérheti a 20 bart is, de nem ez a szokványos érték. A gáz használatának a célja, hogy az anyagot eltávolítsák a vágási zónából, és ha inert gázt használnak nincs további energiabevitel, mert nincs további reakció.

A folyamat paramétereit tekintve, a vágási teljesítményt hozzá kell állítani a darab anyagához és vastagságához. A fő paraméterek amik meghatározzák a folyamatot az a lézer teljesítménye, a vágósebesség és az ív fókuszpontja.

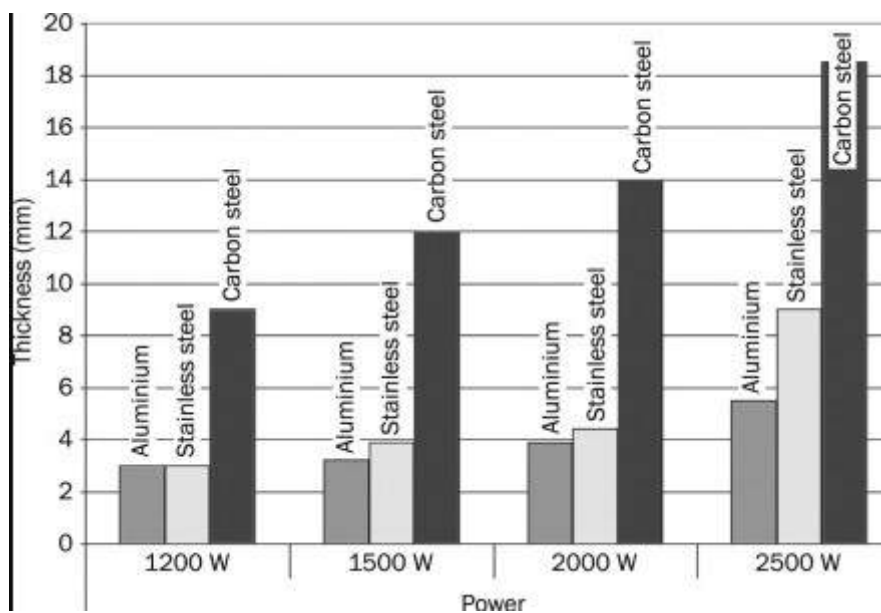
Általánosságban az optimum paraméterek a minimális teljesítmény és a nagy vágási sebesség a jó vágási minőséghez. Ami még fontos, hogy a fókuszpontot állandó távolságra kell tartani a vágott felülettől, ebből kifolyólag a vágófejeket fel kell szerelni szenzorral, és egy ráadás tengellyel ami rögzíti a vágófej távolságát a felülettől.

A szenzor méri a távolságváltozást és a vezérelt tengelyen hozzá állítja a fej magasságát. Ezen módszerrel az alapanyag felületi egyenetlenségeit ki lehet egyenlíteni.



Ábra 27: A vágófej magasság kompenzációja a ráadás tengely és kapacitív szenzor segítségével.

A maximálisan vágható lemezvastagság függ a vastagságtól és a vágási paraméterektől, az ábra mutatja az átvágható legnagyobb vastagságot, különböző teljesítményű Co2 lézereken alumíniumra, rozsdamentes acélra és szénacélra.(Trumpf, 2000).



Ábra 28: Vágható anyagvastagságok (Trumpf, 2000)

A lézervágás előnyei:

- minimális hősokk,
- extrém pontos alakok még vastagabb anyagoknál is,
- pontos vágás,
- jó reprodukálhatóság, ugyanis nincs szerszám kopás.
- könnyen folyamatba illeszthető.

[30]

A lézervágásnak sok előnye van a hagyományos megmunkálási módszerekkel szemben a pontossága, érintésmentessége és a használati költségek miatt. A vágás során létrejött koncentrált helyi hőfejlődés miatt minimális a terület hővesztesége és hőhatása, de sose zérus a szomszédos terület hőmérsékletváltozása. Ezt a bevitt hőmennyiséget befolyásolni lehet a vágósebességgel, lézerteljesítménnyel, stb. Az energiahatékonyság amit meghatároznak az előbb felsorolt paraméterek szintűgy befolyásolják a vágás minőségét.

Tehát korelláció van az energiahatékonyság és a végtermék minősége között. Ez a tény további vizsgálatokat követel meg ezen kapcsolat fölfedésében.

Vágható vastagság [31]

Az anyagvastagság és a sugár teljesítménye aránya lineárisan a legtöbb vas fémnél, kb 15mm-es lemezvastagságig. A kapcsolat egyszerű: a vágási vastagság hatványozódik a teljesítménnyel és fordítottan arányos a sebességgel.

Vastagabb lemezek vágása esetén a vágás minősége romlik, különösen 6-os falvastagság felett. Tehát legnagyobb vágató vastagság a teljesítmény, sebesség és a vágás kompromisszumán múlik, hogy mennyire megengedő a konstruktor. Jelenleg a 25 mm-es vastagság a gazdaságos maximum acélok esetén.

Bizonyos fémötvözetekben az Nd:YAG lézerrel jó minőségű vágatot érhetünk el 25 mm-es vastagságig, de ezen vágatokat a CO2 lézerhez képest extrém lassú vágási sebességek mellett érték el.

A felület tükröződése

Szobahőmérsékleten a kezeletlen acélok felülete visszaverik a CO2 lézer fényének a 93%-át (10.6µm) és a 75%-át Nd:YAG lézernek (1,06 µm). Hogy elkerüljék a CO2 lézer infravörös tükröződését a jelenlegi vágási technológiák nagy energiasűrűségű 1000-3500W jó minőségű sugárral működnek. A kulcs az, hogy kisebb az elnyelt teljesítmény (7-8%) fém olvadékot hoz létre, és ennek az olvadéknak már jelentősen jobb az abszorpciós képessége, mert ez már elnyeli a teljesítmény 50%-át, tehát a lyuk létrejön mikroszekundumok alatt.

A rövidebb hullámhosszú Nd:YAG lézer nagyobb teljesítményt tud bevinni a fémbe, de ennek ellenére lassabb a vágási folyamat.

A tökéletes mélység a gép teljesítményétől, előtolástól és a lemezvastagságtól és a vágott anyagtól függ. Ebben a témában a legbölcsebb ötlet a gyártóval konzultálni, hogy mik az ajánlásaik, esetleg hulladékon kísérletezni.

Anyagminőség, vastagság fiber lézer esetén

Szerkezeti acél, rozsdamentes acél: 25 mm

Aluminium ötvözet (AlMg3):25 mm

Réz: 10mm

Bronz: 10 mm

Anyagminőség, vastagság fiber CO2 lézer esetén

Szénacél hidegenhengerelt lemez: 20mm

Rozsdmentes és saválló acél 15 mm

Tüzihorganyzott acél: 4 mm

Aluminium ötvözet (AlMg3) : 8 mm

Bronz: 3 mm

<https://www.meliorlaser.hu/en/complex-sheet-metal-fabrication/laser-cutting-in-hungary>

Hátrányok

Egy egész csoport anyag van amit a CO2 lézer nem tud vágni vagy jelölni - de néhányat csupán az anyag tükröződése miatt egyszerűen nem lehet vágni, az egyik példa az aluminium.

Néhány további anyag azért nem vágható, mert a füstje vagy gőze mérgező az élőlényekre, vagy káros a gépre, mint az ABS vagy a PVC. Ezekből adódóan a saját egészségünk érdekében - mielőtt

lézerrel vágnánk valamilyen anyagot, amit előtte még soha nem vágtuk - ellenőriznünk kell, hogy ezek az anyagok jóvavannak-e hagyva vagy sem.

Általában nem egyértelmű, hogy mely anyagok vághatóak: példa a polikarbonát és a Lexan is lánggal ég és halálos klórgázt fejleszt ami megtölti a gépteret és gyorsan reakcióba lép a gépalkatrészekkel. Ez természetesen szétmarja a 25 000-30 000€-s gépünket. Az is említésre méltó, hogy a mérgező gázok-gőzök a közelben dolgozók egészségét is károsíthatják.

Ennek ellenére az akrilüveget- ami kinézetre, illatra, ízre ugyan olyan mint a Lexan - szépen és tisztán lehet vágni, és a lézerrel legjobban vágható anyagok közé tartozik.

Tehát nagyon fontos ellenőrizni, és újra le ellenőrizni, hogy mit akarunk lézerrel vágni, mert komoly problémákat generálhatunk magunknak, vagy a gépünknek.

A lézergravírozható anyagokról a következő forrásokon találhatunk infókat:

laserbits.com, johnsonplastics.com, burlane.com, idplates.com, thermark.com, ebay.com

7.3. Plazmavágás ISO 17916:2016(en) 3.10 [32]

A plazmaív az elektróda és az alapanyag között létrejött villamos ív és egy szűk furaton nagysebességgel kiáramló gáz együttes hatására jön létre oly módon, hogy a gázáram a vele egytengelyű villamos ívet összehúzza. Az erősen koncentrált 13 000-15 000 °C plazmaív a fémeket pontszerűen megolvasztja és a gázok kinetikus energiája a megolvasztott fémeket a vágási résből eltávolítja.

A plazmavágásához hagyományos és finomsugaras plazma választható. A plazmavágással 0,5 – 150 mm-es anyagok vágására használható. A vágófejek különböző kialakításúak az egyszerűbb levegőhűtésűtől a bonyolult többgázos vízhűtéses változatig megtalálható a széles kínálatban. A plazmavágás technológiája érzékeny az égő- és a munkadarab-távolság állandóságára, továbbá a vágandó anyag felületi minőségére. Igen szűk az a paraméter tartomány, ahol jóminőségű vágás érhető el. A finomsugaras plazmák 230 A teljesítményig az 1. és vágási minőség a 0,5 – 30 mm tartományban érhető el. Ugyanez a minőség hagyományos plazmával 600 A teljesítményig, az 5 – 120 mm-es anyagvastagság tartományban érhető el. A plazmák jelenlegi vágási sebességei a 100 – 12000 mm/perc tartományba esnek.

A plazmával vágható furatméret 1,5 mm-es anyagvastagság vagy annál nagyobb átmérőjű furatok esetén megfelelő minőségű. Az ennél kisebb átmérőjű furatok kivitelezése megfelelő minőségben nem garantált, bár egyes gyártók prospektusaiban már jelezték, hogy képesek az anyagvastagsággal egyező átmérőjű furatok jó minőségű vágására is.

A különböző anyagok plazmával történő vágáshoz többféle gáz, sűrített levegő, oxigén, nitrogén, nitrogén-hidrogén (F5), argon-hidrogén (H35), esetleg metán szükséges. Az alkalmazott gázok kiválasztása és a megfelelő paramétereinek beállításához jó szolgálatot nyújtanak az automata gázkonzolok, amelyek lehetővé teszik, hogy a vezérlésen néhány gombnyomás segítségével gyorsan beállíthatók az alapanyaghoz, anyagvastagsághoz illetve vágópuskához megfelelő gázok és paramétereik.

Fő alkalmazási területek:

A szerkezeti acélok, a korrózióálló acélok, az öntöttvasak, a réz, az alumínium és ötvözetek.

– Szerkezeti és saválló acélok, valamint alumínium ötvözetek vágása, jellemzően a 6-75 mm vastagság tartományban.

– Csaknem minden villamosan vezető, megolvasztható anyag, mint az ötvözetlen és gyengén, vagy erősen ötvözött acél, a nikkel alapú, réz-, titán-, alumínium ötvözetek és más fémek vágására alkalmas.

Az eljárás jellemzői:

- A lánggal nem vágható ötvözetek vágására vezették be;
- Nem kontakt eljárás;
- Minden, villamosan vezető ötvözet vágására használható;
- A lángvágásénál kisebb hőbevitel, ezáltal kisebb vágási rés és kisebb hő okozta vetemedések, feszültségek;
- A lángvágással összehasonlítva keskenyebb, de edzhető acélok esetén nagyobb keménységű hőhatásövezet képződik;

- Nagy zajszint (90-115dB) és füstképződés, hacsak nem víz alatti vágást alkalmaznak.
- A vágható lemezvastagság korlátozott, mivel plazmavágás során a megolvasztáshoz szükséges teljes hő forrása a plazma ív.

Típusai:

Víz befecskendezéses plazmavágás:

A percenként 60 l mennyiségű víz, amely az ívet körülvevő koncentrikus fúvókából áramlik, semlegesíti a mérgező gázokat, valamint az ív hőmérsékletén a víz felbomlik, a keletkezett H₂ redukáló hatást fejt ki, a vágott felület szép fényes lesz. Főleg alumínium és erősen ötvöztött acéloknaál alkalmazzák. A plazmagáz oxigén vagy nitrogén. A plazmaívre közvetlenül vizet fecskendeznek. A befecskendezett víz hatására a plazmaív jobban koncentráلódik, növekszik a sűrűsége és a hőmérséklete, ezáltal nagyobb vágási sebességet lehet elérni.

