Vákuumtechnika
Vákuum rendszerek tervezése, építése

Csonka István

Frigyes Dávid

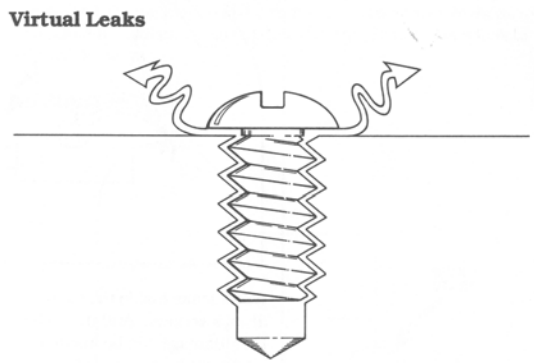
Vákuum rendszerek tervezése, építése

Gondoljuk át:

- Mire akarjuk használni a berendezést?
- Ez milyen vákuumot (nyomás és tisztaság) igényel?
- Mekkora gázterhelést jelent ez?
- Van-e valami speciális? Pl. sok víz, korrozív anyagok, extrém hőmérséklet
- Mekkora hely áll rendelkezésünkre?
- Mennyi pénz van 1) a beruházásra 2) az üzemeltetésre?
- Ki fogja használni (gyk. mennyire kell „bolondbiztosnak” lennie)?
- Mi áll már rendelkezésre?
- Böngésszünk katalógusokat, nézzünk meg működő berendezéseket.

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Lehetőleg minél több részletet hagyjunk a hozzáértőkre. Ezzel együtt jó, ha rendszerünk működését vákuumtechnikailag is értjük, ez megkönnyíti az üzemeltetést, az esetleges módosításokat, a hibakeresést és a javítást. Bár rengeteg (fél)kész megoldás és építőelem megvásárolható, előfordul, hogy valamit külön kell legyártatni vagy összebarkácsolni. Ekkor ritkán bízhatunk a „mesterek” szakértelmében. Az anyagválasztást, néhány kritikus elem tervezését és a kivitelezést mindig muszáj ellenőrizni, különben bármikor becsúszhat egy sárgaréz alkatrész, vagy egy virtuális lukat eredményező bezárt térfogat, pl. egy átfúratlan csavar miatt.



Vákuum rendszerek tervezése, építése

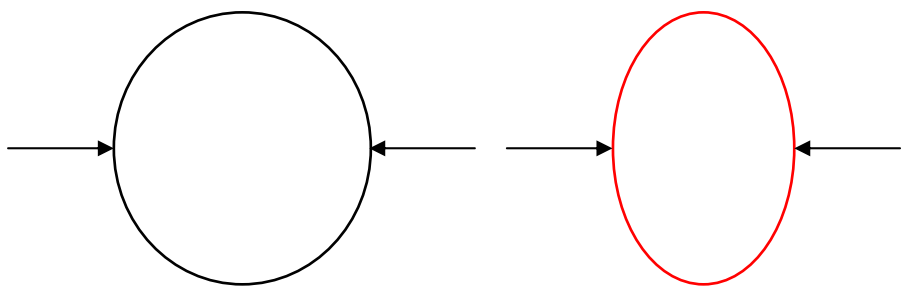
A vákuumrendszerbe be kell építeni a megfelelő védelmeket és eszközöket a „bolondbiztos” üzemeltetéshez, a felügyelet nélküli üzemhez, a vészleálláshoz (víz, áram, egyéb kimaradás). Be- és kikapcsolási sorrend, nyomásvédelem, hővédelem, rotációsok automatikus fellevegőzése stb.

Mai eszközök már alkalmasak a számítógépes integrálásra és így a távfelügyeletre is.

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Méretezés mechanikai szilárdságra: ezt mindenképpen kerüljük el! Nagyon ingoványos terület. Bár gömbre vagy kör keresztmetszetű csőre hamar találni formulákat, ezek csak a tökéletes esetre működnek. A belső túlnyomással ellentétben a vákuum növelni igyekszik az eltérést a tökéletestől. A beépítendő flansnik, egyebek pedig végképp nem számolhatók egyszerűen, hogy a hőmérsékleti hatásokról ne is beszéljünk (hőtágulás, fizikai jellemzők változása). Minél nagyobb a a készülék, annál súlyosabb a dolog. Használjunk kész építőelemet, kerítsünk értő mérnököt, végszükség esetén induljunk ki egy „gyári” darab paramétereiből.



Vákuum rendszerek tervezése, építése

Szivattyúk méretezése szívássebességre és –teljesítményre.

