

Kaltschrumpfen *Emmancement par contraction*

Kaltschrumpfen von Maschinenteilen
Emmancement de pièces mécaniques par contraction



Das Verfahren, zwei Maschinenteile mittels Schrumpfen passgerecht miteinander zu verbinden, ist nicht neu.

In der Praxis unterscheidet man zwischen Warmschrumpfen und Kaltschrumpfen. Dabei wird die Ausdehnung der Metalle beim Erwärmen bzw. das Zusammenziehen beim Kühlen ausgenutzt.

Beim Kaltschrumpfen wird meistens das kleinere Teil abgekühlt. Nach dem Einziehen des abgekühlten Teils in die Bohrung, ergibt sich beim Erreichen der Umgebungstemperatur eine kraftschlüssige Schrumpfverbindung.

L'emmancement par adhérence est une technique d'assemblage utilisée depuis de nombreuses années en construction mécanique.

En pratique, on distingue deux procédés d'emmancement par adhérence:

- L'emmancement par dilatation, obtenu en chauffant la pièce femelle*
- L'emmancement par contraction, obtenu par refroidissement de la pièce mâle.*

Lors de l'emmancement par contraction, on refroidit généralement la pièce la moins volumineuse. Une fois l'assemblage réalisé, l'ensemble revient à la température ambiante, ce qui permet d'obtenir le serrage prévu.

Einschrumpfen einer Achse
(Ammann AG, Langenthal)
Emmancement d'un arbre

Einfache Anwendung

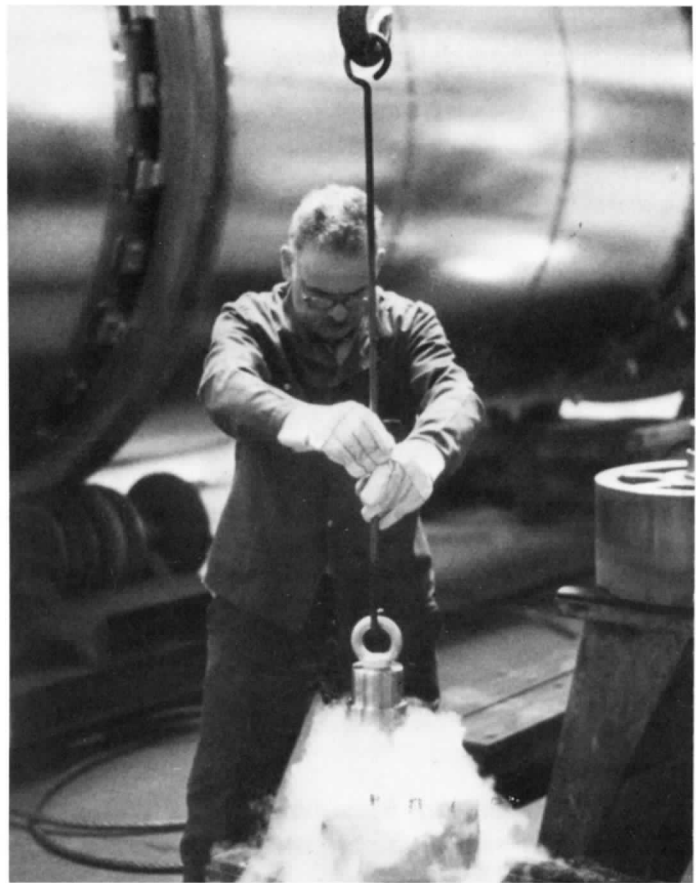
Das Kaltschrumpfverfahren ist einfach anzuwenden! Das Werkstück wird in flüssigen Stickstoff getaucht oder in einen Behälter mit Trockeneis (festes Kohlendioxid) gegeben.

Beim Eintauchen des Werkstückes beginnt der flüssige Stickstoff heftig zu sieden. Hat das Werkstück die Temperatur des flüssigen Stickstoffes angenommen, beruhigt sich die Oberfläche.

L'utilisation est simple

Le procédé d'emmanchement par contraction est très simple! Il suffit de plonger la pièce à refroidir dans un bain d'azote liquide ou de l'introduire dans un récipient contenant de la glace sèche (CO₂ solide).

