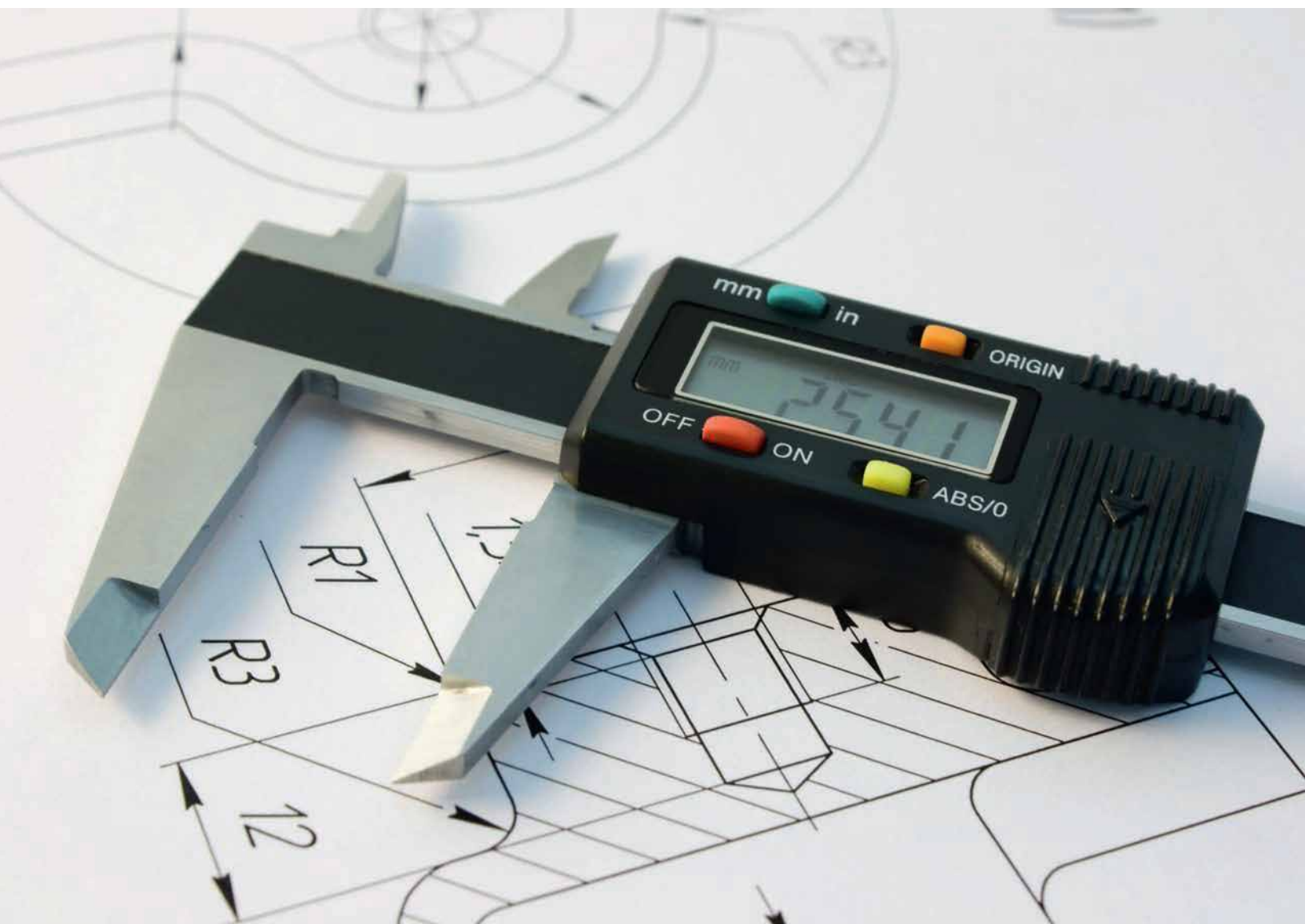


Kutistusliittäminen.

Making our world
more productive



Kutistusliittäminen.




Sisältö.

- 4 Kutistusliittämisen periaate**
- 6 Vaihtoehtoiset menetelmät**
 - Lämmöllä laajentaminen
 - Puristusliittäminen
- 7 Kutistusliittämisen edut**
- 8 Kutistusliittämisen toteutus**
- 10 Soveltamisalueet**
 - Materiaalit
 - Sovellusesimerkkejä
 - Hammaspyörän akselin asennus
 - Laakeriholkin asennus
 - Venttiilien asentaminen sylinterikanteen
 - Pitkän akselin liittäminen pyörännapaan
- 13 Kutistusliittämisessä käytettävät kaasut**
 - Typpi
 - Ominaisuudet
 - Säilytys
 - Ominaisuudet
- 15 Kutistusliittämisen mitoitus**
 - Ahdistussovituksen mitoitus
 - Liitoksen lujuus
 - Tarvittava jäähdytysaika
 - Kaasunkulutus
- 20 Laitteistot**
 - Kryokammiot
 - Päältä täytettävä kryogeeninen arkkupakastin, CRYOFLEX™-CBF
 - Edestä täytettävä kryogeeninen kammiopakastin, CRYOFLEX™-CCF
 - Kryogeeninen tunnelipakastin, CRYOFLEX™-CTF
 - Oheislaitteet
 - Nestemäisen tyyppien jakelu
 - Nestetyyppiutkistot
- 22 Turvallisuus**
 - Typpi
 - Hapenpuute
 - Paleltumisvammat
 - Turvallinen käsittely
 - Hiilidioksidi
 - Turvallinen käsittely

Lähteet

Fakta om Expansionsförband, AGA Gas AB, BRG-995-9903-1000, 1999
LIN Transfer Handbook, Section 7.4.3
Sub-zero Treatment of Steels, Technology/Processes/Equipment, Special Edition, Linde Gas
Kaltschrumpfen mit flüssigem Stickstoff, Ing. D. Rebhan, Höllriegelskreuth,
Linde GASE Sonderdruck 31, DK 621.88.084.2.1, 1975
Liquid Nitrogen Shrink Fitting, Technical and Commercial Appraisal, R.M. Hall, BOC Corporation
Shrink fitting, seminaariesitelmä, Oy AGA Ab, 2010
OVA-ohje: typpi. <http://www.ttl.fi/ova/typpi.pdf>
OVA-ohje: hiilidioksidi. <http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.pdf>
Moventas Wind Oy



Kutistusliittäminen (krymppaus) on erinomainen menetelmä metallisten osien liittämiseen, esimerkiksi hammaspyörän liittämiseen akselille tai tapin liittämiseen reikään. Kaikki metallit laajenevat lämmitettäessä ja kutistuvat jäähdytettäessä.

Tätä ilmiötä voidaan käyttää hyväksi, kun kappaleiden mitat valitaan sopivasti. Hammaspyörä saadaan mahtumaan akselille, kun jälkimmäistä kutistetaan nestemäisessä työssä jäähdyttämällä. Liittämisen jälkeen osakokonaisuuden annetaan lämmetä huoneenlämpötilaan, jolloin muodostuu erittäin vahva liitos. Liitos kantaa siihen kohdistuvan kuorman koko pinta-alallaan.

Hitsausta tai liimausta ei tarvita. Metallien ominaisuudet ja kappaleiden muodot eivät muutu. Lisäksi vältetään kuumien kappaleiden käsittelyyn liittyvät ongelmat.

Kutistusliittämisen periaate.

Kaikki metallit laajenevat lämmitettäessä ja kutistuvat jäädytettäessä. Kappaleen koon muuttumista kuvataan yhtälöllä 1.

Yhtälö 1.

$$\Delta L_T = \alpha(\Delta T)L,$$

jossa

- ΔL_T = pituuden muutos
- α = lineaarinen lämpölaajenemiskerroin
- ΔT = lämpötilan muutos
- L = pituus

