

## Vakuumlodning

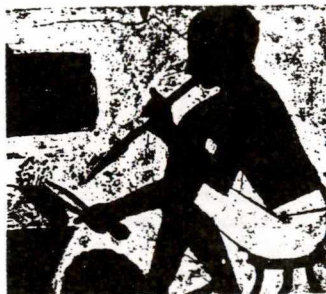
af

Carsten Jensen

og

Peter Hauton Gundel.

Dansk Metallurgisk Selskabs vintermøde 1994.



## Vakuumlodning

### Abstract

Brazing in a vacuum furnace has become an important process for brazing of a number of components. This article describes the different process stages in the brazing cycle as well as it broadly describes the vacuum brazing technology. General aspects as demands for and selection of combination between base and filler metal are described. Finally the article focus on brazing of a compact brazed heat exchanger.

### Indledning

Lodning er karakteriseret ved, at to eller flere komponenter samles med et materiale, hvis smeltepunkt ligger under komponenternes smeltepunkt (liquidus). Procesteknisk opdeles loddeprocessen normalt i to del-processer, nemlig i blød- og hårdlodning. Det er loddets smeltepunkt, som er afgørende for inddelingen af loddeprocessen, hvor 450°C er skæringstemperatur. Endvidere benævnes loddeprocesser udført over 900 °C som højtemperaturlodning. I nærværende artikel beskrives højtemperaturlodning udført i en vakuumovn. Denne proces kendes som vakuumlodning.

Som samleproces har lodning været kendt i årtusinder. Vakuumlodning blev derimod først afgørende udviklet i forbindelse konstruktionen af motorer til de første jet-fly og i særdeleshed som et produkt af Apollo-projektet. I Danmark er den industrielle anvendelse af vakuumlodning påbegyndt i 1974, og idag anvendes højt avancerede vakuumovne. Vakuumlodning benyttes til samling af en række kendte komponenter som f.eks. varmevekslere, dele til fly- og rumfartsindustrien, ventiler, hydrauliske komponenter e.t.c.

Herunder beskrives kort selve procesudstyret og den tilhørende proces. Endvidere fremstilles nogle generelle forhold omkring basismaterialer og lod, herunder hvilke parametre der er afgørende for valg af kombination mellem basismateriale og lod ved vakuumlodning. Til slut beskrives et case-eksempel med en kompakt varmeveksler.

De teoretiske aspekter omkring lodning såsom overfladespændinger, vædningsforhold, kapillareffekt e.t.c. vil ikke blive behandlet særskilt i artiklen. For særligt interesserede kan Humpston og Jacobsons [1] fremstilling anbefales.



**Inddeling af loddeprocesser efter procestemperatur:**

Ved temperaturer under 450 °C: Blødlodning

Ved temperaturer over 450 °C: Hårdlodning

Ved temperaturer over 900 °C: Højtemperaturlodning

## Vakuumprocessen

### Ovnanlæg

Som nævnt ovenfor udføres vakuumlodning i vakuumovne, d.v.s. i ovne hvor ovnatmosfæren er evakueret, og et vakuum er etableret forud for selve lodningen. Ved de fleste gængse loddemetoder findes der en oxydhinde på emnets overflade. Oxydhinden kan med besværighed fjernes. Ved vakuumlodning derimod forsvinder oxydhinden, og den gendannes ikke før, at processen er afsluttet. Derved vil lodningen ske på rene metalliske overflader, og er derfor et godt udgangspunkt for et succesfuldt lodderesultat. I det følgende beskrives kort et anlæg, hvori lodningen kan udføres samt et typisk procesforløb.