Lorsque la pièce est plongée dans le bain d'azote liquide, celui-ci est brusquement porté à ébullition. Le phénomène s'atténue progressivement jusqu'à ce que la pièce ait atteint la température du bain.



Eigenschaften der Kühlmittel Propriétés du réfrigérant

	flüssiger Stickstoff <i>azote liquide</i>	Trockeneis <i>glace sèche</i>
Temperatur bei Atmosphärendruck <i>température à la pression atmosphérique</i>	— 196° C	— 78° C
Kälteleistung (1 kcal = 4,2 kJ) <i>pouvoir frigorifique</i>	ca. 200 kJ/kg <i>env.</i>	ca. 560 kJ/kg <i>env.</i>
praktisch erreichbare Temperaturdifferenz bei einer Umgebungstemperatur von 20° C <i>différences de température obtenues à la température ambiante de 20° C</i>	ca. 216° C <i>env.</i>	ca. 98° C <i>env.</i>

Erreichbare Schrumpfung (µm/mm) einiger wichtiger Werkstoffe Contraction (µm/mm) obtenue avec les métaux les plus courants

Die Kaltschrumpfverbindung berechnet sich wie eine Warmschrumpfverbindung nach DIN 7190. Wichtig für einen Schrumpfsitz ist die erreichbare Temperaturdifferenz. Unter der Annahme einer Werkstücktemperatur von +20° C ergibt sich beim flüssigen Stickstoff ein ΔT von 216° C und beim Trockeneis ein ΔT von 98° C.

L'emmanchement par contraction se calcule de la même manière que l'emmanchement par dilatation, selon la norme DIN 7190. C'est la différence de température obtenue (ΔT) qui est importante. A la température ambiante de +20° C, l'azote liquide permet d'obtenir un ΔT de 216° C et la glace sèche un ΔT de 98° C.

Werkstoff <i>Métal</i>	Ausdehnungskoeffizient <i>Coefficient de dilatation</i> $\alpha = \frac{m}{m^{\circ}C} \times 10^{-6}$	Erreichbare Schrumpfung $\frac{\mu m}{mm}$ <i>Contraction obtenue</i>	
		Trockeneis <i>Glace sèche</i> (-78° C)	flüssiger Stickstoff <i>Azote liquide</i> (-196° C)
Stahl <i>Acier</i>	9	0,88	1,94
Aluminium <i>Aluminium</i>	18,4	1,8	3,97
Bronze <i>Bronze</i>	16	1,56	3,45
Kupfer <i>Cuivre</i>	14,1	1,38	3,04
Grauguss <i>Fonte grise</i>	8,5	0,83	1,83
Messing <i>Laiton</i>	16	1,56	3,45
Magnesium <i>Magnésium</i>	21,4	2,09	4,62
Nickel <i>Nickel</i>	10,1	0,98	2,18

Kühlmittelverbrauch Consommation de réfrigérant

	Metall Métal	Flüssig-Stickstoff l/kg Azote liquide en l/kg	Trockeneis kg/kg Glace sèche en kg/kg
Richtwerte zum Abkühlen von 1 kg Metall bei einer Umgebungstemperatur von +15°C: <i>Quantités approximatives nécessaires pour refroidir 1 kg de métal à partir d'une température de +15°C:</i>	Stahl Acier	0,6	0,1
	Aluminium Aluminium	0,96	0,12
	Bronze Bronze	0,45	0,06
	Grauguss Fonte grise	0,66	0,08

Der Kühlmittelverbrauch richtet sich nach der spezifischen Wärme und der Masse des abzukühlenden Werkstückes. Zu berücksichtigen sind ebenfalls die Kühlmittelmenge für das Abkühlen und Füllen des Behälters sowie die Isolationsverluste.

La consommation de réfrigérant dépend de la chaleur spécifique et de la masse des pièces à refroidir. Il faut également prendre en considération les quantités nécessaires au refroidissement et au remplissage du récipient, de même que les pertes que l'isolation ne peut supprimer totalement.

