
PLAST- SVEJSNING

Indholdsfortegnelse

	Side
1. Varmluft svejsning	
a. Princip	3
b. Svejseudstyr	3
c. Svejsetyper	3
d. Klargøring til svejsning	6
e. Svejsning med runddysse	6
f. Svejsning med hurtigdysse	13
g. Extrudersvejsning	15
2. Varmelemtsvejsning	
a. Princip	16
b. Svejseudstyr	16
c. Svejsetyper	16
d. Svejsepejl	16
e. Varmesværd	18
f. Varmetide	18
g. Klargøring til svejsning	19
h. Opvarmning af svejszone	19
i. Opsættingstid fra opvarmning til svejsning	22
j. Svejsning og afkøling	23
3. Andre svejsemetoder	
a. Friktingsvejsning	26
b. Ultralydsvejsning	26
4. Prøving af svejseforbindelser	28
5. Svejsergellige konstruktioner	29
6. Efterbehandling af svejste konstruktioner	31
7. Tabeller	32-35
8. Litteraturrevisning, ordforklaring, forkortelser	36

INLEDNING

DUKADAN's idé med denne håndbog om plastsvæjsning er at give ukyndige en orientering om de muligheder og metoder, der foreligger inden for området. Samtidig kan tabeller og fotos måske være en støtte for dem, der allerede arbejder med plastsvæjsning.

Formning og svejsning i plast bliver mere og mere anvendt, f.eks. benyttes svejste plastkonstruktioner meget inden for den kemiske og grafiske industri, men også levedsmiddel- og maskinindustrien er begyndt at udnytte de fremragende egenskaber, som plast har. Beklædningsopgaver samt afskærmninger af enhver art løses ofte bedst med plastkonstruktioner.

Ligesom der ved svejsning i almindeligt og legeret stål og aluminium foreligger undersøgelser, der fortæller om, hvorledes en svejsning skal gennemføres for at give optimal styrke, findes der også ved plastsvæjsning retningslinier, der sikrer den forventede styrke i en given konstruktion. Disse retningslinier kan De hurtigt sætte Dem ind i ved at gennemlæse det afsnit, der fortæller om den svejsemetode. De måske allerede har valgt, eller De kan læse hele bogen og begæfter vædige Deres konstruktion på en sådan måde, at den er plast- og svejseteknisk korrekt.

Varmluft svejsning

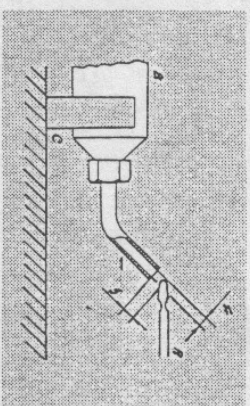


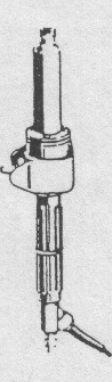
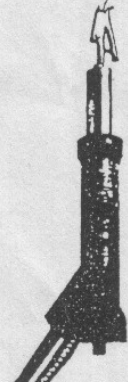


Fig. 2.
B svejseblæser
C holder
R termometer

Emne

Data

	<p>Zinsert Unitherm (K 5) Elektro-varmesvejsespistol med indbygget blæser, universel anvendelig: til opvarmning, svejsning, bøjning og krympning af termoplast, til forvarmning, lørring m.m. Med udskiftelige varmeelementer, indstillelig 7 trinns varmeregulering. Svejsespistolen leveres med varmeelementer eller afatle. Vægt: 1,6 kg. Tilslutnings-spænding 220 V 220 V 300/500/800/1300</p> <p>Opgiv venligst ønskede maximale varmeydelse. Leveres uden dysse. Special udførelser: Spørg venligst.</p>
	<p>Zinsert »Unitherm Sa« (K 7) Samme som Zinsert unitherm (K 5) dog med trinløs indstillelig varmeydelse ved hjælp af en indbygget fuldelektronisk styring. (Fra nul til varmeelementets maksimale ydelse). Vægt: 1,5 kg. Tilslutnings-spænding 220 V</p> <p>Seriesvarmeelementer (Watt) 630</p> <p>Leveres uden dysse.</p>
	<p>Zinsert (K 10) Varmluftsvæjsedstyr for tilslutning til trykluft. Anvendelig til svejsning og opvarmning af termoplast. Regulering ved hjælp af luftmængde. Varmeydelse 400 Watt. Udførelse 1, 220 V. Vægt ca. 0,7 kg.</p>
	<p>WEG-08R Tyristorreguleringen, som er indbygget i håndtaget, muliggør trinløs indstilling af svejseluft-temperaturen. Da luften omledes 2 gange i brændedrøfter, der består af 3 enkeltløb, er yderkappen næsten kold, og der er ingen fare for forbrænding. En elektronisk indretning i reguleringen hindrer, at apparatets varmelagene kan tændes uden lufttilførsel. Den meget fleksible og alligevel stabile lufttilførselslange gør arbejdet let selv i snævre beholdere. Slangelængde 4 m. Der kan anvendes varmeelementer med 600 eller 800 Watt. 220 Volt. Varmeelementer leveres efter ønske. Det praktiske greb består af glasforstærket plast. Leveres uden dysse, som ikke er incl. i prisen.</p>

1. Varmluft svejsning

a. Princip

Ved varmluft svejsning af termoplastiske materialer anvendes en egnet gasart, fortrinsvis atmosfærisk luft eller nitrogen. Den anvendte luftart opvarmes i særligt udstyr, hvorefter den ledes til de klarlagte svejsflader og opvarmer dem til den nødvendige svejsetemperatur. Under tryk, enten med eller uden tilsatsråd, sammensvejses plastdelene.

Termoplastiske materialer hører til den gruppe, der ved opvarmning først bliver termoelektiske og ved yderligere opvarmning termoplastiske. I den termoplastiske tilstand forestiller vi os materialets kædemolekyler bevægende sig frit omkring. Molekyleenderne på grundmateriale, såvel som på eventuel svejsstråd, kan nu på grund af den tilførte varme og et tilført tryk indfiltre sig i hinanden. Efter afkøling dannes en sådan sammenføjning en fast, homogen forbindelse. En plastsvæjsning er altså en sammenføjning af termoplastiske materialer, udført under varme og tryk, når grundmaterialerne og eventuel svejsstråd befinder sig i termoplastisk tilstand.

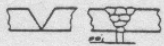
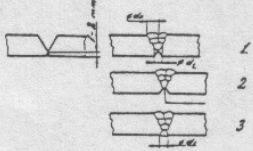
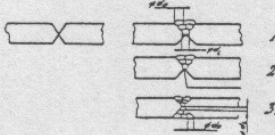
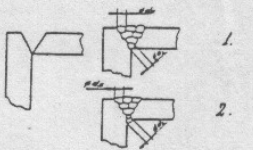
b. Svejsedstyr

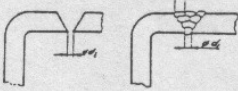
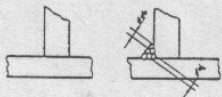
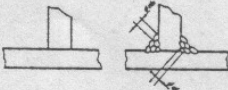
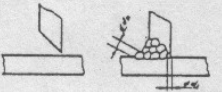
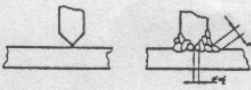
Afhængig af plastrmateriale og krav til svejsforbindelsen kan de visse varmluftsblesere anvendes. Svejsbleserens varmeydelse skal kunne reguleres over en trinløs, justerbar modstand, transformator, eller syres elektronisk. Lufttilførslen kan ske via kompressor eller indbygget blæser eller fra trykbeholder. Luften skal være ren og fremfor alt fri for vand og olie. Trykluft fra flaske er for uøkonomisk, det samme gælder for nitrogen. Nitrogen bruges dog til svejsning af stærkt liggende kunststoffer, f. eks. visse typer polyethylen. Da de forskellige plastrkvaliteter ved en given temperatur kræver forskellig luftmængde, er det en fordel at kunne regulere denne ved hjælp af en reduktionsventil. Nødvendig svejsetemperatur, luftmængde og svejsestryk kan fås i tabel 1, side 32-35. Kontrol af svejsetemperaturen kan foretages med termometer, elektrisk, eller også ved hjælp af temperaturkridtstifter, Thermochrom®. Disse stifter indikerer temperaturen ved et farveskifte 1-2 sekunder efter, der er påsmurt den opvarmede del. De kan anvendes, om området 65-600° C. Det er vigtigt, at kontrolmålinger fore-

tages på samme måde fra gang til gang. Forsøg til målemetode med termometer, se fig. 2.

c. Svejsflugetyper

Svejsfluger ved svejsning i termoplastiser svarer stort set til de typer, vi kender fra svejsning af metaller. Særligt egnede er V-fluger og X-fluger, se figur 3. Anningvinklen er 60-70° C. Hvor det er umuligt, skal X-flugen anvendes allerede ved materialetykkelser over 3 mm. Herved opåds ikke kun besparelser af tilsatsmaterialer og arbejdstid, men man opnår også bedre styrke i svejssømmene. Er det umuligt at undgå V-fluger i tykke emner, er det nødvendigt ved stærkt belastede dele at have en perfekt gennemsvæjsning, eller endnu bedre at fjerne svejsvulsten på bagsiden og derefter eftersvejs. T-svejsninger, hjørnesvejsninger og overlapsvejsninger er uheldige på grund

Fig. 3	Fuge	Gods-tykkelse	Svejsetråd diam.	Beskrivelse
	V-fuge uden eftersvejs	op til 4 mm	d_L ds 2 3-4	$d_L = 1$ svejsetråd $ds =$ Efterfølgende tråde Svejses med afstand mellem pladerne.
	V-fuge med eftersvejs	op til 4 mm	2 3-4	Svejses uden afstand enklere og mere sikker end med afstand. 1) V-fuge svejst fra en side. 2) bagside fases op til $\varnothing 2$ mm tråd. 3) dæk svejst.
	X-fuge	over 4 mm	2 3-4	Svejses symmetrisk om midterlinje. 1) svejst fra en side 2) bagside fases op til $\varnothing 2$ mm tråd. 3) bagside svejses.
	Skarpkantet hjørnesvejs med V-fuge	op til 4 mm	2 3-4	Svejses med afstand mellem pladerne 1) gennemsvest uden efterfølgende bagsvejs. 2) faset på bagside og eftersvejst. En hjørnesvejsning af denne type egner sig kun til svagt belastede dele.

