

mbo

# Bankwerken 2

TECHNIEKSTAD



## **COLOFON**

©2019 Kenteq, Hilversum

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Kenteq  
Postbus 81  
1200 AB Hilversum

[info@techniekstad.nl](mailto:info@techniekstad.nl)

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Krimpen</b>	<b>5</b>
1.1	Principe van krimpen	6
1.2	Doel van een krimpverbinding	10
1.3	Maken van een krimpverbinding	14
1.4	Tips bij het maken van een krimpverbinding	23
1.5	Voor- en nadelen	24
1.6	Samenvatting	28
1.7	Antwoorden	28
<b>2</b>	<b>Persen</b>	<b>29</b>
2.1	Principe van persen	30
2.2	Doel van een persverbinding	31
2.3	Een goede persverbinding	33
2.4	Voor- en nadelen	37
2.5	Maken van een persverbinding	38
2.6	Samenvatting	40
2.7	Antwoorden	41
<b>3</b>	<b>Solderen</b>	<b>43</b>
3.1	Principe van solderen	44
3.2	Soldeermethoden- en processen	46
3.3	Zachtsolderen	48
3.4	Hardsolderen	52
3.5	Hoogtemperatuursolderen	55
3.6	Veiligheid, gezondheid en milieu	57
3.7	Samenvatting	58
3.8	Antwoorden	59
<b>4</b>	<b>Lijmen</b>	<b>61</b>
4.1	Principe van lijmen	62
4.2	Het lijmproces	63
4.3	Voor- en nadelen	77
4.4	Veiligheid en milieu	77
4.5	Samenvatting	79
4.6	Antwoorden	80
<b>5</b>	<b>Vragen Bankbewerken 2</b>	<b>81</b>
5.1	Vragen Krimpen	81
5.2	Vragen Persen	85
5.3	Vragen Solderen	89
5.4	Vragen Lijmen	93

# INZELDE

# 1 Krimpen

## Inleiding

Krimpen is het maken van een vaste verbinding tussen twee of meer (metalen) onderdelen. Je gebruikt alleen warmte om de verbinding te maken. Je gebruikt geen losse verbindingsmiddelen, zoals pennen, bouten of lijm of verbindingsmethoden zoals solderen en lassen.

De eisen aan de verbinding hangen sterk af van de toepassing. In het algemeen is een goede krimpverbinding niet meer los te maken zonder één of beide delen te beschadigen.

Je komt de krimpverbinding praktisch alleen bij cilindrische onderdelen tegen.



*Krimpverbinding, spoorwagonwiel met slijtvast loopvlak*

## Leerdoelen

*Je kunt:*

- aangeven welke methoden er zijn voor krimpen
- het principe van krimpen uitleggen
- de doelen van krimpen benoemen
- uitleggen hoe je krimpen kunt toepassen (uitvoeren)
- verschillende methoden en middelen benoemen voor het realiseren van temperatuurverschil
- tips benoemen voor het uitvoeren van krimpbewerkingen
- voor- en nadelen van krimpen benoemen
- alternatieven voor krimpen benoemen.

## 1.1 Principe van krimpen

Krimpen is gebaseerd op een natuurkundewet die zegt: bij temperatuurstijging zet een lichaam (meestal) uit (wordt groter). Bij verlaging van de temperatuur krimpt het in (wordt het kleiner).

Dit geldt voor praktisch elke stof, of het nu een vaste stof is, een vloeistof of een gas. Alleen is voor elke stof de uitzetting bij een bepaalde opwarming verschillend. Voor koper bijvoorbeeld is de uitzetting groter dan voor staal. Zink zet nog weer meer uit dan koper.

Krimpen kan op twee manieren. Dit hangt af van de wijze waarop je de warmte gebruikt:

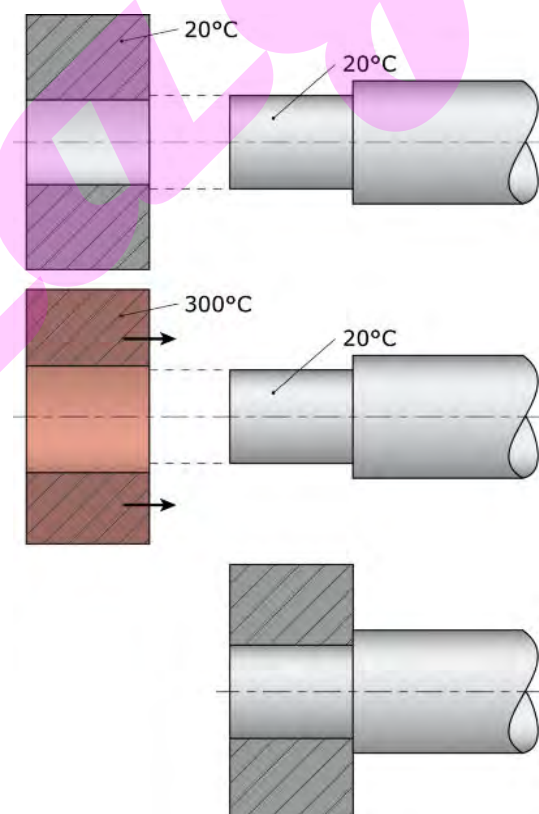
- warmte toevoeren = verwarmen = warmkrimpen
- warmte onttrekken = afkoelen = koudkrimpen.

### Warmkrimpen

Bij warmtekrimpen maak je gebruik van een natuurkundewet die zegt: bij een stijging van de temperatuur zet een lichaam (meestal) uit.

#### Voorbeeld

Stel dat je een ring op een as moet zetten. Het gat in de ring is bij de omgevingstemperatuur ( $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kleiner dan de buitenmaat van de astap. Je verwarmt de ring zover op, dat je hem op de as kunt schuiven. Na afkoeling tot de normale temperatuur is de ring vast verbonden met de as.



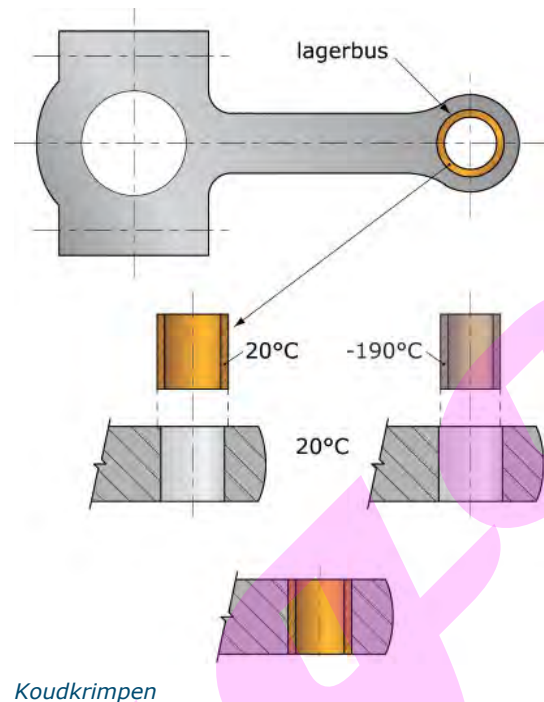
Warmkrimpen

### Koudkrimpen (invriezen)

Bij koudkrimpen maak je gebruik van dezelfde natuurkundewet: bij een daling van de temperatuur wordt een lichaam kleiner, het krimpt.