Levegős plazmavágás:

Az argon és nitrogéngáz helyettesíthető levegővel, ekkor maga a levegő lesz a plazmagáz. Ez a technológia azonban speciális, hafnium- vagy cirkónium elektródát kíván. A hűtéshez levegőt alkalmaznak a víz helyett. A vágási mód előnye, hogy a levegő, plazma, és hűtőgázként való alkalmazásával a költségek alacsonyabbak.

7.4. Lángvágás [33][34]

MSZ EN ISO 9013:2017 Termikus vágás. A termikusan vágott felületek osztályba sorolása. Termékek geometriai követelményei és minőségi tűrések (ISO 9013:2017)

A lángvágás elvi alapja a következő: a vas a fehérizzás hőmérsékletén oxigénsugárban igen gyorsan oxidálódik, közben jelentős hőmennyiség szabadul fel. A vasoxidok (FeO és Fe₃O₄) olvadáspontja a tiszta vas olvadáspontjánál kisebb. A lángvágáskor jelentkező salak tehát gyorsabban olvad meg, mint maga a tiszta vas. Egyes acélfajták a lángvágással csaknem tetszőleges alakra darabolhatók. Lángvágáskor a vágandó vonal kezdőpontját elő kell melegíteni.

Ezután az előmelegített helyre irányított oxigénsugárral a vasat elsalakosítják. A képződött híg folyós salakot az oxigénsugár nyomása a hézagból kiszorítja.

A gyulladási hőmérsékletre hevített fémeket az oxigénsugár elégeti, és az égésterméket a vágási résből kifűjja.

Folyamata:

1. Hevítés a fém gyulladási hőmérsékletére.
2. A felhevített fém elégetése oxigénsugárral.
3. A keletkezett égéstermékek (oxidok) kifűvatása oxigénsugárral.

A láng csak a felületet hevíti, a mélyebben fekvő részeket pedig a fém, a salak és a hevítőláng melegíti.

A lángvágás feltételei:

1. a fém oxigénben elégethető legyen;
2. a fém gyulladási hőmérséklete < az olvadáspontja;
3. a fém oxidjának olvadáspontja < a fém olvadáspontja,
4. az égéstermék híg folyós, könnyen eltávolítható
5. a fém égéshője lehetőleg nagy, hővezető képessége kicsi.

A gyulladási hőmérséklet az a hőmérséklet, ahol az oxigénnel való egyesülés önmagától bekövetkezik. Az égési hőmérséklet a gyulladási hőmérsékletnél nagyobb, ezen a hőmérsékleten az elégéskor fejlődő hő által az oxidáció (égés) önmagától tovább folytatódik.

Az acélok 0,25 % C-tartalomig kitűnően vághatók lánggal, 0,25 % C tartalom felett edződésre hajlamosak. A vágás közvetlen környezetében bekövetkező edződés elkerülhető kellő hőmérsékletű előmelegítéssel. A szükséges előmelegítési hőmérsékletet a kémiai összetétel (CE) és a lemezvastagság mondja meg. A vas egyes ötvözői (pl. Mn) segítik, néhány ötvözője (pl. Si, Mo, Ni) nehezítik, más ötvözők pedig adott százalékig nem befolyásolják a lángvághatóságot.

7.5. Technológiák összehasonlítása

A következő táblázat egész jól összefoglalja a különböző technológiákat, mit mire lehet használni. A marásnál veszek észre 1-2 hiányosságot, mert a szénacél és az RM acélok és az összes többi fém és jól marhatóak megfelelő szerszámmal.

Vágható anyagok	 Láng	 Lézer	 Marás	 Plazma	 Víz
Lágyvas	X	X	X	X	X
Szénacélok	X	X		X	X
Rozsdamentes acél		X		X	X
Alumínium		X	X	X	X
Titánium		X	X	X	X
Króm és Kobalt ötv.		X		X	X
Réz		X	X	X	X
Bronz		X		X	X
Cink		X		X	X
Plexi		X	X		X
Polikarbonát			X		X
Habosított anyagok		X	X		X
PVC			X		X
PET		X	X		X
Egyéb műanyagok		X	X		X
Gumi					X
Fa		X	X		X
Márvány, műkő			X		X
Gránit					X
Üveg					X

Ábra 29 Technológiák összehasonlítása [34]

Látható, hogy bonyolult feladat kiválasztani a megfelelő vágási technológiát egy kisvállalkozásnak, mert látniuk kell a jövőt, hogy milyen anyagból milyen vastagságban mennyit fognak rendelni tőlük. Ez tulajdonképpen egy műszaki kő-papír-olló helyzet, ha a lézerek közül kellene választanunk.

Stílusosan szólva: a gordiuszi csomót a vízvágás vágja át, mert mindent lehet vele vágni kb 60 mm-es vastagságig, azzal a minimális megkötéssel, hogy vízálló legyen az anyag, de a gép- és rezsiköltség nála a legnagyobb: átlagosan 60 €/óra.

8. Anyagválasztási lehetőségek

A tapasztalataim alapján vannak olyan alumínium ötvözetek, amelyek elérik az S235-S355 acélcsoport folyáshatárát szobahőmérsékleten. Érdeemes ismertetni és megvizsgálni annak a lehetőségét, hogy ezen anyagokat fel lehet-e használni ezen készülékben.

Az EN AW-7022 és az EN AW-7075 EN, AW-6082 is beszerezhető Magyarországon az Amari Kft-nél, de számszerű adatokkal dokumentációs papírokat csak máshol találtam.

8.1.1 EN AW-6082 (AlMgSi1)[35]

A DIN EN 485-2 alapján az EN AW-7022 (AlZn5Mg3Cu) T6 vagy T651-os hőkezeléssel eléri[35]:

- minimum $R_{p0.2}$: 255 MPa
- minimum R_m : 300 MPa
- jól hegeszthető és kiváló korrózióálló állósággal rendelkezik.
- E Rugalmassági modulus: 70 GPa
- Sűrűség 2.70 g/cm³

8.1.2 EN AW-7022

A DIN EN 485-2 alapján az EN AW-7022 (AlZn5Mg3Cu) T6 vagy T651-os hőkezeléssel eléri[36]:

- minimum $R_{p0.2}$: 370 MPa
- minimum R_m : 450 MPa
- Közepesen jól hegeszthető gázzal, MIG, WIG-gel, ellenállás hegesztéssel jól hegeszthető és közepesen korrózióálló.
- E Rugalmassági modulus: 70 GPa
- Sűrűség 2.810 g/cm³

8.1.3 EN AW-7075 [37] [38]

A DIN EN 485-2 alapján az EN AW-7025 (AlZnMgCu1,5, 3.4365) T6-os hőkezeléssel 6-12.5mm-ig:

- minimum $R_{p0.2}$: 460 MPa
- minimum R_m : 540 Mpa
- nehezen/nem hegeszthető gázzal, MIG, WIG-gel, ellenállás hegesztéssel jól hegeszthető, és közepesen korrózióálló.
- E Rugalmassági modulus: 70 GPa
- Sűrűség: 2.80 g/cm³

A 7075 és a 7022 ötvözetek a standard alumínium ötvözetek felső határát képviselik és az acélok csoportjában sem kell szégyenkezniük a tulajdonságaik alapján. A célgépipítésben ezek a számok nagyon jól jönnek súlycsökkentésre és merevítésre.

Az igaz, hogy 6082 folyáshatára az S235-tel versenyez, de jól hegeszthető és nagyon jól keményeloxálható de a sűrűsége kb 1/3-a, tehát ugyanazon konstrukció esetén az egész szerelvény ~60%-kal könnyebb.

A 70 GPa-s rugalmassági modulusból az adódik, hogy az acélhoz viszonyítva ugyanakkora terhelés alatt 3x akkora az alakváltozás, kihajlás.

8.1.4 S235JR (1.0037)

EN 10025-2:2004 alapján S235JR (1.0037)

- minimum R_{eH} : 235 MPa
- minimum R_m : 360-510 MPa
- Nagyon jól hegeszthető gázzal, MIG-gel, WIG-gel, és nem korrózióálló,
- E Rugalmassági modulus: 210 GPa
- Sűrűség: 7.85 g/cm³[39]

8.1.5 S355JR (1.0045)

EN 10025-2:2004 alapján S355JR (1.0045)

- minimum R_{eH} : 355 MPa
- minimum R_m : 510-680 MPa
- Nagyon jól hegeszthető gázzal, MIG-gel, WIG-gel, és nem korrózióálló,
- E Rugalmassági modulus: 210 GPa
- Sűrűség: 7.85 g/cm³[39]

Ezeket a mechanikai tulajdonságokat gyártóművi nyilatkozattal is alá lehet, bizonyos esetben alá kell támasztani, mint ahogy az ISD Dunferr honlapján meg is lehet találni:

[http://dunaferr.hu/download/20/hidegen-hajlitott-zart-idomacelok-magyar\[40\]](http://dunaferr.hu/download/20/hidegen-hajlitott-zart-idomacelok-magyar[40])

8.1.6 EN 10025:3 S460N

EN 10025-3:2004 alapján S460N (1.8901)

- minimum R_{eH} : 460 MPa
- minimum R_m : 540-720 MPa
- Nagyon jól hegeszthető gázzal, MIG-gel, WIG-gel, és nem korrózióálló,

- E Rugalmassági modulus: 210 GPa
- Sűrűség: 7.85 g/cm³[39] [41]

8.1.7 Nagyszilárdságú termomechanikusan hengerelt acélok MSZ EN 10025-6

EN 10025-3:2004 alapján S690 QL 1 (1.8988) [42]

- minimum R_{eH} : 690 MPa
- minimum R_m : 770-940 Mpa

S960 QL (1.8933) [43]

- minimum R_{eH} : 960 MPa
- minimum R_m : 980-1150 Mpa

S1100QL [44]

- minimum R_{eH} : 1100 MPa
- minimum R_m : 1200-1500 MPa

Közös ismertetőjelük a kimagaslóan jó folyáshatár, magas ütőmunka érték, nehéz beszerezhetőség, és problémás hegeszthetőség. [45]

Hegesztésük pontos előmelegítést, extrém folyamat- és technológiai fegyelmet kíván, amire nincsenek felkészülve a beszállítók.

A meghivatkozott TDK dolgozat alapján több bizonytalanságot vinnék be a konstrukcióba a hegesztés során, mint amit a növelt szilárdsággal nyerek.

9. Anyagválasztás

Aluminium ötvözetek:

Kiváló megoldást jelentenének kisebb terhelésű emelőeszközökre. A problémám az, hogy az acélhoz viszonyítva a rugalmassági modulusuk 33% (210 vs 70 GPa), tehát ugyan akkora terhelésre 3x akkora kihajlással reagálnak.

Véleményem szerint kifáradás és repedésterjedés szempontjából ez nem lehet előnyös.

További hátrány: Nehéz/nehezebb hegeszteni, ismeretlenek a megfelelő hegesztéstechnológia folyamatparaméterek. Az is kérdéses, hogy belátható időn belül lehet-e találni minőségi munkát végző hegesztőt aki hajlandó ilyen komoly készüléket hegeszteni, természetesen a hozzávaló nyilatkozatokkal.

Közepes szilárdságú szerkezeti acélok:

Kézenfekvő megoldás ezen anyagok használata, ugyanis elterjedtségük és áruk és anyaguk miatt nem probléma se a beszerzésük, se a velük való munka.

Nagy szilárdságú acélok:

a termomechanikusan hengerelt acél kiváló alapanyaga lenne ennek a készüléknek, de sajnos eléggé nehéz beszerezni ezeket az alapanyagokat. Ebből kiindulva a hegesztésük se lenne zökknőmentes, ugyanis nincs sok embernek tapasztalata velük.

Kritikus esetben edződési és hidrogén okozta repedés is előfordulhat, aminek kockázata előmelegítési technológia alkalmazásával csökkenthető. Ebből kifolyólag olyan hegesztéstechnológiát kell kidolgozni, ami a lehető legkisebb mértékben változtatja meg a szövetszerkezetet, és ezáltal biztosítja a megfelelő szívóssági és szilárdsági tulajdonságok megőrzését. Ez korlátozott hőbevitellel, a vonalenergia értékének pontos szabályozásával, húzott, lehetőleg minél több sorban történő hegesztéssel érhető el.