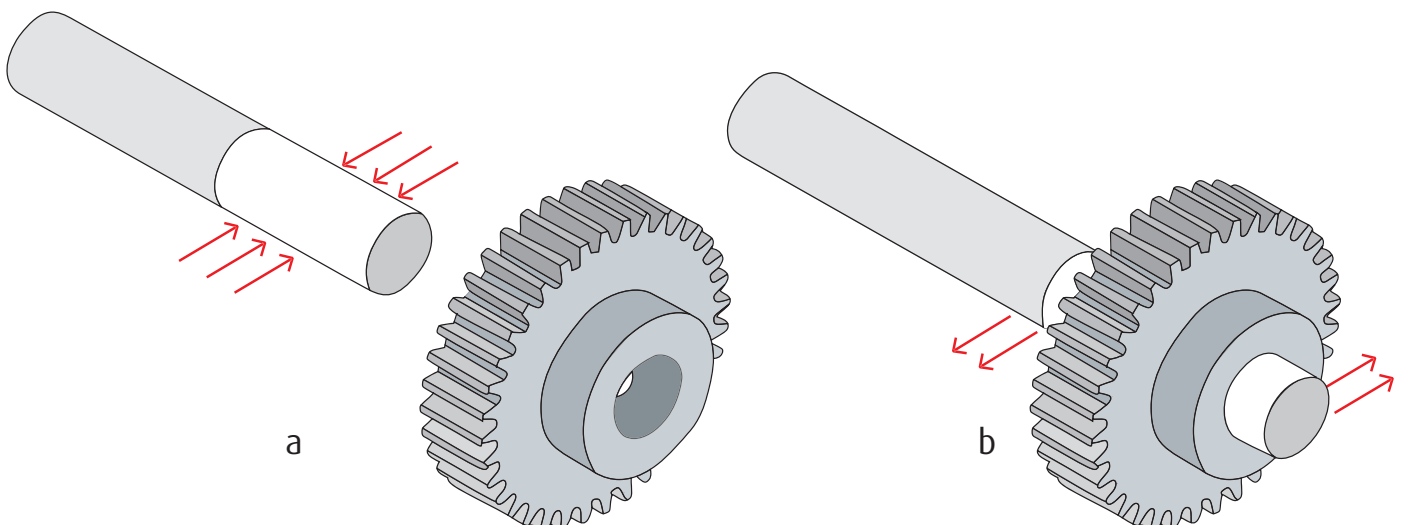
Kutistusliittäminen (krymppaus) on toimiva menetelmä ahdistussoviteelle mitoitettujen osien liittämiseen. Ahdustusovite on sovitte, jossa on aina ahdustus reiän ja akselin asentamisen jälkeen eli reiän maksimimitta on joko pienempi tai yhtä suuri kuin akselin minimimitta. Eräs käytetyimpiä kutistusliittämisen sovelluksia lienee hammaspyörän tai holkin asentaminen akselille. Akseli jäädytetään, jolloin sen halkaisija pienenee (kuva 1.a).

Jäädytetylle akselille kootaan halutut komponentit ja osien annetaan lämmitä huoneenlämpötilaan (kuva 1.b). Kun kappaleiden mitat on valittu oikein, muodostuva liitos on erittäin vahva. Joissain tapauksissa riittävän suuren asennusvälyksen aikaansaaminen vaatii lisäksi ulomman osan lämmittämistä, jolloin siinä olevan reiän halkaisija kasvaa ja liittäminen mahdollistuu. Lämmittämisen huonoina puolina ovat riski työkappaleen mikrorakenteen muuttumisesta (päästyminen), muodonmuutokset ja kuumien kappaleiden käsittelyyn liittyvät ongelmat.

Sekä kutistumis- että laajenemisilmiötä voidaan soveltaa myös näillä menetelmillä liitettyjen osakokonaisuuksien purkamiseen mikäli materiaalipari ja kappaleiden mitat on valittu sopivasti.

Kuva 1.

Kutistusliittämisen periaate. 1.a: akseli jäädytetään, jolloin sen halkaisija pienenee. Hammaspyörä on huoneenlämpötilassa. 1.b: Hammaspyörä liitetään akseliin ja molempien annetaan lämmitä huoneenlämpötilaan, jolloin muodostuu luja liitos.



Lämpölaajenemiskerroin on kullekin materiaalille yksilöllinen fysi-kaalinen ominaisuus. Esimerkkejä metallien lämpölaajenemiskertoimista on esitetty taulukossa 1. Metallin kutistuman suuruus riippuu lämpötilasta kuvan 2 mukaisesti.

Taulukko 1. Metallien lämpölaajenemiskertoimia.

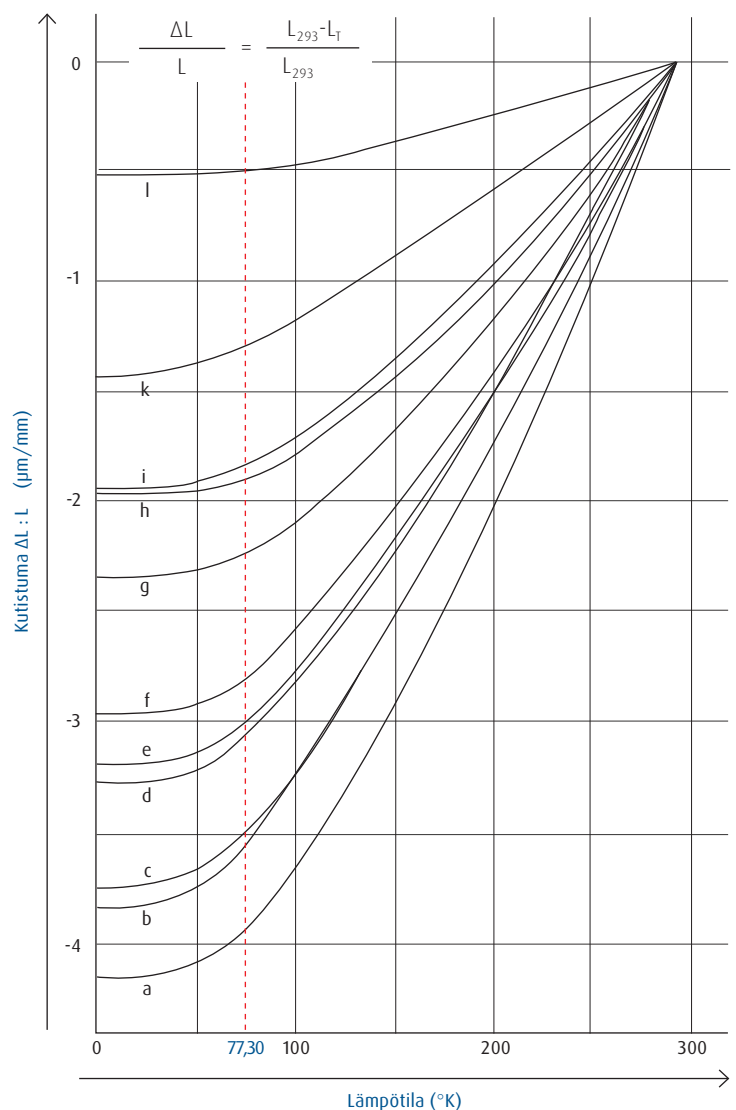
Metalli	α ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Rauta, puhdas	12
Hiiliteräs	12
Ruostumaton teräs AISI 304	17,3
Alumiini, puhdas	25
Alumiini 3003 (ASTM B221)	7,2
Kupari, puhdas	16,6
Magnesium, puhdas	25
Nikkeli (ASTM B160, B161, B162)	11,9
Titaani, kauppalaatu	8,8
Tantaali, puhdas	6,5
Sinkki, puhdas	35

Kutistettavan kappaleen jäädyttämiseen käytetään tyypillisesti nestemäistä typpeä tai hiilidioksidijäätä eli kuivajäätä.

Kuvassa 1 esitetyn esimerkin tapauksessa akselin pää upotetaan nestemäiseen tyyppeen, jonka lämpötila on -196°C . Tällöin akselin ja huoneenlämpötilassa olevan hammaspyörän lämpötilaeroksi muodostuu n. 220°C . Kuivajäällä saavutetaan -78°C lämpötila, joka on joissain tapauksissa riittävä.

Kuva 2. Eri metallien kutistuman suuruus lämpötilan funktiona.

a = alumiini b = messinki (65%Cu, 35%Zn) c = uushopea
d = kupari e = teräs Mat. Nr. 1.4300 f = teräs Mat. Nr. 1.4301
g = nikkeli h = seostaman teräs i = teräs Mat. Nr. 1.4000
k = tantaali l = Invar (42%Ni, 0,8%Mn, loput Fe)



Vaihtoehtoiset menetelmät.

Kutistusliittämisen kanssa kilpailevia menetelmiä ahdistussovitetta käytävissä kohteissa ovat lämmöllä laajentaminen ja puristusliittäminen. Kiila-, sokka-, kierre-, hitsaus-, juotos- ja liimausliitoksia ei käsitellä tässä yhteydessä.

Lämmöllä laajentaminen

Liitettävän materiaaliparin ulompi kappale kuumennetaan, jolloin siinä olevan reiän halkaisija kasvaa, ja sisempi kappale voidaan näin asentaa paikalleen. Liitos syntyy, kun ulompi kappale kutistuu jäähtyessään.

Työkappaleen lämmittämiseen käytetään uunia, öljykylpyä tai kaasuliekkiä. Menetelmän etuja ovat edulliset käyttökustannukset ja nopea käyttöönotto sekä tietyissä tapauksissa edullinen investointikustannus. Haittoja ovat hidas läpimenoaika erityisesti sarjatuotannossa, epätasaisesta kuumennuksesta aiheutuva työkappaleiden vetely, värimuutokset, oksidoituminen sekä joissain tapauksissa metallurgiset muutokset kappaleissa. Lisäksi toistettavuus on huono erityisesti käsikäyttöisiä nestekaasupoltimia käytettäessä.