**Voorbeeld**

Stel dat je een lagerbus moet aanbrengen in de kleine kop van een drijfstang. De buitendiameter van de lagerbus is groter dan het gat in de stang. Door koeling wordt de bus kleiner, waardoor je de bus in het gat kunt plaatsen. Bij kamertemperatuur zit deze vast in het gat.

*Toelichting op de voorbeelden van warmkrimpen en koudkrimpen*

In de voorbeelden van de as met de ring, is het gat van de ring kleiner dan dat van de as. Anders kun je er geen verbinding mee maken. De ring wordt groter als je de ring opwarmt en kun je op de as schuiven zodra de voorgeschreven temperatuur is bereikt. Daarna laat je de zaak afkoelen waardoor de ring naar de oude maat terug wil. Dit kan ongehinderd gebeuren, totdat het gat even groot is als de asmaat.

Wat gebeurt er als de temperatuur verder daalt? Dan werkt de as het krimpen van de ring tegen. De ring moet nu kracht uitoefenen op het contactvlak van de tap om kleiner te kunnen worden. Omgekeerd gaat de as nu kracht uitoefenen op de ring, om het krimpen tegen te gaan.



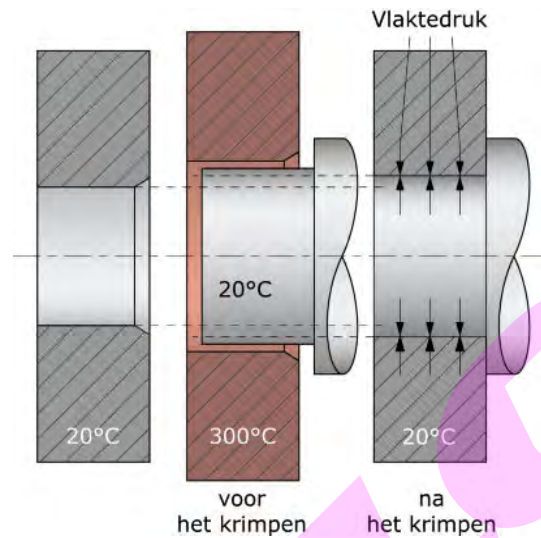
1. Bij een temperatuurstijging ...
  - krimpt het lichaam.
  - zet het lichaam uit.

### Vlaktedruk

De kracht die de as uit het voorbeeld nu uitoefent op de ring, brengt de verbinding tot stand. Deze kracht noem je per eenheid van oppervlak 'vlaktedruk' of 'krimpdruk'.

De kracht drukt de as iets in maar niet zover, dat de ring tot de oorspronkelijke maat kan terugkomen. In koude toestand is de ring dus iets opgerekt en de as iets ingedrukt.

Bij het invriezen van de lagerbus in de drijfstaaf gebeurt in feite hetzelfde. Het uitgangspunt is: het gat in de staaf is kleiner dan de buitenmaat van de bus. Na afkoeling en montage in de staaf wordt de bus weer groter tijdens het kleiner worden van het temperatuurverschil. De bus komt uiteindelijk onder spanning in het gat te zitten.



Wat zijn de gevolgen voor de gekrompen delen?

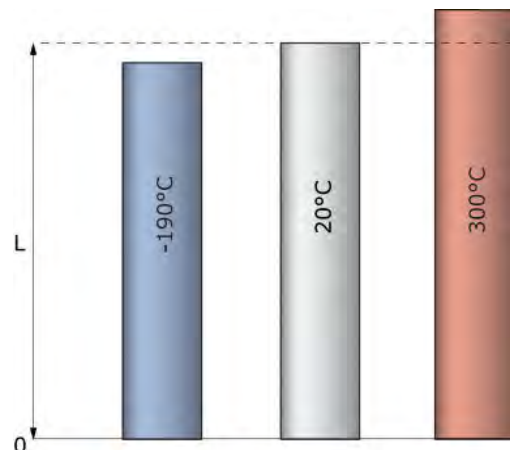
Het gat in de ring kan niet meer op de oude maat terugkomen. De diameter, en daarmee de omtrek, van het gat blijft groter en is dus gerekt. Wat dat betekent, kun je uittesten met een rechte proefstaaf. Je vergelijkt dan drie toestanden:

- vrij uitzetten/krimpen
- krimpen beletten/uitrekken
- uitzetting beletten/indrukken.

### Vrije uitzetting en krimp

Een staaf die je verwarmt, zet uit. Als je de staaf tot de oorspronkelijke temperatuur terug brengt, komt de staaf weer op zijn oude lengtemaat terug. Omgekeerd krimpt een staaf die je afkoelt. Breng je de staaf weer op de oorspronkelijke temperatuur terug, dan krijgt deze weer de oude lengte.

De lengte van de staaf verandert als de temperatuur stijgt of daalt.



Lengte van een staaf bij verschillende temperaturen





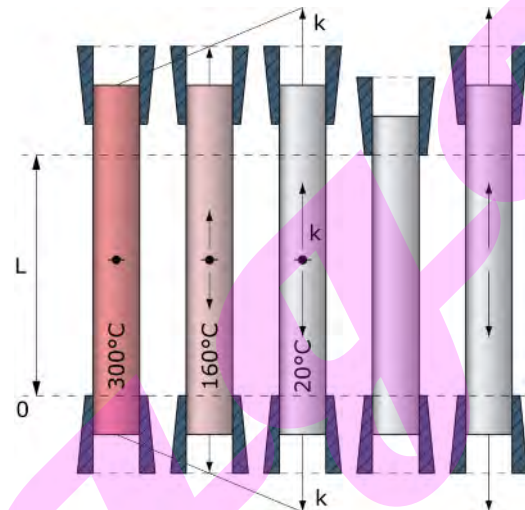
2. Wat gebeurt er met de lengte van een staaf als je deze afkoelt?
- De lengte wordt korter.
  - De lengte blijft gelijk.
  - De lengte wordt langer.