Et typisk ovnanlæg anvendt til vakuumlodning er principielt opbygget af følgende systemenheder:

- ovnkammer (herunder opvarmningselementer)
- pumpe-system
- kølesystem (ventilator, varmevekslere, kølegas)
- Styresystem

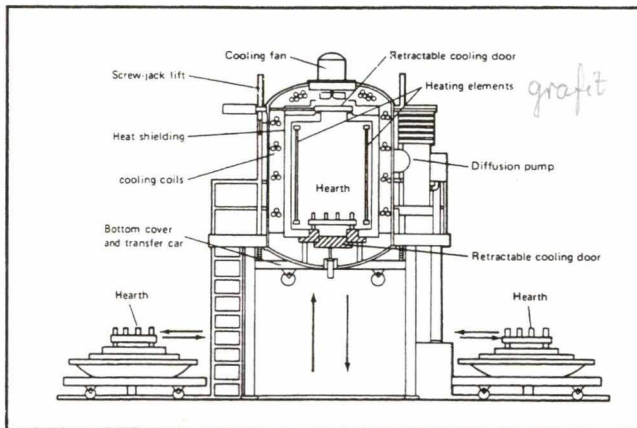
Indbyrdes adskiller vakuumovne sig væsentligt fra hinanden ved antallet af ovnkammer og ovnkammerets orientering. To almindelige konfigurationer er 1- og 3-kammerovnen, og begge er velegnet til vakuumlodning. 1-kammer typen findes i to versioner, nemlig som vertikal og horisontal. Endvidere skelnes der mellem kold- og varm-væggede vakuumovne.

I figur 2 er der vist en koldvægget 1-kammerovn med et vertikalt ovnkammer. Langs væggen, i bund og top i det cylinderformede ovnkammer er der placeret varmelegemer af grafit. Omkring ovnkammeret og et varmeskjold sidder der en vandkølet kappe.

Evakuering af ovnatmosfæren udføres af to pumpe-systemer; Et system baseret på mekaniske pumper til at frembringe et grov- eller fin-vakuum og et system baseret på en diffusionspumpe til frembringelse af et højtvakuum.

Ved afkøling blæses kølegassen (kvælstof) v.h.j.a. en ventilator nedefra igennem chargen, og trækkes ud af ovnkammeret gennem varmevekslere. Herefter ledes den afkølede gas ned mellem ovnens

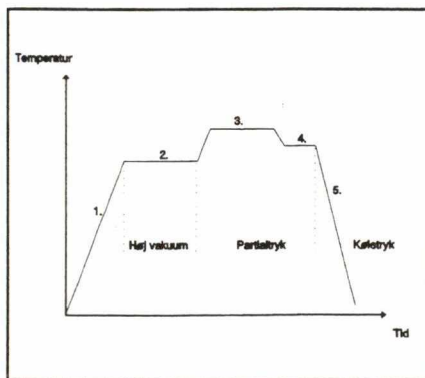
kammer og ydervæg, og blæses dernæst igen ind over chargen i ovnkammeret. D.v.s. at kølegassen hele tiden recirkuleres. Med mange nyere vakuumovne er der endvidere mulighed for køling med vendbar kølegas-retning, hvilket giver en mere ensartet afkøling af chargen.



Figur 2 Vertikal koldvægget 1-kammerovn med chargering fra bund [Metals Handbook, vol. 4, p.313].

Loddeprocessen

I det følgende vil en typisk loddeproces beskrives ud fra det temperaturprofil, som emnet gennemløber. Beskrivelsen tager udgangspunkt i den på figur 3 angivne nummerering.



Figur 3 Temperaturprofil for et typisk forløb af en vakuumloddeproces. Endvidere er der angivet, hvor i procesforløbet de enkelte tryk optræder.

#### Ad.1.

Efter opbakning af emnerne placeres disse ved opstart af processen i ovnkammeret. Herefter nedpumpes hele ovnkammeret v.h.j.a. det mekaniske pumpe-system. Nedpumpning sker ved successivt at indkoble de forskellige vakuumpumper, når de enkelte pumpe-funktionsområder nås. Selve opvarmningen sker ved stråling. Opvarmningen fortsætter til en specificeret forvarmningstemperatur, der normalt vælges til ca. 50 °C under solidus.