- A szivattyút és a hozzá vezető dolgokat (cső, szelep, csapda stb.) együtt kell méretezni.
- Legkisebb nyomású fokozat: a várható gázterhelésre (anyagbeeresztés + kigázosodás) és az elfogadható levákuumozási időre méretezni.
- Nagyobb nyomású fokozatok: a kisebb nyomásúak előszívás igényére és az elfogadható levákuumozási időre méretezni (+ az esetleges extra anyagbeeresztés).
- Az állandó üzemhez, illetve a levákuumozáshoz szükséges szívássebességre és –teljesítmény kisebb rendszerekben általában egy nagyságrendbe esik. Nagyobb rendszerekben előfordulhat, hogy érdemes e célokra külön rendszereket használni, különösen, ha gyakori a vákuumkamra fellevegőzése és leszívása.
- UHV rendszerekhez soxor nem is kell állandó előszívás.

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Szivattyú és csatolt részei effektív szívássebessége:

$$1/S_{eff} = 1/S_{sziv.} + 1/C_{össz}$$

Sorbakapcsolt vezetőképességek (konduktanciák, C) összeadása:

$$1/C_{össz} = 1/C_1 + 1/C_2 + \ldots$$

A párhuzamosan kapcsolt dolgokat egyszerűen összeadhatjuk.

A szivattyúk szívássebességét, illetve az egyes elemek konduktanciáját a gyártó specifikációjában találjuk meg.

Ügyeljünk az egyenletes tervezésre. Pl. egy 100 l/s konduktanciájú csapda 100 l/s sebességű szivattyúhoz kapcsolva 50 l/s sebességű rendszert alkot, míg 1000 l/s szivattyúval 91 l/s-et ad.

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Bár a szivattyúk sebességét általában egy számmal szoktuk jellemezni, ez mégiscsak változik a nyomással.

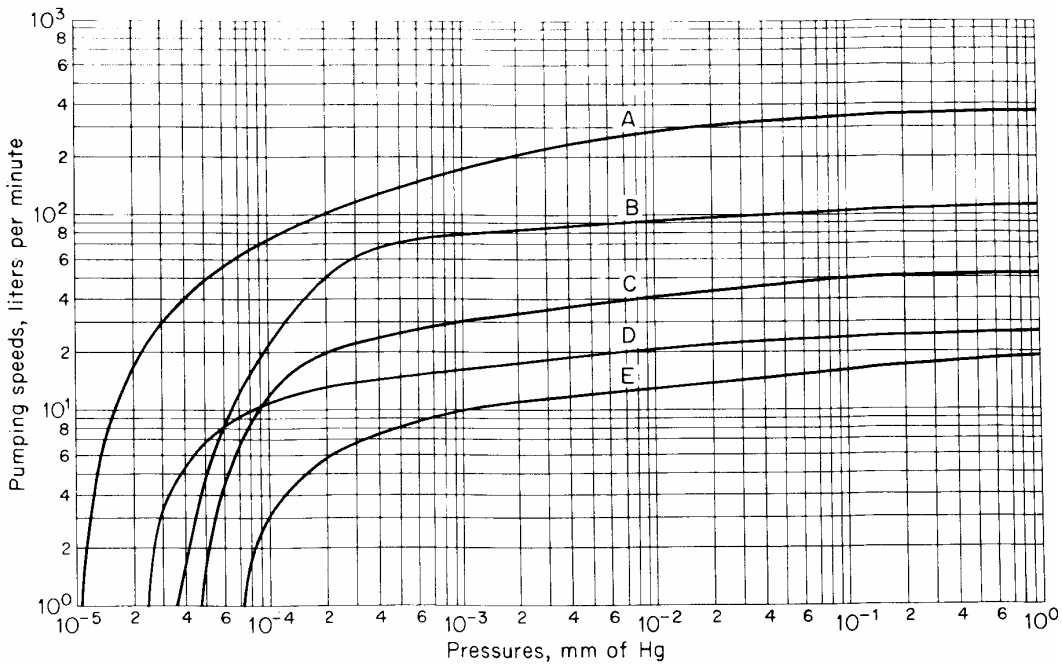


Fig. 4.2 Pumping-speed curves for various two-stage rotary vacuum pumps. (*Sargent-Welch Scientific Co., Skokie, Ill.*)