## Spanningen door uitzetting of krimp

### Trekspanning

Wanneer je wilt voorkomen dat de staaf van 300 °C bij afkoeling gaat krimpen, moet je een erg grote trekkracht op de einden uitoefenen. De benodigde kracht neemt toe met het zakken van de temperatuur totdat er een temperatuur van 20 °C is bereikt. De maximumkracht op de staaf komt op dezelfde waarde als de kracht die nodig is voor het rekken van de staaf bij 20 °C. De kracht neemt toe totdat de lengte, die bij 300 °C hoort, is bereikt.

Van elastiek (rubber) weet je dat je kracht moet uitoefenen, als je het wilt uitrekken. Voor metaal geldt hetzelfde, maar hierbij is de kracht vele malen groter. Deze trekkracht, gedeeld door het oppervlak van de staaf, bepaalt de trekspanning in de staaf.

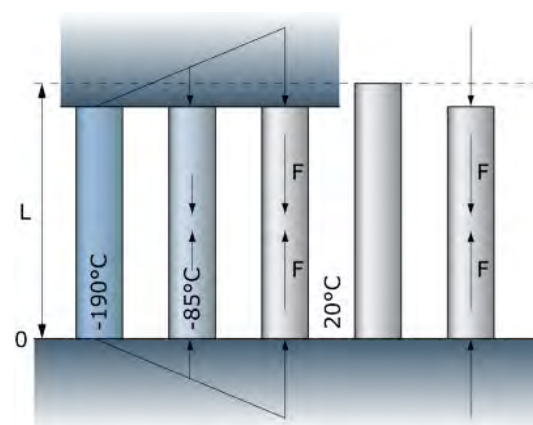


Trekspanning en krimp

### Drukspanning

Omgekeerd werkt het zo. Stel dat je een koude staaf opwarmt van -190 °C naar +20 °C. Maar je wilt tegengaan dat de staaf uitzet. Je moet dan een grote drukkracht op de staafeinden uitoefenen. De drukkracht neemt toe met het stijgen van de temperatuur. Ook hier komt de maximumwaarde van de drukkracht overeen met de kracht die nodig is om de staaf tot de lengte bij -190 °C in te drukken.

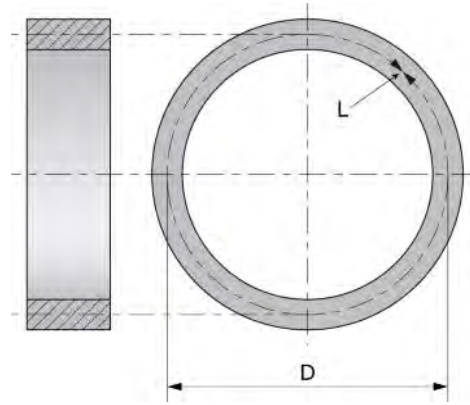
Deze drukkracht, gedeeld door het oppervlak van de doorsnede, bepaalt de drukspanning in de staaf.



Drukspanning en uitzetting

Een ring of een bus kun je opvatten als een rondgezette strip. De lengte  $L$  komt dan overeen met de omtrek.

Je gebruikt dan ook alleen diameters als je rekent aan krimpverbindingen. Bij de krimpverbinding van de ring op de as heb je gezien, dat de diameter van het verkregen contactvlak niet meer met de uitgangsmaten overeenstemt. Dat betekent dat het gat van de ring iets vergroot is.



De ring is opgerekt, waardoor in de richting van de omtrek een trekspanning is ontstaan. De buitenmaat van de as is iets kleiner geworden, waardoor drukspanning is ontstaan.

Na het invriezen van een bus in een gat blijft de buitenmaat van de bus iets kleiner dan de oorspronkelijke maat. De bus is ingedrukt en er is in de richting van de omtrek drukspanning ontstaan. Het gat, waarin de bus gekrompen werd, is iets groter geworden. Dat onderdeel is dus wat opgerekt, waardoor trekspanning is ontstaan.

## 1.2 Doel van een krimpverbinding

Wanneer en waarvoor kun je krimpverbindingen toepassen?

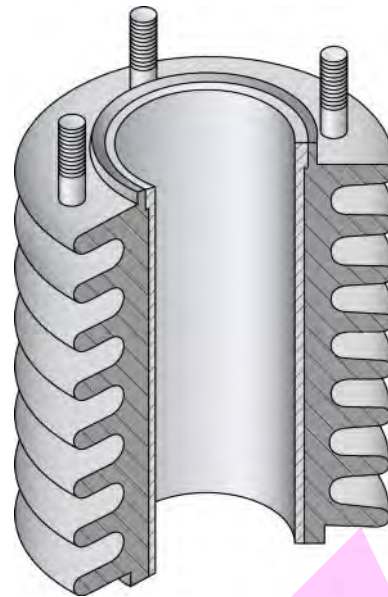
Over het algemeen gaat het om verbindingen, die tamelijk grote krachten of momenten moeten kunnen overbrengen, met als doel:

- een combinatie van materialen mogelijk te maken
- betrouwbare bevestiging van complete onderdelen (zonder tussenmiddelen)
- besparing op onderhouds- en/of vervangingskosten
- maken van voorgespannen constructies
- kosten verlagen.

### Combinatie materialen

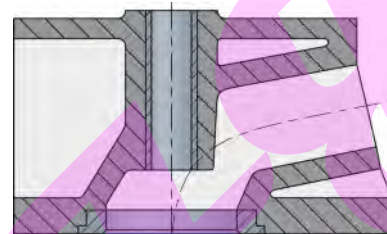
De eisen die aan een machineonderdeel worden gesteld, kunnen zodanig zijn, dat die niet door één materiaal kunnen worden vervuld. Bij krimpverbindingen kun je een combinatie van materialen toepassen.

Cilinderblokken voor motorfietsmotoren worden vaak van een aluminiumlegering gemaakt. Dit komt omdat de motoren zo licht mogelijk moeten zijn. Bovendien gaat het meestal om luchtgekoelde motoren, waardoor het materiaal een goede warmte-afvoer moet hebben. Daarvoor is het gelegerde aluminium uitstekend geschikt. Maar de loopeigenschappen van dit materiaal zijn slecht, wat tot een snelle slijtage kan leiden. Daarom krijgt zo'n cilinder een ingekrompen voering van speciaal materiaal.