Puristusliittäminen

Kappaleiden liittäminen toisiinsa puristamalla vaatii ulkopuolista voimaa, tavallisesti hydraulipuristinta, jonka avulla sisäosa ja ulko-osa yhdistetään. Liittämisen edellyttämän suuren voiman seurauksena kappaleisiin saattaa syntyä pysyviä muodonmuutoksia. Lisäksi puristusliitoksella on huonompi lujuus kuin kutistusliitoksella. Lujuus kärsii erityisesti silloin, kun paikoitustarkkuuden kanssa esiintyy ongelmia, koska kappaleiden pintakerrokset muokkautuvat kontaktipinnoiltaan. Suurikokoiset hydraulipuristimet ovat myös kalliita.

Yksittäiskappaleen puristusliittäminen on nopea menetelmä verrattuna vastaavan kappaleen jäädyttämiseen. Kutistusliittäminen muodostuu nopeammaksi menetelmäksi sarjakoona kasvaessa, koska useita työkappaleita voidaan jäädyttää kerralla.

Esimerkiksi 50 kappaleen puristusliittämiseen tarvittava aika on 50 kertaa yhteen kappaleeseen tarvittava aika. 50 kappaleen kutistusliittämiseen tarvittava aika on yhden kappaleen jäädyttämiseen tarvittava aika lisättyä ajalla, joka vaaditaan 50 kappaleen asentamiseen paikalleen. Oikein mitoitettujen kappaleiden asentaminen on nopeaa, joten kutistusliittämistä käyttämällä voidaan saavuttaa merkittävä säästö läpimenoajassa.



Kutistusliittämisen edut.

Kutistusliittäminen tarjoaa seuraavia etuja:

Työ on helppo suorittaa.

Ei tarvita kalliita laitteistoja.

Menetelmä toimii sekä yksittäiskappaleilla että sarjatuotannossa.

Materiaaliparit, joita ei voi hitsata, juottaa tai liimata voidaan liittää luotettavasti.

Kiilaliitokseen verrattuna tasaisempi kuorman jakautuminen liitoksessa.

Jäähdyttäminen nestemäisellä työllä on nopeaa, halkaisijaltaan 125 mm teräksellä kutistuu 0,25 mm 20 minuutissa. Pienet kappaleet voidaan kutistaa nopeimmillaan sekunneissa. Lämmittäminen voidaan tehdä uunissa tai öljykylvyssä.

Hyvä menetelmä silloin, kun ulompi osa on monimutkainen, lämpökäsitelty tai suurikokoinen, jolloin sen kuumentaminen on vaikeaa ja riskialtista.

Ei riskiä paikallisesta ylikuumenemisesta, mikrorakenteen muuttumisesta tai muokkautumisesta.

Työkappaleiden pintaan ei muodostu värimuutoksia, saostumia tai oksidoitumista, kun jäähdytykseen käytetään nestemäistä työtä.

Työkappaleissa ei tapahdu pysyviä mitta- ja muodonmuutoksia, vaan kappaleiden alkuperäiset mitat palautuvat lämpenemisen myötä.

Ei kappaleiden väärästä paikoituksesta johtuvia kiinnitarttumisongelmia kuten puristusliittämisessä.

Ei kuumista kappaleista aiheutuvaa työturvallisuusriskiä.



Kutistusliittämisen toteutus.

Yksittäiskappaleiden kutistusliittäminen ei vaadi erikoislaitteistoja. Uputusastiaksi riittää yksinkertaisimmillaan tavallinen ruostumatonta terästä oleva avoin säiliö.

Turvallisuudesta huolehtiminen on ensiarvoisen tärkeää. Henkilösuojaimia tulee aina käyttää erittäin kylmän nestemäisen tyypen kanssa toimiessa. Työtilan ilman tyypipitoisuuden kohoamisesta seuraa tukehtumisriski, joka on vältettävissä riittävällä ilmanvaihdolla, kohdepoistolla ja tarvittaessa happipitoisuuden alarajahälytyksellä.

Krymppauslaitteiston suunnittelussa kannattaa tukeutua asiantuntijan apuun. Teollisessa kutistusliittämisessä käytetään yleensä kaksikerroksista upotussäiliötä, jonka kuorten välissä on lämmöneriste. Osien jäädyttämiseen on myös saatavilla nestetyypipakastimia moniin eri käyttötärpeisiin. Pakastimia esitellään tarkemmin omassa kappaleessaan.

Krymppausastian sisäosaan ei saa käyttää hiiliterästä sen kylmäaurauden vuoksi. Kuorten välissä on parhaassa tapauksessa tyhjä tai välitila on vuorattu mineraalivillalla. Eristemateriaalin palamattomuus on tärkeää, koska happipitoisuus voi nousta kuorten välissä ilman tiivistyessä sisäkuoren ulkopintaan. Kohonnut happipitoisuus tarkoittaa matalampaa syttymispistettä ja suurempaa palamisnopeutta.

Kun metallikappale upotetaan säiliöön, nestemäinen tyyppi alkaa kiehua voimakkaasti. Kiehuminen vähenee ja loppuu kokonaan, kun kappale on saavuttanut tyypen lämpötilan. Ihannetapauksessa upotussäiliö on muotoiltu käsiteltävien kappaleiden mukaan, jolloin vältetään nestemäisen tyypen roiskeiden aiheuttamilta vaaroilta. Kutistettavien kappaleiden jäädytys on tehokkainta, kun ne voidaan upottaa kokonaan nestemäiseen tyypeen. Pitkää kappaletta jäädytettäessä on usein käytännöllisintä upottaa vain liitosalue, esimerkiksi pitkän akselin pää. Tällöin on kuitenkin tiedostettava riski jännityksistä ja muodonmuutoksista, joita epätasainen lämpötilajakauma voi aiheuttaa kappaleeseen.

Kun kappale on kauttaaltaan jäähtynyt haluttuun lämpötilaan, se nostetaan upotussäiliöstä ja asennetaan paikalleen. Kappaleen pysyminen oikealla paikalla lämpenemisen aikana varmistetaan muotoilemalla asennettava kappale tai vastakappale sopivasti tai käyttämällä tukiholkkia tai muuta apuvälinettä.

Työkappaleen lämmitessä sen pintaan muodostuu huurretta. Huurre aiheuttaa hiiliteräksestä valmistettuihin kappaleisiin pintaruostetta, joten se on poistettava huolellisesti. Huurre on helpointa poistaa pyyhkimällä, kun kappale on lämmennyt huoneenlämpötilaan ja huurre alkaa sulaa. Kun kappale on riittävän lämmin, siihen ei myöskään muodostu uutta huurretta pyyhkimisen jälkeen. Koneistetut teräspinnat suojataan ruostesuoja-aineella kuivaamisen jälkeen, ellei niitä ole tarkoitus pintakäsitellä.



Kuva 3. Uputussäiliö ja käsiteltäviä tuotteita.



Kuva 4.

Esimerkki kutistusliittämiseen tarkoitettu nestemäisen tyypin laitteistosta. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu upotussäiliö on varustettu valuma-altaalla ja kohdepoistolla. Säiliön täyttöä ohjataan pintakytkimellä ja magneettiventtiilillä.

Soveltamisalueet.

Materiaalit

Alumiinin, Monelin, kuparin ja kupariseosten kuten pronssin ja messingin materiaaliominaisuuksissa ei tapahdu merkittäviä muutoksia alhaisissa lämpötiloissa. Hiiliteräkset haurastuvat väliaikaisesti nestemäisen tyypin lämpötilassa. Siksi hiiliteräksestä valmistetut kappaleet eivät saa altistua iskuille jäädytyksen aikana.

Karkaistuja teräksiä kutistusliittettäessä tulee huomioida kappaleissa mahdollisesti esiintyvän jäännösausteniitin muuttuminen martensiitiksi matalissa lämpötiloissa. Tällaisessa tapauksessa lämpökäsittely- ja kutistusliittämisprosessia on syytä tarkastella kokonaisuutena ja tarvittaessa tehdä jäännösausteniitin poistava kylmäkäsittely sekä sitä seuraava päästö ennen kutistusliittämistä.

Monet valuraudat ovat suhteellisen hauraita myös huoneenlämpötilassa, joten niiden jäädytys on tehtävä varovasti. Valurautaiset komponentit on hyvä viilentää ensin kaasumaisella tyypellä ennen nestemäiseen tyypeen upottamista. Lämmittäminen takaisin huoneenlämpötilaan palauttaa teräksen normaalit mekaaniset ominaisuudet.

Sovellusesimerkkejä

Hammaspyörän akselin asennus

Tuulivoimalan vaihteeseen asennettiin hammaspyörän akselitapit kutistusliittämällä. Halkaisijaltaan 200 mm nuorrutusteräksestä akselitappia jäädytettiin nestemäisellä tyypellä tunnin ajan. Ahdustussovitteen toleranssialueen suuruus oli $-0,03...-0,1$ mm.