Fuge	Gods-tykkelse	Svejsetråd diam.	Beskrivelse
	Afrundet hjørnesvejs med V- eller X fuge afhængig af plade-tykkelsen	Alle	d_L ds 2 3-4 Eksemplet: svejst med afstand. Denne form for hjørnesamling bør altid foretrækkes.
	T-stød svejst på én side	op til 3 mm	2 3 Egner sig kun til svagt belastede emner.
	T-stød svejst på begge sider	op til 3 mm	2 3 Egner sig også kun til svagt belastede dele.
	T-stød med halv V-fuge	op til 4 mm eller tykkere, hvor K-fuge ikke kan anvendes	2 3-4 Svejses med afstand Denne fugetype vælges kun, såfremt K-type ikke kan anvendes.
	T-stød med K-fuge	Alle	2 4 Svejses med afstand, bagsiden fases ren inden svejsning. K-fuge bør vælges til alle hårdt belastede dele.

Varmluftsvæjsning

af muligheden for kærvdannelse og skal så vidt muligt undgås ved hjælp af konstruktiv, rigtig udformning. Visse plastrmateriers store kærvfølsomhed medfører i svejseområdet en stærk formindskelse af materialetyksen. En enkel kærv opstår under svejsning kan bewirke en reduktion på 50% eller endnu mere. Det er derfor en vigtig grundårsætning for enhver, der konstruerer svejste dele, at undgå, at svejssomme faldet sammen med hjørnekærv, som det er tilfældet i mange kar og beholdere. Svejsen må på sin side være meget opmærksom på, at svejseoverfladen er fuldstændig kærvfri. Dette opnås bl.a. ved at fylde fugerne op, således at de ligger over grundmaterialehøjde. Se figur 4.

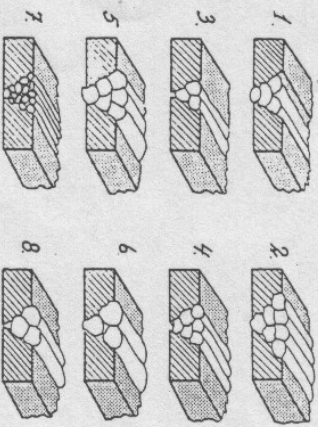


Fig. 4. Typiske fejl ved sømopbygning:
 1. Fugen er ikke opfyldt (kærvdannelse).
 2. For stor åbning/vinkel (skærpning) af fugen.
 3. Manglende gennemsvæjsning.
 4. Kærvvirkning i sømoverflade.
 5. Kærvvirkning ved overgang fra søm til plade.
 6. Svejsetrådens er valgt for tykke.
 7. Svejsetrådens er her modsat valgt for tynde.
 8. Ingen gennemsvæjsning, fordi trådene er for store i forhold til afstanden mellem svejsestrykkerne.



Til sammenligning en korrekt udført svejsning.

d. Klargøring til svejsning

Svejsesarbejdet lettes meget ved en omhyggelig klargøring af svejselugen. Svejsningens kvalitet er i høj grad afhængig af en rengjort svejsefuge og svejsetråd. Svejsetråd leveres fra DUKADAN A/S i dimensioner som vist i figur 5. N.B. Bemærk altid samme svejsetråd som plade.

Dele, der skal sammensvejses, skal tilpasses med omhu. Pladekanten tilskåret på hånd- eller rundsav skal afglattes med afretter, håndhøvl eller med en træklinge, en såkaldt zieh-klinge. En glat flade påvirkes af en ensartet varme, hvortilmod en ru flade let bliver for varm på alle høje punkter og herved udsættes for forbrænding. En forbrænding ses tydeligt som en misfarvning af materialet (brun eller sort).

Alle ikke-afskrabede dele skal rengøres med et rengøringsmiddel, således at ikke kun eventuelle urenheder, men også en kemisk opbygget overflade, fjernes. Enhver svejsefuge, der ikke er forberedt, umiddelbart før svejsningen påbegyndes, skal altid endnu en gang trækkes ren med zieh-klinge. Det samme gælder svejsetråden. Hvor vigtig rentrækning af fuger og tråd er, ses af forsøg gjort på lange svejsninger. Såfremt hver enkelt svejsetråd, på det stykke svejsetråden dækker, ikke rengøres umiddelbart før svejsningen, falder styrken i svejsningen med op til 20%.

Overkudsområdet (fugen ved siden af svejsetråden) fjernes ved hjælp af zieh-klinge eller skraber, inden næste tråd lægges. En ren og gennemført fuger er den gode svejsets visitkort.

e. Svejsning med runddyse

Svejsning med runddyse anvendes mest til konstruktion af kar, beholdere og mindre dele af hård PVC. Til polyethylen og polypropylen derimod anvendes fortrinvis hurtigsvejsedyse.

Vi forudsætter nu, at materialdelene, der skal sammensvejses, er forsynet med rigtig fuger iflg. afsnit c samt rengjort som beskrevet i afsnit d, og at svejsblæseren er temperaturindstillet til netop den type plast, der skal sammensvejses. Se tabel 1, side 32-35. Materialerne fastspændes ved hjælp af svejsesklemmer eller skruevinger. Er det tynde plader, afskives de bag svejselugen, se figur 6. Svejsblæseren holdes i højre hånd under en vinkel på 45° med pladerne, der skal

Varmluftsvæjsning

Materialforkortelse: PVC/PE/PP/PVDF
 Fremstilling: Extruderede

Form: Svejsetråd
 Tolerance: DVS 2211

Emne/Dimension	Ø		B	B	
	mm	mm			
Rund PVC W/ES/CAW	2	3	5	8	
	3	4			
	4	5			
	5	6			
Rund PE-HD	2	3	5	8	
	3	4			
	4	5			
	5	6			
Rund PP	2	3	5	8	
	3	4			
	4	5			
	5	6			
Rund PVDF	2	3	5	8	
	3	4			
	4	5			
	5	6			
Trekant PVC			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Trekant PE-HD
					60° eller 80° vinkel = α
Trekant PP			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Trekant PE-HD
					60° eller 80° vinkel = α
Drilling PVC - 60°			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Drilling PE-HD - 60°
					60° eller 80° vinkel = α
Drilling PP - 60°			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Drilling PE-HD - 60°
					60° eller 80° vinkel = α
Drilling PVDF - 60°			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Drilling PE-HD - 60°
					60° eller 80° vinkel = α
Alle tråde er indlæst eller pladeformer.			5	8	
					60° eller 80° vinkel = α
					Drilling PE-HD - 60°
					60° eller 80° vinkel = α

Varmluft svejsning

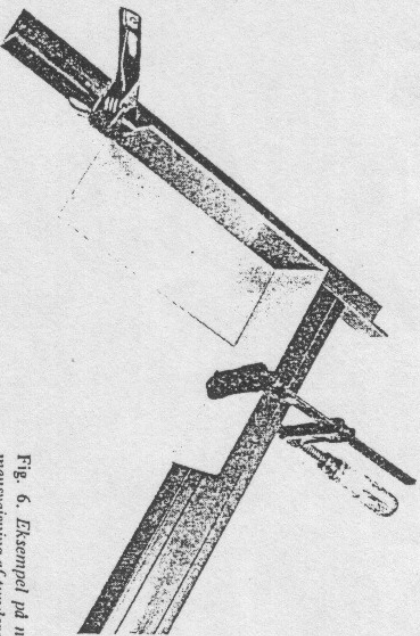


Fig. 6. Eksempel på nedventilig afstivning ved sammensvejsning af tyndere emner.

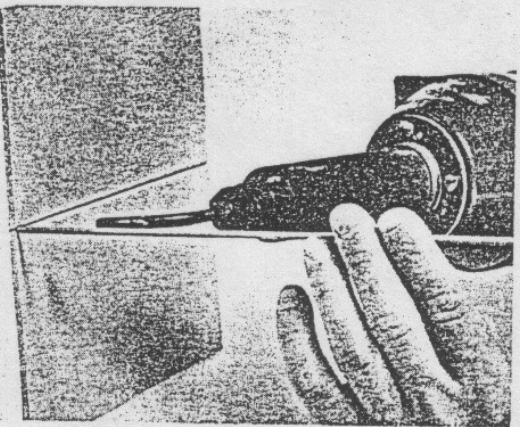


Fig. 7. Svejselæser lodret over og parallelt med svejseluge. Tråd 90° med svejsested i alle retninger.