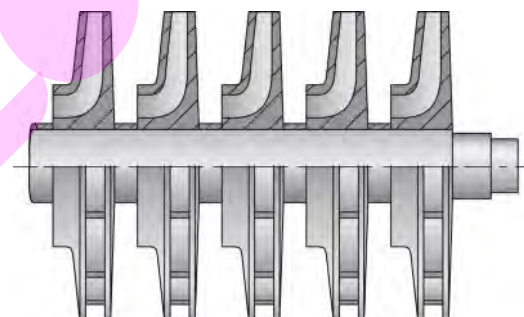
*Cilinder met ingekrompen voering*

Ook cilinderkoppen van automotoren worden vaak om dezelfde redenen van aluminium gemaakt. Maar dit materiaal is absoluut niet bestand tegen de 'hamerende' werking van de in- en uitlaatkleppen. Daarom worden zittingringen ingekrompen van slagvast, hittebestendig materiaal.



*Ingekrompen zittingring in cilinderkop*

Waaiers of loopwielen van centrifugaalcompressoren worden vaak op de as gekrompen. De as kan dan van normaal assenstaal worden gemaakt. De waaiers worden gemaakt van een materiaal dat bestand is tegen invloeden van het te comprimeren gas, bijvoorbeeld roestvast staal.



*Waaiers gekrompen op een as*

Spoorwagonwielen worden voor verhoging van de levensduur voorzien van taaie slijtvaste banden.

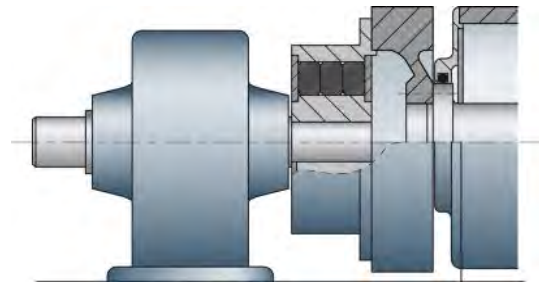


*Spoorwagonwiel met slijtvast loopvlak*

### Betrouwbare bevestiging complete onderdelen

Kogel- of rollagers, die vast op een as moeten zitten, worden opgeperst (klempassing), maar liever warm opgezet.

Koppelingennaven worden vaak op de as gekrompen. Het voorbeeld toont een deel van de aandrijving van een zuigercompressor. Het vliegwiel van de verbrandingsmotor is bevestigd aan het buitenste deel van een elastische koppeling. Het binnenste deel, de naaf, is op de as van een tandwielkast gekrompen. De tandwielkast drijft de compressor aan.



Aandrijving van een zuigercompressor

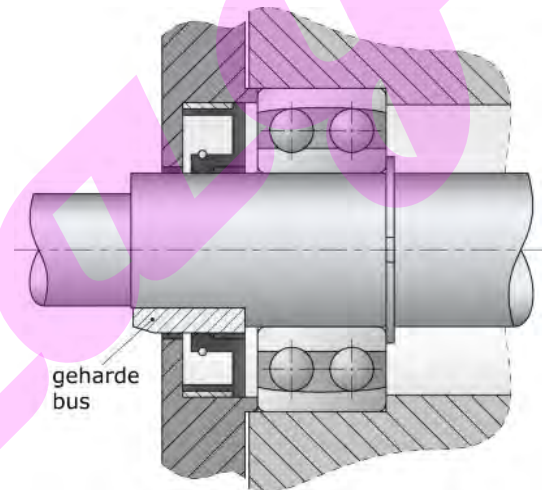
### Besparing op onderhoudskosten

Asafdichtingsringen worden gebruikt om kogellagers te beschermen. Dit op plaatsen waar de as uit het lagerblok naar buiten wordt gevoerd.

De ringen hebben een rondgaande veer die de afdichtingslip tegen de as drukt. Op den duur slijten deze ringen in de as en maken de as onbruikbaar.

De slijtage wordt aanzienlijk minder, als je op de plaats waar de afdichting loopt, een geharde bus opkrimpt. De ring is eenvoudig te vervangen (je breekt de ring door een hamerslag en zet er een nieuwe ring op).

Dit voorbeeld laat duidelijk zien dat je met krimpen op onderhoudskosten kunt besparen.



Geharde bus bij de afdichtingsring

### Voorgespannen constructies

Cilinders voor zeer hoge druk (1000 Bar en hoger) zijn soms voordeliger te maken door twee, of soms drie bussen op elkaar te krimpen. We gaan hier niet verder in op voorgespannen constructies.

### Kostenverlaging

De kosten kun je verlagen door:

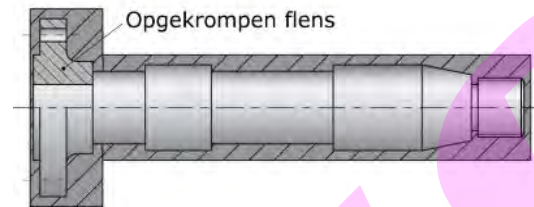
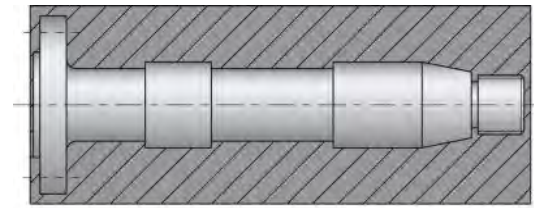
- minder materiaal te gebruiken
- duur materiaal te vervangen door goedkoper materiaal
- beperking van de afmetingen van de te bewerken delen.

**Voorbeeld**

**Minder materiaal gebruiken**

Bekijk schroefas 1 en vergelijk deze met 2. Stel dat je de as (1) uit vol materiaal moet maken. Dat betekent dat je driekwart van het materiaal moet verspanen, als de flensdiameter tweemaal zo groot is als de asmaat. Dat is zonde van het materiaal en kost veel geld aan bewerkingskosten en tijd. Zeker als je bedenkt dat deze assen soms meters lang zijn.

Als je de flens op een goede manier krimp (2), is de verbinding sterk genoeg.



Schröefas

**Voorbeeld**

**Duur materiaal vervangen door goedkoper materiaal**

Je kunt een grote kostenbesparing bereiken door verschillende materialen toe te passen.

In tandwielkasten worden zeer taai slijtvaste, maar dure materialen gebruikt. De afmetingen van de wielen worden zo klein mogelijk gehouden vanwege ruimte- en gewichtsbesparing.

Ook kun je bijvoorbeeld een tandwiel uitvoeren met een band van het 'dure' materiaal, terwijl je de rest van bijvoorbeeld gietijzer maakt. Zo bereik je een flinke kostenvermindering. Dit ondanks het feit dat er meer bewerking nodig is. Nadat de band is opgekrompen, worden de tanden gefreesd en geslepen.