Ezen okokból sajnos mellőznöm kellett ezeket az anyagokat. [46]

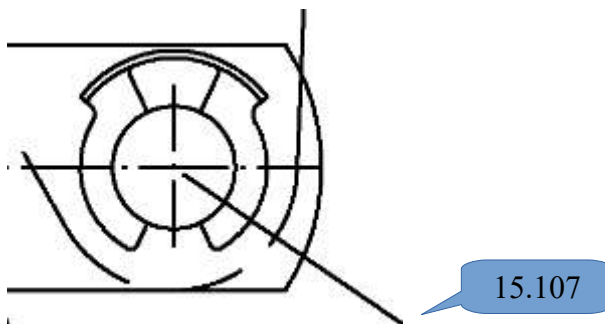
10. Konstruktív megfontolások

- Lehetőség szerint a lehető legkevesebb hegesztési varratot szeretném húzásra, nyírásra terhelni, de ez nem mindig kivitelezhető.
- Az eredeti konstrukcióban felváltva voltak vegyesen a következő lemeztavastagságok 4-5-6-8-10 mm. Mivel ezeket nem lehet 1 felfogásban megmunkálni semmivel, ezért ennek is árdragító hatása van. Az anyagvastagságokat csökkentem 6-8-10 mm-re
- A vízvágás miatt a legcélszerűbb az lenne, hogy egy vastagságból megtervezni az egészet, és egy felfogásból kimunkálhatják egy természetes lemezből. Tehát kevesebb vastagsági változatból kellene tervezni.
Egy ígéretes megoldás lenne, hogy 6-os lemezből mindent megtervezni, mert hegesztéssel, ponthegesztéssel (pont-perem módszerrel) ebből még lehet csinálni 12-es lemezt is, mely tökéletesen megfelelne nekem, de mivel a technikában még nincs tapasztalatom, inkább kihagyom.
- A galvanizálási ismertetőben említett okokból nem használok elektrogalvanizálást a magasabb folyáshatárú anyagokon, csupán barnítást.
- A 'Tápasztalatok vélemények' szekcióban ismeretett konstrukciós problémákat ki kell javítani, és jelenlegi konstrukciókon is be kellene vezetni.

11. Tapasztalatok, vélemények

A napi használat során felmerülnek ötletek, hogy hogyan lehet jobbá vagy biztonságosabbá tenni a gépeket vagy készülékeket, és ez az eszköz sem kivétel. Ebben a fejeztemben ismerettem, hogy milyen konstrukciós problémákat kell kijavítani

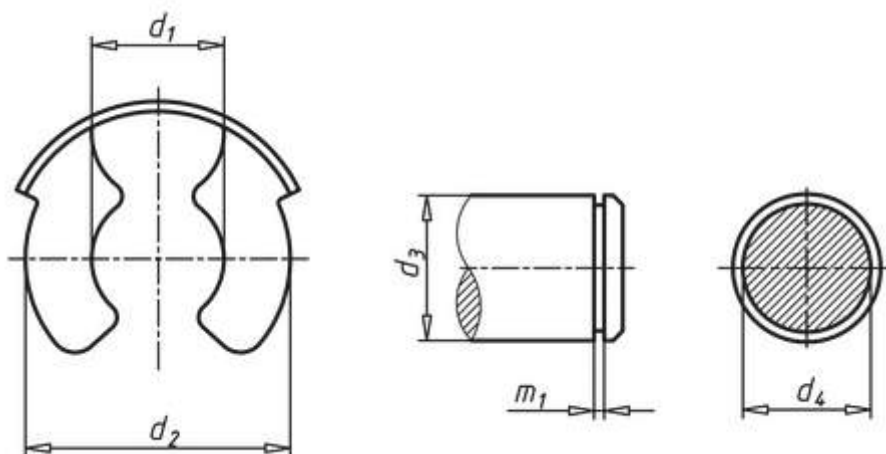
10mbo09 használhatatlan, kézzel oldható



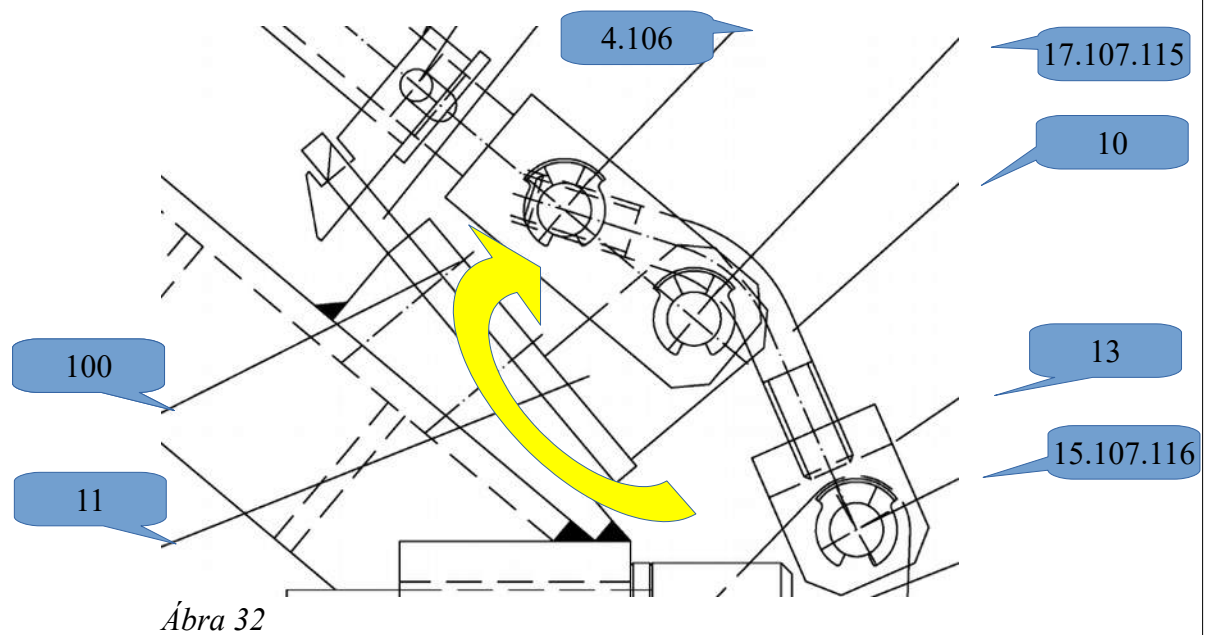
Ábra 30: 5T66.150.128
szerelve, részlet

Tétel 15: 5T66.150.128, tengely

Tétel 107: 10mbo09 K-L Sicherung, biztosítógyűrű



Ábra 31: mbo-Osswald; KL-Sicherungen. Ismertető ábra



Ábra 32

Tétel 4: 5T66.040.128, Tengely D20f7 D18_{-0.1} horonnyal

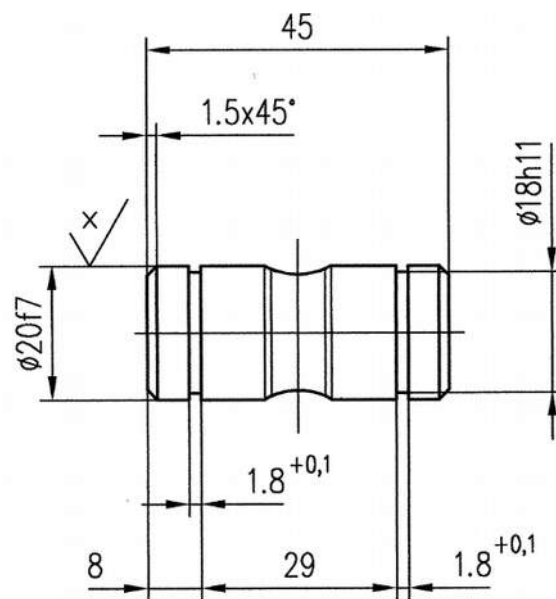
Tétel 11: 5T66.110.128, Tartótömb

Tétel 100: DIN 912; M6x16; 10.9 BK NY HF csavar

Tétel 106: 24mbo09 K-L Sicherung, biztosítógyűrű D20-25-ös tengelyre, D16-19-es horonyhoz[47]

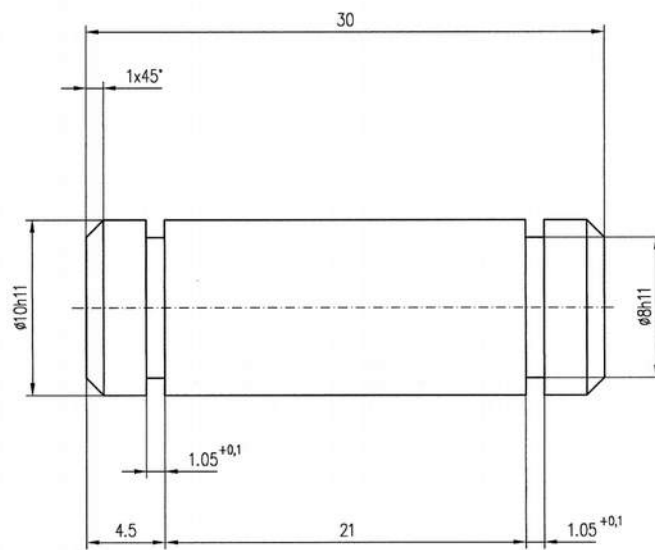
Tétel 107: 10mbo09 K-L Sicherung, biztosítógyűrű 10-es tengelyre

- A csavarok [Tétel 100] csak szimbolikusan vannak jelölve és pont nem fér el a K-L biztosító gyűrű miatt a csavar feje. Az összeállítási rajzon a 4.106-os tétel nem a valóságos méretet mutatja, lehet hogy csak elfelejtette a tervező módosítani az összeállítási rajzot, és ezért maradt benne a kb D10-es tengely és biztosítógyűrű. Sajnos pont ez a hiba okozza az alkatrészek ütközését.
- Biztos, hogy máshol nagyon jól jön, hogy kézzel, vagy csavarhúzóval, kombináltfogóval stb könnyen leszerelhető a 106+107, de ebben a esetben sajnos ez biztonság kritikus, úgyhogy ezt a megoldást lecserélem.
- A 106-os tétel mértetei látva, már értem, hogy miért jön le kézzel, mert kb a közepes méretű megengedhető tengelyhoronyra került (D18) rá ahol nincs olyan nagy szortása a pofáknak a tengelyen.
- Ehhez a 106 és 107-es komponenshez a Traceparts.com oldalon sajnos még modelt se találtam rövid idő alatt, úgyhogy ezeket már alapból DIN 471-gyel fogom pótolni[48]

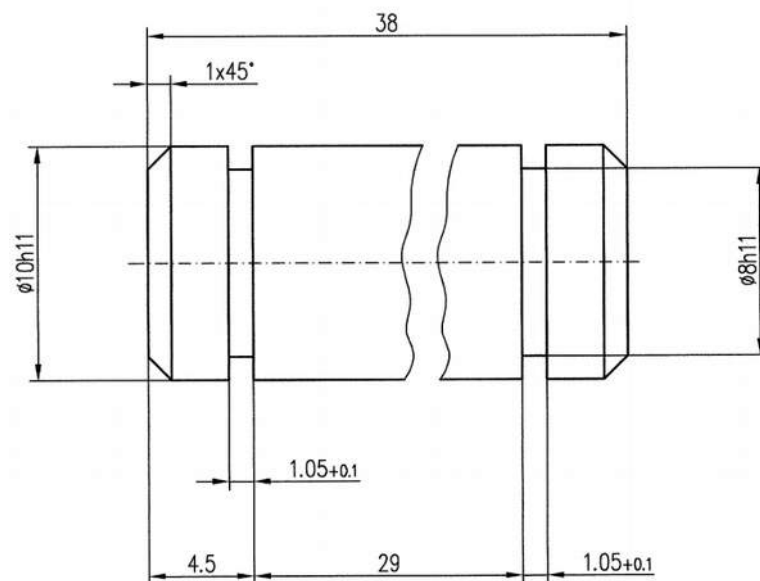


Ábra 33: 5T66.040.128 eredeti

A Seeger[49] seeger katalógusa alapján a következő furcsaságokra lettem figyelmes:



Ábra 34: 5T66.150.128 eredeti

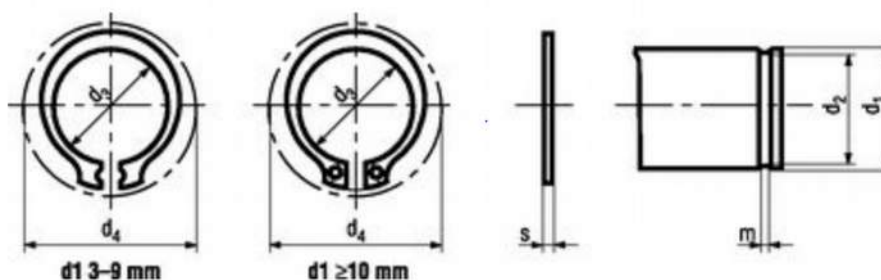


Ábra 35: 5T66.170.128 eredeti

Bezeichnung Designation Désignation	Nennmaß Nominal Dimension Dimension nominale d ₁	Nut · Groove · Gorge				Ergänzende Daten · Supplementary data · Données complémentaires								
		d ₂ [*]	Toleranz Tolerance Tolérance	m [*] min.	t	n	F _N kN	F _R kN	g	F _{Rg} kN	A _N mm ²	K kN · mm	n _{abl} x1000 (1/min)	Zange Pliers Pince
A 3	3	2,8	−0,04	0,50	0,10	0,3	0,1	0,47	0,5	0,27	0,9	2,06	360	ZGA-0
A 4	4	3,8	−0,04	0,50	0,10	0,3	0,2	0,50	0,5	0,30	1,2	1,93	211	ZGA-0
A 5	5	4,8	−0,04	0,70	0,10	0,3	0,2	1,00	0,5	0,80	1,5	7,38	154	ZGA-0
A 6	6	5,7	−0,04	0,80	0,15	0,5	0,4	1,45	0,5	0,90	2,8	10,40	114	ZGA-0
A 7	7	6,7	−0,06	0,90	0,15	0,5	0,5	2,60	0,5	1,40	3,2	14,70	121	ZGA-0
A 8	8	7,6	−0,06	0,90	0,20	0,6	0,8	3,00	0,5	2,00	4,9	14,20	96	ZGA-0
A 9	9	8,6	−0,06	1,10	0,20	0,6	0,9	3,50	0,5	2,40	5,5	30,00	85	ZGA-0
A 10	10	9,6	−0,11	1,10	0,20	0,6	1,0	4,00	1,0	2,40	6,2	28,20	84	ZGA-1
A 11	11	10,6	−0,11	1,10	0,25	0,8	1,4	4,50	1,0	2,40	8,4	26,10	70	ZGA-1
A 12	12	11,5	−0,11	1,10	0,25	0,8	1,5	5,00	1,0	2,40	9,2	24,00	75	ZGA-1
A 13	13	12,4	−0,11	1,10	0,30	0,9	2,0	5,80	1,0	2,40	11,9	23,20	66	ZGA-1
A 14	14	13,4	−0,11	1,10	0,30	0,9	2,1	6,40	1,0	2,40	12,9	22,90	58	ZGA-1
A 15	15	14,3	−0,11	1,10	0,35	1,1	2,6	6,90	1,0	2,40	16,1	21,60	50	ZGA-1
A 16	16	15,2	−0,11	1,10	0,40	1,2	3,2	7,40	1,0	2,40	19,6	21,00	45	ZGA-1
A 17	17	16,2	−0,11	1,10	0,40	1,2	3,4	8,00	1,0	2,40	20,8	21,60	41	ZGA-1
A 18	18	17,0	−0,11	1,30	0,50	1,5	4,5	17,00	1,5	3,75	27,5	37,10	39	ZGA-2
A 19	19	18,0	−0,11	1,30	0,50	1,5	4,8	17,00	1,5	3,80	29,1	36,40	35	ZGA-2
A 20	20	19,0	−0,13	1,30	0,50	1,5	5,0	17,10	1,5	3,85	30,6	36,30	32	ZGA-2
A 21	21	20,0	−0,13	1,30	0,50	1,5	5,3	16,80	1,5	3,75	32,2	35,40	29	ZGA-2

Ábra 37:
Seeger
névleges
méretek

Ábra 36: Seeger katalógus, horony kialakítási méretek, montázs



Ábra 38: Seeger méret magyarázat, BRW tools

[50]

A fenti ábrák segítségével megállapítható, hogy az alkatrészeken a hornyok nem a DIN 471 szerinti Seeger gyűrűknek valók. Mindegyik alkatrész d_2 -es horony átmérője kisebbre tervezett és készült is, mint szükséges a DIN 471-hez. Effektíve ez problémát nem okoz, mert ráfér a Seeger-gyűrű, de lötyögni fog rajta. Az avatottabb szemeknek ez nem szép látvány.

Ez megmagyarázza azt az anomáliát, hogy amikor lecseréltem a K-L gyűrűket Seegergyűrűkre (DIN 471) az összes harangozott, ami számomra szokatlan volt, de még mindig sokkal megbízhatóbbnak találom ezt a megoldást, mint az eredetit.

Az m horonyszélességek se szabvány szerintiek, de összeszereléskor nem okozott problémát.

Az EBSZ taglalja, hogy a működtető elemeket, és biztosító alkatrészeket valamilyen úton-módon jelölni kell, hogy a véletlen működtetést elkerüljük.

Felmerült ötlet az, hogy működés közben, azaz teher alatt a fenti 5T66.050.128-as alkatrészt biztosítani kell, hogy véletlenül ne lehessen elmozdítani a nyelében elrejtett rugó ellenében, mert ez azt jelenti, hogy a kar elfordítása után a teher leesik.

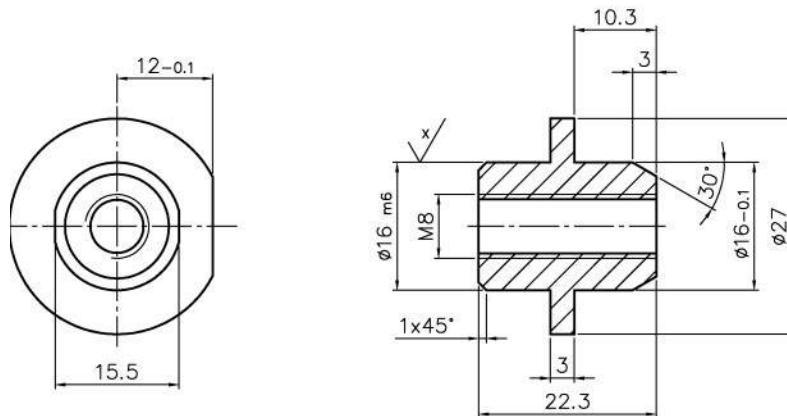
Ezen alkatrész porfestetése után jöttem rá, hogy festékkopadék több bajt okozhat, mint először gondoltam, úgyhogy ez a tétel vörös eloxálásra el lett küldve.



Ábra 39: Vörös porfestett biztosítótömb sasszeggel és láncsal

Probléma: kis kopásnál is nagy kopási hézag.

Az alkatrész esetében 2 módosítást szeretnék véghez vinni, mind a kettőnek más a célja

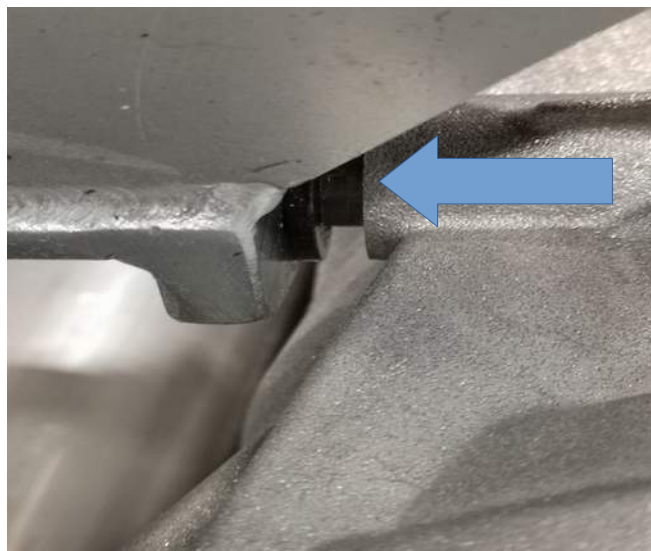


Ábra 40: Tartócsap

A lenti képen látható, hogy nagyon nagy a hézag a csap és a ház között, ami azt jelenti, hogy az alumínium házban a furat asszimmetrikusan veszi fel a terhelést. Ez hosszabb távon azt okozhatja, hogy egyszerűen kitörik a váltó súlya alatt a furat pereme.

Ez nem a váltótartó kengyel hibája lenne, de arra visszavezethető így ezt meg kell előznünk.

Ennek a okát ki is vizsgáltam és a megoldásokat is röviden ábrákkal be is mutatom.

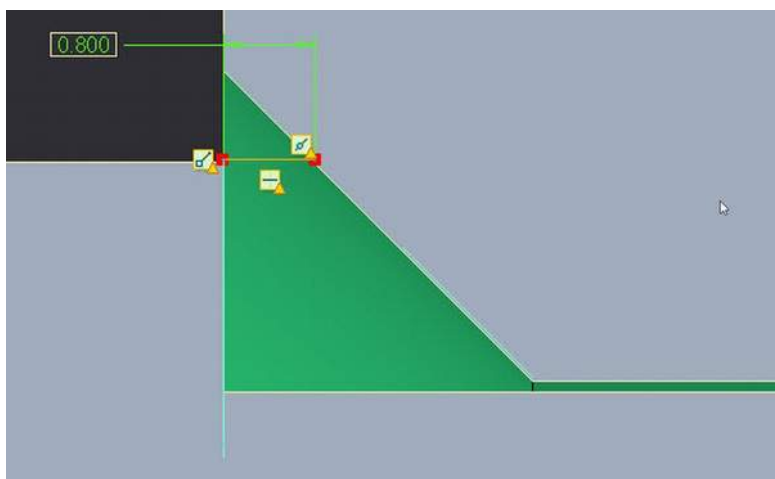


Ábra 41: Hézag a váltóház és a kengyel között: 4 mm

Ez nem a váltótartó kengyel hibája lenne, de arra visszavezethető így ezt meg kell előznünk.

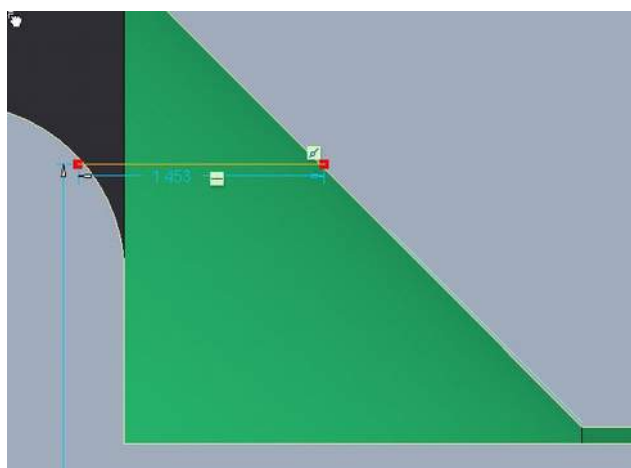
Ennek a okát ki is vizsgáltam és a megoldásokat is röviden ábrákkal be is mutatom.

Ideális esetben kopás és tűrések nélkül van 0,8 mm a távolság váltóház és a tartócsap között, ahogy a lenti kép mutatja.



Ábra 42: Kopásmentes alkatrész távolsága

Mivel pont egybeesik a ház letörésével a kopás profilja, nagyobb a lehetséges elmozdulás. Mint látható, hogy már egy lehellyeni kopás esetén - amit 1 mm-es rádiusszal szemléltettem - ez a távolság már 1.4 mm.



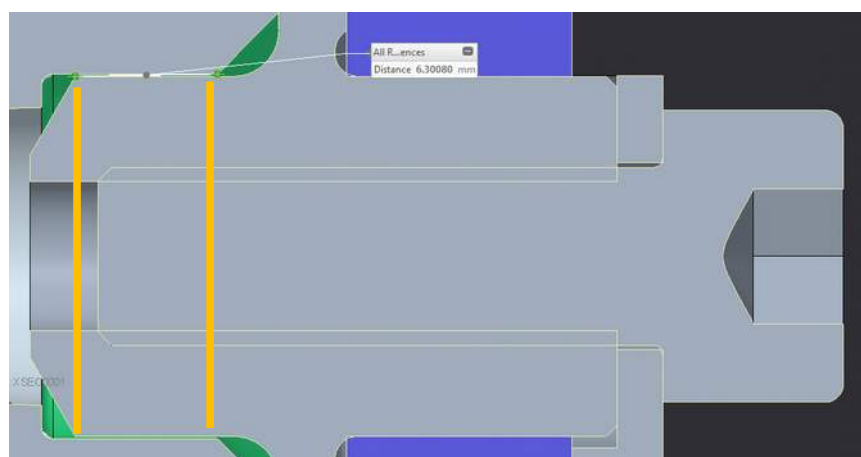
Ábra 43: Virtuális kopás: 1 mm-es rádiusz

A mérések szerint a váltótartó kengyel pofáinak a távolsága megfelel a rajznak tehát nincs maradó alakváltozás a kengyelben. Az egyetlen eltérés a kopott csap "lekerekedése".