#### Ad.2.

Ved denne forvarmningstemperatur er der etableret et vakuum af en given kvalitet. Et teoretisk eller ideelt vakuum er et tomt rum, som ikke indeholder nogen form for stof. Da et stof-tomt rum ikke eksisterer i praksis, tales der om et teknisk vakuum. I figur 4 er trykket ved de respektive vakuumlodningskvaliteter angivet. Et finvakuum er typisk defineret i intervallet  $1,3 - 1,3 \times 10^{-3}$  mbar ( $1 - 10^{-4}$  torr). Ved forvarmning benyttes sædvanligvis et vakuum på  $1,3 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-5}$  mbar ( $10^{-4} - 10^{-6}$  torr). Et sådant vakuum forhindrer overfladereaktioner såsom oxidering eller af/opkuling med emnet således, at emnets overflade holdes helt rent.

#### Definition af et vakuum.

Et teoretisk fuldstændigt vakuum er defineret som et rum eller en atmosfære, hvor trykket er uendeligt lille.

Et teknisk vakuum er defineret i intervallet fra ca.  $1 - 10^{-7}$  bar, og inddeles i grov-, fin-, høj- og ultra højvakuum.

Udgangspunktet for renseseffekten er, at metaller danner sammensætninger med oxygen. Ved høje temperaturer vil disse sammensætninger dissociere, hvilket er muligt, idet oxydationsprocessen er reversibel. Dissocieringen er temperaturafhængig og samtidig en eksotermisk (energiforbrugende) proces. Den bedste "rense-effekt" opnås umiddelbart før der ved forvarmningstemperaturen påtrykkes et partialtryk, idet der på dette sted i procesforløbet findes det mindste tryk. Metaloxider vil dissociere til det aktuelle metal og til oxygen, og oxygenet vil herefter evakueres fra ovnkammeret. Dette er et væsentligt forhold i forbindelse med den før omtalte renholdelse af overfladen og dermed vædning af loddet. Der er imidlertid fremsat teorier, som postulerer, at renseseffekten ikke kun involverer en simpel termisk dissociation af oxider som nævnt ovenfor. Det viser sig, at der fås rene metalliske flader selv ved partialtryk, som er væsentligt højere end de teoretisk beregnede. Til beskrivelse af fænomenet er følgende teorier blevet fremsat [3, p.394]:

- \* Opløsningen og diffusionshastigheden for oxygen overstiger dets overflade absorptions hastighed.
- \* Oxydernes kimdannelse sker i diskrete områder frem for jævnt over hele overfladen.

- \* Den effektive oxygen-koncentration reduceres af kulstof og brint i fast opløsning samt af vakuumatmosfæren.

Som et hjælpemiddel til forudsigelse af dissociation af metal-oxyder ved en given temperatur kan Ellingham diagrammet benyttes [1, p.147-151]. Den drivende kraft for oxydations reaktioner er ændringen i Gibbs frienergi. Ellingham diagrammet viser ændringen i Gibbs frienergi som funktion af temperaturen og partialtrykket af oxygen.

#### Ad.3.

De legeringer, som udgør basis-metaller og lod, har alle et damptryk, der er temperaturafhængigt. Damptrykket er defineret som det tryk, hvor fordampningen og sublimation af legeringen er i ligevægt med en tilsvarende kondensering. Til undertrykkelse af det højeste tilstedeværende damptryk fra materialer påtrykkes ovnatmosfæren et partialtryk. Partialtrykkets funktion er, at undertrykke fordampningen af basis- og loddemateriale. Partialtrykket påtrykkes ved påbegyndelse af opvarmningen fra forvarmningstemperaturen til loddetemperaturen. Til frembringelse af partialtrykket anvendes oftest kvælstof eller argon.

*fx for nikkellod*

Loddetemperaturen kan vælges ved opfyldelse af følgende kriterier. Først skal det sikres, at alt loddet er helt smeltet. Samtidig skal temperaturen begrænses således, at loddet ikke mister legeringselementer ved fordampning. Ofte inddrages ligeledes aspekter omkring loddets viskositet (flydeevne) ved valg af loddetemperaturen.