Tandwiel geheel uit speciaal staal

Tandwiel uit gietstaal met band van speciaal staal

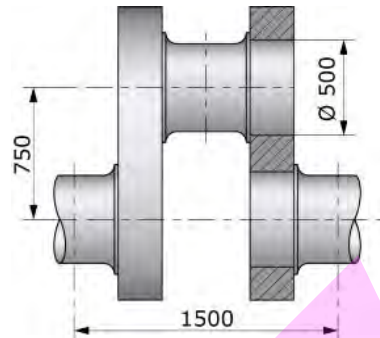
**Voorbeeld**

**Beperking van de afmetingen van de te bewerken delen**

De krukas van grote langzaamlopende scheepsdieselmotoren kun je door de enorme afmetingen alleen met speciale machines maken. Er waren maar enkele bedrijven in de wereld, die dit konden. Daarom worden deze krukassen uit vol materiaal bijna niet meer gebouwd.

Er kunnen enorm veel bewerkingskosten worden uitgespaard door de krukas op te delen in hanteerbare stukken.

Een complete krukas voor een motor met 12 cilinders, kan een lengte van wel 20 m hebben. De krukken zijn onder een hoek ten opzichte van elkaar geplaatst.



Voorbeeld van de afmetingen van een kruk van een scheepsdieselmotor

**1.3 Maken van een krimpverbinding**

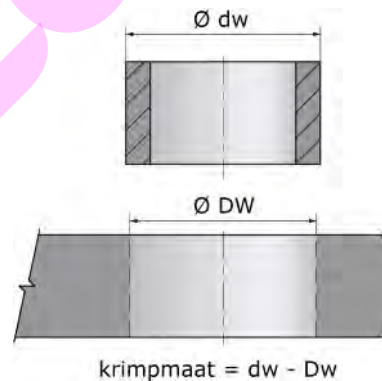
Bij het maken van een goede krimpverbinding zijn de volgende punten belangrijk:

- het juiste maatverschil tussen de te verbinden delen
- de juiste vorm- en oppervlaktegesteldheid van de delen
- de temperatuur van de delen tijdens het samenbrengen.

**Krimpmaat**

De krimpmaat is het verschil tussen de werkelijke maat van de as (dw) en de werkelijke maat van het gat (DW). Je moet beide maten meten bij éénzelfde temperatuur (bijvoorbeeld de omgevingstemperatuur 20 °C).

De krimpmaat is gelijk aan de negatieve speling van de passing van as en gat.



De grootte van de krimpmaat bepaalt de vlaktedruk op het contactvlak en daarmee de sterkte van de verbinding. Er ontstaan ook trek- en drukspanningen in de verbonden delen. Met andere woorden: de keuze van de krimpmaat bepaalt de hoogte van de spanningen.

Als je de juiste krimpmaat kiest, ontstaat er een betrouwbare verbinding voor het gestelde doel. De spanningen blijven dan binnen de grenzen.

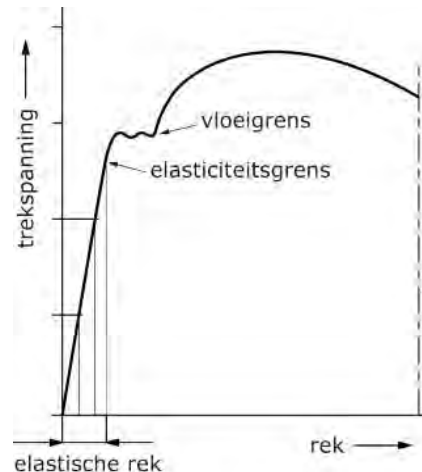
Als de krimpmaat te groot is, kunnen er te hoge materiaalspanningen ontstaan. Ook moet je er rekening mee houden, dat bijvoorbeeld bij de bus, niet alleen de buitendiameter maar ook de binnendiameter verandert. De bus vervormt in zijn geheel.

Bij een te kleine krimpmaat wordt de vlaktedruk (krimpdruk) te klein en kan de verbinding de gestelde belasting niet overbrengen.

*Wanneer is de materiaalspanning te hoog?*

Als je wilt weten hoe de verschillende materialen zich onder belasting gedragen kun je trekproeven uitvoeren met proefstaven van vastgelegde afmetingen.

In het begin is de trekspanning evenredig aan de rek. Dit begin is het elastische gebied (rek 2x zo groot = spanning 2x zo hoog). Voor deze trekproef is alleen dit gebied van belang.

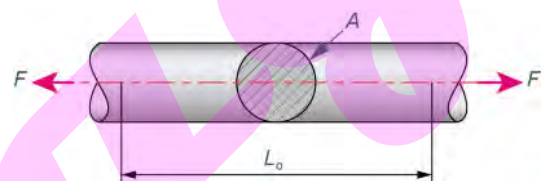


Spanning-rekdiagram van staal S235

Kies je de krimpmaat te groot, dan kom je buiten het elastische gebied. Het gevolg kan zijn:

- het materiaal gaat vloeien, waardoor de klemkracht gedeeltelijk verloren gaat
- er treedt breuk op van het betreffende deel.

Omdat de krimpmaat zo belangrijk is, moet je er voor zorgen dat je de bijbehorende diameters zo nauwkeurig mogelijk kunt maken. Zeker als het om een serie producten gaat.



$$\text{Trekspanning} = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{rek} = \frac{\text{verlenging van meetlengte}}{\text{oorspronkelijke lengte (} l_0 \text{)}} \times 100\%$$



3. Hoe noem je het verschil tussen de werkelijke maat van de as en de werkelijke maat van het gat?

\_\_\_\_\_



4. Wat is bepalend voor de vlaktedruk op het contactvlak en daarmee de sterkte van de verbinding?

\_\_\_\_\_

**ISO-passingstelsel**

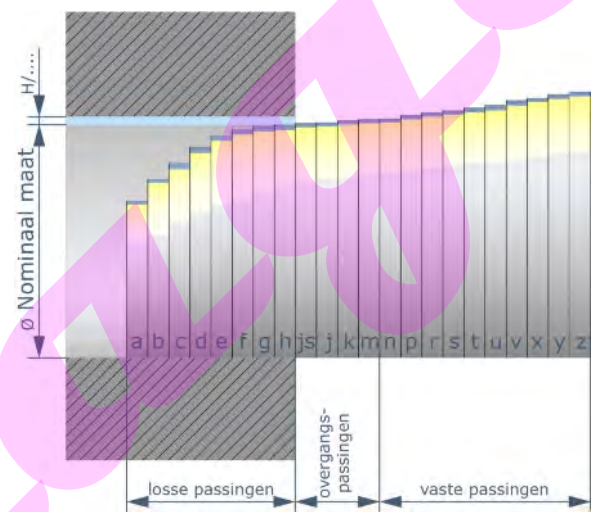
In de praktijk is gebleken, dat het onmogelijk is onderdelen van precies dezelfde maat te maken in serieproductie. Er worden altijd kleine afwijkingen van de verlangde maat gevonden. Daarom is er een systeem ontwikkeld, waarin toelaatbare afwijkingen zijn vastgelegd.