Vorteile des Kaltschrumpfens

- Einsparungen, da meistens das kleinere Werkstück abgekühlt wird
- Verzug und Rissbildung durch hohe Temperaturen werden verhindert; das Metallgefüge bleibt erhalten
- es bildet sich keine Zunderschicht
- die Werkstücke werden gleichmässig abgekühlt; d.h. regelmässiger Temperaturverlauf im Metall
- Wirtschaftlichkeit; einfache Handhabung und niedrige Betriebsmittelkosten.

Avantages de l'emmanchement par contraction

- économie, car c'est généralement la plus petite pièce qui est refroidie
- les tensions et la formation de criques dues à une température élevée sont évitées. La structure métallurgique n'est pas modifiée
- pas de couches d'oxydation dues à l'échauffement
- le refroidissement des pièces est uniforme, ce qui signifie une répartition régulière de la température dans le métal
- les opérations sont simples et les frais d'exploitation peu élevés.

Anwendung des Kaltschrumpfens

Das Kaltschrumpfverfahren eignet sich für die Einzel- und Serienanfertigung von Eisen- und Nichteisenmetallen. Es wird nicht nur erfolgreich auf Montagestellen und für Reparaturen zum Einschrumpfen angewendet, sondern auch zum Lösen von Schrumpfverbindungen.

Applications de l'emmanchement par contraction

L'emmanchement par contraction convient pour des pièces uniques ou pour le travail en série de pièces en métal ferreux et non-ferreux. Il est appliqué avec succès non seulement au montage et lors de réparations, mais également pour extraire les pièces d'un assemblage (démanchement).



Bild oben
Einschrumpfen einer Lagerbüchse (Bronze) in Walzenständer
Photo du haut
Emmanchement d'un coussinet de bronze dans un support de laminoir
(Von Roll AG, Gerlafingen)

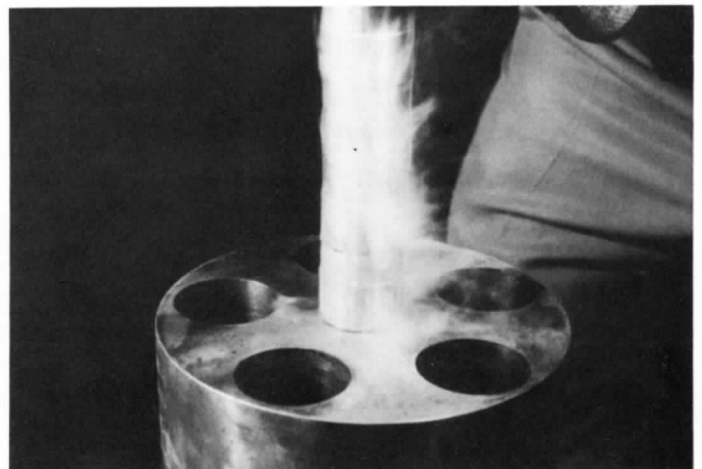


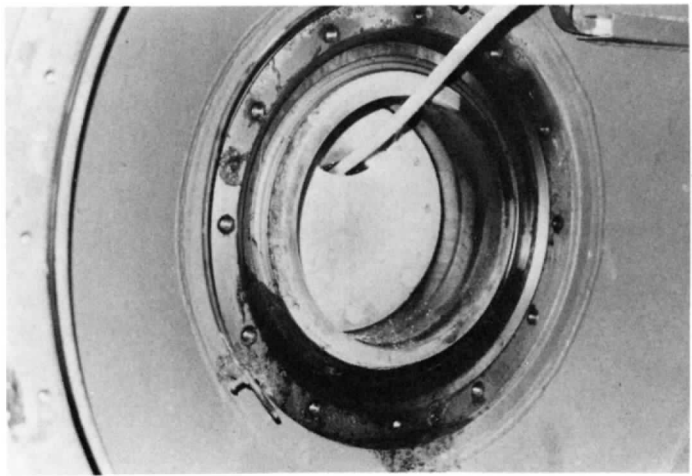
Bild unten
Einschrumpfen einer Welle in Pumpenrotor
Photo du bas
Emmanchement d'un arbre dans un rotor de pompe
(Althaus AG, Ersigen)

Schutzmassnahmen

Ein Hautkontakt mit den Kühlmitteln kann zu Verbrennungen führen. Das Tragen von Handschuhen, Überkleid und Schutzbrille wird empfohlen. Wegen der Verdampfung der Kühlmittel muss die Kaltschrumpfarbeit in möglichst grossen und gut belüfteten Räumen oder im Freien ausgeführt werden.