Vákuum rendszerek tervezése, építése

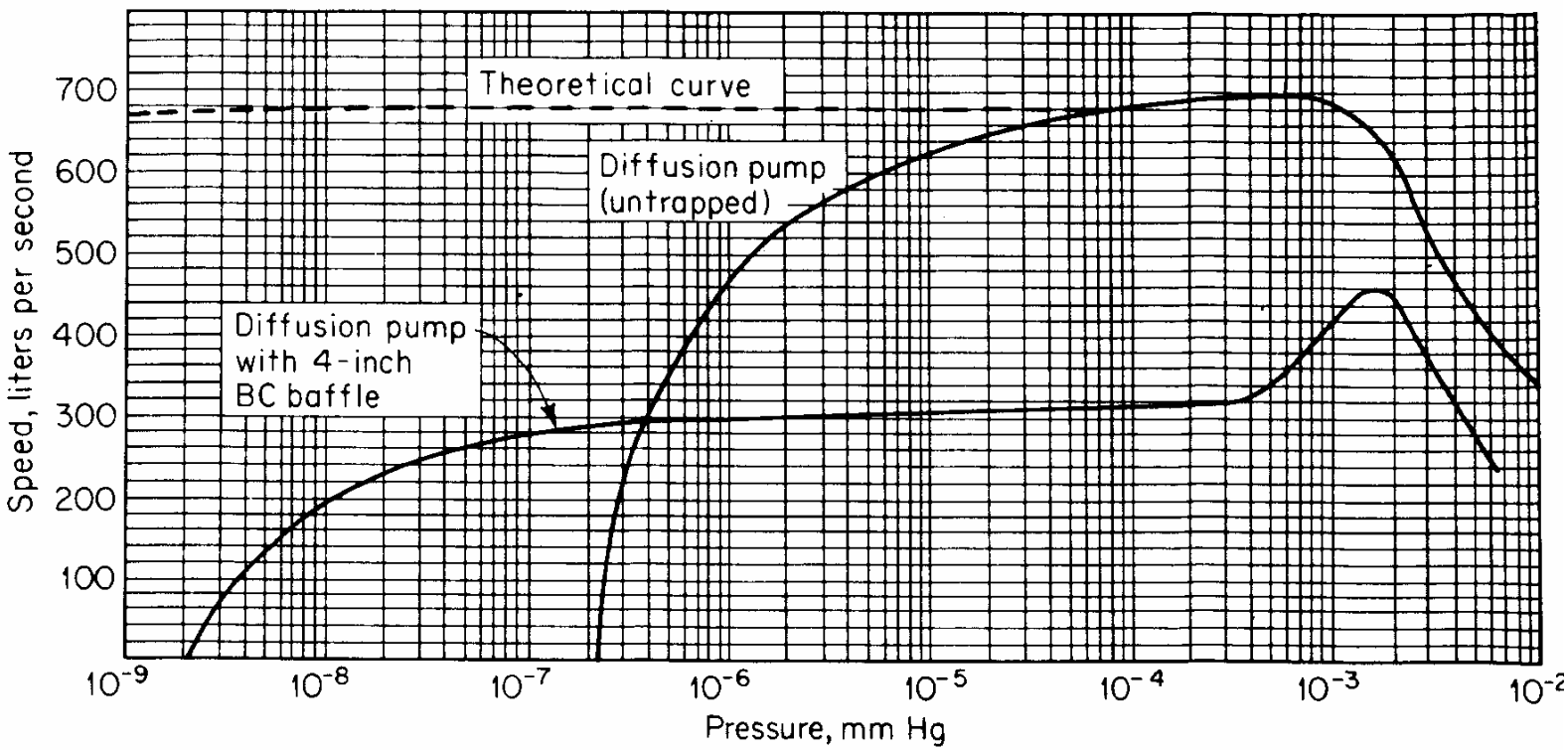


Fig. 5.4 Typical pump and baffle performance. (*Bendix Corp., Rochester, N.Y.*)