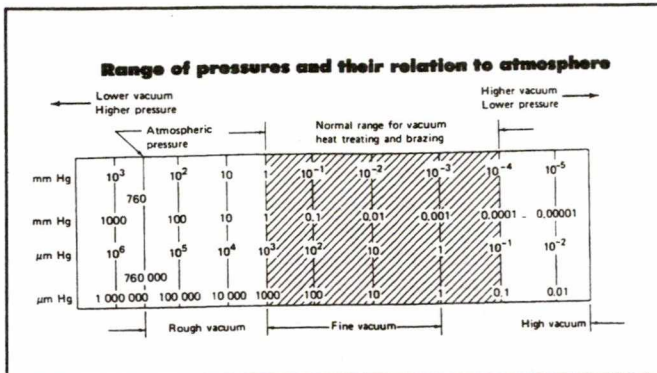
Ved fastlæggelse af holdetiden skal det sikres, at loddet holdes over smeltetemperaturen, og det får mulighed for at vædde hele loddefladen. Holdetiden begrænses oftest af metallurgiske hensyn. For lang holdetid kan medføre stor spredning af det flydende lod, mulighed for gradvis oxydation og forringelse af egenskaberne af basismateriale og lod [1].

#### Ad.4.

Efter lodning afkøles emnet under partialtryk med ovnen til en temperatur, som ligger lige under solidus. Formålet er at sikre fuldstændig størkning af hele loddematerialet inden den afsluttende afkøling.

#### Ad.5.

Ved nedkøling af charge og ovn til sluttemperatur køles ofte med et overtryk. Som kølegas benyttes typisk kvælstof. I specielle tilfælde, hvor en lodning og en hærkning kombineres i samme proces, og en hurtigere afkøling ønskes, vil helium kunne anvendes som kølegas, idet helium har bl.a. en bedre varmekapacitet end kvælstof (He: 5,23 J/(g·grad); N: 1,04 J/(g·grad)).



**Figur 4** Angivelse af trykket ved forskellige vakuüm-kvaliteter. 1 mmHg = 1 torr = 750,062 bar eller 1 atm = 760.0 mmHg. [Metals Handbook, vol.4, p.308].

## Materiemæssige aspekter ved anvendelse af processen

### Loddematerialer

Antallet af kommercielt tilgængelige loddelegeringer er meget stort. Derfor vil der i det følgende kun blive fokuseret en oversigt over legeringsgrupper anvendt ved højtemperaturlodning. Som nævnt indledningsvis opdeles loddeprocessen efter, om den aktuelle lodning udføres over eller under 450 °C. Som en konsekvens heraf inddeles loddelegeringerne derefter. Loddematerialer til anvendelse ved vakuumlodning tilhører de grupper/familier af lod, som har et relativt højt smeltepunkt. I figur 5 er en række af disse loddegrupper vist. Samtidigt viser figuren smeltetemperaturer for en række eutektiske legeringer, hvor de mest anvendte grupper til vakuumlodning er de nikkel-, sølv- og kobber-baserede legeringer.