Néhány apróbb konstrukciós módosítással az ideális felfekvő hosszt 4,6 mm-ről megnőveltem 6,3mm-re, tehát a csap mélyebben ül bele a ház furatába, kisebb eséllyel okoz kiszakadást.



Ábra 44: Eredeti állapot: 4.6mm-es felfekvő felület



Ábra 45: Módosított változat: 6.3 mm felfekvő felület

A csap állíthatósága.

Viszonylag szorosan összefügg az előző témával, mert azért kell állítani, hogy a csap jobban beleüljön a váltó tartó furatába. A hegesztések mennyisége miatt nem garantálható a pontos méret, ezért is lehet indokolt egy-két kisebb utánállítás.

A lenti képen látható, hogy az alap konstrukció esetében kb 1,5 mm-rel bentebb fekszik a felfekvő felület a kengyelben, tehát az a táv és anyag térfogat nincs kihasználva teljesen a teher tartására.

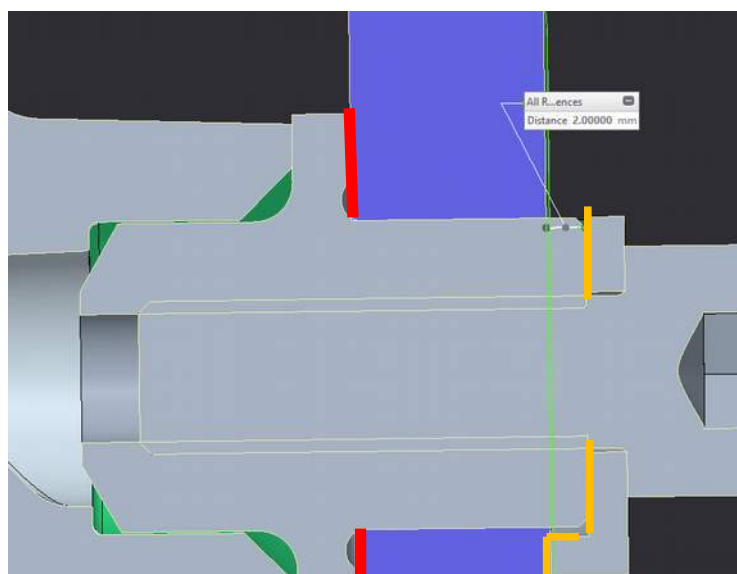
Tehát ha egy 1 mm-es hézagolót (piros vonal) szeretnék beépíteni a túloldalra, már 2,5 mm nem tartja a terhet. Belátható, hogy ez nem megengedhető, hogy egy 10 mm vastag anyagban 2,5 mm nem teher tartó, mert ez 25%-os hossz csökkenés, térfogatra vetítve ez hatványozódik.

Ez azt okozhatja, hogy a tartólemezben a feszültségek átlépik a folyáshatárt, és észrevétlenül kihajlik a tartócsap furata. Emiatt is van a az alkatrészben egy M8-as furat, hogy a csavar előfeszítésével is tehermentesítjük az illesztett álmérőt.

Egy 8.8-as M8 as csavar $\mu = 0,24$ -nél 38 Nm meghúzási nyomatékkal 15,5 kN előfeszítő erőt hozunk létre a VDI 2230 (111. oldal) szerint, ez elég a rögzítésre.

A megoldás az lett, hogy a csapot meghosszabbítottam, és a tartó alátétetbe tettem egy sülyesztést (narancssárga kontúr), hogy a csap biztonsággal beüljön, de még ne feküdjön föl. Így még mindig kihasználható az M8-as csavar tartóereje, és a csap teljes felfevő felülete akkor is ha 0,5 vagy 1 mm-rel ki kellene hézagolni a kék lemez túloldalán a csapot.

Nyilván ezek a megoldások csak új alkatrészek legyártásával, beszereléssel és teherpróbával kerülhetnek be a jelenlegi készülékbe, de az új konstrukciót már így terveztem.



Ábra 46: Illeszkedő felület megnövelése

Látható, hogy türelmes aprólékos kutatómunkával meg lehet találni a probléma gyökerét, és arra a megoldást is. Minél hamarabb vesszük észre és javítjuk ki annál jobban járunk anyagilag és idegileg is.

12. Szilárdsági számítás a új konstrukcióra

Alapadatok:

- Teherbírás: $T = 300 \text{ kg}$

Túlterhelés: $125\% \rightarrow 300 \cdot 1.25 = 375 \text{ kg}$

- Saját tömeg: $m = 15 \text{ kg}$

Gyors számolás alapján:

$$F_{t\text{ régi}} = (T + m) \cdot g = (180 + 15) \cdot 9.81 = 1913 \text{ N}$$

$$F_{t\text{ új}} = (T + m) \cdot g = (375 + 15) \cdot 9.81 = 3826 \text{ N}$$

A terhelő erő pontosan a duplájára emelkedett.

Ebben az esetben már nem csak a szilárdsági adatokat kell figyelembe venni, hanem a megtervezett 3D modell alapján végeसेlemes számításokkal is alá kell támasztani a konstrukciót, mert aránytalanul nagy lehet a szerkezet kihajlása.

A végeसेlemes modellezéseket a Solidworks beépített VEM moduljával végeztem el.

Megengedett feszültségek:

Az MSZ EN 13155:2003+A2:2009 szabvány előírásai szerint a teherviselő elemek mechanikai szilárdságának a következő követelményeknek kell megfelelnie:

- A szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy a teher leejtése nélkül viselje el a névleges teherbírás háromszorosával egyenlő statikus terhelést még akkor is, ha maradó alakváltozás lép fel.
- A szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy maradó alakváltozás nélkül viselje el a névleges teherbírás kétszeresével egyenlő terhelést.

A fenti előírások értelmében a megengedett feszültségek: $\sigma_{meg} = \frac{R_m}{3}$ és $\sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{2}$

12.1. Emelőszem ellenőrzése:

Adatok:

- Átmérő: $d = 10 \text{ mm}$

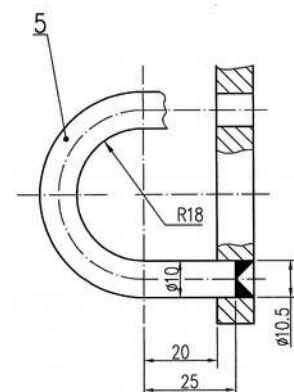
- Emelőszem száruk középvonalainak távolsága: $L = 46 \text{ mm}$

- Horog szélesség: $B_h = 15 \text{ mm}$

- Anyag: St 52-3 EN; 10025-2:2004 alapján S355JR (1.0045)

- Folyáshatár: $R_{p0.2} = 355 \text{ MPa}$

- Szakítószilárdság: $R_m = 490 \text{ MPa}$



Ábra 47: Emelőhurok

- Megengedett redukált feszültség:

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{p0.2}}{2} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \quad \sigma_{meg} = \frac{R_m}{3} = \frac{490}{3} = 163 \text{ MPa}$$

Mivel az alacsonyabb értéket kell figyelembe venni, a szakítószilárdságra való méretezés a mérvadó.

- Terhelő erő:

$$F_t = (T + m) * g = (180 + 15) * 9.81 = 1913 \text{ N}$$

$$F_{t_{új}} = (T + m) * g = (375 + 15) * 9.81 = 3826 \text{ N}$$

- Keresztmetszet:

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4} = \frac{10^2 * \pi}{4} = \frac{314}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

Húzás:

- Húzófeszültség:

$$\sigma = \frac{F_t}{A * 2} = \frac{3826}{78.5 * 2} = 24.4 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{megfelel}$$

Nyírás:

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{163}{\sqrt{3}} = 94 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{3826}{78.5} = 48.8 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{megfelel}$$

Hajlítás:

- Keresztmetszeti tényező:

$$K = \frac{d^3 * \pi}{32} = \frac{10^3 * \pi}{32} = 98.2 \text{ mm}^3$$

- Hajlítónyomaték:

$$M_h = \frac{F_t}{2} * \frac{L - B_h}{2} = \frac{3826}{2} * \frac{46 - 15}{2} = 29651 \text{ Nmm}$$

- Hajlítófeszültség:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{K} = \frac{29651}{98.2} = 301.95 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Nem felel meg!}$$

Redukált feszültség (HMH):

- Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = \frac{T * g}{N} = \frac{375 * 9.81}{3} = 1126,26 \text{ N}$$

Nyírás:

- Nyírt keresztmetszet:

$$A = \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} = \frac{(16^2 - 8^2) * \pi}{4} = 151 \text{ mm}^2$$

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{317.5}{\sqrt{3}} = 183.3 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{1126.26}{151} = 8.12 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Hajlítás:

- Keresztmetszeti tényező:

$$K = \frac{(D^3 - d^3) * \pi}{32} = \frac{(16^3 - 8^3) * \pi}{32} = 352 \text{ mm}^2$$

- Hajlítónyomaték:

$$M_h = F_t * B = 1126.26 * 11 = 12388.86 \text{ Nmm}$$

- Hajlítófeszültség:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{K} = \frac{12388.86}{352} = 35.19 \rightarrow 35.2 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

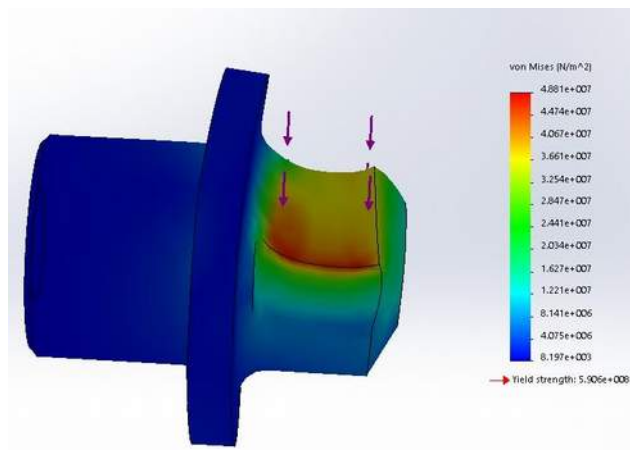
- Redukált feszültség (HMH):

$$\sigma_{redukált} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{35.2^2 + 3 * 8.12^2} = 37.9 \rightarrow 38 \text{ MPa} < \sigma_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

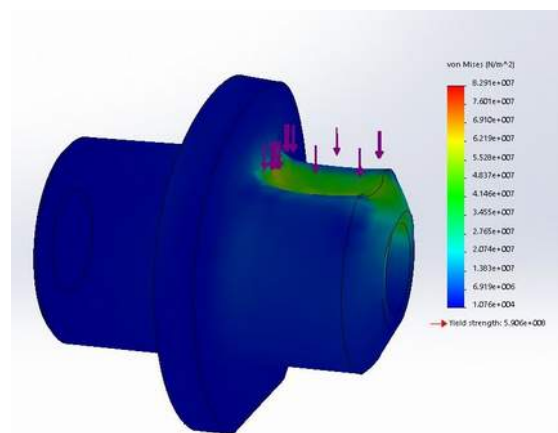
Látható, hogy dupla terhelés esetén is kényelmesen megfelelnek az alkatrészek.

Mivel gyengítések keletkeztek az alkatrészn, a biztonság kedvéért elvégeztem a VEM-es ellenőrzést is 3750 N-os terheléssel (375 kg).

A szándékos pontatlanságnak az a célja, hogy kiderítsem: a csap elbírná-e a teljes terhelést?



Ábra 49: Tartócsap terhelés 1



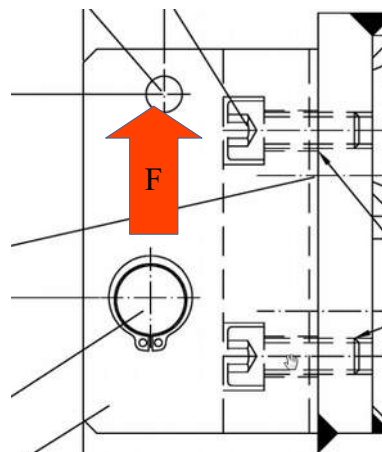
Ábra 50: Tartócsap terhelés 2

Igen, 2465 és 1788x-os nagyításban láthatóak a feszültségek maximumai a fenti képeken, és a feszültségek értékei rendre 4.88×10^7 és 8.291×10^7 Pa. A folyáshatár a Solidworks szerint 5.9×10^8 N/m² : 48 MPa, 82 MPa, és 590 MPa.