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

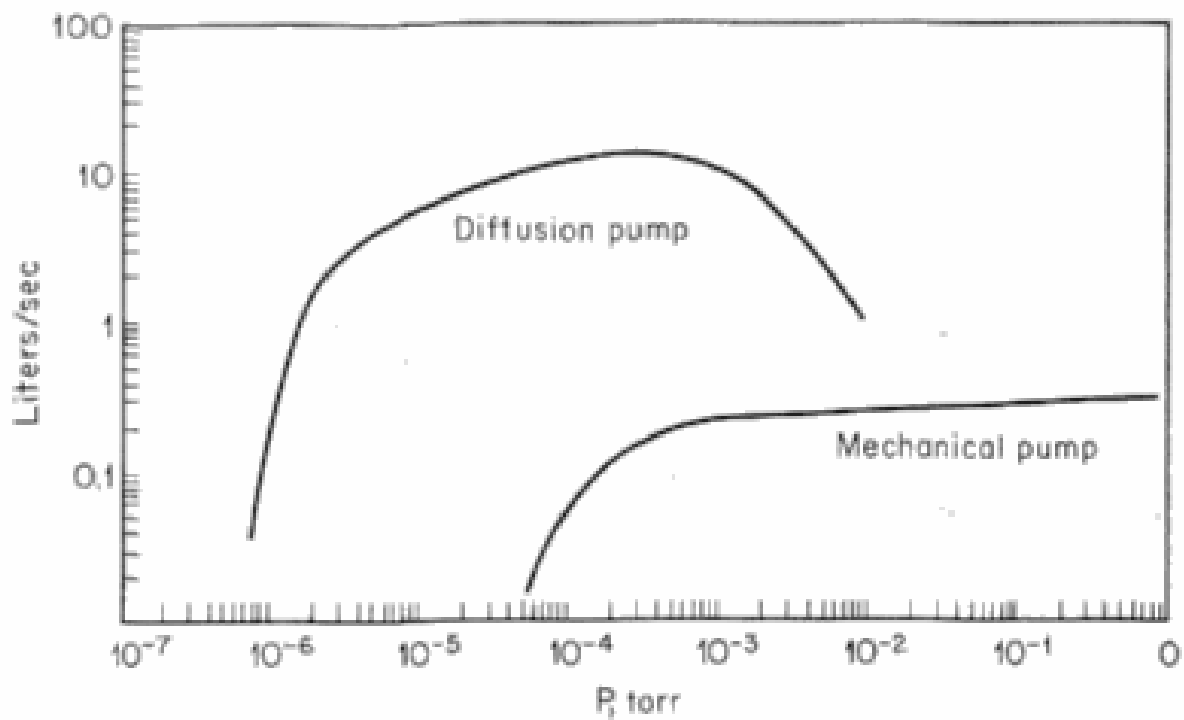


Fig. 6.3. Comparison of the pumping speed of a typical two-stage mechanical pump with a single-stage diffusion pump.

Vákuum rendszerek tervezése, építése

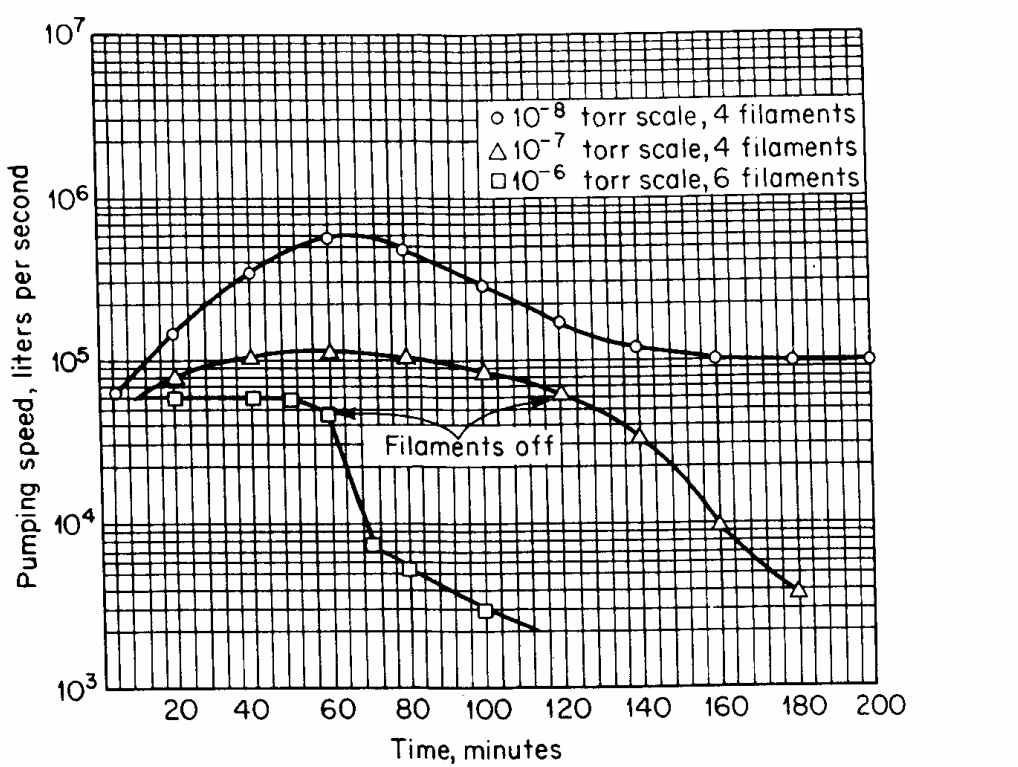


Fig. 6.4 Pumping-speed curves for nominal 50,000 liter per second ion pump with various filaments. (*Ultek Division, The Perkin-Elmer Corp., Palo Alto, Calif.*)