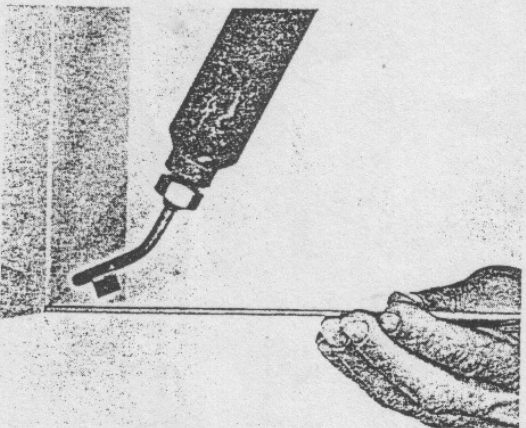


Fig. 7a. Svejselæser ca. 45° med svejsested. Trådføring 90° med svejsested.

Varmluft svejsning

sammensvejses, og parallelt med og lige over svejselugen, se figur 7 og 7a.

Svejsetråden, der forinden i den ene ende er skærpnet 45° til 60°, holdes i venstre hånd med skærpningen pegende i svejseretningen. Skærpningen bevirker, at man let kan presse spidsen af svejsetråden ned i grundmaterialet, eller at dette er opvarmet. Endvidere lettes starten af svejsningen, idet tråden ruller fremad over skærpningen. Samtidig lettes afslutningen af rundsvejsningen, idet begyndelsen af svejsetråden har en jævn, skrå flade, hvorpå sluttråden kan lægges.

Svejsetråden holdes i en vinkel på 90° til alle sider med grundmaterialet. Denne vinkel holdes såvel i start som under svejsningen. Efter at svejsestedet (lugge og tråd) nu er opvarmet til den temperatur, hvor det er plastik (overfladen bliver blank, og der dannes små blærer), presses svejsetråden ned i grundmaterialet. Trykket på tråden skal ved hård PVC være følgende:

Tråddiameter	Tryk
2 mm	1 kp
3 mm	2 kp
4 mm	3 kp

Når trådspidsen er trykket ned i det plastiske grundmateriale, føres svejseulysen i pendulbevægelser (til PVC) og til polypropylen i en kredsløbe bevægelse, se figur 8, samtidig med at trykket på svejsetråden bibeholdes. Den pendulende bevægelse med opvarmning på grundmateriale samt forsidens af svejsetråden og det konstante tryk på svejsetråden bevirker, at tråden løber fremad og presses ned i grundmaterialet. Se figur 9. Forløbet fra start til stop af sammensvejsning af plader ses i figur 10.

Som det fremgår af figur 11, forårsager et mindre eller uregelmæssigt tryk en kraftig reduktion af styrken i svejseløbsindslussen. Ud over svejsetryk og rigtig svejsetemperatur er en korrekt trådføring af afgørende betydning. Som det ses af figur 12, fås den bedste styrke ved svejsning i PVC med trådføring i hånd ved en trådvinkel på 90° med grundmaterialet. En for stærkt bøjede trådføring af tråden skal undgås, idet det medfører, at tråden strækkes, og der opstår

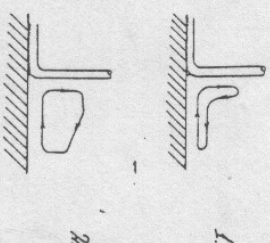


Fig. 8. Føring af dyse:
Dyseføring ved svejsning med runddyse.
1. Ved svejsning i PVC.
2. Ved svejsning i PP.

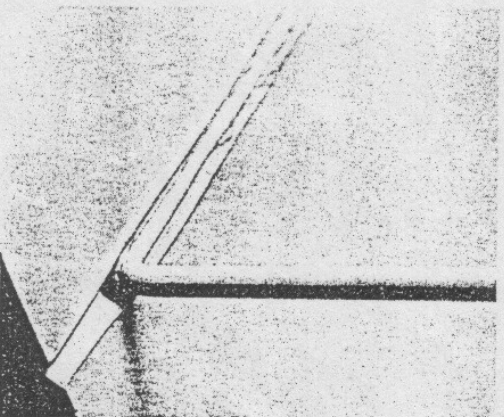


Fig. 9. Detailoptagelse af svejseluge ved korrekt varmluft svejsning i hård PVC. Bemærk fuld svejseluge og lodret trådføring.

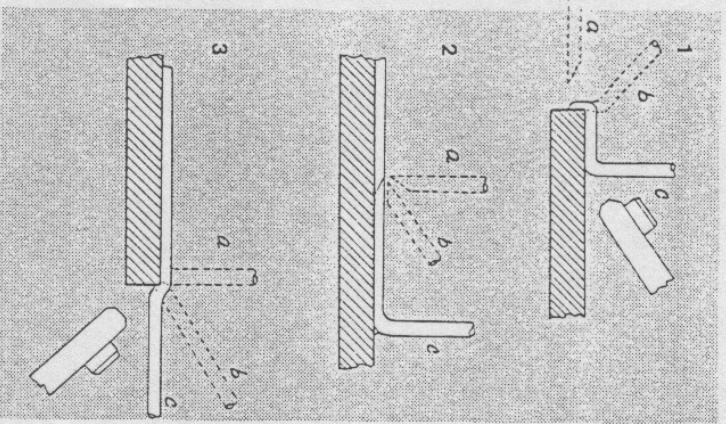


Fig. 10. Trådledning ved svejsning med runddyse:

1. a. Trådposition ved forvarmning af begyndelsesstedet.
- b. Omhyggelig runding omkring kant så kevr undgås.
- c. Lodret position inden at forcere svejsningen. Herefter undgås spændinger, der kan opstå, hvis tråden strækkes.
2. a. Begyndelse ved efterfølgende svejsetræde.
- b. Ved at føre tråden på denne måde, fås en sikker og tæt svejsning.
- c. Herefter igen lodret position.
3. a. Afslutning ved kant.
- b. Tråden føres ned over kant, herefter umiddelbart ned i kevr.
- c. Tråden må ikke „trækkes ned“, men skal svejses helt ned over kanten.

spændinger, se figur 13 og 13a. Disse giver under afkøling eller ved en ny opvarmning lærbud eller ved senere belastninger eller påvirkninger af kemikalier farlige sprøbrud.

En fremoverbøjning af svejstråden forhindrer en tilstrækkelig binding mellem stav og fug. Afgørende for svejsekvaliteten er også den rigtige og ensartede opvarmning af grundmateriale og svejstråd i svejse-zonen. Brunfarving ved PVC eller vandige olieudtræk ved polyolefinerne (polyethylen og polypropylen) vidner om en for høj svejsetemperatur eller forkert svejseførelse. Ved en rigtigt udført svejsning skal der på begge sider af svejseområdet ligge en let

valst dannet af grundmateriale såvel som tilsatmateriale. En jævn og kærvtfri overgang fra tråd til grundmateriale er det væsentligste kendetegn på en god svejsning. Forbrændt materiale under svejsning, skal svejsningen omgøden standes, og forbrændt materiale bortskræbes, idet et sådant materiale er nedbrudt og ikke kan forbinde sig med andet materiale. Trekanter og specialkrabere er udmærkede til at fjerne forbrændt materiale med.

Ved varmluftsvæjsning af polyethylen og polypropylen med runddyse skal følgende iagttages. Disse delkristallinske materialer overgår først ved overkritiske afkølingspunkter inden for et snævert

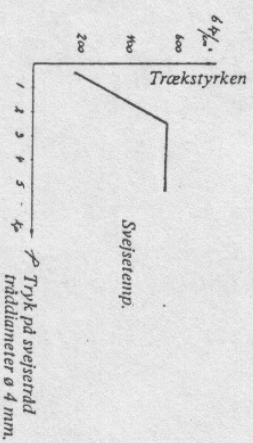


Fig. 11. SVEJSETRÅKKETS indflydelse på kvaliteten af svejseforbindelse (Kortidsprøver af hård PVC).

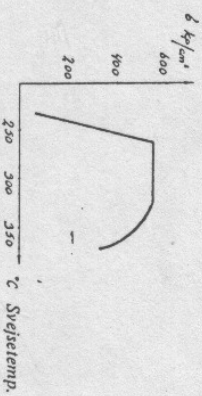


Fig. 13. SVEJSETEMPERATURENS indflydelse på svejse- resultater (se måling af svejsetemperatur side 3). Kortids svækprøver med svejseprøver af hård PVC.

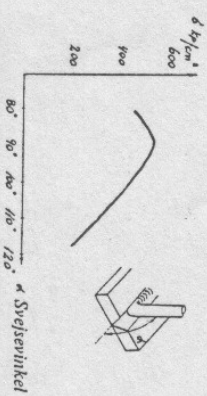


Fig. 12. Trådvinkels betydning for styrken i svejseforbindelsen.

For lille vinkel:
Risiko for at termisk beskadedt materiale presses med ned i svejseområdet.