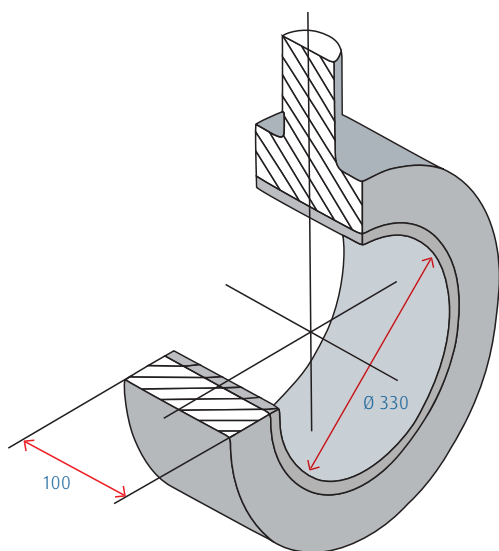


Kuvat 5 a - d.
Nestemäisellä tyypellä jäädytetyn akselin asentaminen hammaspyörään.
Moventas Wind Oy Jyväskylä. Kuvissa lämpökäsittelijä Marko Seppänen.



Laakeriholkin asennus

Teräksiseen kiertokankeen asennettiin pronssinen laakeriholkki, kuva 6. Liitos tehtiin aikaisemmin puristamalla. Kiertokangen pituus on 3,6 m ja paino kaksi tonnia, joten sitä on liikuteltava nosturilla. Aiemmin valmistautuminen kesti kaksi tuntia, ja työhön tarvittiin kaksi operaattoria sekä nosturinkuljettaja. Nestemäistä tyypeä ja kutistusliittämistä käyttämällä asennus voitiin tehdä yhden operaattorin voimin. Työhön tarvittava aika lyheni 12–15 minuuttiin.



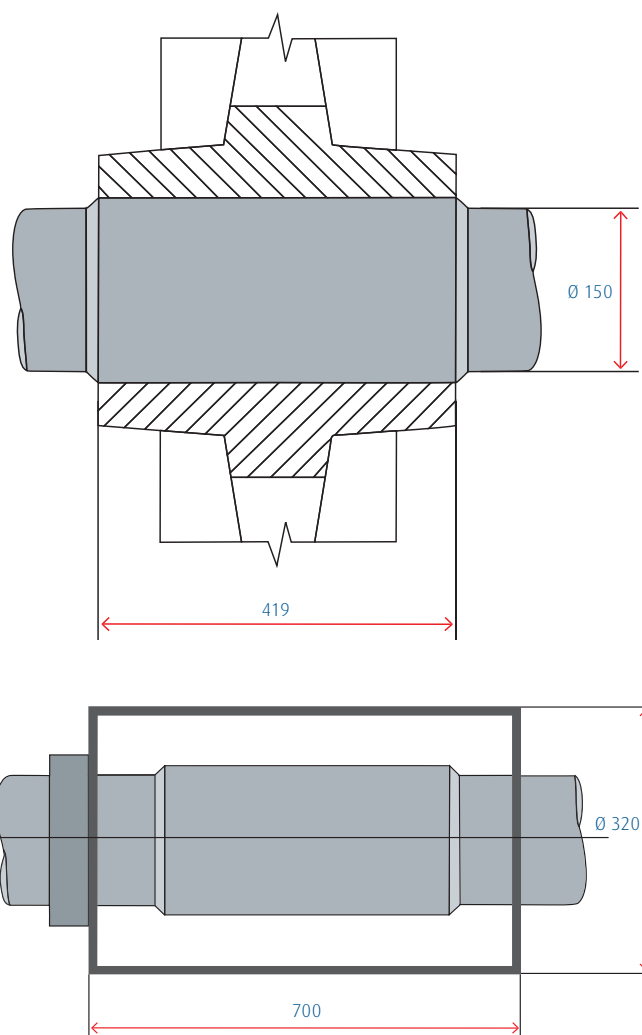
Kuva 6. Laakeriholkin liittäminen kiertokankeen.

5.2.3 Venttiilien asentaminen sylinterikanteen

Venttiilien asentamisessa sarjatuotantona hyödynnettiin jäädytystä ja kutistusliittämistä yhdistettynä lämmitykseen ja laajennukseen. Venttiilit jäädytettiin -196 °C lämpötilaan nestemäisellä tyypeä, ja sylinterikansi lämmitettiin matalaan 100–200 °C lämpötilaan, jolloin vältettiin muodonmuutokset. Lämmitystä tarvittiin, jotta kappaleisiin saatiin riittävän suuri mittaero. Venttiilien pienet mitat mahdollistivat vain erittäin rajoitetun mittojen muuttamisen jäädytyksellä.

Pitkän akselin liittäminen pyörännapaan

Aikaisemmista esimerkeistä poiketen akselin pituus asetti rajoituksia kutistusliittämiseksi. Koko akselin jäädyttäminen ei ollut käytännöllistä eikä kustannuksiltaan järkevää. Jäädytystä varten rakennettiin laatikko, jossa ainoastaan tarvittava osa akselistä jäädytettiin ylhäältä päin ruiskutettavan nestemäisen tyypeen avulla. Aiemmin osat liitettiin toisiinsa puristamalla, joka vaati aikaa 1,5–2 tuntia. Työhön tarvittiin neljä henkilöä ja nosturi. Kutistusliittäminen voitiin tehdä kahden henkilön voimin ja aikaa tarvittiin 20–30 min.



Kuva 7.

Akselin rajoitetun osan jäädyttäminen erityisessä laatikossa, jossa nestemäinen tyyppi ruiskutetaan akselin pintaan.

Kutistusliittämisessä käytettävät kaasut.

Typpi

Kutistusliitettävien osien jäädytykseen käytetään pääasiassa nestemäistä typpeä, jota käyttämällä käsiteltävien osien lämpötilaeroksi saadaan noin 216 °C (+20...-196 °C). Kastamalla koko kappale nestetyypen saavutetaan nopea jäähtyminen, koska työkappale on kauttaaltaan kosketuksessa typen kanssa.

Matalan lämpötilan vuoksi nestemäisellä typellä on suuri jäädytyskapasiteetti. Yksi litra nestetyyppeä muodostaa 700 litraa typpikaasua, joka kykenee siirtämään 200 kJ energiaa jäädytettävästä kappaleesta. Kylmän kaasun lämmitessä 0 °C lämpötilaan poistuu toiset 200 kJ. Tätä voidaan hyödyntää sarjatuotannossa, jolloin kaasuuntunut typpi riittää jäädyttämään vielä seuraavankin työkappaleen. Näin ollen kaasunkäyttö tehostuu, ja yksikkökustannukset laskevat. Ennen käyttöä tulee perehtyä nestemäisen typen turvallisuusohjeisiin.

Ominaisuudet

Nestemäinen typpi (N₂) valmistetaan ilmakaasutehtaalla nesteyttämällä ja tislamalla ilman eri kaasukomponentit (typpi, happi, argon) erilleen toisistaan. Nestemäinen typpi varastoidaan ja toimitetaan tyhjeristeisissä paineastioissa. Kaasumainen typpi on väritöntä, hajutonta ja mautonta. Se on hieman ilmaa kevyempää. Typpi ei ole syövyttävää, palavaa eikä myrkyllistä. Sen pitoisuus ilmassa on 78 %. Typen fysikaaliset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Typen fysikaaliset ominaisuudet.

Molekyyli massa	28,01 g/mol
Kiehumispiste 101,3 kPa paineessa	-195,8 °C
Ominaislämpökapasiteetti kiehumispisteessä ja 101,3 kPa paineessa	198,9 kJ/kg
Lämpökapasiteetti 15 °C lämpötilassa	1,04 kJ/kg°C
Kaasun tiheys 15 °C lämpötilassa ja 100 kPa paineessa	1,17 kg/m ³
Nesteen tiheys kiehumispisteessä ja 101,3 kPa paineessa	0,808 kg/dm ³

Säilytys

Kutistusliittämisessä käytettävä nestemäinen typpi säilytetään kryosäiliössä. Kryosäiliöitä on useita kokoja; termospulloa muistuttavista siirrettävistä astioista eli devareista (dewar) tai minikonteista suuriin kiinteisiin kryotankkeihin. Kaksikerroksinen ja tyhjeristeinen säiliö antaa erittäin tehokkaan eristyksen, jopa 30 kertaa paremman kuin vastaava paksuus mineraalivillaa. Lämpövuotojen vaikutuksesta nestetyyppeä alkaa kaasuuntua ja hävitä varoventtiilin kautta säilytyksen aikana. Hyvässä kryosäiliössä typen höyrystymishäviöt säilytyksen aikana jäävät kuitenkin pieniksi.



Hiilidioksidi

Hiilidioksidia (CO₂) esiintyy vapaasti luonnossa yhtenä ilman ainesosana sekä liuenneena veteen. Hiilidioksidia muodostuu orgaanisen aineen hajoamisen tuloksena, esim. polton ja mikrobitoiminnan yhteydessä. Teollisuudessa hiilidioksidia valmistetaan (otetaan talteen) esim. vedyn valmistuksen tai alkoholikäymisen yhteydessä.