Vákuum rendszerek tervezése, építése

- Cső konduktanciája a molekuláris áramlás tartományban:

$$C=3.81(T/M)^{1/2}d^3/L \text{ (l/s)} \quad (T \text{ (K)}, M \text{ (g/mol)}, d,L \text{ (cm)})$$

- Könyökök, kanyarok hozzájárulása az effektív csőhosszhoz:

$$L_{tot} < L_{eff} < L_{tot} + 2.66nr \text{ (n kanyarszám, r cső sugara)}$$

- Kerek nyílás konduktanciája a molekuláris áramlás tartományában:

$$C=3.64(T/M)^{1/2}A \text{ (l/s)} \quad (T \text{ (K)}, M \text{ (g/mol)}, A \text{ (cm}^2\text{)})$$

- Egyenes cső konduktanciája a lamináris (viszkózus) áramlás tartományban:

$$C=(\pi d^4/128\eta L)p_a \text{ (cm}^3\text{/s)} \text{ (d,L (cm), } \eta \text{ (poise), } p_a\text{: átlag nyomás dyn/cm}^2\text{)}$$

- Effektív csőhosszakat, egyebeket kémiai technológia könyvekben találni.

Vákuum rendszerek tervezése, építése

V térfogat p_1-ről p_2 nyomásra való leszívásához szükséges idő S szívássebességgel a viszkózus tartományban:

$$t=(V/S)\ln(P_1/P_2)$$

Pl. 10 literes teret egy 6 m^3/h szivattyúval atmoszféráról 0.1 mbar-ra

$$t=(0.01m^3/6m^3/h)\ln(1000mbar/0.1mbar)=0.015 \text{ óra}$$

azaz 1 perc alatt tudunk leszívni.

Visszafelé számolva megkaphatjuk a szükséges szívásteljesítményt. Pl. 1 m^3-t negyed óra alatt 0.1 mbar-ra

$$(1m^3/0.25h)\ln(1000mbar/0.1mbar)=37\ m^3/h$$

sebességű szivattyúval lehet leszívni.

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

A rendszer végnyomását a lukakon beáramló és a kigázosodásból származó anyagmennyiség szabja meg.

$$Q_o+Q_L=S_{eff}*p_{vég}$$

A műanyagokat érdemes külön kiszámolni, még ha kicsi is a felületük, mert nagyságrendekkel több anyagot eregetnek magukból.

Outgassing Rates of Materials as a Function of Time

Material	Outgassing Rate in mbar l /s / cm²			
	after half hour	after 1 hour	after 3 hours	after 5 hours
Ag	1.5×10^{-08}	1.1×10^{-08}	2×10^{-09}	-
Al	2×10^{-08}	6×10^{-09}	-	-
Cu	4×10^{-08}	2×10^{-08}	6×10^{-09}	3.5×10^{-09}
Stainless Steel	-	9×10^{-08}	3.5×10^{-08}	2.5×10^{-08}
Silicone	1.5×10^{-05}	8×10^{-06}	3.5×10^{-06}	1.5×10^{-06}
Perbunan	4×10^{-06}	3×10^{-06}	1.5×10^{-06}	1×10^{-06}
Acrylic Glass	1.5×10^{-06}	1.2×10^{-06}	8×10^{-07}	5×10^{-07}
Viton	7×10^{-07}	4×10^{-07}	2×10^{-07}	1.5×10^{-07}

Please Note all figures are approximate and shown for guidance only.
Values will usually depend very much on pre-treatment.

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Approximate outgassing rate K_I for several vacuum materials, after one hour in vacuum at room temperature.