12.3. Adapter tengely ellenőrzése

Adatok

- Átmérő: $d = 8$ mm
- Anyag: DIN6325 8xm6x60 : 1.2067 [4]
- Folyáshatár: $R_{p0.2} = 590$ MPa
- Szakítószilárdság: $R_m = 750$ MPa
- Megengedett redukált feszültség:



Ábra 51: Adapter tengely

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{p0.2}}{2} = \frac{590}{2} = 295 \text{ MPa} \quad \text{vagy, amelyik kisebb} \quad \sigma_{meg} = \frac{R_m}{3} = \frac{750}{3} = 250 \text{ MPa}$$

Ebben az esetben a szakítószilárdságra kell méretezni.

Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = (T + m) * g = (375 + 15) * 9.81 = 3826 \text{ N}$$

Keresztmetszet:

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4} * 2 = \frac{8^2 * \pi}{4} * 2 = 100.5 \text{ mm}^2$$

Nyírás:

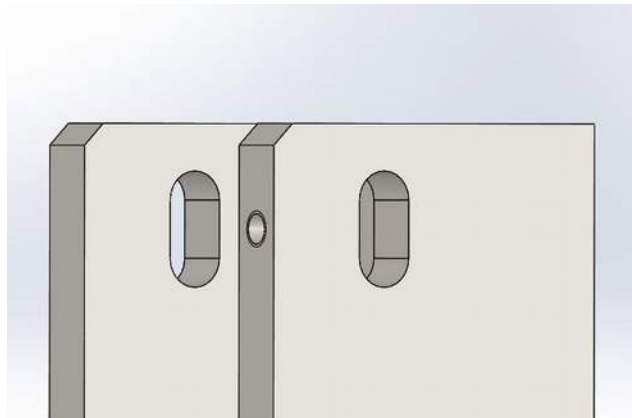
- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{250}{\sqrt{3}} = 144 \text{ MPa}$$

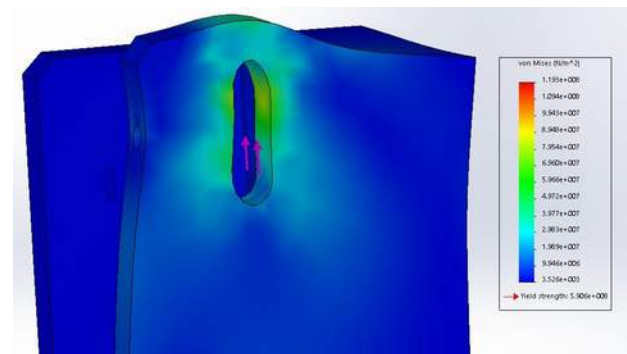
- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{3826}{100.5} = 38 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Azért egy ekkora terhelést nem szívesen engednék rá üzemszerűen egy 8-as tengelyre átmeneti illesztéssel (H7/m6), úgyhogy ezt módosítottam. A számok szerint megfelel, de aggályaim vannak a hosszútávon a lökés-, ütösszerű terhelésekkel kapcsolatban.



Ábra 52: M5-ös furattal gyengített pillér



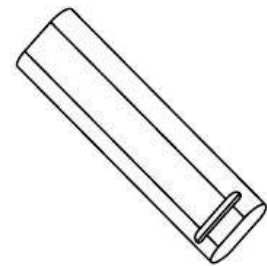
Ábra 53: A VEM vizsgálat eredménye 1256x-os nagyítással

A kialakítást ovályllyukra módosítottam, így természetesen nagyobb térfogat veszi fel a terhelést. Az egyetlen kérdés, hogy az M5-ös hernyócsavar furata mennyivel gyengíti meg a tartó alkatrészt.

A teljes terhelést (3750 N) megkapta a gyengített oválfurat, a maximális feszültség $1.193 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ tehát 119 MPa. 1256 x-os nagyítás.

Ezek szerint ha a másik pillérbe is szeretnék még M5-ös furatot nagybiztonsággal megtehetem, mert szilárdságilag megfelel.

Az alkatrész szélességén sajnos nem lehet változtatni, mert a fogadó alkatrész 8-as tengelyre lett tervezve, ezért lett ilyen oválfuratos a csap.

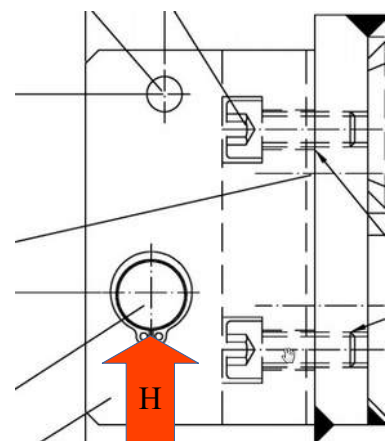


Ábra 54: Oválcsep

12.4. Rögzítő tengely ellenőrzése

Adatok

- Átmérő: $D = 16 \text{ mm}$
- Anyag: 16CrMn5; 1.7131
- Folyáshatár: $R_{eH} = \min 635 \text{ MPa}$ [2]
- Szakítószilárdság: $R_m = \min 1000 \text{ MPa}$



Ábra 55: Rögzítő tengely

- Megengedett redukált feszültség:

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{2} = \frac{635}{2} = 317.5 \text{ MPa} \quad \text{vagy, amelyik kisebb} \quad \sigma_{meg} = \frac{R_m}{3} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ MPa}$$

Az alacsonyabb értéket kell figyelembe venni, a folyáshatárra való méretezés a mérvadó.

Terhelő erő (egyenletes tehereloszlást feltételezve):

$$F_t = (T + m) \cdot g = (375 + 15) \cdot 9.81 = 3826 \text{ N}$$

Keresztmetszet:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = \frac{16^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 = 402 \text{ mm}^2$$

Nyírás:

- Megengedett nyírófeszültség:

$$\tau_{meg} = \frac{\sigma_{meg}}{\sqrt{3}} = \frac{317.5}{\sqrt{3}} = 183.3 \text{ MPa}$$

- Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{1913}{402} = 4.76 \text{ MPa} < \tau_{meg} \rightarrow \text{Megfelel}$$

Látható, hogy ebben az alkatrészben bőven van tartalék.

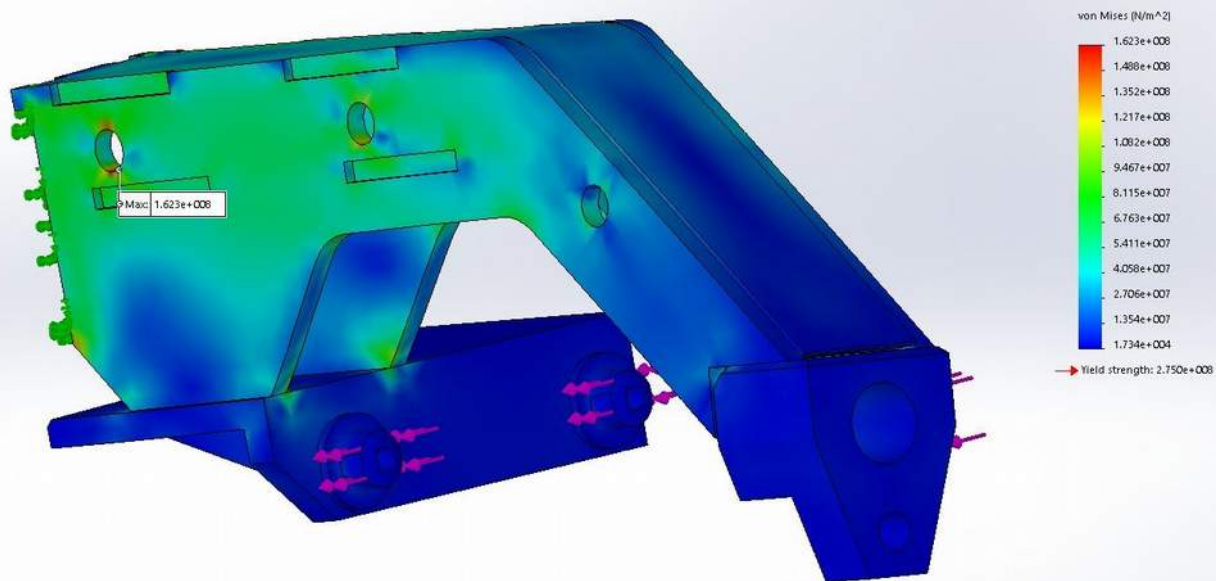
13. Végző szilárdsági ellenőrzés

Ezen pont a VEM-es ellenőrzésről szól, a számítások szerint a komponensek megfelelnek, de a rendszert összességében is szeretném megnézni, hogy hogyan viselkedik.

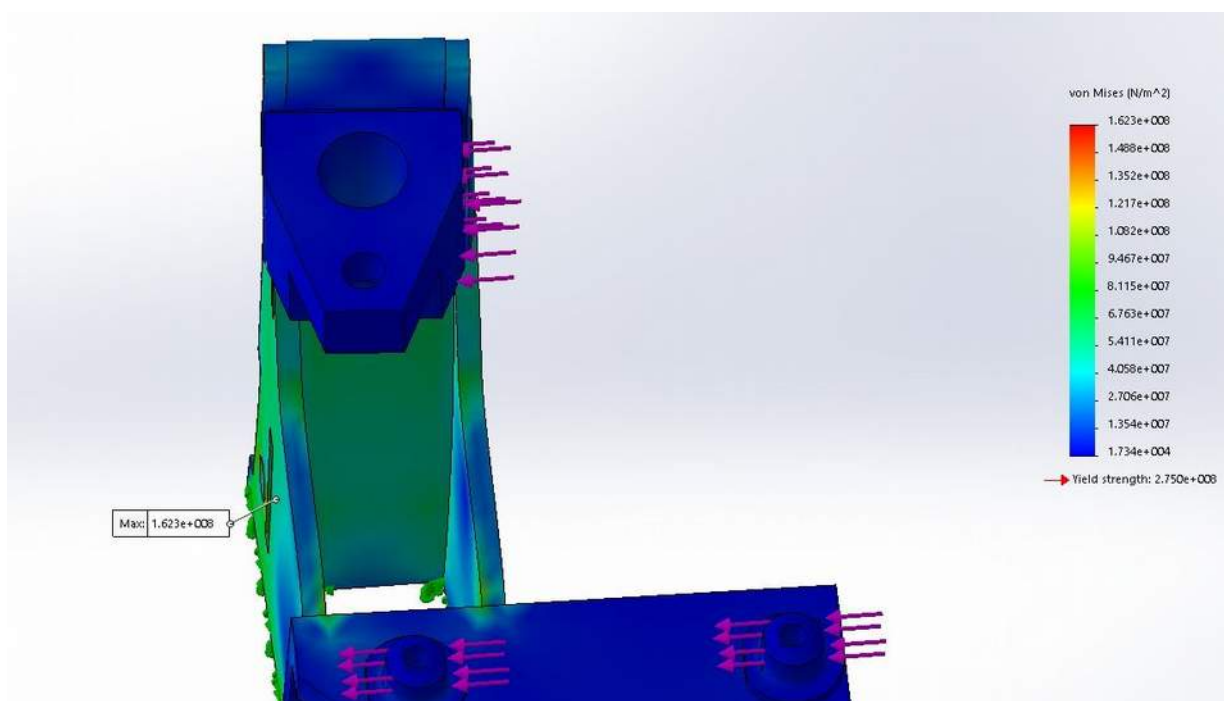
A következő egyszerűsítéseket hajtottam végre:

El kellett hagynom a modellből a VEM elemzés idejére az »AA01.000.101-A Hátfal« alkatrészt, a hálózaskor hibákat dobott, gyanítom a kényszerezés miatt. Sajnos a merevítő és tartó hatását teljesen ki kellett hagyni.

Nincsenek a készüléken extra hegesztési varratok, úgy kalkuláltam ki a terheléseket, hogy csak az érintkező felületek vannak összehegesztve. Nyilván ez nem teljesen pontos, de eltérés a csak a biztonság irányában van.