Het ISO-passingstelsel kent drie begrippen:

- De nominale maat  
Dit is het basisgetal = de waarde van de maat.
- De tolerantie  
De grootte van de afwijking ten opzichte van de nominale waarde wordt uitgedrukt in micrometer ( $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ). Het wordt aangegeven door een cijfer (1-16). Dit cijfer geeft de kwaliteitsklasse aan.  
De afwijking is de tolerantie of het tolerantiegebied ten opzichte van de diameter.  
Hoe lager het cijfer, des te kleiner is het tolerantiegebied.
- De ligging van het tolerantiegebied ten opzichte van die nominale maat. De ligging wordt aangeduid met een letter:
  - een hoofdletter voor een gat: A-Z
  - een kleine letter voor een as: a-z

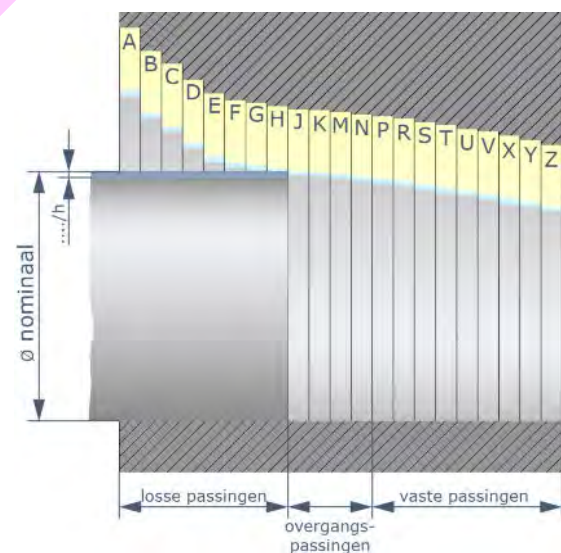
Het systeem is in twee uitvoeringen in gebruik:

- eenheidsgat-stelsel



Einheidsgatstelsel

- eenheidsas-stelsel



Einheidsasstelsel

### Passing

Een passing is een samenstel van gat en as, met elk een bepaalde grensmaatligging en kwaliteit.



Voor krimpverbindingen komen alleen de passingen H7/p6-r-s-t-u6 voor eenheidsgatstelsel en P7 ...U7/h6 voor eenheidsas-stelsel in aanmerking. De combinatie met p of P kan ook voor persen gebruikt worden.

*Minimum/maximumkrimpmaat*

Je zult bij een passing te maken krijgen met een tolerantie op de maat van zowel het gat als van de as. Dat wil dus zeggen dat de werkelijke maat van beide ligt tussen de grensmaten die voor elk zijn vastgesteld.

**Voorbeeld**

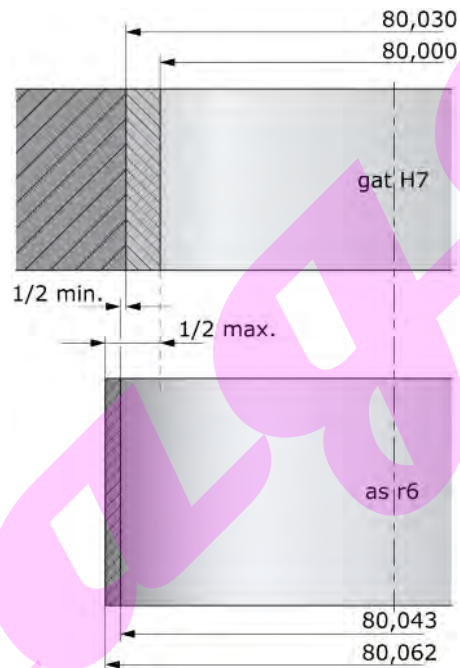
Je neemt de volgende passing: 80H7/r6. In passingstabellen (normbladen) vind je dan de maatcombinatie  $80_{0}^{+0,030} / 80_{+0,043}^{+0,062}$

Het gat mag liggen tussen 80,000 en 80,030 mm. De as tussen 80,043 en 80,062 mm.

De minimumkrimpmaat is het verschil in maat van het grootste gat (80,030) en de dunste as (80,043).

De maximumkrimpmaat is het verschil in maat van het kleinste gat (80,000) en de dikste as (80,062).

De minimumkrimpmaat bepaalt dus de sterkte van een krimpverbinding. Je moet de passing dus zorgvuldig voor het doel kiezen.



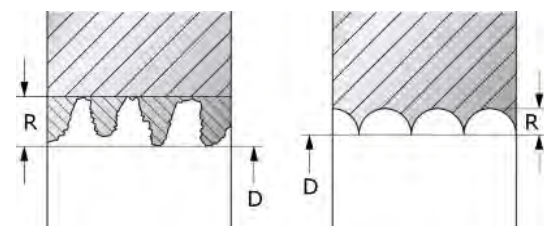
**Oppervlaktegesteldheid**

Bij de bewerkingen draaien, frezen en boren krijg je een ruw oppervlak afhankelijk van:

- de toestand van het gebruikte gereedschap (bot/scherp)
- de kwaliteit van de bewerkingsmachine.

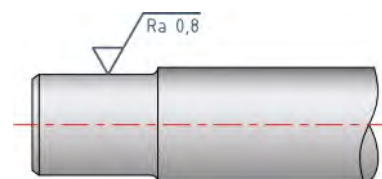
De bewerkingsporen kunnen allerlei vormen vertonen.

Je kunt de maat alleen nemen over de toppen van het bewerkingsprofiel. De maximale diepte van het profiel wordt vastgelegd in ruwheidswaarde.



*Bewerkingsporen geven ruwheid*

Tijdens het krimpen wordt een deel van de oppervlakteruwheid gladgedrukt. Houd daarmee rekening bij het bepalen van de krimpmaat. Op de tekening vind je de toegelaten ruwheidswaarden terug in een getal.



*Aanduiding ruwheidswaarde*

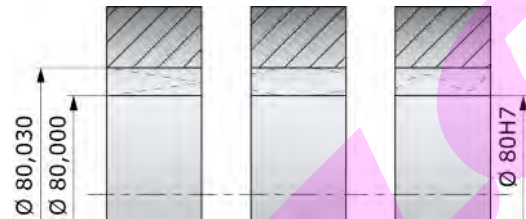
De ruwheid (in microns) plaats je in een soort wortelteken.