Material	K_I (mbar l s^{-1} cm^{-2})
Aluminium (fresh)	9×10^{-9}
Aluminium (20 h at 100 ^{0}C)	5×10^{-14}
Stainless steel (304)	2×10^{-8}
Stainless steel (304, electropolished)	6×10^{-9}
Stainless steel (304, mechanically polished)	2×10^{-9}
Stainless steel (304, electropolished, 30 h at 250 ^{0}C)	4×10^{-12}
Perbunan	5×10^{-6}
Pyrex	1×10^{-8}
Teflon	8×10^{-8}
Viton A (fresh)	2×10^{-6}

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Például egy 1 literes rozsdamentes acél kockát 100 l/s szivattyúval szíva

$$(600\ cm^2 * 2 * 10^{-9}\ mbar\ l/s\ cm^2)/(100\ l/s) = 1.2 * 10^{-8}\ mbar$$

nyomásra tudunk leszívni.

A szívásteljesítmény az egész rendszerben ugyanakkora (kigázosodással és lukakkal korrigálva). Így a fenti szivattyú előszívásához szükséges elővákuum szivattyú sebessége, ha 0.01 mbar elővákuumot akarunk biztosítani:

$$(1.2 * 10^{-8}\ mbar * 100\ l/s)/0.01\ mbar = 1.2 * 10^{-4}\ l/s$$

sebesség legalább. Ez igen kicsi érték, nyilván nem ez lesz a meghatározó az elővákuumszivattyú kiválasztásánál, hanem a leszíváshoz szükséges sebesség. Pl. ha a nagyvákuumot 0.01 mbar-ról indítjuk, és rövid ideig megengedjük a 0.5 mbar elővákuumot, akkor

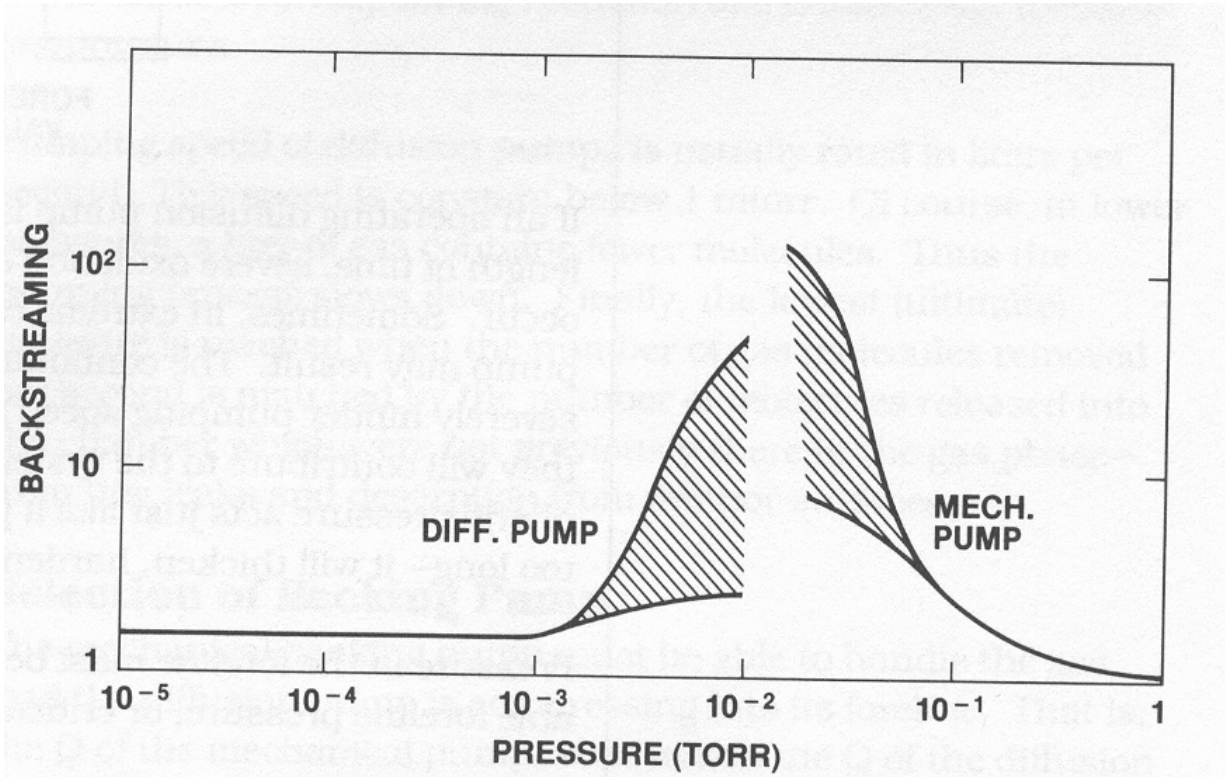
$$(0.01\ mbar * 100\ l/s)/0.5\ mbar = 2\ l/s$$

azaz 7.2 m^3/h sebességű elővákuum szivattyúra van szükségünk (Nem árt elé egy csapdát bekötni a normál üzemhez az olajgőz ellen).