### Krav til loddet

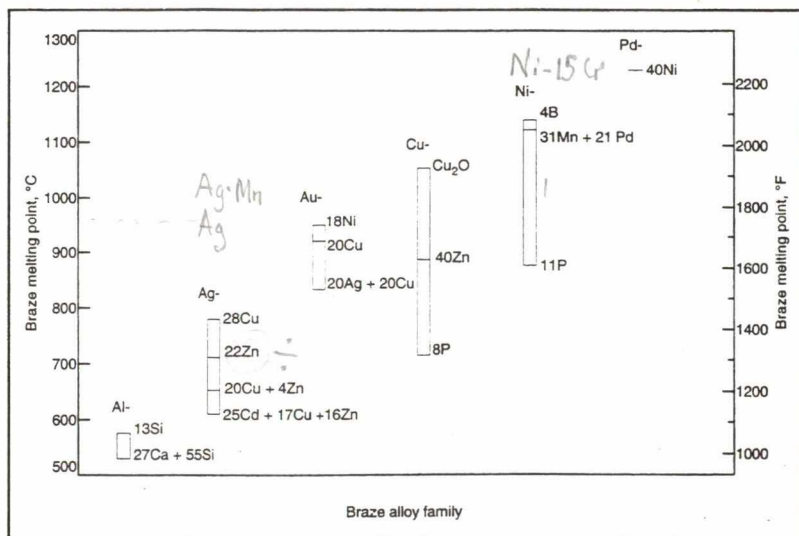
For opnåelse af optimale egenskaber i lodningen kan der opstilles nogle vigtige krav for loddematerialet. Disse krav er opstillet herunder, og vedrører følgende forhold:

- \* Loddet skal kunne vædde på det eller de aktuelle basismateriale(r).
- \* Loddet skal have et smeltepunkt og -interval samt en viskositet, som gør det muligt for loddet at fordeles ved kapilar-effekt i loddespalten

\* Loddet skal have en homogen sammensætning og stabilitet for at kunne sikre mod separation af faste og flydende bestanddele under loddeprocessen [2, p.44]. Dette forhold kan optræde for loddelegeringer med et bredt smelte- og størkningsinterval. Bl.a. derfor benyttes hyppigst eutektiske legeringer eller legeringer med et smalt smelteinterval for at undgå dette fænomen.

\* Loddet skal have evne til at danne samlinger med passende mekaniske og fysiske egenskaber ved den givne anvendelse.

\* I nogle tilfælde skal loddet besidde den egenskab, at det ikke gennem diffusion reagerer med basismaterialet og danner skøre intermetalliske faser eller uacceptabel erosion af basismaterialet.



**Figur 5** Lodde-legeringer til anvendelse i forbindelse med vakuumlodning. På figuren kan de eutektiske temperaturer for en række legeringer aflæses. [Humpston, p.6].

### Valg af lod

Loddet vælges normalt på basis af givne basismaterialer. Herunder er der angivet et skema, som opstiller brugbare kombinationer mellem basismateriale og lod. Loddet ved en given kombination er valgt på basis af en vurdering af bl.a. forhold vedrørende termiske procesforhold, metallurgisk forenelighed med basismaterialet, e.t.c.



Loddets form

Når der er valgt en sammensætning af loddet, som opfylder både materialemæssige og funktionelle krav, skal loddets leveringsform vælges. De mest almindelige former er folie, tape, pulver, pasta og tråd. Folie, tråd og tape kan optræde som præformet. Loddet placeres på emnerne forud for loddeprocessen. Dette giver endvidere mulighed for nøjagtig dosering af lodmængden [2, p. 53].

Loddetemperaturen

Ved loddeprocessen er det afgørende, at den korrekte loddetemperatur vælges. Der findes et loddeinterval, som er det temperaturinterval, hvor lodning med det anvendte lod er muligt. Generelt er den laveste loddetemperatur lig liquidus-temperaturen. I praksis vælges den lavest mulige temperatur, som sikrer, at loddet flyder ud i den aktuelle spaltegeometri. Herved påvirkes basismaterialet mindst muligt med hensyn til kornvækst, erosion, termiske spændinger og kast. Endvidere mindskes reaktioner mellem lod og basismateriale, hvor der gennem diffusion kan dannes uønskede faser. Generelt vælges loddetemperaturen ud fra en vurdering baseret på følgende punkter [2, p.45]:

- \* De indgående materialer i samlinger
- \* Loddets sammensætning
- \* Loddeprocessen
- \* Samlingens udformning og geometri
- \* Loddets flydeegenskaber

Herunder er der angivet solidus, liquidus og loddeinterval for en række kommercielt tilgængelige og hyppigt anvendte lod:

Temperaturer anvendt til fastlæggelse af loddeinterval				
AWS klassifikation	Solidus [°C]	Liquidus [°C]	Loddeinterval [°C]	Familie
BNi-2	971	999	1010 - 1177	Nikkel-baseret
BNi-3	982	1038	1010 - 1177	Nikkel-baseret
BCu-1	1083	1083	1093 - 1149	Rent kobber
BAu-1	991	1016	1016 - 1093	Guld-baseret
BVAg-0	961	961	961 - 1038	Rent sølv

Kilde: American Welding Society, Brazing Handbook, 1991.