Hiilidioksidi esiintyy nesteinä vain paineenalaisena. Kun hiilidioksidin paine laskee alle 5 bar, muuttuu hiilidioksidi kiinteään olomuotoonsa eli kuivajääksi. Hiilidioksidijää muuttuu lämmitessään suoraan hiilidioksidikaasuksi, ilman nestemäistä välivaihetta (siitä hiilidioksidijälle nimitys kuivajää). Ilmiötä kutsutaan sublimoitumiseksi. Hiilidioksidijään lämpötila on -78 °C, joten hiilidioksidijäätä käyttämällä kutistusliitettävien osien lämpötilaeroksi saadaan noin 98 °C (+20 °C...-78 °C). Yksi kilo hiilidioksidijäätä sitoo kaasuuntuessaan 573 kJ energiaa, joka vastaa noin kahta kiloa tavallista jäätä. Lämmönsiirron tehostamiseksi kuivajää voidaan upottaa nesteeseen, jolla on matala jäätymispiste kuten alkoholiin, spriihin tai asetoniin. Hiilidioksidia käyttämällä kappaleen kutistuma jää pienemmäksi kuin nestetypellä, koska lämpötila on korkeampi. Kuivajäätä on saatavissa valmiina paloina tai rakeina. Ennen käyttöä tulee tutustua kuivajään turvallisuusohjeisiin.

Ominaisuudet

Kaasumainen hiilidioksidi on väritöntä, lähes hajutonta ja ilmaa raskaampaa. Kiinteä hiilidioksidijää on erittäin kylmää, hajutonta, lumenkaltaista ainetta. Hiilidioksidijää muodostaa veden kanssa sumua.

Hiilidioksidia varastoidaan ja kuljetetaan nestemäisenä. Kaasuntarpeen ollessa pieni hiilidioksidi toimitetaan pulloissa. Hiilidioksidi on nestemäisenä myös pulloissa. Kaasuntarpeen kasvaessa hiilidioksidi toimitetaan nestemäisenä säiliöautolla asiakkaan luokse kiinteästi asennettuun varastosäiliöön. Säiliössä hiilidioksidin lämpötila on -56,6...+30,6 °C. Vuotaessaan nestemäinen hiilidioksidi muuttuu kaasuksi ja hiilidioksidilumeksi. Yhdestä litrasta nestemäistä hiilidioksidia saadaan noin 440 litraa kaasumaista hiilidioksidia. Hiilidioksidin fysikaaliset ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Hiilidioksidin fysikaaliset ominaisuudet

Molekyyli massa	44,01 g/mol
Sublimaatiopiste 98,1 kPa (1 bar) paineessa (kiinteä faasi)	-78 °C
Sublimaatiolämpö -78 °C lämpötilassa ja 98,1 kPa paineessa (kiinteä faasi)	573 kJ/kg
Lämpökapasiviteetti 15 °C lämpötilassa (kaasufaasi)	0,85 kJ/kg°C
Kaasun tiheys 15 °C lämpötilassa ja 100 kPa paineessa	1,85 kg/m ³
Tiheys kiehumispisteessä -78 °C lämpötilassa ja 98,1 kPa paineessa (kiinteä faasi)	1,57 kg/dm ³



Kutistusliittämisen mitoitus.

Tässä kappaleessa käsitellään liitettävien kappaleiden mitoitusta, liitoksen lujuutta, tarvittavaa jäähdytysaikaa, kaasunkulutusta ja liitoksen muodostuvia jännityksiä.

Ahdistusovitteen mitoitus

Kutistusliittämisen toteutuskelpoisuuden laskemiseksi tarvitaan ahdustusovitteelle määritellyt reiän ja akselin halkaisijamat toleranssialueineen. Ahdistuksen laskemiseksi tarvittavia tietoja löytyy konstruktitekniikan kirjallisuudesta. Komponentteja ei voida käytännössä valmistaa eksakteilla mitoilla, joten kappaleet pitää toleroida. Toleransseja määriteltäessä on syytä varmistua siitä, että kutistusliitettäviin kappaleisiin saadaan jäähdytyksessä tai lämmityksessä riittävä asennusvälys, jotta liittäminen onnistuu ja lopputulos on toivottu. Erikoistapauksissa myös kappaleiden pinnankarheus on syytä määritellä ja ottaa mukaan laskentaan. Ahdustusovitteiden minimiahdistus saadaan reiän suurimman mitan ja akselin pienimmän mitan erotuksena ennen asentamista. Maksimiahdistus saadaan reiän pienimmän mitan ja akselin suurimman mitan erotuksena ennen asentamista.

Esimerkki 7.1:

Hammaspyörään halutaan liittää akseli ahdustusovitetta käyttäen. Molemmat kappaleet on valmistettu teräksestä. Liitoksen tavoitelujuus edellyttää vähintään $u = 0,015$ mm ahdistusta. Osien pinnankarheus vaikuttaa tarvittavan ahdistuksen suuruuteen, joka on $u + 2$ ($0,5 \times$ akselin pinnankarheus $+ 0,5 \times$ reiän pinnankarheus). Esimerkin kappaleet on valmistettu pinnankarheudella $4 \mu\text{m}$, joten tarvittavaksi ahdistukseksi muodostuu $15 + 2$ ($0,5 \times 4 + 0,5 \times 4$) = $23 \mu\text{m} = 0,023$ mm.

Hammaspyörän reiän halkaisija on 50 mm ja toleranssiluokka H8, joten reiän mitta-alue on $50 \text{ mm} + 0,000 \text{ mm} / + 0,039 \text{ mm}$. Akselin halkaisija on

50 mm ja toleranssiluokka u7, joten akselin mitta-alue on $50 \text{ mm} + 0,070 \text{ mm} / + 0,095 \text{ mm}$. Näin ollen pienin reikä on $50,000 \text{ mm}$ ja suurin akseli $50,095 \text{ mm}$, joten maksimiahdistus on $-0,095 \text{ mm}$. Minimiahdistus on vastaavasti $50,039 - 50,070 = -0,031 \text{ mm}$, joka on suurempi kuin tarvittava ahdistus $0,023 \text{ mm}$. Ahdustusovitteiden suuruus on siis välillä $0,031 \dots 0,095 \text{ mm}$. Seuraavaksi lasketaan, mahdollistaako ahdustusovitteiden suuruus nestemäisen tyyppien käyttämisen akselin kutistamiseen.

Suhteellinen lämpölaajeneminen [e] riippuu lämpötilasta yhtälön 2 mukaan:

Yhtälö 2.

$$e = \Delta d / D = \alpha \Delta T,$$

jossa Δd = halkaisijan muutos

D = ulkohalkaisija

α = lineaarinen lämpölaajenemiskerroin

ΔT = lämpötilan muutos

Lämpölaajenemiskerroin on lämpötilasta riippuva suure. Se ei siis ole vakio jäähdytyksen tai lämmityksen koko lämpötila-alueella. Taulukossa 4 on esitetty eräiden materiaalien lämpölaajenemiskertoimia jäähdytyksessä ja lämmityksessä.

Taulukko 4. Metallien lämpölaajenemiskertoimia jäähdytyksessä ja lämmityksessä.

Metalli	α (1/°C), 0...-195 °C	α (1/°C), 0...100 °C
rakenneteräs	9×10^{-6}	$11,5 \times 10^{-6}$
valurauta	$8,5 \times 10^{-6}$	11×10^{-6}
alumiini	$18,4 \times 10^{-6}$	23×10^{-6}
messinki	16×10^{-6}	17×10^{-6}
pronssi	16×10^{-6}	22×10^{-6}



Akselin jäähtyessä +20 °C...-196 °C saadaan yhtälön 2 perusteella kutistumaksi 0,097 mm ($\Delta d = 50 \times 9 \times 10^{-6} \times (196 + 20) = 0,0972$ mm). Kutistuma riittää minimiahdistukselle, mutta käytännössä ei maksimiahdistukselle. Asentamisen mahdollistamiseksi asennusvälyksen eli jäähdytetyn akselin ja reiän välisen halkaisijaeron tulee olla halkaisijaltaan 25...150 mm kappaleilla vähintään 0,025 mm ja halkaisijaltaan yli 150 mm kappaleilla vähintään 0,05 mm. Esimerkin tapauksessa hammaspyörää on siis lisäksi lämmitettävä, jotta asennusvälykseen saadaan tarvittavat 0,025 mm. Tällöin jäähdytetyn akselin ja reiän halkaisijaeroksi tarvitaan yhteensä 0,120 mm (0,095 + 0,025 mm). Jäähdyttäminen antaa 0,097 mm välyksen, joten tarvitaan lisää vielä 0,023 mm (0,120 – 0,097 mm).

Kuinka monta astetta hammaspyörää pitää lämmittää? $\Delta T = \Delta d / (D \times \alpha) = 23 \times 10^{-6} / (50 \times 10^{-3} \times 11,5 \times 10^{-6}) = 40$ °C. Näin ollen, hammaspyörää pitää lämmittää 20 °C lämpötilasta vähintään 60 °C lämpötilaan.

Esimerkin tapauksessa hammaspyörän lämmittäminen voidaan välttää valitsemalla kappaleiden toleranssit siten, että akselin kutistuma riittää asennukseen ahdistussoviteen koko toleranssialueella.

Taulukko 5. Metalleille saavutettavia suurimpia kutistumia nestemäistä tyypeä käytettäessä.