For stor vinkel:
Tråden strækkes, og ved afkøling opstår der spændinger (ses underdelen som reneudmættelse i trådens overstele). Disse spændinger kan udløses ved senere varmepåvirkning eller ved påvirkning fra kemikalier.

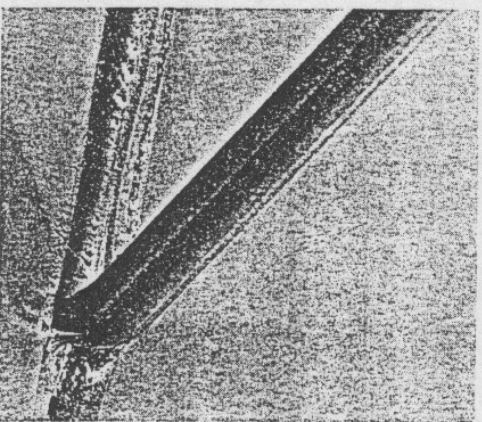


Fig. 13a. Eksempel på fejl i svejsning ved forkert trådføring. Denne fejl opdaget ofte først, når den svejste del udsættes for påvirkninger (kemiske - termiske).

Varmluftsvæjsning

Før svejsningen påbegyndes, skal det kontrolleres, at temperaturreguleringen er rigtigt indstillet. Svejsningen påbegyndes ved, at hurtigdysen uden tråd holdes hen over det sted, hvor svejsningen ønskes påbegyndt. Svejseløbet opvarmes herefter let i ca. 1 cm længde. Herefter stikkes svejseløbet gennem ledetøret og presses ned i grundmaterialet, samtidig med at svejsblæseren trækkes i svejseretningen, se figur 18. Tilstråden føres nu med hånden gennem ledetøret, medens svejsblæseren føres fremad langs den forberedte svejsfuge. Tilstråden presses af den næseformede svejsfuge i grundmaterialet. Det nødvendige tryk er ca. 1,5 kp svarende til egenvegten af svejsblæseren K5 eller K7. Trykket og svejselastigheden samt føring af tråden afpasses efter tilstrådens og grundmaterialets fælles deformation. Denne afpassning er en rutine, der opnås ved øvelse og lagtagelse af plastens egenskaber. Retningsgivende værdier for hastigheder fås af tabel 1, side 32-35. Det er vigtigt, at svejsningen gennemføres så hurtigt som muligt for at undgå termiske beskadigelser af plasmaterialet.

Den rutinerede svejser får hurtig kontrol med fremføringshastigheden, idet overskudsmaterialet fra tilstrådt og grundmaterialet danner en karakteristisk dobbeltvulst, se figur 19. Under svejsningen skal svejsblæseren altid holdes lodret over fugen, samtidig med at salen af svejsedyssen holdes parallel med grundmaterialet langs med fugen. Såfremt afstanden fra sal til grundmateriale bliver for stor, bliver forvarmningen af grundmaterialet for dårlig. Kunne dele som tør skal derfor sammensvejses med stor forsigtighed. Husk også altid at lede tilstråden med den fri hånd. Gøres dette ikke, strækkes den bløde, plastificerede tråd, og resultatet er en dårlig svejsforbindelse.

Afslutning af en svejstråd sker ved at afskære tråden i en vinkel på 30°, f.eks. med kniv, således at en ny tråd skærpet på normal måde kan påbegyndes på det skrån stykke som ved svejsning med rundsvæjs. På den måde undgås det, at man presser alt for meget termisk nedbrudt materiale ned i svejsfugen.

Til meget lange og lige svejsninger fås hurtig-automater, hvortil tilstråden leveres i ruller.

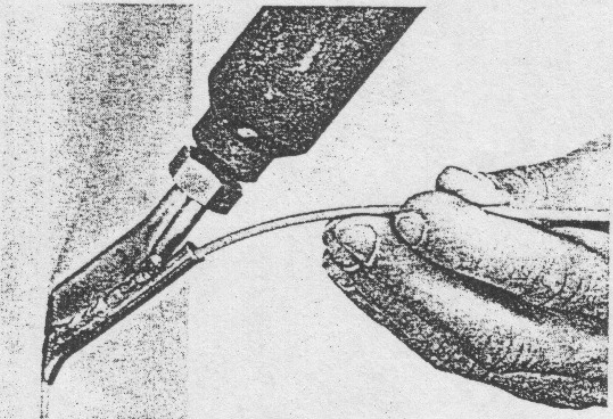


Fig. 18. Hurtigdysens stilling under svejsning parallel med svejsfladen og midt i forberedt fuge. Husk trådføring med den fri hånd.

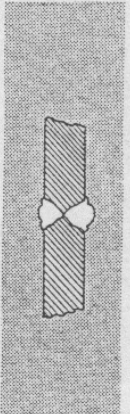
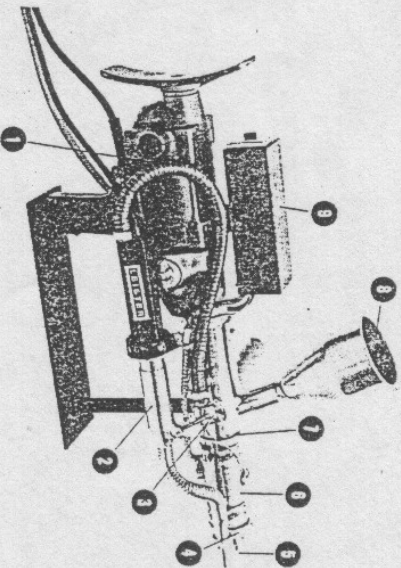


Fig. 19.

Varmluftsvæjsning



h. Extrudersvejsning.

Til sammensvejsning af store rørdimensioner eller tykkere plader (godstykkelse over 6 mm) benyttes ofte ekstrudersvejsemetoden.

Svejsenotoden anvendes primært til svejsning i polyethylen (PE) og polypropylen (PP).

Fordele ved svejsenotoden er, at man her kan lægge hele svejsesømmen i en operation og dermed mindske risikoen for termisk beskadigelse af plasmaterialet. Samtidig øges svejselastigheden seks til syv gange.

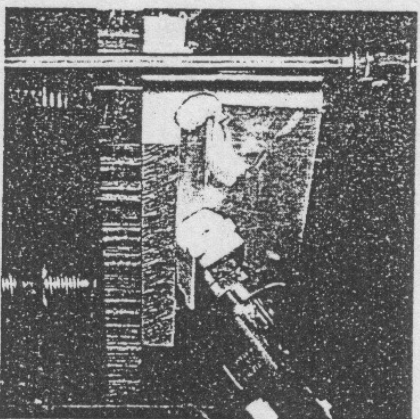
Svejsmaskinen består af en mini extruder, der trækkes af en kraftig håndboremaskine. I ekstruderetilen påfyldes plastgranulat svarende til den plasttype, der skal sammensvejses. Det er vigtigt, at granulatet er af samme type som det materiale, det skal sammensvejses, ellers vil det forføres inden svejsningen påbegyndes. Varmtørring af granulatet foretages for at undgå porøsiteter i den færdige svejsesøm.

Extruderopvarmningen styres af en præcisionsregulering, der måler plastmassens temperatur i snekkehøvelen. Til foropvarmning af grundmaterialet (plader, rør o.l.) anvendes en påmonteret standard varmluftblæser. Temperaturreguleringen sker her ved regulering af luftmængden eller via en trykstyring. Temperaturkontrol foretages på termometer.

Den trykluft, der anvendes, bringes først til køling af drivvægeat og derefter til køling af granulatindløb, hvorefter den opvarmes i varmluftblæseren.

1. Kraftigt boremaskinethver.
2. Varmluftblæser.
3. Termometer til måling af forvarmluft.
4. Extruderdyse.
5. PTFE slæbesko.
6. Varmtelegemer.
7. Snekehjul.
8. Tryk til granulat.
9. Temperaturmåler til måling af svejsensme.

Det opvarmede og homogene plastsmelte presses af snekken gennem en dyse. Dysestrørelsen varierer efter opgaven. Fra dysen føres plastmassen ud i en slæbesko, fremstillet af PTFE (Teflon). Udførelsen af slæbeskoen bestemmer svejsesømmens form. Til højresvejsninger og plan svejsning bruges altså forskellige slæbesko.



Extrudersvejsmaskinen vist i demonstration ved svejsning af PP. Bemærk den store svejsesøm.

Varmelementsvejsning

2. Varmelementsvejsning

a. Princip

Højpolymere materialer som PVC (polyvinylchlorid), PE (Polyethylen) og PP (Polypropylen) er, som allerede fortalt, opbygget af lange molekylkæder. Opvarmer man to plastdele til svejsetemperatur, f.eks. plader og svejsestrå eller to plader, og herefter sammentrykker delene, vil de svingende kædeender på kæmpernolekylerne indtiltre sig i hinanden, og ved afkøling vil delene forblive i fast kontakt. Ved varmespejlsvejsning bliver de klarførte bindeflader ved hjælp af hensigtsmæssigt fremstillede varmespejle opvarmet til den nødvendige svejsetemperatur. Herefter sammenpresses fladerne under tryk, for det meste uden tilsatsmateriale.