*NB er rigtig*

	Al & Al Alloys	Mg & Mg Alloys	Cu & Cu Alloys	Carbon & Low Alloy Steels	Cast Iron	Stainless Steel	Ni & Ni Alloys	Ti & Ti Alloys	Be, Zr, V, & Alloys Reactive Metals	W, Mo, Ta, Nb, & Alloys Refractory Metals	Tool Steels
Al & Al Alloys	BAI-Si										
Mg & Mg Alloys	X	BMg									
Cu & Cu Alloys	X	X	BAG, BAu, BCuP, BNi, RBCuZn								
Carbon & Low Alloy Steels	X	X	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi							
Cast Iron	X	X	BAG, BAu, BNi, RBCuZn	BAG, BNi, RBCuZn	BAG, BNi, RBCuZn						
Stainless Steel	BAI-Si	X	BAG, BNi, BAu	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi					
Ni & Ni Alloys	BAI-Si	X	BAG, BAu, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi	BAG, BAu, BCu, BNi				

	Al & Al Alloys	Mg & Mg Alloys	Cu & Cu Alloys	Carbon & Low Alloy Steels	Cast Iron	Stainless Steel	Ni & Ni Alloys	Ti & Ti Alloys	Be, Zr, V, & Alloys Reactive Metals	W, Mo, Ta, Nb, & Alloys Refractory Metals	Tool Steels
Ti & Ti Alloys	BAI-Si	X	BAG*	BAG*	BAG*	BAG*	BAG*	BAG, BAI-Si*			
Be, Zr, V, & Alloys (Reactive Metals)	Y	X	BAG	BAG	BAG	BAG*	BAG*	Y	Y		
W, Mo, Ta, Nb, & Alloys Refractory Metals	X	X	BAG	BAG, BCu, BNi	BAG, BCu, BNi	BAG, BCu, BNi, BAu	BAG, BCu, BNi, BAu	Y	Y	Y	
Tool Steels	X	X	BAG, BAu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BAu, BCu, RBCuZn	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BCu, BNi, BAG, BAu	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	X	X	X	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn

**Figur 6** Kombinationer mellem loddemateriale og basismateriale. (X) angiver ikke-rekommanderet kombination. (Y) angiver, at der ikke kan generaliseres omkring kombinationen [Brazing Handbook, p.49].

## Basismaterialer

Ofte forelægger den situation, at komponenter af samme materiale eller af to eller flere forskellige materialer ønskes sammenloddet. Derfor vælges normalt et loddemateriale ud fra fastlagte de basismaterialer. Men ønskes fordelene ved vakuumlodning udnyttet, kan valg af materialer med fordel ske allerede i konstruktions- og design-fasen. Foruden opfyldelse af funktionskrav skal der i denne forbindelse tages hensyn til følgende forhold:

- 1) Legeringssammensætningen
- 2) Smeltetemperaturen

- 3) Damptrykket
- 4) Overfladebeskaffenhed
- 5) Korrosionspotentialer
- 6) Termiske udvidelseskoefficienter

#### Ad.1.

Titan og aluminium har en ugunstig indflydelse på lodderesultatet ved vakuumlodning. Årsagen er, at disse metaller er en meget stærke oxyddannere. F.eks. vil titanoxid forhindre loddet i at vædde på basismaterialets overflade.