Ábra 56: oldalterhelés 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés esetén

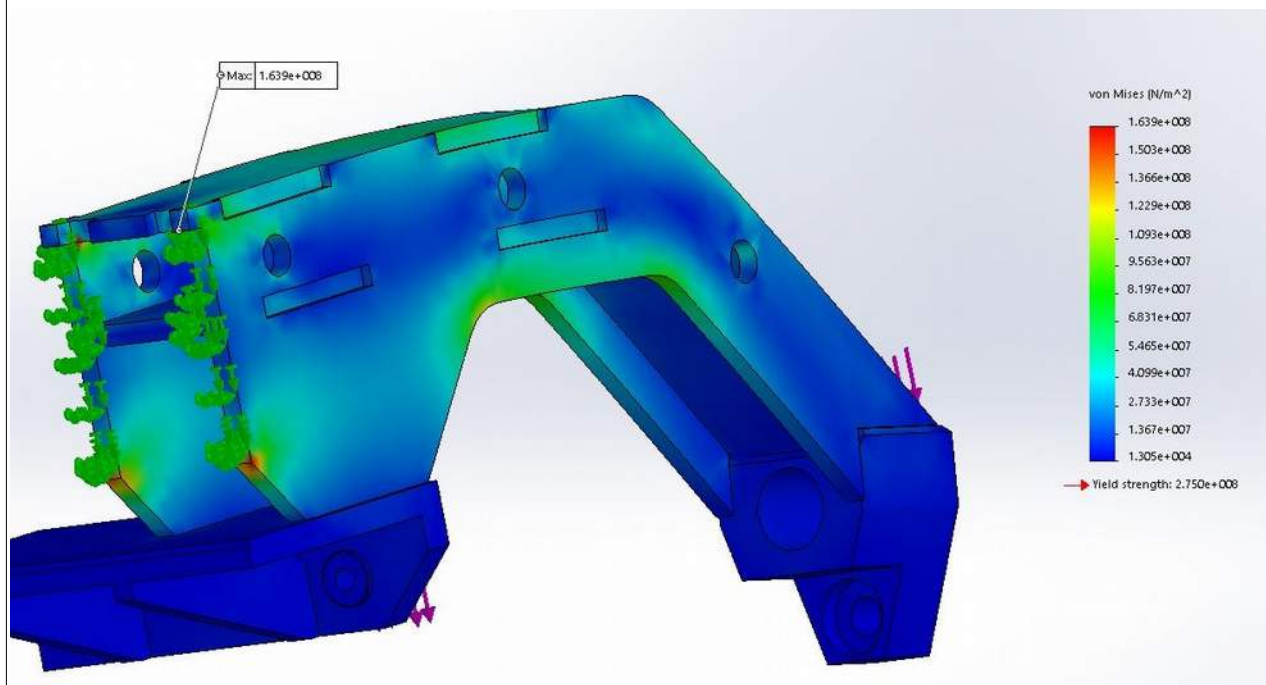


Ábra 57: oldalterhelés alulól 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés esetén

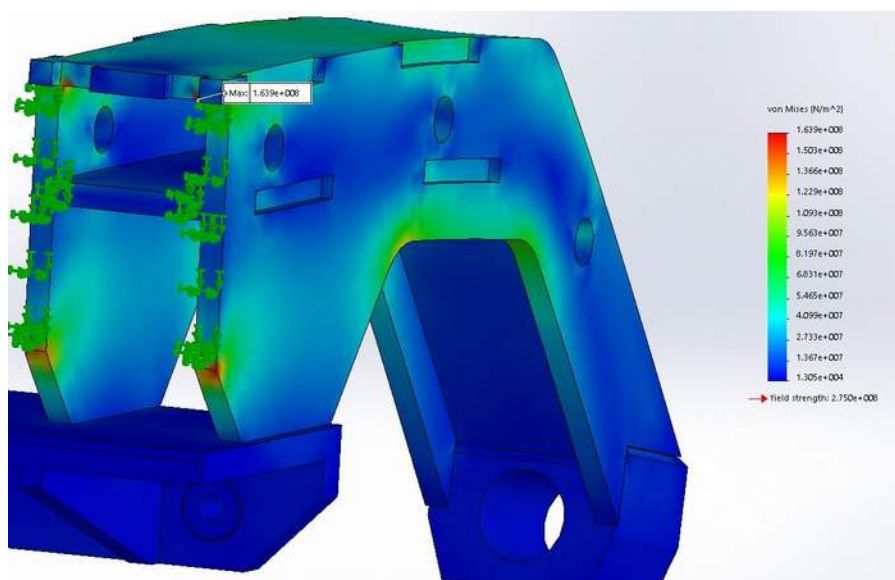
A 45. és 46. ábrán látható tisztán, hogy a hátfal elhagyása miatt jelentősen csökken a szerkezet merevsége, de még így is megfelel. A modellezés alapján a maximális feszültség 165 MPa

Függőleges terhelés esetén:

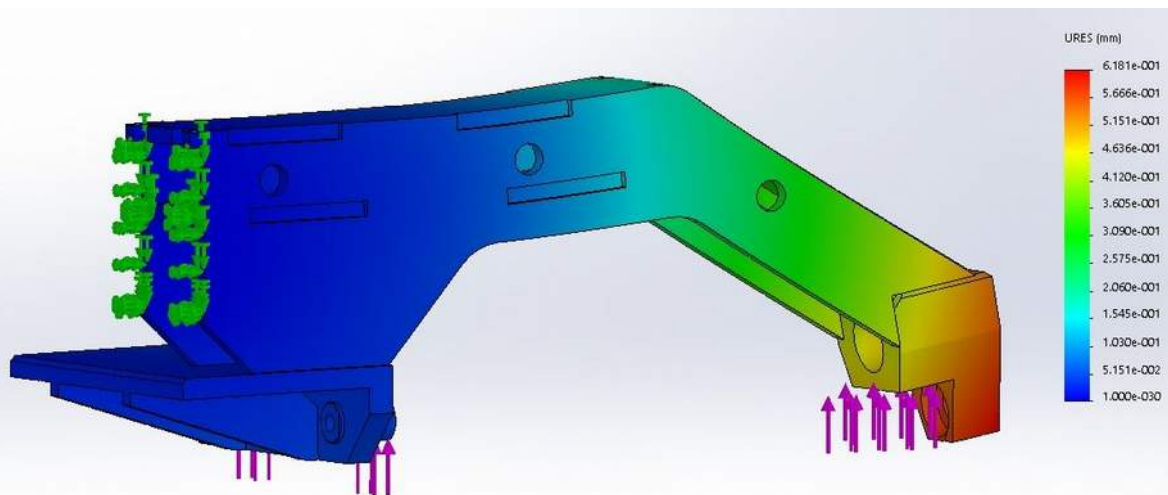
A modellezés alapján a maximális feszültség 164 MPa



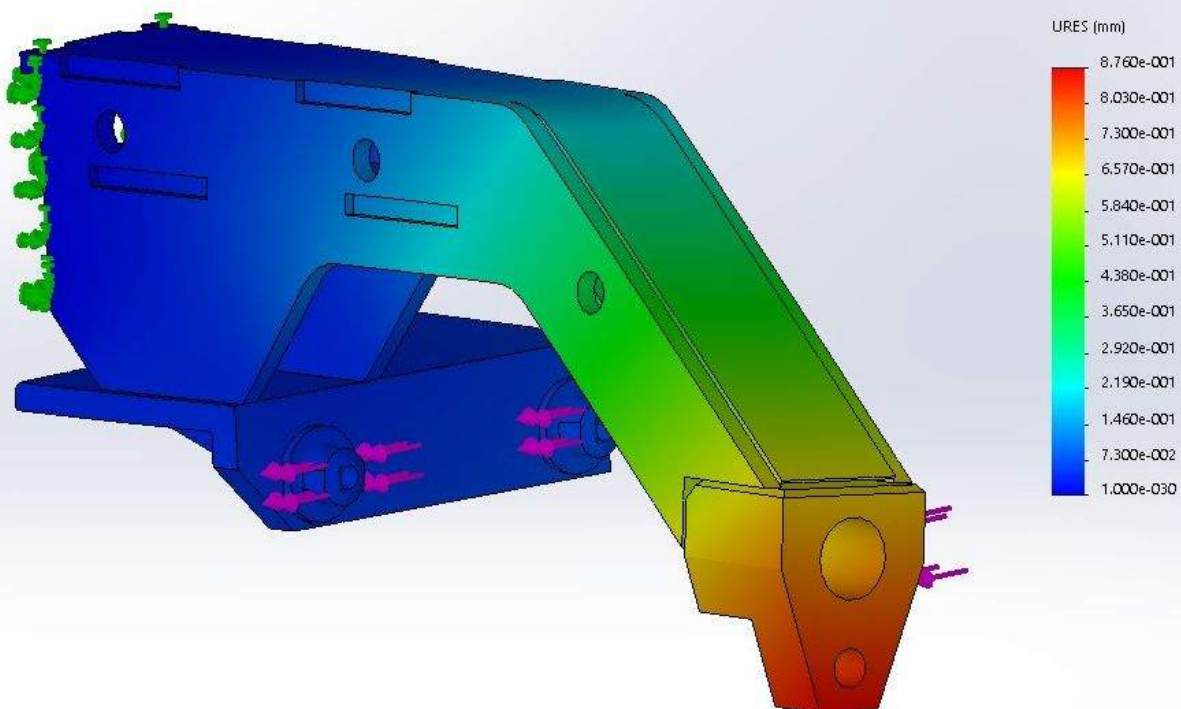
Ábra 58: függőleges terhelés hátulról 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés



Ábra 59: függőleges terhelés esetén, hátulról közelről



Ábra 60: A kihajlás alsóterhelés esetén. Maximális elmozdulás 0.62 mm



Ábra 61: Kihajlás oldalterhelés esetén. Maximális elmozdulás 0.9 mm

Látható, hogy nem a 375 kg okozza a fő gondot, hanem a csaknem 350 mm-es kinyúlás, ami jelentős nyomatékot hoz létre.

Az AA01.000.102-A Alsó lemez és a AA01.000.103-A Csaptartó nevű alkatrészek szinte alig színeződnek el, melyet elkönnyvelek annak, hogy a hátfal hiányzik.

14. Gazdaságossági számítások, árajánlatok összehasonlítása.

A bevezetőben jeleztem, hogy nem titkolt célom, hogy nagyobb teherbírás esetén is gazdaságos legyen a konstrukció, ami még jobb lenne, hogy a technológiára optimalizált szerkezet még olcsóbb is lenne. Ezek miatt árajánlatot kértem a be a beszállótól.

A árajánlatokat ezúton köszönöm szépen a Rubikon Text Kft. kollégáinak, kiemelve Kiss Attilát, az önzetlen és gyors segítségért.

14.1. Régi konstrukció:

Részletes árajánlatot kértem, hogy pontosabban lássam az árak változását tételről-tételre

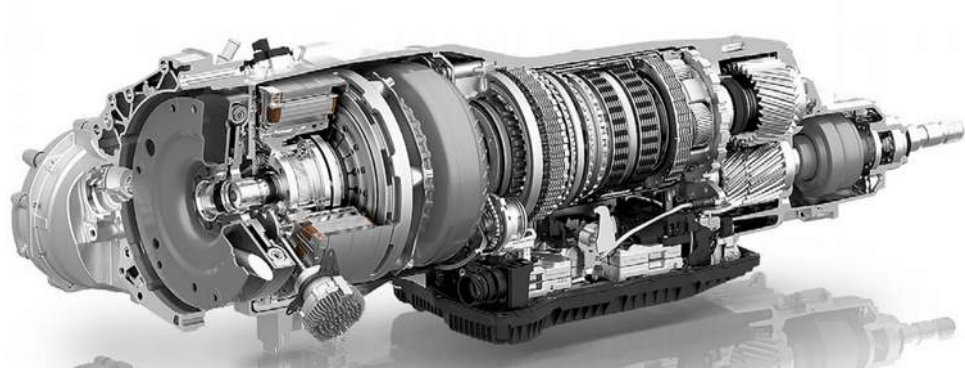
Önhatalmúlag módosítottam a hivatalos ajánlaton -igaz csak a tételek mennyiségén- és a kereskedelmi tételeket és az alösszeállításokat összevontam, mert sok helyet foglaltak a táblázatban.

Jól látható, hogy a gyártatott alkatrészek össz ára 1432 € és a hegesztés és a hozzávaló készülékezés, vagy "előkészülés" 467€. Tehát a hegesztés és szerelés a csak a megmunkált komponensekhez viszonyítva 32% költség. A 2150€-hoz viszonyítva is tetemes 21%.

Reményeim szerint ezeken egy optimalizált konstrukcióval le lehet faragni egy kisebb összeget.

15. Új termék bevezetése a jövőben

Ahogy az előszóban is említettem a 8HP váltócsalád elégé terebélyes családfával rendelkezik, és az építőelemeknek, és a megfontolt tervezésnek hála, nagyon leleményesen több mint 10-15 éve használják ezeket a felfogatási pontokat, és megvan az esélye hogy új termékek esetén is ezek lesznek a “kapcsok” a külvilággal, csak nehezebbek lesznek a termékek.



Ábra 62: Egy jövőbeli Hibrid 8HP váltó?

16. Összefoglalás

Ebben a feladatban ismertettem, hogy miért is van szükség a készülék “újratervezéséhez”, megterveztem a régi konstrukciós váltóemelő kengyelt, és a tervezés során belebotlottam néhány tervezési hibára?, figyelmetlenségre? melyeket majd javítani szükséges a jövőben.