Ved næsten alle varmelementsvajsemetoder sker opvarmningen af den plastdel, der skal svejses, ved direkte varmeledning, d.v.s. sammenhængningsfladerne er i direkte kontakt med det elektrisk opvarmede varmelement.

Korrekt udførte varmelementsvajseforbindelser er relativt spændingsfrie, og de fleste kunststoffer, der egner sig til svejsning efter denne metode, kan efter svejsningen belastes næsten tilsvarende grundmateriale.

b. Svejsedyr

Det første varmelementsvajsedyr blev fremstillet i 1955 til svejsning af lavtryks-polyethylen, PEH. Omfattende videnskabelige forsøg og praktiske erfaringer har bevirket en kolossal udvikling af elektronisk, hydraulisk eller pneumatisk styrede svejsemaskiner til forskellige formål, f.eks. specialudstyr til svejsning af PE-rør op til diameter 1,4 m, til vindudsprofiler, til hjørnebuksevejsning af plader, T-stod og til stuk- og overlapsvejsninger af rør og plader. Varmelementerne, der kan have form som plader, skinner, kiler, skabeloner eller varmebøsninger, fremstilles fortrinsvis af rustfrit stål eller lemetallegeringer. Mange gange forsynes elementerne med PTFE-belagt glasræv, eller de får en PTFE-coating. PTFE er en forkerelse for polyetrafluorethylen (teflon), et plastmateriale, der tåler høj temperatur (250°C) og har gode slidgenskaber.

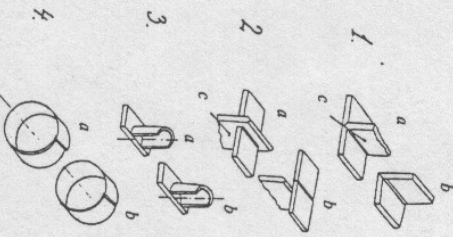


Fig. 20

- a. Varmefase
- b. Efter sammensvejsning
- c. Varnevær

c. Svejsetyper

På figur 20 vises 4 forskellige typer varmelementsvajninger. Punkt 1: Hjørnebuksevejsning. 2: Spejlsvejsning. 3: Stodvejsning. 4: Overlapsvejsning.

d. Svejsespejl (Varmeflader)

Spejlfacconen og den spejlliggende overflade på de først fremstillede svejseplader gav svejsemetoden sit navn, spejlsvejsning. Et modernere svejsespejl leveres i form af en rund eller rektangulær varmeplade. Mange gange forsynet med et kileværk til hjørnebuksevejsning, se figur 21. Ved rektangulære varmeplader kan det være svært at opnå den nøjagtige, jævnt fordelte varme på hele fladen.

Af et godt varmespejl må man forlange, at temperaturvariationen på fladen ligger inden for $\pm 5^\circ\text{C}$.

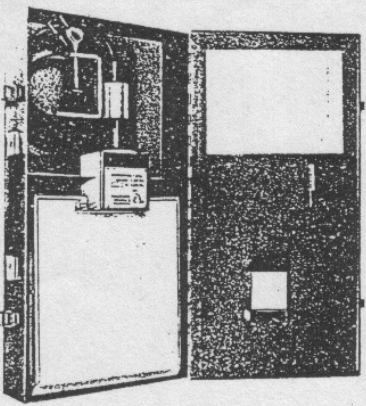
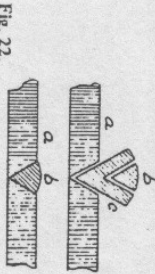
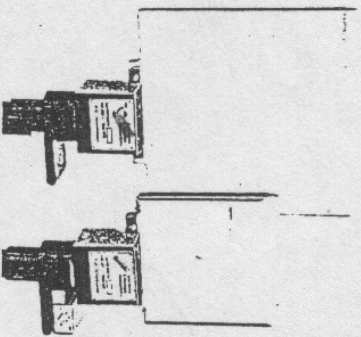


Fig. 21. Svejsespejl

Håndsvajsespejl til stukvejsning

Håndsvajsespejl:	Håndsvajsespejl med teflonbelægning, indbygget termostat eller elektronisk regulering. Kontroll-lampe i håndtag for net- og intervalkontrol. Tilslutningskabel med sikr. Praktisk bærerkasse, hvorpå varmespejlet kan monteres såvel vertikalt som horisontalt.	
Diameter	Volt	Watt
Type HS 200T (Bimetallstermostat)	220	800
Type HS 201E (Elektronisk termostat)	220	800
Type HS 300T (Bimetallstermostat)	220	1500
Type HS 300E (Elektronisk termostat)	220	1500

Dette må også være gældende over længere tid ved vekslende omgivelsestemperaturer såvel som under vindpåkvikning. På forkert fremstillet udstyr måles temperaturvariationer på op til $\pm 20^\circ\text{C}$. Dette medfører en uregelmæssig plastificering på de dele, der skal sammensvejses, og resultatet heraf er en dårlig svejsforbindelse.



- a. Materiale der skal svejses
- b. Svejsestrå
- c. Varmekile

En variant af varmespejlet findes i varmekilen, figur 22. Her kræves ingen variation af spejlfladen eller af tilspændings- og trykudstyret. Til svejseluger af samme type anvendes et og samme værktøj, blot opvarmes der i elper. Med dette udstyr opvarmes såvel flagesiderne som siderne på det kileformede tilsatsmateriale. På denne måde kan de enkelte dele trinvis opvarmes til svejsetemperatur, og „kilen“ (tilsatsmateriale) trykkes ved hjælp af trykkreds eller trykkrulle sammen med grundmaterialet med en korrekt udført varmekilevejsning med tilstated kan der opnås særdeles gode svejseresultater. Metoden er dog noget arbejdskrævende og derfor ret ukononomisk, til gengæld er udstyret billigt. Til svejsning af store rørdelinger i PE og PP findes der varmelementsvajsemaskiner, der kan anvendes direkte under nedlægning af rørene. Opvarmning af spejlet kan være elektrisk eller gas/olieopvarmet, samtidig med at sammenpressingen af rørene sker pneumatisk eller hydraulisk.

Varmeelementsvejsning

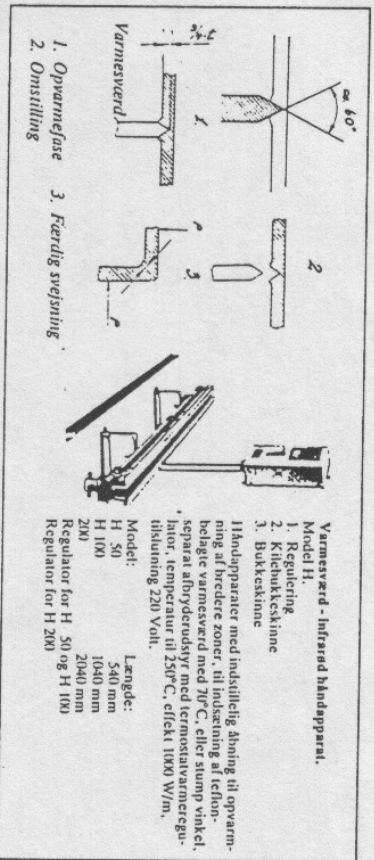


Fig. 23.

e. Varmesværd
Til fremstilling af formbestandede, skarpkantede hjørner ved plader af PE, PP eller PVC-blandingspolymeriserer egner hjørnebuksvejsningen sig godt, idet der her sker en bukning samtidig med en svejsning. Ved metoden bukses fra 1/4 til højst 1/3 af plade-tykkelsen til en ny form, medens de resterende 2/3 af plade-tykkelsen sammensvæjses, se figur 23.

For at der ved denne svejsemetode kan opbygges det nødvendige svejsetryk, skal varmeelementet fremstilles i en sådan form, at det ved indtrængen i plast-pladen ikke fortrænger for meget af det plastiske materiale. Elementets spids skal altså fremstilles med en 10-30° mindre vinkel end den ønskede færdigvinkel. Herved sikres den efterfølgende svejsning, idet der ved sammenføddningen af den indsmeltede V-luge opbygges en trykzone, se figur 23.

Varmesværd fremstilles i længder på 2000 mm eller endnu mere. Ved opvarmning og under svejsprocessen må metalbjælken højst bøje sig nogle få tiendedele mm, og endvidere må temperaturen over hele længden kun variere 15° C inden for temperaturområdet 150-280° C. Disse krav viser, at kun meget nøjagtigt og stabilt industriverk egner sig til kanthuk-svejsning.