Austenitisk rustfrit stål er bl.a. hyppigt benyttet til varmevekslere. I den forbindelse er det væsentlig at anvende en kvalitet med et lavt kulstof-indhold, idet den opnåelige kølehastighed efter lodning er begrænset. Problemet er nemlig det, at ved for lange loddetider kan krom fra matrix diffundere til de mere energifavorable tripelpunkter og korngrænser. Hvis der er en tilstrækkelig mængde kulstof tilstede, vil der udskilles kromkarbider i disse områder, og korngrænsekorrosion vil kunne opstå.

Skal et basismateriale loddet ved en temperatur, der er større end den aktuelle austenitiseringsstemperatur, skal der tages hensyn til eventuel kornvækst. En kornvækst vil reducere styrken af materialet.

#### Ad.2.

Ved valg af basismateriale skal der ligeledes tages højde for materialets smeltepunkt. Metaller som aluminium, bly, cadmium og zink er derved uaktuelle ved anvendelse af vakuumprocessen. Er loddets legering fastlagt, da skal basismaterialets smeltepunkt naturligvis være større end loddets.

#### Ad.3.

Basismaterialets damptryk skal være kendt, idet et høj damptryk skal kompenseres med et højere partialtryk. Damptrykket af en legering bestemmes som bekendt ud fra Dalton's lov, der siger, at det totale damptryk af legeringen er lig summen af damptryk fra de enkelte legeringselementer.

*Generende, hvis damp kondenserer på kolde flader der kræver rensning af ovnen.*

#### Ad.4.

Ved lodning vil kapillareffekten trække loddet ind i spalter og ned i overfladen på basismaterialet. Hvis basismaterialet har meget glatte overflader, vil overflader være samlet med ingen eller en meget lille loddesspalte. I områder uden loddesspalte fremkommer punkter eller områder, som ikke er loddet. Herved mister loddessamlingen en del af sin styrke. Overfladen på basismaterialet skal som konsekvens heraf besidde en vis overfladeruhed.

#### Ad.5.

Ved valg af basismateriale skal der tages hensyn til metallens position i spændingsrækken, idet denne vil kunne sige noget om, der opstår galvanisk korrosion, når metallet kommer i kontakt med en elektrolyt eller et andet metal. Brazing Handbook diskuterer en række korrosionsformer, og peger samtidigt på, at galvanisk korrosion hører blandt de hyppigste, som optræder ved korrosionsproblemer i forbindelse med loddessamlingen.

### Ad.6.

Skal to materialer sammenføjes ved vakuumlodning er det overordentligt vigtigt at have kendskab til materialerne termiske udvidelseskoefficienter. Som hovedregel skal disse koefficienter have samme størrelsesorden. Der er tilfælde, hvor det ene materiale ved opvarmning udvider sig forholdsmæssigt mere end det andet. Derved kan loddespalten blive så bred, at kapilareffekten ikke sikrer fuldstændig udflydning af lod i spalten.

Endvidere skal det noteres, at et deformationshærdet basismateriale vil blive glødet ved loddeprocessen. Dette forhold bevirker en nedsættelse af basismaterialets styrke, hvilket igen influerer på styrken af den færdige lodning. I det tilfælde der ønskes en styrke større end den, som kan opnås efter en glødning, da skal der vælges et basismateriale, der kan styrke forøges ved varmebehandling.

## Konstruktionsfrihed

Ved design og konstruktion af komponenter kan der inddrages andre principper end de traditionelle, hvis vakuumloddeprocessen ønskes anvendt. Der er nemlig mulighed for opbygning af meget komplekse og mere hensigtsmæssige konstruktioner, som ikke ville være mulige ved udelukkende at anvende andre samleprocesser – eksempelvis en kompakt varmeveksler. Godstykkelser kan varieres, og sammenføining er mulig, selvom loddestedet er udefra utilgængeligt. Det er meget vigtigt, at komponenterne konstrueres med henblik på anvendelse af processen. F.eks. skal de tolerancer, der er nødvendige for korrekt udformning af loddespalter, overholdes.