Metalli	Maksimikutistuma [µm/mm]
Alumiini, puhdas	3,8
Messinki	3,4
Pronssi	3,5
Valurauta	1,8
Kupari, puhdas	3,0
Magnesium, puhdas	4,5
Monel	2,7
Nikkeli, puhdas	2,1
Teräs, niukkahiilinen	1,9
Teräs, niukkaseosteinen	2,0
Teräs, runsaseosteinen	2,0
Sinkki, valulaatu	4,1

Liitoksen lujuus

Liitoksen lujuus [F] voidaan laskea yhtälöstä 3, kun pintapaine [p] tunnetaan:

Yhtälö 3.

$$F = p \cdot A \cdot \mu = p \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot \mu,$$

jossa A = kosketuspinta-ala (pii x halkaisija x pituus)
 μ = materiaalin kitkakerroin

Mitä suurempi on kitkakerroin, sitä pienempi pintapaine tarvitaan tietyn liitoslujuuden saavuttamiseksi. Tietyn pintapaineen saavuttaminen edellyttää oikean suuruista ahdistusta.

Kutistusliitokseen muodostuvat jännitykset voidaan laskea yhtälöistä 4 ja 5.

Yhtälö 4.

$$S_t = \frac{E \cdot \Delta D}{4 \cdot a} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$$

Yhtälö 5.

$$S_r = \frac{E \cdot \Delta D}{4 \cdot a} \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right),$$

joissa S_t = tangentin suuntainen jännitys akselin ja holkin välillä
 S_r = säteen suuntainen jännitys akselin ja holkin välillä
 a = holkin säde sisäkehällä
 b = holkin säde ulkokehällä
 E = kimmomoduuli
 ΔD = reiän sisähalkaisijan muutos

On tärkeää, että liitokseen muodostuva jännitys ei ylitä kummankaan kappaleen myötörajaa eikä liitoksen lujuus siten heikkene. Liian suuri ahdistus saattaa johtaa kappaleiden murtumiseen.

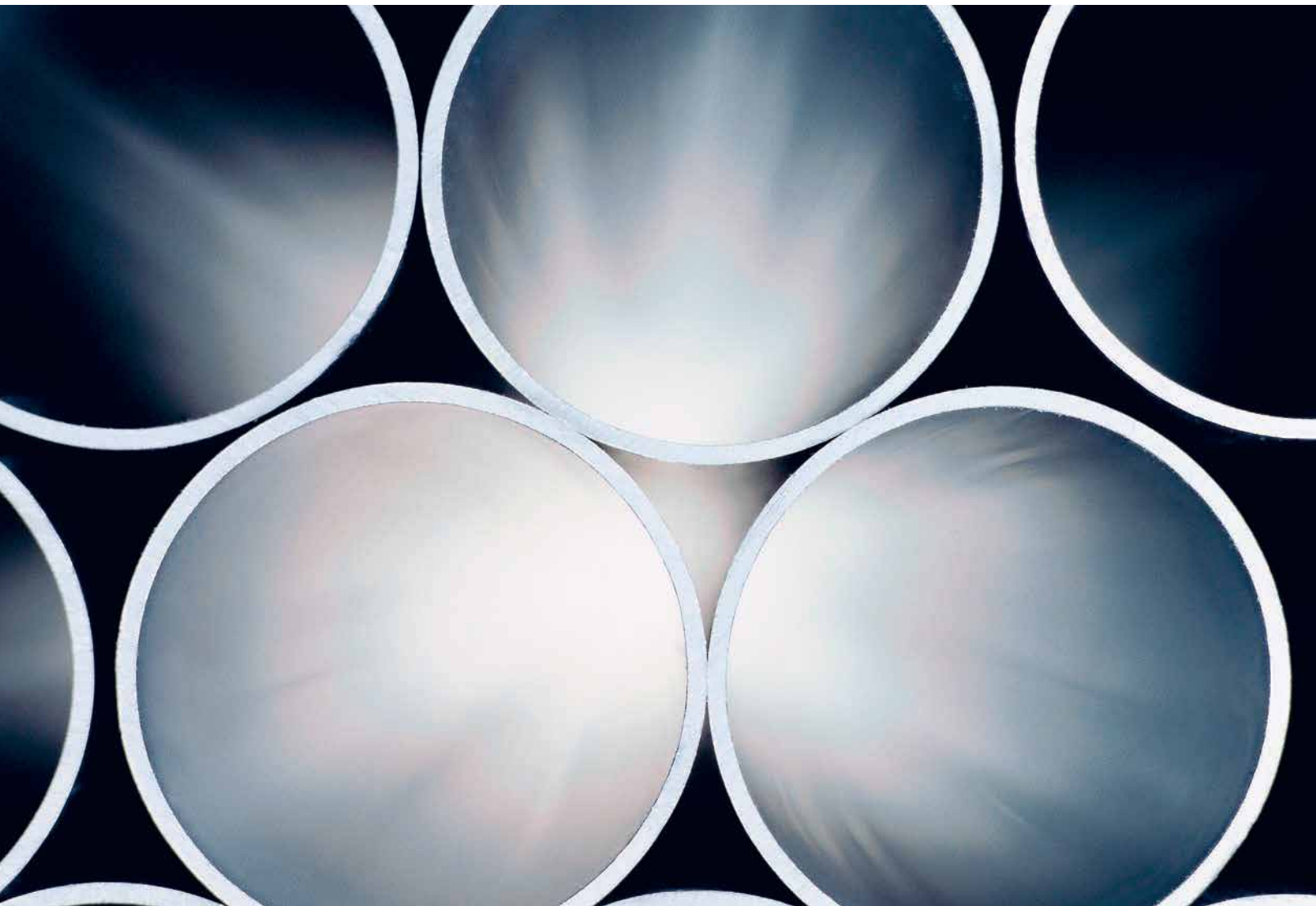


Tarvittava jäähdytysaika

Tarvittava aika jäähdytettäessä teräksestä valmistettuja kappaleita nestemäisellä typellä -196 °C lämpötilaan on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Ajat perustuvat testeihin ja voivat siksi vaihdella eri teräslajien välillä. Tapauksissa, joissa tahtiaika on tärkeä mitoituskijä, todellisilla kappaleilla tehtävä koeajo on paras tapa määrittellä tarvittava jäähdytysaika. Onton kappaleen tapauksessa jäähdytysaika arvioidaan seinämävahvuuden perusteella.

Taulukko 6. Eri halkaisijoille tarvittava jäähdytysaika nestemäistä typpeä käytettäessä.

Halkaisija [mm]	Jäähdytysaika [min]
25	4
50	7
75	12
100	18
150	30
200	40
250	50
300	60



Taulukko 7. Teräksen kutistuma [1/100 mm] ajan funktiona nestemäistä typpeä käytettäessä.

Halk. [mm]	Akseli jäähdytysaika [min]										Ulko- halk. [mm]	Holkki jäähdytysaika [min]						
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80		2	3	4	5	6	7	
30	7										40	9						
40	8										45	10						
50	8										50	10	11					
60	8										55	10	11					
70	9										60	11	12					
80	12	15									70	11	12					
90	13	17									80	11	13	15				
100	14	19									90	12	14	16				
120	15	19	22								100	13	15	16	18			
150	16	21	26								110	14	16	18	20			
180	17	22	27	31							120	15	17	19	22			
200	18	23	28	33							130	16	18	20	22	24		
250	19	23	29	35	41						140	17	19	21	23	25		
300		27	31	36	48	51					150	18	20	22	25	27		
350		30	33	37	52	56	61				160	19	21	24	27	29		
400			36	40	55	58	67	73			170	20	22	25	28	30	31	
450			43	55	65	70	75	80	83		180	21	23	25	28	31	33	
500			58	69	80	90	92	95	98	100	200	22	24	26	31	34	36	

Kaasunkulutus

Laskettaessa kutistusliittämiseen vaadittavan nestemäisen typen määrää tulee huomioida, että typpeä tarvitaan kappaleiden jäähdyttämisen lisäksi upotussäiliön ja sen sisällä olevin putkien ja muiden varusteiden jäähdyttämiseen. Lisäksi typpeä höyrystyy jatkuvasti kylvyn pinnalta, mutta tämä määrä on vähäinen verrattuna jäähdytykseen tarvittavaan määrään. Upotussäiliön jäähdyttämiseen kuluva typen määrää voidaan vähentää tehokkaalla eristyksellä.

Tarvittava nestemäisen typen määrä jäähdytyksessä lämpötila-alueella +20...-196 °C on esitetty taulukossa 8. Nyrkkisäännön mukaan 1 kg terästä tarvitsee 0,6 litraa nestemäistä typpeä. Hiilidioksidia käytettäessä +20...-78 °C vaatii 1 kg kuivajäätä 5...6 kg terästä kohden.

Taulukko 8. Jäähdytykseen tarvittava nestemäisen typen (LIN) määrä eri metalleille.