Normalt bygges varmesværd således, at de også

Varmesværd - Infrarød handapparat.
Model H.
Regulering
2. Kiehubkesskivne
3. Bukkeskivne
Handapparater med indstilliglejlighed til opvarmning af brede zoner, til indklemning af ledningsseparat afbrydere med termovarmeregulering, temperatur til 250° C, effekt 1000 W/m, tilslutning 220 Volt.
Model: H 50
H 100
ZM
Længde: 540 mm
1040 mm
2040 mm
Regulator for H 50 og H 100

kan anvendes til stumpsvejsning af større plader. Denne kombination bevirker kraftige og derved dyre maskiner, dog er de nødvendige i ethvert hensigtsmæssigt indrettet produktionsværksted.
Kanthuk-svejsmaskiner med op til 4 sværd findes i handelen, styret fuldautomatisk med nøjagtigt regulerbare tidsintervaller og arbejdsryk.

f. Varmetråde

Til samling af hvide PE-rør og PP-rør er der udviklet forskellige elektriske svejsemetoder. I princippet er det næsten altid muligheden eller specielle svejsninger med metaltrådsviklinger. De 10 tråder tilsluttes stikkåse og reguleres elektronisk. Den gennemgående strøm opvarmer fittingsdelen indvendig og førenden udvendig til den nødvendige svejsstemperatur. På grund af den lokale opvarmning forhindres materialet i at udvide sig. Dette sammen med en krympeproces på fittingsdelen får fittings og rør til at presse sig sammen til en fast forbindelse. Svejsning med modstandstråd har i de senere år opnået en god udbredelse blandt håndværkere. Dette skyldes, at metoden er enkel og sikker. Primært svejst i dag afløst af PE

og PP med gode resultater efter den beskrevne metode. Eneste ulempe ved denne metode er, at modstandstråden bliver indelukket i plasmaterialerne, se figur 24. (Især uheldigt inden for den kemiske industri).

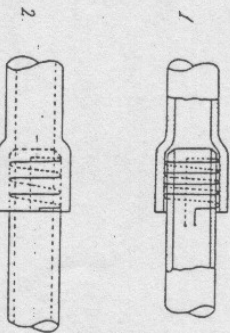


Fig. 24.

1. Modstandstråde monteret i mellemrum mellem muffer og rør.
2. Svejsning afsluttet, tråden er afklippet. Mufferen er ved opvarmning fra modstandstråden, krympet omkring trådspole og rørende, og spolen ligger nu indkapslet i det sammensvæjste materiale.

g. Klarlægning til svejsning

At afgørende betydning for svejseresultatet ved varmeelement-svejsning er, ligesom ved varmluft-svejsning, en hensigtsmæssig forberedelse af svejselugen og en omhyggelig rengøring i svejszonen. Fugefladerne skal altid rengøres spåntagende. Dette gøres let med en skraber, kniv, zieh-klinge, høvl eller et specialværktøj. Fremfor alt skal man sikre, at snittet er planparallelt med en overfladerethed så lille som vel muligt. Ligledes skal små plastspåner omhyggeligt fjernes, således at varmeelementet ikke utilsmudses mere end højst nødvendigt. Herved opnår man en sikkerhed for en ensartet plastificering af svejselugen.

Varmeelementsvejsning

h. Opvarmning af svejszonen

Forholdene under opvarmningsfasen ved stuksvejsning er undersøgt såvel videnskabeligt som praktisk under vidt forskellige forholdninger. Resultaterne viser, at de ideelle forholdninger aldrig er til stede. Derfor må man vælge det bedste kompromis fra sag til sag. Varmeelementets temperatur er afhængig af materialet, af temperaturfaldet mellem varmeelement og materiale, af svejselvarmsnit, af trykket og af opvarmneliden. Opvarmelrykket er på den anden side afhængig af viskositætsændringen og skal udlignes med denne. Det skal reduceres, efterhånden som svejszonen bliver mere tyndflydende, se figur 25. Herved fås en mindre varmelødnig fra opvarmneliden, og dette har gunstig indflydelse på spændingerne i svejszonen, men også her er der grænser for, hvor langt man kan gå, idet jo større den plastificeringszone bliver, jo større bliver de efterfølgende krympespændinger på tværs af svejselugen.

Til spejlsvejsninger af polyolefiner er det bedste forvarmningstemperaturinterval ca. 60-70°C over kristallisationspunktet. Som det ses af figur 26, er temperaturen for højtykspolyethylen PEH ca. 180°C. For lavtykspolyethylen PEH ca. 200°C og for polypropylen PP ca. 220°C. Ved PE og PP nås den temperatur, hvor det er teoretisk muligt at svejse, allerede lidt over kristallisationsmeltpunkter. Teoretisk slutter svejsmuligheden i et punkt på varmeskalaen, der i praksis er meget vanskeligt at fastlægge. I dette punkt begynder den termiske nedbrydning af materialet, allerede når emnet trykkes mod varmespejlet.

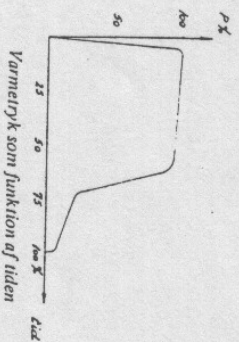


Fig. 25.

Varmelementsvejsning

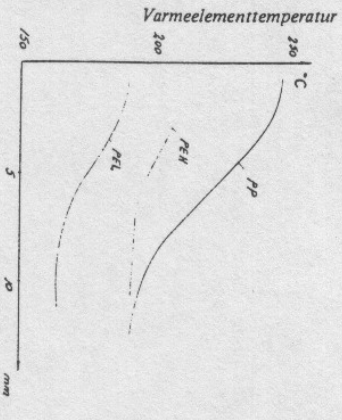


Fig. 26. Varmelementsfaldtemperatur ved forskellige godstykkelse.

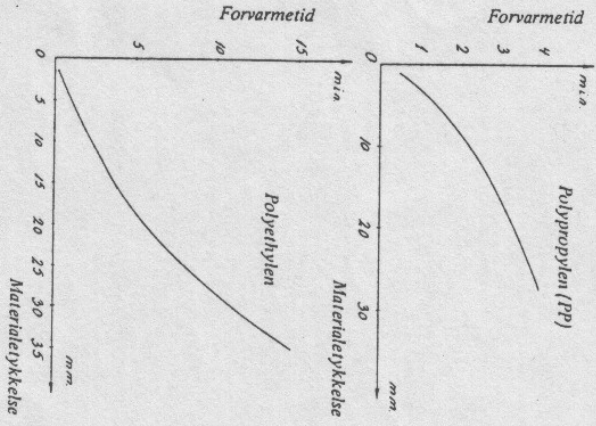


Fig. 27. Rengingsvænde kurver for forvarmetid ved forskellige materialetykkelse.

Af mangel på forståelse for kvalitet og økonomi i svejseprocessen vælges svejseøjstemperaturen ofte alt for høj. Dette bevirker, at der med større svejseflader med den korte tid, der er til rådighed, ikke kan opnås ensartet viskositet. Endvidere giver kort opvarmingsstid ved tykkere emner en for lille smelte-lykkelse, idet varmestållingen på grund af emnets tykkelse bliver mindre. Dette ses også af figur 27 og 27-1, idet opvarmingsstiden her varierer med emne-lykkelsen.

Med mulighed for megen strålingsvarme fås kort opvarmingsstid, omvendt, hvis strålingsvarmen mindskes, medfører dette længere opvarmingsstider, og dette kræver på den anden side en lavere forvarme-temperatur, således at termisk nedbrydning af materialet undgås. Ligeledes er det ved længere svejsetuger, hvor anlægsfladen mellem spejl og emne kan være dårlig, nødvendigt med længere opvarmetid ved en lavere temperatur. Disse komplekse forhold medfører, at opvarmetiden i praksis desværre alt for ofte må fastsættes efter størrelsen på den dannede valst. Som hindregel kan det derfor være nødvendigt retningsgivende at oplyse, at en smeltezone på ca. 2 mm med en opvarmetid på 30-100 sekunder normalt fører til et brugbart resultat. Sammenpressingsstrykket skal her være ca. 1-2 kp/cm² svejseflade og senkes til 0,05-0,1 kp/cm², se figur 28. Naturligvis skal der altid arbejdes med rent og fejlfrit varmelement, da der ellers med sikkerhed opstår fejl i svejsningen, se figur 29.

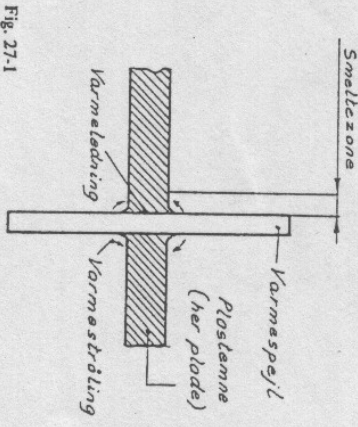


Fig. 27-1

Varmelementsvejsning

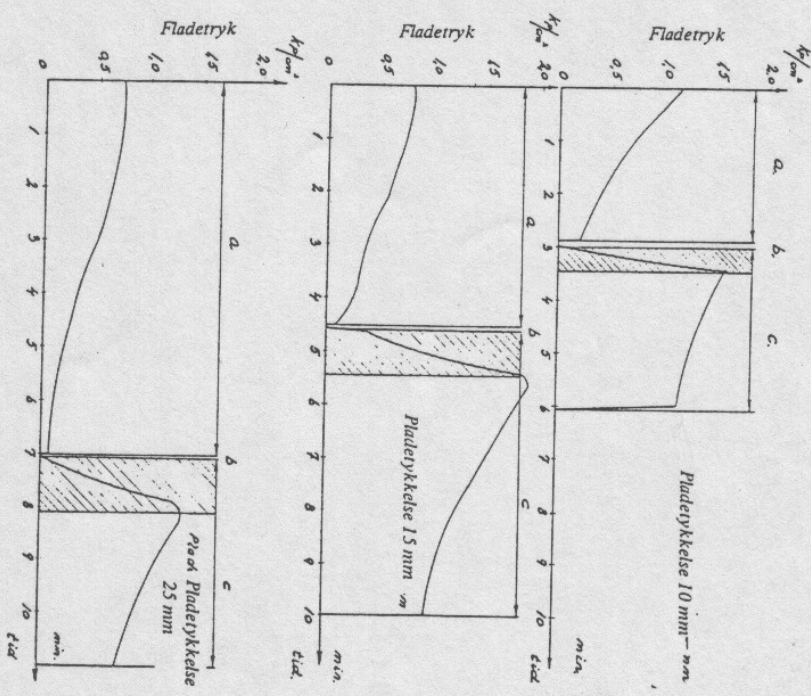
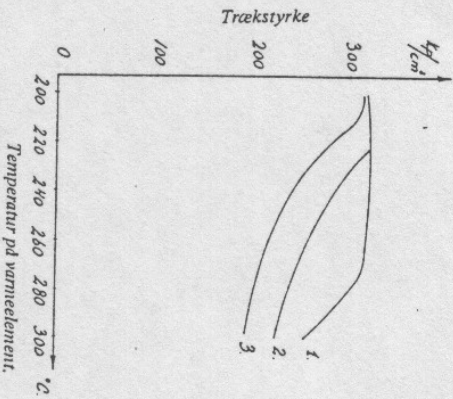