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

A „cross-over” nyomást tényleg érdemes 0.01 mbar körülire választani rotációs és diffúziós szivattyú kombinációja esetén.



PUMPING AND LUBRICATION FLUID BACKSTREAMING IN THE TRANSITION ZONE BETWEEN DIFFUSION AND MECHANICAL PUMPS

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Néhány dolog, amire az esetleges építésnél/barkácsolásnál oda kell figyelni:

- Anyagválasztás (szénacél, sárgaréz, kadmium, műanyag szigetelések stb.).
- Hegesztés lehetőleg belülről és csak TIG (bármit is mond a szaki), forrasztás ezüst keményforrasszal, ragasztás csak kipróbált epoxi-gyantával.
- Bezárt térfogatok kiküszöbölése (csavarok, szorosan illesztett alkatrészek, hegesztések).
- Felület megmunkálás (szilikonolaj a marásnál, megfelelő simaság pl. homokszórás elsőre jó eredményt ad, de aztán a felület összeszedheti a mocskot).

© 2004-2005

Vákuum rendszerek tervezése, építése

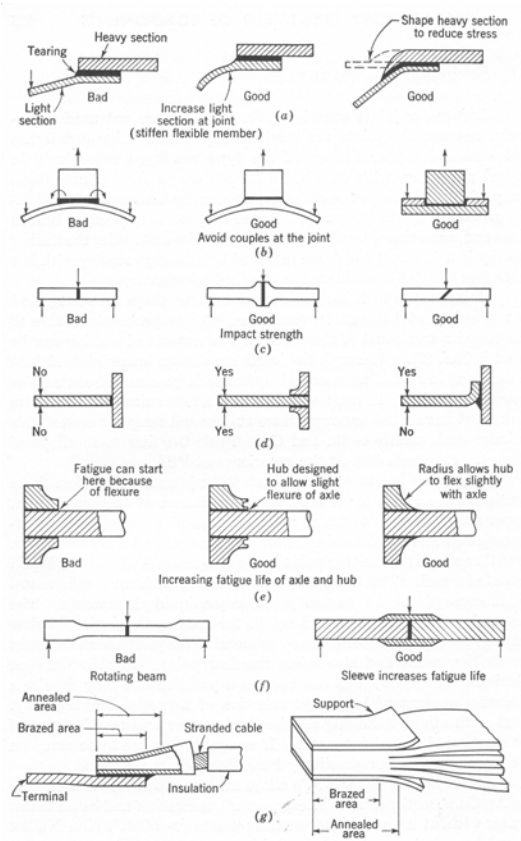


Fig. 9-1 Examples of good and bad designs of brazed joints. (From "Brazing Manual," Committee on Brazing and Soldering of American Welding Society, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1955.)
206

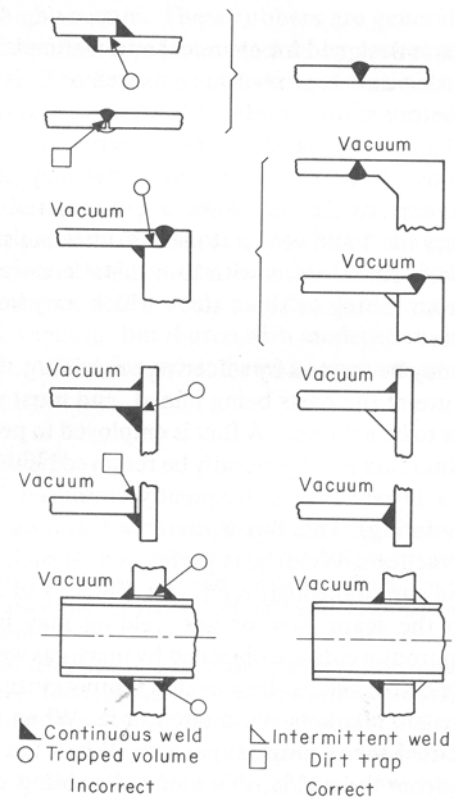


Fig. IV.1. Welding practice for vacuum apparatus. Note that the general approach is to weld on the inside and avoid dead spaces which may present leaks that are extremely hard to locate.

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Legjobb a szakival egy próbadarabot gyártatni, tesztelni és kijavíttattani (állítólag kb. két nap, amíg egy amúgy jól képzett hegesztő ráérez a vákuumtechnikára).