Metalli	Kaasunkulutus [l LIN/kg metallia]
Alumiini, puhdas	0,97
Messinki	0,47
Pronssi	0,47
Valurauta	0,66
Kupari, puhdas	0,43
Magnesium, puhdas	1,14
Monel	0,46
Nikkeli, puhdas	0,48
Teräs, niukkahiilinen	0,61
Teräs, niukkaseosteinen	0,53
Teräs, runsaseosteinen	0,53
Sinkki, valulaatu	0,46

Laitteistot.

Uputussäiliöiden ohella nestemäistä typpeä hyödyntävät laitteistot jaetaan toimintaperiaatteen mukaan suoraa jäädytystä soveltaviin ja epäsuoraa jäädytystä soveltaviin. Edellisissä nestemäinen typpi muutetaan suuttimilla kaasumaiseksi ja suihkutetaan jäädytyskammioon. Kappaleet jäähtyvät, kun nestemäinen typpi höyrystyy ja sitoo lämpöä itseensä. Suora jäädytys on tehokkain tapa saavuttaa kryolämpötilat hallitusti. Epäsuorassa jäädytyksessä kappaleet upotetaan esim. alkoholiin, joka on jäädytetty nestemäisellä typellä ja mekaanisin menetelmin.

Kryokammiot

Kryogeenisia kammioita, kryokammioita, on saatavilla eri kokoisina ja eri varustelutasoilla. Kammiot on tyypillisesti suunniteltu joko panostyyppisiksi tai jatkuvatoinisiksi. Niiden lataus tapahtuu joko päältä tai edestä. Kuten muillakin lämpökäsittelylaitteilla tarkka kokoonpano määräytyy vaadittavan tuotantokapasiteetin ja käytettävän tuotantotilan mukaan.

Päältä täytettävä kryogeeninen arkkupakastin, CRYOFLEX™-CBF

Kuvassa 8 esitetty päältä täytettävä pakastin vie vähän lattiatilaa ja on taloudellinen ratkaisu pienille tuotantomäärille. Laite käyttää jäädytykseen nestemäistä typpeä ja soveltuu kutistusliittämiseen, kylmäkäsittelyihin ja kryogeenikäsittelyihin. Erikokoisia ja -muotoisia kappaleita

Kuva 8. CRYOFLEX™-CBF



voidaan käsitellä samassa panoksessa. Kammiota ladataan käsin tai nosturilla. Sisäosa ja kaikki nestetyypin ja kylmän kaasun kanssa kosketuksessa olevat osat on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Tietyissä malleissa ulkokuori on valmistettu maalatususta teräsohutellevystä.

Vakiokokosten arkkupakastimien kammiotilavuudet ovat 150, 300 ja 600 litraa. Muita kokoja valmistetaan erikoistilauksesta.

Edestä täytettävä kryogeeninen kammiopakastin, CRYOFLEX™-CCF

Kuvassa 9 on esitetty pakastin, jossa on ylös liukuva ovi. Pakastin voidaan varustaa myös sivulle aukeavalla ovella. Kammiota voidaan säätää panosvaunun mukaan, mikäli kammiota liitetään osaksi lämpökäsittelylinjaa. Kammiota mahtuu tavallinen panoskori. Kammiota on panostettavissa myös käsikäyttöisen pinoajan avulla.

Kuvassa 10 esitettyyn pakastimeen mahtuu suuri määrä pieniä osia kuten sahanterä, teräpaloja, ruuveja ja pultteja. Yksikössä on ohjelmoitava ohjauksjärjestelmä jäädytyksen, prosessiajan ja lämmityksen ohjaukseen. Pystysuuntainen muotoilu tehostaa jäädytystä. Käsiteltävät osat panostetaan tasoille tai mataliin koreihin ja nostetaan hyllyille.

Vakiokokosten kammiopakastimien tilavuudet ovat 300, 1000 ja 2800 litraa. Muita kokoja valmistetaan erikoistilauksesta. Lisäksi on saatavilla kuunnestustoiminnolla varustettu malli, jonka korkein lämpötila on +600 °C. Tämän mallin vakiotilavuudet ovat 300 ja 1000 litraa.

Kuva 9. CRYOFLEX™-CCF





Kuva 11. CRYOFLEX™-CTF.

Kryogeeninen tunnelipakastin, CRYOFLEX™-CTF

Kuvassa 11 on esitetty jatkuvatoiminen pakastin, joka kykenee käsittelemään suuren määrän samankaltaisia osia kerralla. Koneistettujen pienosien kuten sahanterien, veitsien, teräpalojen, ruuvien ja pulttien valmistajat luottavat kylmäkäsitelyissään tämänkaltaisiin laitteisiin, jotka ovat helposti liitettävissä tuotantosolun osaksi. Laitteisto on suunniteltu elintarviketeollisuuden pakastimista saadun kokemuksen perusteella, joten pakastin on luotettava ja varaosien saatavuus on varmistettu.

Oheislaitteet

Nestemäisen typen jakelu

Nestemäisen typen jakelujärjestelmä on kiinteä osa jokaista typen käyttöön perustuvaa jäähdytysjärjestelmää. Se koostuu typen varastosäiliöstä, putkistosta ja jäähdytyskammioista. Nestetyppi toimitetaan säiliöautolla asiakkaan varastosäiliöön. Prosessin nestemäisen typen kulutus sanelee säiliön koon. Vähäisiin tarpeisiin nestetyypeä voidaan toimittaa myös siirrettävissä kryoastioissa (ns. devarit) tai minikonteissa.

Kaiken kokoiset nestetyppisäiliöt toimivat samalla periaatteella. Säiliössä on kaksikerrosrakente. Sisäkuori on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, joka kestää kryogeenilämpötilan. Ulkokuori on rakenneterästä. Kuorien välissä on tyhjoeristys.

Kuva 10. CRYOFLEX™-CCF



Säiliössä nestemäinen typpi höyrystyy ja muodostaa kaasumais-ta tyyppiä. Tämän seurauksena paine nousee ja nestemäinen typpi kulkeutuu putkistoa pitkin kryogeenikammioon. Mitä korkeampi paine säiliössä on, sitä korkeampi on nestemäisen typen lämpötila, joten säiliötä käytetään mahdollisimman matalassa paineessa. Kaasumainen typpi nousee säiliön yläosaan samalla, kun nestemäinen typpi vähenee säiliön pohjalta. Paineentasausventtiilit pitävät painetason hallinnassa ja ylipaineen tapauksessa, kuten tulipalon sattuessa, räjähdyskalvot alentavat paineen hallitusti.

Eräät lämpökäsittelyprosessit, kuten alipainekarkaisu, edellyttävät korkeaa kaasumaisen typen painetta varastosäiliöstä. Jos samasta säiliöstä otetaan tyyppiä myös jäähdytykseen, on nestetyypen siirtoputkisto varustettava paineenalennimella sekä kaasunpoistimella, jotta paine ja lämpötila saadaan laskettua vastaamaan typen kiehumispistettä. Typen liian korkea paine ja lämpötila aiheuttavat jäähdytyslaitteistossa kiehumista ja roiskeita.

Nestetyppiputkistot

Nestetyppisäiliöiden ja kryokammioiden suunnittelun lähtökohtana on nestemäisen typen tehokas varastointi ja käyttö. Putkiston suunnittelussa tulee pyrkiä minimoimaan mutkien, käyrien, liitosten ja venttiilien määrää. Putkisto suunnitellaan lyhintä mahdollista reittiä käyttökohteeseen ja virtausvastus pyritään minimoimaan. Nestetyypen siirtoputkistot valmistetaan materiaalista, joka kestää nestetyypen lämpötilan. Ruostumaton teräs ja kupari soveltuvat hyvin putkistomateriaaleiksi. Kaikki putkiston osuudet, joissa nestetyppi voi jäädä kahden suljetun venttiilin väliin, on varustettava varoventtiileillä. Näin estetään putkiston repeäminen. Putkistossa tapahtuva nestetyypen hävikki (höyrystyminen kaasumaiseksi tyyppiä) riippu putkiston pituudesta, käytön jatkuvuudesta ja putkiston eristyksestä. Paras eristyskyky on tyhjoeristetyllä putkistolla. Myös uretaanieristys on joissakin tapauksissa kustannustehokas ratkaisu. Suunnittelussa ja toteutuksessa kannattaa käyttää kryogeenisten kaasujen jakelujärjestelmien asiantuntijaa.

Turvallisuus.

Turvallisuus on avainasemassa kaikissa teollisissa prosesseissa. Tämän kappaleen teksti on tarkoitettu lisätiedoksi lainsäädäntöä ja viranomaismääryksiä tukemaan.

Typpi

Nestemäisen typen ja kylmän kaasun käyttöön liittyvät suurimmat turvallisuusriskit ovat:

- hapenpuute.
- paleltumat.
- kaasun laajeneminen suljetussa putkessa.

Hapenpuute

Typen pitoisuus ilmassa on 78 %. Korkeampina pitoisuuksina typpi syrjäyttää happea ja voi aiheuttaa hapenpuutteesta johtuvan tukehtumisen suljetussa tilassa. Hapenpuutteen oireita alkaa ilmetä, kun happipitoisuus laskee alle 18 %:n. Henkilöä pyöräyttää ja olo on sekava.