Fig. 28. Trykforløbet ved staksvejsning af forskellige tykkelser polyethylen (PE H) (HOSTALEN GM 5010)

- a = opvarmingsperiode
- b = omstillingsstid
- c = svejse- og eftertryktid

Varmelementsvejsning



1. Varmeflade rengjort med smergelretted efter hver svejsning
2. Varmeflade rengjort med acetone
3. Varmeflade ikke rengjort

Fig. 29. Ikke rengjort varmelements indfyldelse på kvaliteten ved sammensvejsninger af polypropylen.

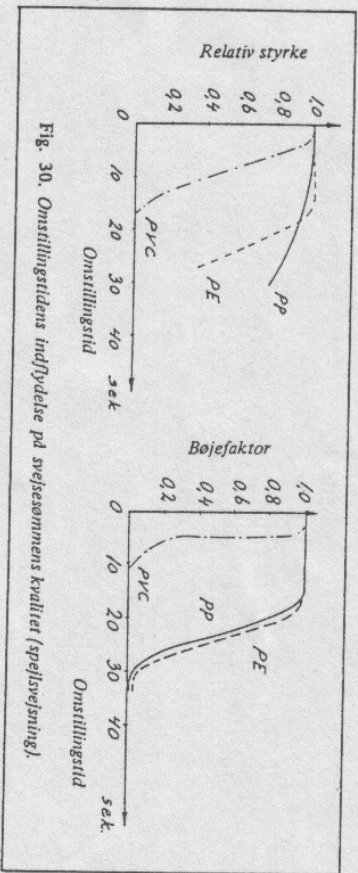


Fig. 30. Omstillingstidens indflydelse på svejse sømmens kvalitet (spejlsvejsning).

i. Omstillingstid fra opvarmning til svejsning

En af de faktorer, der ved varmelementsvæjsning har indflydelse på slutresultatet, men som desværre alt for ofte overses, er omstillingstiden, d.v.s. den tid, der går fra emnet løsnes fra varmepladen, og til svejsningen er i gang. Under denne omstillingstid kan luftens til påvirkning af opvarmede flade og herved nå at danne en oxidfilm. Desuden afkøles svejseliden relativt hurtigt med stigende omstillingstid. Forsøg viser, at den hurtige afkøling af svejsezonen under omstillingsprocessen påvirker svejseresultatet mest. Dog øges ømfindligheden over for sprøbrud ved polyolefiner (PE og PP) på grund af opbygningen af oxidflader. Omstillingstiden skal derfor foregå hurtigst muligt. De seneste undersøgelser viser, at man bør tilstræbe omstillingstider på 2-5 sekunder, og samtidig at omstillingstider over 15 sekunder i alle tilfælde medfører svejsninger af dårlig kvalitet, se figur 30.

j. Svejsning og afkøling

Erfaring vundet gennem talrige forsøg viser, at en ideel svejsforbindelse kun kan fås, når svejsningen foreløber under et tryk fra alle sider, således at der ikke sker nogen deformation i svejsezonen. Dette krav kan desværre kun sjældent i praksis opnås med det svejse-udstyr, der er til rådighed.

Ved svejsbegyndelsen skal molekylkæderne fra delene, der skal sammensvejes, indføres i hinanden, d.v.s. at der sker et pladskifte af de enkelte molekyler og/eller molekyldele, og herved opstår en slags diffusion i grænseområdet mellem de dele, der skal sammensvejes. Tryk, tid og mekanisk bevægelse be- gunstiger denne proces. Lille molekylvægt, høj tem- peratur og højt tryk skulle derfor umiddelbart være en fordel. Desværre er det ikke sådan, idet korte kædelængder giver dårlige mekaniske egenskaber. Høje temperaturer medfører blivende skader på mo- lekystrukturen, og et for højt tryk giver en orien- tering af molekylerne i deformationretningen (para- lelt med aksen). Denne termoplastiske formning i grænsezone til det kolde grundmateriale er hovedårsagen til dårlige svejsforbindelser, idet en orientering af molekylkæderne under formning giver en øget ma- terialestyrke, når formningen sker i længderetningen (trådrækning), hvorimod styrken hurtigt falder i for- hold til grundmateriale, når formningen sker i tværetningen.

En trækpåvirkning af en svejse søm svarer normalt til belastning af grundmateriale på tværs af for- mningretningen. Dette forklarer de dårlige styrkesul- tater. En optimal svejsning kan da kun fås, når der i sømzonen ikke sker nogen formning. I arbejdspraksis er dette desværre kun muligt i enkelte tilfælde, nem- lig når et meget moderat svejsetryk anvendes således, at der kun fremkommer en lille vilst, og afstanden mellem de to koldzoner herved bliver stor, se figur 31.

For at man efter denne metode stadig kan få den nødvendige indfildning af molekylkæderne, viser de nyligste resultater, at optimal styrke opnås, hvis de to dele ved svejsbegyndelsen bevæges let imod hinan- den.

For nærværende sammensstillinger viser, at ethvert kunststof behøver et tidsafhængigt optimalt svejse- tryk, og at dette igen afhænger af materialets

Varmelementsvejsning

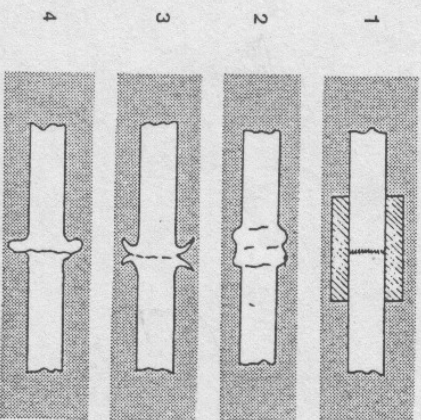


Fig. 31. Typiske svejse sømme ud fra forskellige svejsbetingelser:

1. Rigtigt udført - med støtdebakker.
2. Rigtigt udført - stor afstand til den kolde zone.
3. Forkert, svejsetrykket ved svejsbegyndelsen har været for stort.
4. Forkert, viskositeten har tydeligt været forskellig

flydeevne. Det er derfor vigtigt, at svejsetrykket altid, også under svejseoperationen, er afpasset efter materialets viskositet i svejsezonen. Derfor skal trykket holdes så lavt som muligt, for at undgå en skadelig deformation i svejsezonen. Et stigende tryk afstemt efter de afkølede deles viskositet bør til- stræbes. Herved udlignes der for volumenkrympin- ger og svejsepenning, se figur 32. Trykket skal teoretisk opbygges efter materialets volumen/tempe- raturkurve, og skal holdes, til svejsezonen er afkølet til mindst 50°C. En homogen, finkrySTALLIN struk- tur giver ikke kun ved metallerne, men også ved kunststofferne de bedste styrkeegenskaber.