Mesures de protection

Un contact prolongé de la peau avec de l'azote liquide ou de la glace sèche peut provoquer des brûlures. Le port de lunettes de protection ainsi que de gants et de vêtements de travail est par conséquent recommandé. En raison de l'évaporation de l'azote liquide et de la glace sèche, les travaux d'emmanchement par contraction doivent être exécutés dans des locaux vastes et bien aérés, ou en plein air.



Lösen einer Schrumpfverbindung mit flüssigem Stickstoff (Wasserkraftwerk BKW, Bannwil)
Démanchement par contraction à l'azote liquide



Approvisionnement en azote liquide et en glace sèche

Carbagas dispose d'un réseau de distribution efficace couvrant l'ensemble du territoire suisse. L'azote liquide destiné à l'emmanchement par contraction est fourni dans des récipients de 25 ou 600 litres; des quantités plus importantes sont livrées par camion-citerne. La glace sèche peut être livrée dans des caisses d'une contenance allant jusqu'à 400 kg.

Kühlmittelversorgung

Carbagas verfügt in der Schweiz über ein gut ausgebautes und leistungsfähiges Verteilnetz. Die für das Kaltschrumpfen erforderliche Stickstoffmenge wird in 25- oder 600-Liter-Behältern und bei grossen Mengen mittels Tankfahrzeug geliefert. Das Trockeneis kann in Transportkisten bis zu 400 kg bezogen werden.

Wenden Sie sich an unsere nächste Regionalleitung oder direkt an das Departement INDUSTRIE

Adressez-vous à notre agence régionale la plus proche ou directement au département INDUSTRIE

Carbagas

Bern Basel Zürich Lausanne Genève

DEPARTEMENT INDUSTRIE, 3097 Liebfeld-Bern

☎ 031 53 22 22



3) Frettage des cylindres épais

L'emmanchement de deux pièces cylindriques ou tronconiques, l'une intérieure, l'autre extérieure, permet de transmettre soit un effort axial, soit un couple de torsion grâce au frottement produit par la pression mutuelle exercée par les deux pièces. La pression p provient du serrage créé par la différence des diamètres et l'élasticité des matériaux utilisés. L'emmanchement peut se réaliser à froid en glissant une pièce sur l'autre ou par dilatation thermique.

La pression est limitée par la limite élastique des matériaux en présence.

Calcul des emmanchements cylindriques simples

Le calcul des emmanchements cylindriques constitués par un arbre plein ou creux et un manchon fait intervenir les hypothèses simplificatrices suivantes :

- La loi de proportionnalité de Hooke est applicable bien qu'il soit possible de prévoir des assemblages avec déformations plastiques ou non linéaires;
- Les deux pièces ont même longueur;
- Les deux pièces sont constituées par des cylindres pleins ou creux; l'effet de bras ou de nervures sur le manchon doit être pris en considération au moyen d'un diamètre de calcul approprié;
- Les deux pièces sont à la même température en service et ne sont pas soumises à l'effet centrifuge.

Dans les relations qui suivent, le manchon (pièce extérieure) porte l'indice 1; l'arbre (pièce intérieure) l'indice 2; les grandeurs intervenant dans les calculs sont :