Szilárdsági számításokkal igazoltam, hogy a készülék jelen kor követelményeinek megfelel. Viszonylag hosszú szakirodalom/piackutatás alapján után röviden ismertettem, hogy a hagyományos csavarrögzítési gépelemeket miért nem szabad használni, nagyobb terhelésnél, biztonság kritikus helyzeben miért kell elkerülni. Hogy melyeket lehet megnyugtató biztonsággal használni? A kémia és az ék záródású menetrögzítők nagy biztonságsgal megfelelőek a legtöbb felhasználási területre.

Személyes tapasztalatom alapján bemutattam néhány egyéb hasonló szilárdsági jellemzőkkel rendelkező Al ötvözetet, melyek használatát érdemes megfontolni, de szigorúan mérlegelni kell, nem megy-e a megbízhatóság rovására.

Mivel jelen feladatban a hely szűke miatt néhány témát nem lehet (és nem is kell) bővebben kifejteni ezért inkább érintettem, de mélyrehatóbb kutatást igényelnek a következő témák:

- Alumínium ötvözetek és hegeszhetőségük,
- csavarok megfelelő nyomatékra való meghúzása;
- nagyobb teherbíráshoz szükséges konstrukciós változtatások, és az ehhez köthető gazdasági számítás,
- a felsorolt nagyobb teherbírású anyagok használatával (S960) mekkora teherbírású készüléket lehetne gyártani?

17. Summary

In this thesis I presented why should we redesign the transmission holder fixture. Based in the 2D drawings I remodelled the old design, and meanwhile I found some design flaws, whose where fixed.

The mechanical soundness of the old design was proven via calculations and of course with FEM methods with Solidworks.

With a long literature and market research I presented, why the old school screw locking parts shouldn't be used anymore, nor in this thesis, nor in security critical applications. Which locking can be used with great safety? According to the test: the chemical(Loctite, Loxeal) and the wedge locking (Nordlock, RIPP LOCK) methods are useful.

I showed a few uncommon Al alloys whose has the same mechanical attributes compared to the common structural steel grades, but the welding and the repairing could be problematic in the long run.

Because in this thesis I did not had the space nor the need to present a few topics, but more research is neccessary in the following topics:

- Weldings and heat treating, repairing high-end Al alloys
- Screw tigtening torqs and calculating methods, torq-in methods and process capabilities;
- construction modifications for the higher allowed load, and feasibility/price calculations;
- With the presented high strength steels (S960) what would be the maximum allowed load with the same constructions?
- Would it be possible to weld this fixture from quenched and tempered steels? of course in factory circumstances: heat treating oven etc... What would be the main process to achieve this goal?

Ábrajegyzék

Ábra 1: Magyarázó ábra: daruzási üzemmód.....	10
Ábra 2: Magyarázó ábra: Szerelési üzemmód.....	11
Ábra 3: Emelőszem.....	12
Ábra 4: Emelőcsap.....	13
Ábra 5: Adapter tengely.....	15
Ábra 6: Rögzítő tengely.....	15
Ábra 7: 5T66.000.128 összeállítási rajz egy nézete.....	17
Ábra 8: emelőszem vázlat.....	17
Ábra 9: DIN 582 Norelem szemes anya, választék.....	17
Ábra 10: Hegeszthető rögzítési pontok.....	18
Ábra 11: Hegeszthető rögzítési pontok, terhelhetőség.....	18
Ábra 12: Rugós alátét [10].....	22
Ábra 13: Fogazott alátét DIN 6798 Használati példa: mosógép kondenzátor rögzítése.....	22
Ábra 14: Poliamid betétes anya - DIN 985- mosógép dob.....	23
Ábra 15: Nordlock kötés zsákfuratnál [13].....	26
Ábra 16: Nord-lock "alátét" [13].....	26
Ábra 17: Az önmagát biztosító "alátét" működési vázlata [13].....	27
Ábra 18: Junker rezgésteszt a DIN 65 151 szerinti (csavar M 8 (8.8), 25 mm befogási hosszal). [13].....	28
Ábra 19: 5T66.000.128 a hegesztett szerkezet részlete.....	29
Ábra 20: 5T66.000.128 technológiai egyszerűsítési koncepció.....	30
Ábra 21: Vegyi barnítás Blackfast gyártó eljárása szerint [14].....	31
Ábra 22: Tűzihorganzott acél felületének felépítése.....	36
Ábra 23: Rozsdamentes anyagok PREN összehasonlítása.....	38
Ábra 24: Korrozivitási kategóriák (MSZ EN ISO14713:2000).....	38
Ábra 25: Vízugaras vágás.....	39
Ábra 26: A lézervágófej vázlata.....	42
Ábra 27: A vágófej magasság kompenzációja a ráadás tengely és kapacitív szenzor segítségével. 43	
Ábra 28: Vágható anyagvastagságok (Trumpf, 2000).....	44
Ábra 29 Technológiák összehasonlítása [34].....	50
Ábra 30: 5T66.150.128 szerelve, részlet.....	55
Ábra 31: mbo-Osswald; KL-Sicherungen. Ismertető ábra.....	55
Ábra 32.....	56
Ábra 33: 5T66.040.128 eredeti.....	57
Ábra 34: 5T66.150.128 eredeti.....	57
Ábra 35: 5T66.170.128 eredeti.....	58
Ábra 36: Seeger katalógus, horony kialakítási méretek, montázs.....	58
Ábra 37: Seeger névleges méretek.....	58
Ábra 38: Seeger méret magyarázat, BRW tools.....	59
Ábra 39: Vörös porfestett biztosítótomb sasszeggel és láncsal.....	59
Ábra 40: Tartócsap.....	60
Ábra 41: Hézag a váltóház és a kengyel között: 4 mm.....	60
Ábra 42: Kopásmentes alkatrész távolsága.....	61
Ábra 43: Virtuális kopás: 1 mm-es rádiusz.....	61
Ábra 44: Eredeti állapot: 4.6mm-es felfekvő felület.....	62
Ábra 45: Módosított változat: 6.3 mm felfekvő felület.....	62
Ábra 46: Illeszkedő felület megnövelése.....	63
Ábra 47: Emelőhurok.....	64
Ábra 48: Tartócsap.....	66

Ábra 49: Tartócsap terhelés 1.....	68
Ábra 50: Tartócsap terhelés 2.....	68
Ábra 51: Adapter tengely.....	68
Ábra 52: M5-ös furattal gyengített pillér.....	69
Ábra 53: A VEM vizsgálat eredménye 1256x-os nagyítással.....	69
Ábra 54: Oválcsap.....	69
Ábra 55: Rögzítő tengely.....	69
Ábra 56: oldalterhelés 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés esetén.....	71
Ábra 57: oldalterhelés alulól 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés esetén.....	71
Ábra 58: függőleges terhelés hátulról 375 kg, egyenletesen megoszló terhelés.....	72
Ábra 59: függőleges terhelés esetén, hátulról közelről.....	72
Ábra 60: A kihajlás alsóterhelés esetén. Maximális elmozdulás 0.62 mm.....	73
Ábra 61: Kihajlás oldalterhelés esetén. Maximális elmozdulás 0.9 mm.....	73
Ábra 62: Egy jövőbeli Hibrid 8HP váltó?.....	75

Forrásjegyzék

- 1: , 47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet Emelőgép Biztonsági Szabályzat,
- 2: , BGY 3.0 - 2009.III. BÖHLER SZERSZÁMACÉLOKNEMESACÉLOK katalógus,
- 3: , EN DIN 10084; https://members.marticonet.sk/jkuba/normy/EN%2010084_DIN_Case-hardening-steels-Technical-delivery-conditions.pdf,
- 4: , http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=365,
- 5: , https://www.norelem.hu/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/hu/07/07720_Datasheet_4248_R_gz_t_si_pontok_hegeszthet_k--hu.pdf,
- 6: , https://www.wuerth-industrie.com/web/media/en/pictures/wuerthindustrie/technikportal/dinokapitel/Kapitel_07_DINO_tech_n_Teil.pdf,
- 7: , ISO 898-1 http://itc.co.ir/wp-content/uploads/2015/01/ISO_898-1_2009E.pdf,
- 8: , https://hu.wikipedia.org/wiki/Audi_Q7,
- 9: , https://hu.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_3,
- 10: , Fastener Design Manual from NASA (NASA-RP-1228); <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900009424.pdf>,
- 11: , Loctite katalógus http://www.horvathcsapagy.hu/katalogus/vegyi_loctite_kat_csavarrozgites.pdf,
- 12: , https://www.youtube.com/watch?v=IKwWu2w1gGk&feature=emb_logo,
- 13: , www.nord-lock.com,
- 14: , <http://www.rowa-chemicals.hu/index.php/a-barnitas-folyamata>,
- 15: , <https://www.swdinc.com/BlackOxideBasics.html>,
- 16: , https://en.wikipedia.org/wiki/Black_oxide,
- 17: , <http://porfestes-szinterezes.hu/porfestes-szinterezes-budapest/>,
- 18: , Sulinet, , <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/galvanizalas-kemiai-maratas-uegmaratas/a-galvanizalas-technologiaja>
- 19: , https://www.schrauben-gross.com/fileadmin/Editors/Bilder/Download/_HU/Technische_Information/technischerAnhang_hu.pdf,
- 20: , <http://www.sze.hu/~nemethgy/korrozio.pdf> , <http://www.sze.hu/~nemethgy/korrozio.pdf>
- 21: , https://en.wikipedia.org/wiki/Pitting_resistance_equivalent_number,
- 22: , researchgate.net/ , <https://www.researchgate.net/post/What-is-the-origin-of-PREN-pitting-resistance-equivalent-number>
- 23: , http://www.szt.bme.hu/phocadownload/szakmernoki/1_felev_anyaga/Epulet diagnosztika_labor/Korrozio-2.pdf,
- 24: , https://www.worldstainless.org/files/issf/Education/English/Module_05_Corrosion_Resistance_of_Stainless_Steels_en.pdf,
- 25: , <https://www.unifiedalloys.com/blog/pitting-resistance-pren/>,
- 26: , <https://www.suteau-anver.com/news/discover-waterjet-cutting/>,
- 27: , <https://www.etmm-online.com/fine-abrasive-waterjet-cutting-for-ultra-high-precision-a-880206/>,
- 28: , <https://hydroprocess.fr/en/produits/chefcut-cutting-machine-for-the-catering-trades/> ,
- 29: , <https://www.fanuc.eu/be/en/industrial-applications/laser-cutting>,
- 30: , <https://www.meliorlaser.hu/en/complex-sheet-metal-fabrication/laser-cutting-in-hungary>,
- 31: , <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/laser-cutting>,
- 32: , <https://pmax.hu/plazmavagas/> , <https://pmax.hu/plazmavagas/>
- 33: Dobránszky János, <http://www.att.bme.hu/oktatas/BMEGEMTAGM2/letoltes/Hegesztes-2020---8.pdf>,
- 34: , <https://precitrack.com/tudasbazis/langvagas-technologia/>,

35: , https://amco-metall.de/fileadmin/downloads/Datenblaetter/Datenblatt_AMCO_6082.pdf,
36: , Certal adatlap <https://batz-burgel.com/en/metal-trading/aluminium-product-range/en-aw-7022/>,
37: , <https://www.alumeco.com/aluminium/bars/square-bars/en-aw-7075/55-mm/p/476/9150>,
38: , https://amco-metall.de/fileadmin/downloads/Datenblaetter/Datenblatt__AMCO_7075.pdf,
39: , <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>,
40: , <http://dunaferr.hu/download/20/hidegen-hajlitott-zart-idomacelok-magyar>,
41: , <https://www.brownmac.com/en/products/460-yield-steel-plate/en-10025-3-s460n>,
42: , <https://www.oakleysteel.co.uk/high-yield-steel-plate/dillimax/dillimax-s690ql>,
43: , <https://www.ssab.hu/products/brands/strenx/products/strenx-960>,
44: , https://www.ancoferwaldram.com/uploads/pdf/1472115886-DILLIMAX_1100_04_2016_E.PDF,
45: Gáspár Marcell Gyula, Nemesített nagyszilárdságú acélok hegesztésének nehézségei,
46: Gáspár Marcell Gyula, Dr. Balogh András, Nagyszilárdságú acélok hegesztéstechnológiájánakfejlesztése a hűlési idő elemzésével.,
47: , K-L Sicherung <https://www.mbo-osswald.de/shop/sicherungselemente/sicherungselemente-fuer-wellen-mit-nut/kl-sicherungen?number=100900000024002>,
48: , https://www.traceparts.com/hu/search/mbo-osswald?CatalogPath=MBO%3AF_MBO,
49: , Seeger katalógus <http://data.seeger-orbis.de/catalog/?page=24>,
50: , Seeger méret magyarázat, BRW tools <https://www.brwtools.hu/hu/biztositogy-r-k-tengelyekhez-861330>,