**Voorbeeld**

Een voorbeeld van wat fout kan gaan is het volgende: De opgekrompen band van een tandwiel blijkt, na een 1/2 jaar continu bedrijf, circa 15 mm zijdelings verschoven te zijn. Na demontage van het geheel werd de reden duidelijk. De bewerkingsnerf van band en wiel bleek zo goed met elkaar overeen te komen, dat na krimpen de band als een moer om de bewerkingsspiraal van het wiel paste. Door een ongelukkige tandbelasting en de relatief dun uitgevallen banddikte, werd de band langzaam van het wiel geschroefd.

**Vormnauwkeurigheid**

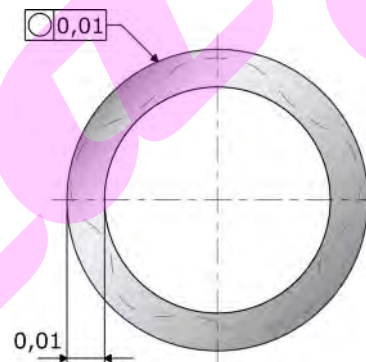
Je kunt allerlei vorm-onnauwkeurigheden aantreffen binnen het tolerantiegebied voor de maat. Deze kunnen de verbinding negatief beïnvloeden. Om de afwijking zo klein mogelijk te maken, is afgesproken tussen welke grenzen de vormtolerantie toelaatbaar is. Dit wordt op tekening vastgelegd. Enkele die je kunt tegenkomen zijn rondheid en cilindriciteit.



De stippellijnen geven voorbeelden van vormnauwkeurigheden weer

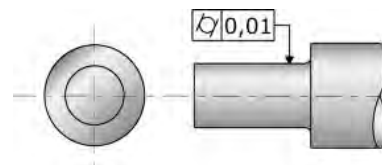
*Rondheid*

De omtrek van het product moet liggen binnen een schil met een dikte van 0,01 mm.



*Cilindriciteit*

Het oppervlak van de cilinder moet liggen binnen een cilindervormige schil met een dikte van 0,01 mm.



**Krimptemperatuur**

De temperatuur waarop je de te krimpen delen moet brengen, hangt af van:

- het maatverschil
- de soort materiaal
- de afmetingen van de delen

Je moet niet alleen de gemeten negatieve speling door verwarming of afkoeling overbruggen om de delen te monteren. Je moet zorgen voor een montagespeling als de delen over een grotere afstand over het andere deel moeten worden geschoven. De montagespeling moet minstens 0,5×, maar liever 1× de negatieve speling zijn.

Zodra de verwarming of koeling ophoudt, begint dat deel warmte af te staan of op te nemen. Bij montage vindt aanraking met het andere deel plaats. De speling wordt kleiner door warmte-uitwisseling. Komt het deel voortijdig vast te zitten, dan moet je proberen de verbinding los te nemen. Dit veroorzaakt meestal schade.

De verschillende materiaalsoorten zetten niet in dezelfde mate uit. Dit heeft te maken met de lineaire uitzettingscoëfficiënt van een stof.

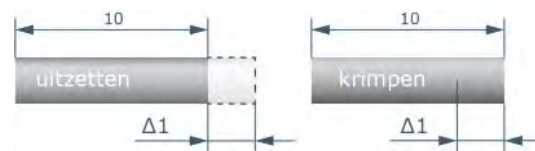
Materiaal	Lineaire uitzettingscoëfficiënt ( $\alpha$ ) (/K)	
Aluminium	$23 \times 10^{-6}$	(0,000023)
Brons	$18 \times 10^{-6}$	(0,000018)
Chroom	$9 \times 10^{-6}$	(0,000009)
Diamant	$1 \times 10^{-6}$	(0,000001)
Glas	$9 \times 10^{-6}$	(0,000009)
Goud	$14 \times 10^{-6}$	(0,000014)
Invar	$1 \times 10^{-6}$	(0,000001)
Koper	$17 \times 10^{-6}$	(0,000017)
Lood	$29 \times 10^{-6}$	(0,000029)
Messing	$19 \times 10^{-6}$	(0,000019)
Nikkel	$13 \times 10^{-6}$	(0,000013)
Staal	$12 \times 10^{-6}$	(0,000012)
Tin	$23 \times 10^{-6}$	(0,000023)
IJzer	$12 \times 10^{-6}$	(0,000012)
Zilver	$19 \times 10^{-6}$	(0,000019)
Zink	$29 \times 10^{-6}$	(0,000029)

Lineaire uitzettingscoëfficiënt ( $\alpha$ ) van een aantal vaste stoffen

### Lengteverandering

Bij krimpen gaat het vooral over de lengteverandering. Hiervan is sprake wanneer het voorwerp lang is ten opzichte van de doorsnede, bijvoorbeeld een dunne staaf of een spoorrail. Bij verwarming spreek je van lengte-uitzetting, bij afkoeling spreek je van lengteverkorting.

Zowel lengte-uitzetting als lengteverkorting geeft een lengteverandering, een lengteverschil, aangeduid met  $\Delta l$  (vergelijk  $\Delta t$  met  $\Delta T$ ).



Lengteverschil ( $\Delta l$ )

De lengteverandering ( $\Delta l$ ) is afhankelijk van drie factoren:

- De oorspronkelijke lengte van het voorwerp ( $l_0$ ).
- Het temperatuurverschil ( $\Delta T$ ). Het ene materiaal zet bij eenzelfde verwarming meer uit dan een ander materiaal. Hierbij gebruik je de lineaire uitzettingscoëfficiënt  $\alpha$ .
- De totale lengte na verwarmen ( $l_t$ ).

**Lengteverandering**

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta l = l_t - l_0$$

**Voorbeeld**

*Gegeven*

Een koperen staaf heeft bij 15 °C een lengte van 30 cm. De staaf wordt gelijkmatig verwarmd tot 75 °C.

*Gevraagd*

Bereken:

- De lengte-uitzetting van de staaf.
- De lengte van de staaf bij 75 °C.

*Oplossing*

De oorspronkelijke lengte ( $l_0$ ) = 30 cm.

$$\Delta t = 60 \text{ °C} \rightarrow \Delta T = 60 \text{ K}$$

Liniaire uitzettingscoëfficiënt koper (zie tabel):  $\alpha = 17 \times 10^{-6} = 0,000017$

a.  $\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$

$$\Delta l = 30 \times 0,000017 \times 60$$

$$\Delta l = 0,0306$$

- b. De lengte bij 75 °C wordt:

$$(l_0 + \Delta l)$$

$$30 \text{ cm} + 0,0306 \text{ cm} = 30,0306 \text{ cm}$$

**Voorbeeld**

*Gegeven*

Bij 20 °C heeft een ring een inwendige diameter van 80 mm.