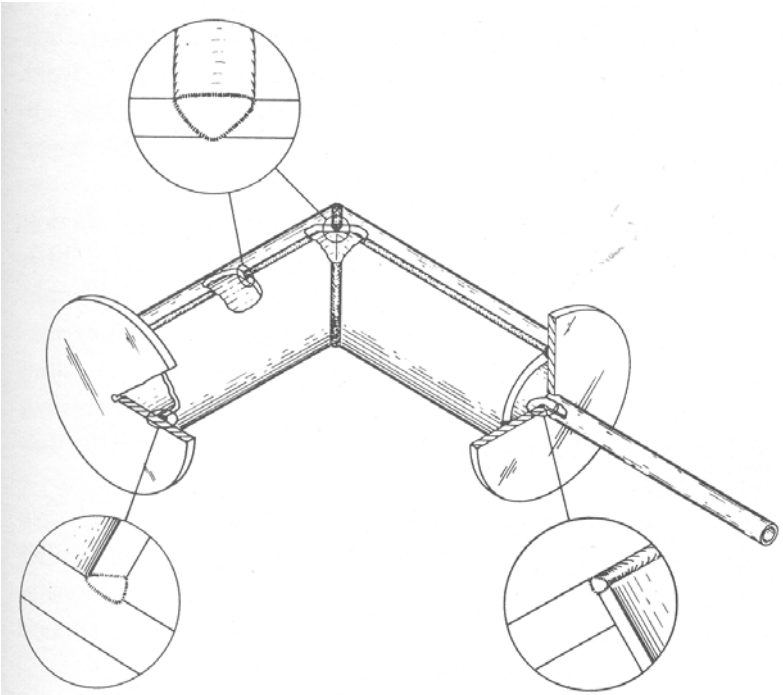
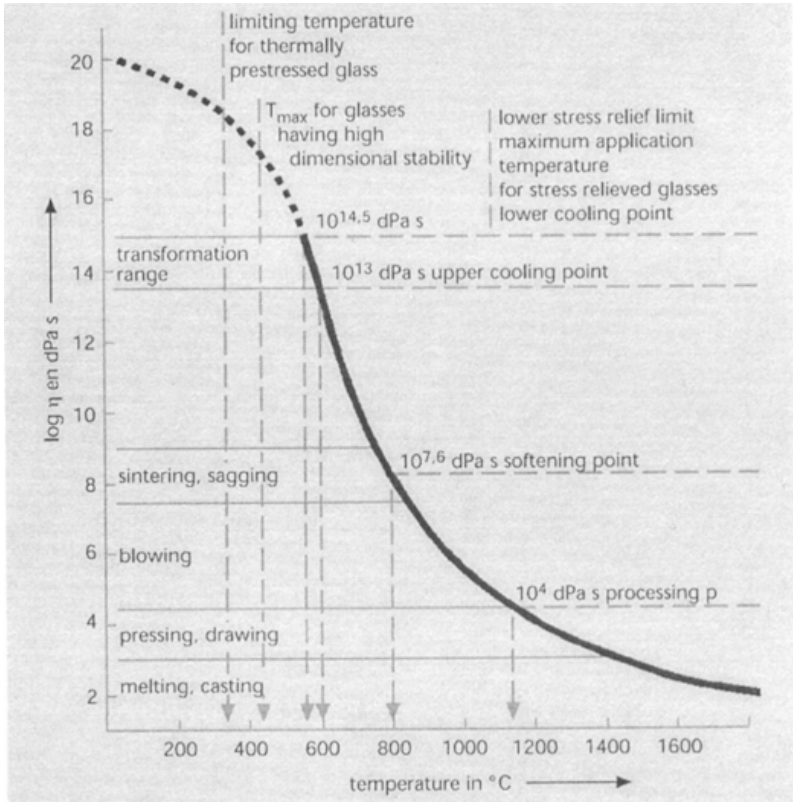


Fig. 13.4 High-vacuum-qualification welding test assembly.

Vákuum rendszerek tervezése, építése

Pyrex-üvegeszközöket 550-600 fokon ki kell kályházni (pl. 12 óra kályházás, 8 óra programozott lehűtés, lásd gyártó katalógusa), esetleg polárszűrővel ellenőrizni a nagyobb feszültségeket, és az első levákuumozást óvatosan végezni (védőernyő stb.).



Normal temperature dependence/viscosity curve of, for example, DURAN®; viscosity ranges of important processing techniques, position of fixed points of viscosity and various limiting temperatures.