D_1 diamètre intérieur de l'arbre; il est nul lorsque l'arbre est plein,

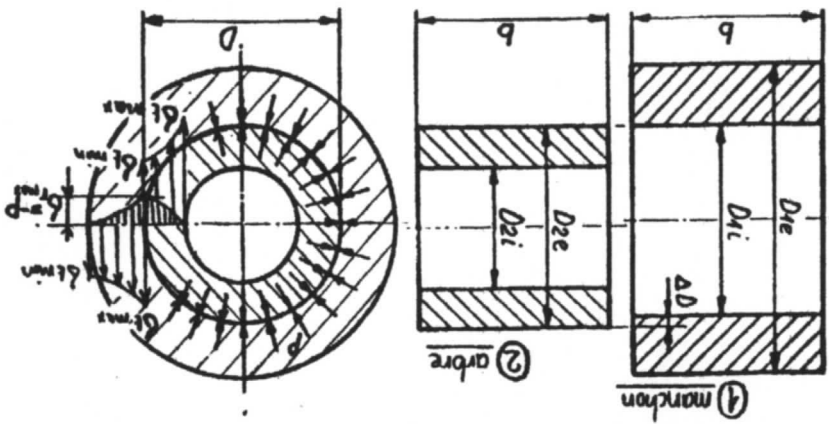
D_2 diamètre extérieur de l'arbre,

D_{1i} diamètre intérieur du manchon,

D_{2e} diamètre extérieur du manchon,

E_1, E_2 modules d'élasticité des matériaux,

μ_1, μ_2 coefficients de Poisson des matériaux.



1. Relations générales

Le serrage diamétral des deux pièces emmanchées vaut :

$$\Delta D = D_{2e} - D_{1i}$$

Le serrage se répartit en un serrage ΔD_2 de l'arbre, soit la diminution de son diamètre extérieur, et un serrage ΔD_1 qui provient de la dilatation élastique du manchon. On a évidemment (voir figure) :

$$\Delta D = \Delta D_1 + \Delta D_2$$

Les diamètres D_{1i} et D_{2e} sont à peu près égaux de telle sorte que $D_{1i} \approx D_{2e} \approx D$.

Les relations de la résistance des matériaux, appliquées dans le cas des cylindres épais soumis à la pression intérieure ou à la pression extérieure, s'écrivent sous la forme simplifiée suivante :

$$\Delta D_1 = p \cdot \frac{D}{D_2} \cdot \left(\frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} + \mu_1 \right)$$

Déformation du manchon :

$$\Delta D_2 = p \cdot \frac{D}{D_1} \cdot \left(\frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} - \mu_2 \right)$$

Déformation de l'arbre :

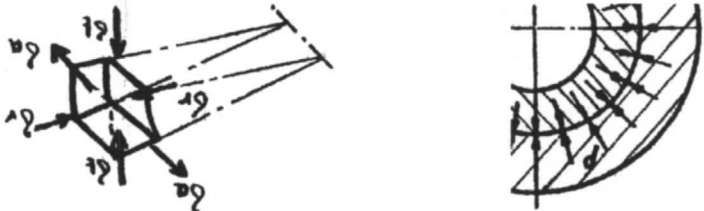
La déformation totale devient :

$$\Delta D = p \left(\frac{D}{D_1} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} + \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} + \mu_1 \cdot \frac{E_1}{D} - \mu_2 \cdot \frac{E_2}{D} \right)$$

La pression entre les deux cylindres p est directement opposée sur les deux surfaces cylindriques.

2. Pression de contact et contraintes dans les pièces

a) Pression spécifique

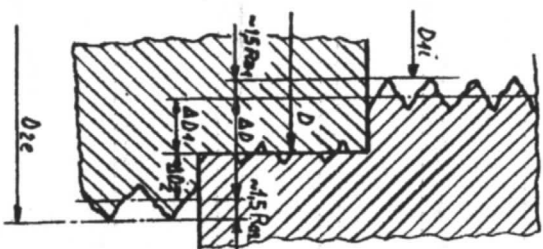


La pression dans l'emmanchement se trouve immédiatement par :

$$p = \frac{\Delta D}{\left(\frac{D}{D_1} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} + \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_2^2 + D_1^2} + \mu_1 \cdot \frac{E_1}{D} - \mu_2 \cdot \frac{E_2}{D} \right)}$$