## Case-eksempel

### Varmeveksler

En kompakt varmeveksler består af op til et par hundrede plader, som er presset i rustfrit stål. Det trykte mønster i pladerne vender modsat på tilstødende plader. Herved opstår der en geometri, hvor tilstødende plader danner et netværk af kontaktpunkter. Ved samling af en varmeveksler er det hensigten at lodde det store antal punkter, som opstår. Derudover skal pladernes sideflader og tilslutningsstudse ligeledes loddet. Loddet lægges som folie mellem pladerne. Kobber er ofte anvendt som loddemateriale. Omkring tilslutningsstudse anbringes en trådformet ring eller ringformet folie af loddematerialet. I figur 7 er der vist en varmeveksler, hvor bl.a. kanalsystemet fremgår.

Ved oppakning i ovnen anvendes fiksturmateriale, som sikrer, at form og belastning er kontrolleret under hele loddeprocessen. Efter endt lodning trykprøves varmeveksleren med henblik på at undersøge tætheden samt styrken af varmeveksleren. Tæthed op til 200 bar overtryk i 0,3 mm plade er muligt.

Princippet i en varmeveksler er, at to medier gennemstrømmer veksleren i to adskilte kanalsystemer. Varmen mellem medierne udveksles ved varmeledning gennem pladerne. Det specielle ved den

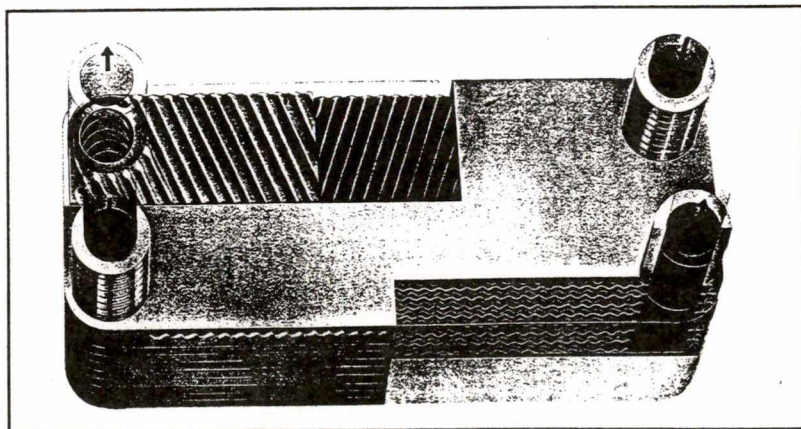
kompakte loddet varmeveksler er, at det varmeoverførende areal er stort i forhold til vekslerens størrelse. Som eksempler på anvendelsesområder kan der bl.a. nævnes:

- \* Kølesystemer
- \* Varmeindvinding
- \* Kondensatorer

For øjeblikket arbejdes der på at udvikle loddet varmevekslere således, at de kan finde anvendelse i andre korrosive miljøer end de nuværende. F.eks. er det virkelig interessant at udvikle en varmeveksler, der kan operere med ammoniak eller havvand som kølemiddel. Når CFC-gasser forbydes fuldstændigt, da vil ammoniak være højaktuel at anvende.

#### **BRITE-EURAM projekt**

A/S Industrihæderiet deltager i et BRITE-EURAM projekt, der har til formål at udvikle nye loddematerialer til anvendelse i meget korrosive miljøer.



**Figur 7** Kompakt varmeveksler. På billedet ses geometrien af de pressede plader, og nederst til højre den komplekse geometri af den færdige varmeveksler [Swep Int. AB].

**Referencer**

1. Humpston, Giles; Jacobson, David M.;  
Principles of soldering and brazing;  
ASM International, Ohio; 1993.
2. Brazing Handbook;  
Fourth edition;  
American Welding Society;  
Miami, Florida; 1991.
3. Metals Handbook;  
Volume 4, heat treating, ninth edition;  
American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073;  
Ohio 1981.
4. Swep International AB;  
Compact brazed heat exchangers for fluid handling applications;  
Landskrona, 1991.