Typipitoisuuden kohoaminen hengitettävässä ilmassa aiheuttaa tukehtumisvaaran, eikä pitoisuuden kohoamista voi havaita ihmisaisteilla. Happipitoisuuden laskiessa alle 10 %:n pyörtäminen voi tapahtua varoittamatta. Henkilö voi kyetä näennäisesti hengittämään, mutta tukehtua hengitysilman hapen korvaututtua typpellä. Puhtaan typen hengittäminen aiheuttaa välittömän tajuttomuuden ja lähes välittömän kuoleman.

Ilmakehän painetta korkeammassa paineessa typpikaasu voi vaikuttaa huumaavasti, aiheuttaen nk. typpinarkoosin.

Nestemäinen typpi laajenee 700-kertaiseksi muuttuessaan kaasumaiseksi typeksi. Näin ollen kylmä kaasu voi syrjäyttää huomattavan määrän ilmaa kammion sisällä tai luukun läheisyydessä. Kammiopakastin ja tunnelipakastin ovat suljettuja tiloja, joten niiden typpipitoisuus voi kohota vaarallisen korkealle ja muodostaa vaaran käyttö- ja huoltohenkilöstölle. Tällaisissa tiloissa oleskelu on kiellettyä ilman asianmukaista tuuletusta ja työlopaa. Kylmien höyryjen hengittämistä on vältettävä, jotta keuhkokudος ei vaurioidu.

Paleltumisvammat

Nestemäisen typen lämpötila on -196 °C. Nestemäinen typpi ja kylmät typpihöyryt voivat aiheuttaa iholla palovammoja muistuttavia ihovaurioita. Silmien paleltumavamma voi johtaa pysyvään vaurioon tai sokeutumiseen. Paljas iho voi jäädä kiinni nestemäisen typen jäädyttämään metalliin ja repeytyä irrotettaessa. Paljaan ihon kosketus eristämättö-

miin laiteosiin saattaa aiheuttaa ihon kiinnitarttumisen ja repeämisen irrotettaessa. Jos näin käy, vaurioituneet kohdat on välittömästi huuhdeltava runsaalla haalealla vedellä ja käärittävä puhtaaseen kankaaseen. Vaurioituneita kohtia ei saa hieroa tai lisätä niihin mitään kemikaaleja. Käsiteltäessä nestemäistä typpeä voivat kylmät työskentelyolosuhteet laskea työntekijöiden ruumiinlämpötilan vaarallisen alas (hypotermia).

Turvallinen käsittely

Nestemäinen typpi höyrystyy erittäin nopeasti ottamalla lämpöä ympäristöstä. Suljetuissa astioissa ja säiliöissä paine nousee. Vapaassa tilassa muodostuu kylmä pilvi. Nestetyypen vuodot voivat aiheuttaa rakenteiden haurastumista kylmävaikutuksen takia.

Estä kaasun pääsy työpaikan ilmaan. Huolehdi tehokkaasta tuuletuksesta. Tarkkaile työskentelytilan happipitoisuutta kaasuhälyttimellä. Siirrä typpeä hengittänyt uhri välittömästi raittiiseen ilmaan, tarvittaessa anna tekohengitystä ja tilaa ambulanssi.

Nestemäistä typpeä käsitellessä valitse kylmyyttä kestäviä materiaaleja. Varastoi viileässä (alle +50 °C), kuivassa, hyvin tuuletetussa paloturvallisessa paikassa kaukana lämmön- ja syttymislähteistä. Varastoi nestemäinen typpi erossa yhteensopimattomista materiaaleista, kuten magnesiumista. Estä sivullisten pääsy varastoalueelle.

Käytä nahkakäsineitä ja muita suojaavia vaatteita sekä suojaajia silmiä. Nestemäistä typpeä käsiteltäessä käytä aina pitkävartisia kenkiä, niin että lahkeet ovat kengän ulkopuolella. Älä hengitä kylmää kaasua.

Hiilidioksidi

Ilman normaali hiilidioksidipitoisuus on noin 0,035 til.-%. Ihmisen uloshengitysilma sisältää 3–4 % CO₂. Savukaasut sisältävät 14–17 % CO₂.

Työturvallisuusraja hiilidioksidipitoisuudelle on 0,5 % (5000 ppm, 8 h työskentely). Ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikutukset:

2 % CO ₂	50 %:n kasvu hengitysnopeudessa.
3 % CO ₂	100 %:n kasvu hengitysnopeudessa.
5 % CO ₂	300 %:n kasvu hengitysnopeudessa. Päänsärkyä ja hikoilua alkaa esiintyä noin tunnin kuluttua.
8–10 % CO ₂	Päänsärkyä 10–15 min jälkeen. Huimausta, korvien huimaa, verenpaine nousee, pulssi kiihtyy, uneliaisuutta.
18–20 % CO ₂	Krampeja, tajuttomuutta. Uhri toipuu nopeasti raittiissa ilmassa.
18–20 % CO ₂	Sydänkohtauksen oireet.

Nestemäisen hiilidioksidin vuodosta muodostuvan kylmän kaasun tai hiilidioksidilumen hengittäminen voi aiheuttaa paleltumia hengitysteissä. Hiilidioksidin vaikutukset voimistuvat fyysisesti kuormittavissa työssä. Hiilidioksidikaasu ei ärsytä ihoa. Hyvin korkeat ilman hiilidioksidipitoisuudet voivat aiheuttaa silmissä pistelyä. Suora kosketus kiinteään hiilidioksidiin sekä altistuminen kylmille kaasuille ja hiilidioksidilumelle voi aiheuttaa paleltumavamman iholla ja silmissä. Silmien paleltumavamma voi johtaa pysyvään vaurioon tai sokeutumiseen. Paljas iho voi jäädä kiinni kiinteään tai nestemäisen hiilidioksidin jäähdyttämään metalliin ja repeytyä irrotettaessa. Käsiteltäessä nestemäistä hiilidioksidia voivat kylmät työskentelyolosuhteet laskea työntekijöiden ruumiinlämpötilan vaarallisen alas (hypotermia).

Turvallinen käsittely

Estä kaasun pääsy työpaikan ilmaan. Hiilidioksidin käyttökohteissa tulee huolehtia riittävästä tuuletuksesta. Lisäksi on huomioitava hiilidioksidin kertyminen huoneen alaosiin vuototilanteessa. Kaasumainen hiilidioksidi on noin 1,5 kertaa ilmaa painavampaa.

Mikäli nestemäistä hiilidioksidia tai hiilidioksidijäätä käytetään sisätiloissa, tarvitaan aina hiilidioksidihälytyn (hälytyspitoisuus 1 % CO₂), joka

varoittaa ääni- ja valosignaalilla. Happitunnistin ei ole tähän riittävä. Valosignaalin alla tulee olla kyltti: Vaara, hiilidioksidipitoisuus korkea.

Hiilidioksidimyrkytykselle altistunut henkilö tulee viedä heti raittiiseen ilmaan, auttajien on itse varottava altistumista. Hengityksen pysähtyessä uhria elvytetään tekohengityksellä. Tajuton uhri asetetaan kylkiasentoon. Tarvittaessa pyydetään ambulanssi paikalle.

Hiilidioksidijään lämpötila on -78 °C. Nestemäistä tai kiinteää hiilidioksidia käsiteltäessä on käytettävä hyvin eristäviä nahkakäsineitä, jotta vältetään paleltumavammoilta. Iho- tai silmäkosketus voi aiheuttaa kylmävammoja.

Käytä aina kasvo- ja tai silmäsuojainta, kun käsittelet kuivajäätä. On suositeltavaa käyttää pitkävartisia hihoja, pitkiä lahkeita ja suojakenkiä. Älä koskaan laita kuivajäätä suuhun tai niele sitä, kuivajään nieleminen saattaa aiheuttaa vakavia sisäisiä vammoja

Älä käsittele yhdessä yhteensopimattomien aineiden, kuten metallijauheiden kanssa. Käytä kylmyyttä kestäviä materiaaleja. Varastoi viileässä (alle +50 °C), kuivassa, hyvin tuuletetussa paloturvallisessa paikassa kaukana lämmön- ja syttymislähteistä. Varastoi erossa voimakkaista emäksistä. Estä sivullisten pääsy varastoalueelle.



Innovaatioilla etumatkaa.

Innovatiiviset toimintatavat ovat tehneet Lindestä edelläkävijän kaikkialla maailmassa. Tekniikan suunnannäyttäjänä tehtävämme on parantaa tasoa jatkuvasti. Kehitämme jatkuvasti uusia korkealaatuisia tuotteita ja innovatiivisia prosesseja yhdessä asiakkaittemme kanssa.

Linde antaa enemmän. Luomme lisäarvoa, selkeästi havaittavia kilpailuetuja ja parempaa kannattavuutta. Kaikki menetelmämme räätälöidään asiakkaiden vaatimusten mukaan. Tarjoamme sekä vakio- että asiakaskohtaisia ratkaisuja. Ne on tarkoitettu kaikenkokoisille ja kaikilla aloilla toimiville yrityksille.

Linde – Making our world more productive.