Serrage réel dans l'emmanchement

$$\Delta D = D_{2e} - D_{1i} - 1.5(Ra_1 + Ra_2)$$



3. Valeur du serrage réel ΔD
 Le serrage, représenté par la différence $\Delta D = D_{2e} - D_{1i}$, est défini pour des cylindres parfaits, c'est-à-dire sans rugosité. Le serrage réel des pièces est inférieur au serrage calculé à partir des dimensions mesurées sur les pièces. La perte de serrage représentée approximativement $1.5 Ra$ ($Ra =$ rugosité moyenne arithmétique) par surface. En exprimant par Ra_1 et Ra_2 les rugosités des deux cylindres, le serrage réel s'obtient par :

d) Contrainte admissible
 La contrainte de comparaison dans les deux pièces devra rester inférieure à la contrainte limite d'écoulement σ_2 ou éventuellement σ_2 des matériaux.

$$\sigma_{21} = \sigma_{2max} = -p$$

Si l'arbre est plein, c'est-à-dire si $D_{2i} = 0$, la contrainte dans l'arbre est égale à la pression extérieure sur l'arbre :

$$\sigma_{21} = \sigma_{2max} = -2p \frac{D_{2e} - D_{2i}}{D_{2e}}$$

c) Contrainte dans l'arbre ($p_e \approx p$; $p_i \approx 0$)
 L'arbre est soumis à l'action d'une pression extérieure p créant un état de contrainte biaxial dans le cylindre. Si l'arbre est creux, la contrainte tangentielle σ_t intérieure représente la contrainte maximale :

$$\sigma_{t1} = p \frac{D_{1e} - D_{1i}}{D_{1e}} \sqrt{3 + \frac{D_{1e}^2 + D_{1i}^2}{D_{1e}^2 - D_{1i}^2}}$$

La contrainte de comparaison, basée sur l'hypothèse de la constance de l'énergie de déformation $\sigma^2 = \sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t$ ($\sigma_a = 0$) vaut :

$$\sigma_{2max} = p \frac{D_{2e} - D_{2i}}{D_{2e} + D_{2i}} = -p$$

b) contrainte dans le manchon ($p_i = p$; $p_e \approx 0$)
 Le cylindre creux est soumis intérieurement à l'action de la pression p créant un état de contrainte biaxial : contrainte tangentielle σ_t et contrainte radiale σ_r . La contrainte maximale est située à l'intérieur du cylindre.

avec $D =$ diamètre de l'emmanchement
 $A = \pi D b$ qui représente l'aire de la surface de contact.

$$M_f = p \frac{\mu \cdot A \cdot D}{2 v_{gl}} = p \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \mu \cdot b \cdot D^2 \cdot \frac{1}{v_{gl}}$$

b) Transmission d'un couple de torsion
 Le couple de torsion transmissible par un emmanchement vaut :

avec $D =$ diamètre de l'emmanchement
 $A = \pi D b$ qui représente l'aire de la surface de contact.

$$F_{ta} = p \frac{A}{v_{gl}} = p \cdot \pi \cdot b \cdot D \cdot \frac{1}{v_{gl}}$$

a) Transmission de l'effort dans le sens axial
 L'effort axial F_{ta} transmissible dans l'emmanchement s'obtient par :

- Coefficient de sécurité au glissement varie habituellement entre $v_{gl} = 1,4$ à 2 .

Matière du manchon	Coefficient de frottement			Surfaces	Coefficient de calcul μ
	huiles	sèches	—		
Ac 50	huiles	sèches	—	sèches	0,05 à 0,2
Al Mg 3	—	—	—	sèches	0,08 à 0,2
Cu Zn 40 Pb3	—	—	—	sèches	0,07 à 0,14
Al Mg 3	—	—	—	sèches	0,04 à 0,08
—	—	—	—	sèches	0,02 à 0,1

- Coefficients de frottement dans les emmanchements sur arbre en Ac 50-2

Les efforts transmissibles par l'emmanchement dépendent de la pression exercée p , de l'étendue de la surface de contact, du coefficient de frottement de calcul et du coefficient de sécurité adopté.

4. Efforts transmissibles par l'emmanchement

Le serrage se détermine à partir de l'ajustement adopté; il varie entre les écarts supérieurs et inférieurs des deux diamètres tolérés. Le serrage maximal sert au contrôle des contraintes, le serrage minimal au contrôle de la transmission de l'effort.