Na verwarming tot 170 °C is de diameter van de ring opgelopen tot 80,216 mm.

*Gevraagd*

- $\alpha$  van het materiaal.
- Van welk materiaal is deze ring gemaakt (zie tabel)?

*Oplossing*

a. diameter bij 20 °C = 80 mm  $\rightarrow l_0$

diameter bij 170 °C = 80,216 mm  $\rightarrow \Delta l = 0,216 \text{ mm}$  en  $\Delta T = 150 \text{ K}$

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T \text{ of}$$

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \times \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{0,216}{80 \times 150}$$

$$\alpha = 0,000018 / \text{K}$$

- b. Het materiaal is brons.

**Voorbeeld***Gegeven*

Je moet een koppelingsnaaf met een gat van  $\varnothing 100,010$  mm op een as van  $\varnothing 100,120$  mm plaatsen. Beide zijn van staal ( $\alpha = 0,000012$ ).

*Gevraagd*

Hoever moet je de naaf opwarmen, om hem bij een omgevingstemperatuur van  $20\text{ }^\circ\text{C}$  te kunnen monteren?

*Oplossing*

Het gat moet dan minstens  $100,120$  mm worden.

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$l_t - l_0 = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$l_t = l_0 + l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta T = t_1 - t_0 = t_2 - 20$$

$$l_t = 100,120$$

$$l_0 = 100,010$$

$$100,120 = 100,010 + 100,010 \times 0,000012(t_1 - 20)$$

$$0,11 = 100,010 \times 0,000012(t_1 - 20)$$

$$(t_1 - 20) = 92\text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow t_1 = 92 + 20 = 112\text{ }^\circ\text{C}$$

Je moet de naaf dus minstens tot een temperatuur van  $112\text{ }^\circ\text{C}$  verwarmen om het gat in de naaf even groot te laten worden als de maat van de as.

In de praktijk moet je zorgen voor een groter gat (montagespeling). Dat wil zeggen: je moet niet  $0,11$  mm, maar  $1,5 \times 0,11$  mm uitzetten. De temperatuurverhoging moet dan  $1,5 \times 92\text{ }^\circ\text{C}$  worden ( $= 138\text{ }^\circ\text{C}$ ). Voor een veilige montage moet je dus tot  $158\text{ }^\circ\text{C}$  (zeg  $160\text{ }^\circ\text{C}$ ) verwarmen.

**Temperatuurverschil**

Uit het voorgaande blijkt:

$$\text{Temperatuurverschil} = \frac{\text{krimpmaat}}{\text{diameter} \times \text{uitzettingscoëfficiënt}} \times 1,5$$

*Drie methoden*

Je berekent eerst hoe groot het temperatuurverschil moet zijn. In de praktijk kun je drie methoden gebruiken om een verbinding te krimpen.

Welke methode je gebruikt hangt af van de aanwezige middelen, de grootte van de delen, de materialen en het temperatuurverschil zelf. Je moet kiezen tussen:

**Methode 1**

Eén deel verwarmen, het andere deel houdt de omgevingstemperatuur (denk aan koppeling van de naaf op de astap).

**Methode 2**

Eén deel houdt de omgevingstemperatuur, het andere deel wordt afgekoeld (denk aan een lagerbus in een drijfstaaf).

### Methode 3

Het ene deel verwarmen en het andere gelijktijdig afkoelen.

Soms kan het ongewenst zijn, dat het ene deel tot boven een bepaalde temperatuur wordt verhit. Je moet dan het andere stuk afkoelen, als dat toegestaan is. Zo bereik je dan toch het gevraagde temperatuurverschil.

### Middelen voor verhitting

Je kunt op verschillende manieren verhitten:

- Gasbrander of autogene lasbrander  
Nadeel: Ongelijkmatige verhitting. Hierdoor kan het werkstuk vervormen en is de temperatuur moeilijk te bepalen.
- Oven: gas, olie of elektrisch verwarmd  
Geschikt tot circa 300 °C. Je hebt kans op vorming van oxydehuid als je hierboven komt. Boven 350 °C verwarmen in een oven met beschermende gasatmosfeer.
- Baden: olie, lood, zout
  - Verwarmen in een oliebad kan tot circa 350 °C.  
Nadeel: De krimpverbinding bereikt pas na enige dagen de volle sterkte. De restolie moet eerst verdrongen worden.
  - In een loodbad is een temperatuur van 400 - 900 °C haalbaar. Er is een snelle opwarming.  
Nadeel: Stalen delen blijven drijven. Er is kans op achterblijvende loodresten. Looddamp is giftig.
  - In een zoutbad kan tot circa 600 °C worden gewerkt.  
Nadeel: Op het werkstuk vormt zich een zoutkorst die je eerst moet verwijderen. Zoutbaden met cyaantoevoegingen tasten het oppervlak niet aan. Dampen zijn giftig.
- Speciale elektrische verwarmingselementen.

### Middelen voor afkoeling

Voor afkoeling gebruik je vaste of vloeibaar gemaakte gassen:

- Koolzuursneeuw: Temperatuur -75 °C
- Vloeibare lucht: Temperatuur -190 °C  
Nadeel: Kans op explosie of spontane verbranding bij aanraking met olieresten.
- Vloeibare stikstof: Temperatuur -196 °C. Dit is het aangewezen koelmiddel, indien voorhanden.  
Nadeel bij onderkoeling: Er treedt condensatie op van waterdamp uit omgevingslucht en er ontstaat ijsvorming op de koude vlakken.

### Productievoorschriften

Bij productieseries wordt nauwkeurig voorgeschreven op welke van de drie manieren je de krimpverbinding moet maken. Bij reparaties, meestal één of enkele stuks, ben je veel meer aangewezen op de middelen die op dat moment aanwezig zijn. Methode 3 zou dan gebruikt kunnen worden, hoewel normaal methode 2 wordt toegepast.

### Voorbeeld

Stel je moet met veel haast in een cilinderkop zittingen invriezen. Er is echter geen stikstof aanwezig, nog wel wat koolzuursneeuw. Wat te doen?

Afhankelijk van de krimpovermaat kun je dan de kop vullen met heet water van circa 100 °C of warme olie van circa 150 °C. Je koelt de ringen in koolzuursneeuw tot een temperatuur van -75 °C.