Varmelementsvejsning

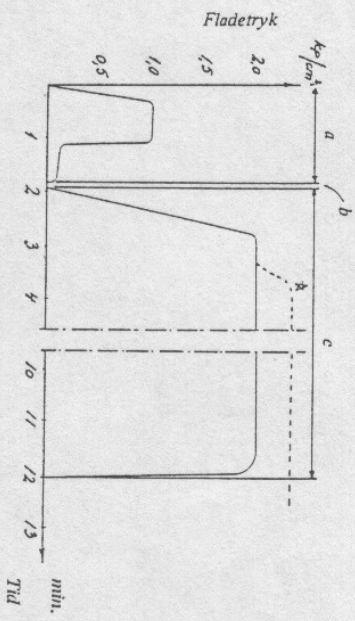
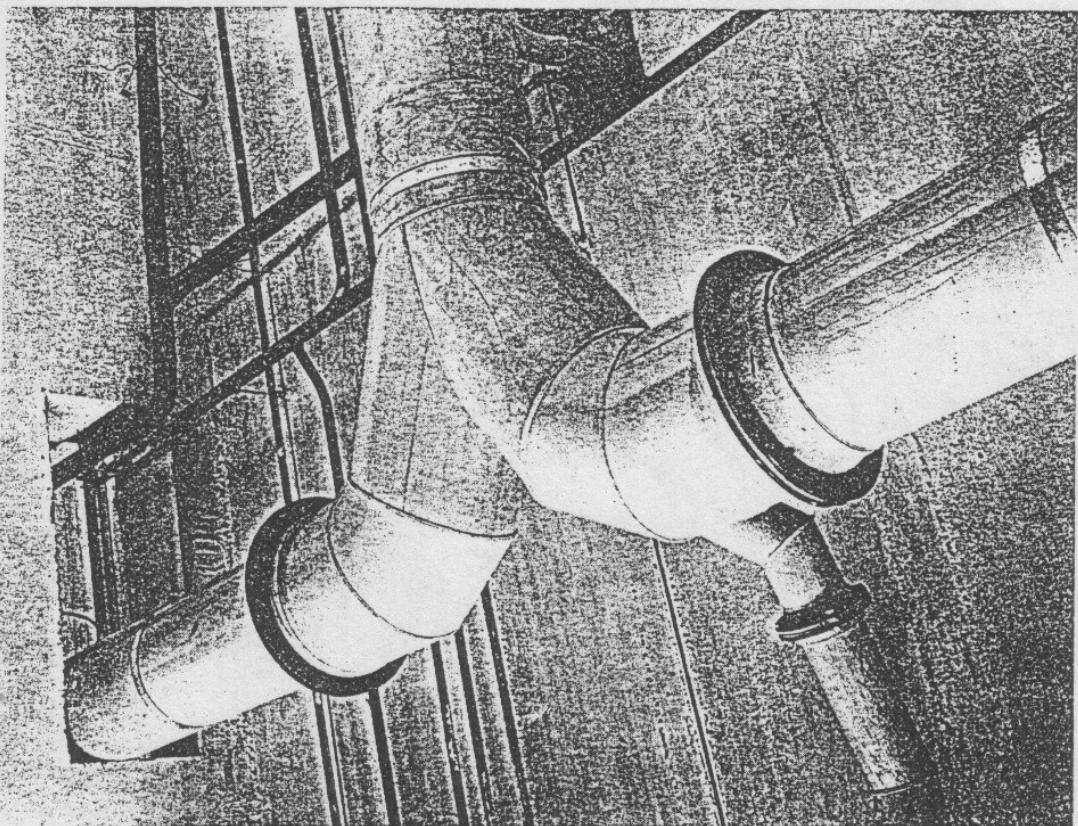


Fig. 32. Forenklet eksempel på et tidstryk-diagram, der viser sammensvejsning af en PEH-for med guldtykkelse 7 mm.
 x Yderligere øgning af svejsetryk, hvis godstyrkkælsen overstiger 14 mm. Dette for at undgå spændinger på grund af sammentrækninger i opvarmzonen.

- a. Opvarmingstid/tryk
- b. Omstillingstid
- c. Sammensvejsningstid/tryk

Varmelementsvejsning



Andre svejsemetoder

3. Andre svejsemetoder

a. Friktionsvejning

Ved friktionsvejning opvarmes berøringsfladerne til nødvendig svejsetemperatur ved hjælp af friktionsvarme. Herefter sammenrykkes fladerne og sammen-svejses uden tilsatståd. Rotationsemner egner sig særligt godt til denne proces. Maskinudstyret kan være drejbænk, boremaskine eller specialbygget friktionsvejseparat, se figur 33. Følles for maskinudstyret er, at rotationen må kunne afbrydes brat, for eksempel ved hjælp af en kobling. Skal rotationen løbe langsomt ud og kun stoppes af friktionen, er der fare for svejsebrud, idet den kolde plastdel fjerner for megen varme fra svejsezonen, inden sammenpresningen kan finde sted.

Den relative hastighed mellem dele, der skal sammensvejses, varierer mellem 90-400 m/min. Trykket under opvarmningen såvel som under svejsebegyndelsen ligger mellem ca. 2,8 kp/cm². Friktionsvejning anvendes til fremstilling af industrielle seriedele, som f.eks. aerosoldåser, reguleringsventiler, beholdere, apparat- og beslagdele, m.m. Materialer som polypropylen, polyethylen, polystyren, polyvinylchlorid og polyacetal egner sig til friktionsvejning. Metoden anvendes dog også til andre materialer. Figur 34 viser eksempler på friktionsflader.

Friktionsvejseeksempl: Den ene af de dele, der skal sammensvejses, spændes i kløerne, det andet stykke fastspændes på sleden, således at det centerer og hugter med stykket i kløerne. Herefter påbegyndes rotationen, og delene føres let sammen. Friktionstladerne tilpasser sig herved hinanden. Efter en kort tilpasningsperiode øges trykket, indtil der på berøringsfladerne opnås den nødvendige svejsetemperatur, kendetegnet ved en lille voldsdannelse. Nu standses rotationen, og delene holdes sammentrykket. Forholdene vedrørende tryk/temperatur, som omtalt under spejlsvejning, henføres til denne metode. Efter tilstrækkelig afkøling er friktionsvejningen afsluttet.

b. Ultralydsvejning

Ultralydsvejningen hører til én af de mest moderne svejsemetoder. I princippet forstærkes en ultralydsenergi frembragt af en impulsgenerator i et tilpasset

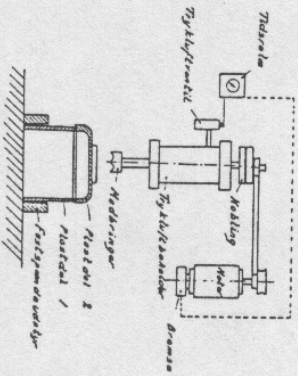


Fig. 33. Skematisk opbygning af en friktionsvejsemaskine. Mulighed for hurtig stop samt efterfølgende tryk er af stor betydning.

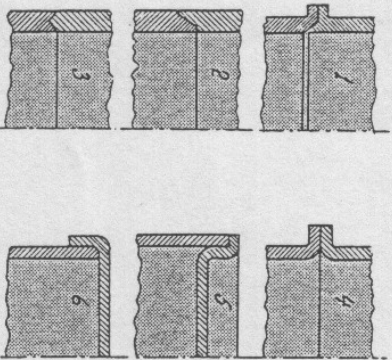


Fig. 34. Eksempler på egnede friktionsfladerformer:
1. centreret stumpsamling.
2. skråsamling.
3. V-samlingsfluge.
4. stumpsamling.
5. hindvendig stumpsamlingsfluge.
6. udvendig stumpsamlingsfluge.

værktøj kaldet en sonotrode, se fig. 35. Sonotroden placeres på svejseparten, og her igennem overføres energien til svejsestedet. Gennem et passivt, d.v.s. et svingningsdæmpende underlag eller ved hjælp af et aktivt virkende underlag (et underlag, der reflekterer svingningsenergien) styres metoden. Ved hjælp af forskellige udformninger af sonotroden og underlaget kan metoden anvendes til mange typer svejseopgaver eller til ind sætning af metaldelle i sprøjtestøbt emner. Typiske anvendelsesområder er emballager af enhver art, f.eks. suppeposer, tuber og slanger m.m. Inden man går i gang med ultralydsvejningen, betaler det sig at rådføre sig med materialeleverandørerne såvel som med leverandør af svejseudstyr. Plastmaterialernes svejsemulighed med ultralyd afhænger meget af materialets dampningsevne, og hvorledes denne ændrer sig med temperaturen. Såvel polyolefinerne som polyvinylchlorid hører til de kunststoffer, der leder ultralyd mindre godt. De egner sig derfor kun til nærsvejsning, d.v.s. en svejsning, der finder sted umiddelbart i nærheden af sonotrodens anlægsflade. Afstanden mellem sonotroden og svejsefladen er i sådanne tilfælde for det meste mindre end 5 mm. Godsvykkeligheden på svejseparten må erfaringsmæssigt ikke overstige 3 mm, og svejseflængden bør holdes under 80-100 mm. Længere svejseamlinger kan fremstilles ved at forskyde sonotroden en længde og igen svejse. Denne metode er dog ofte uøkonomisk.

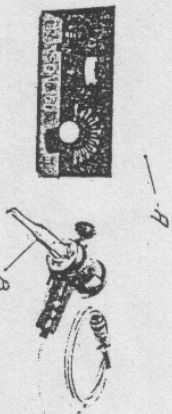
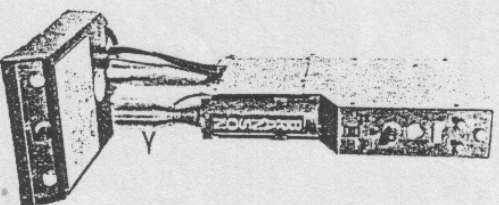
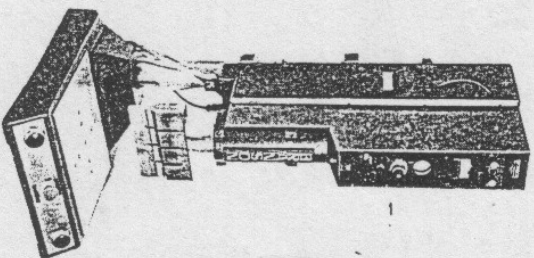


Fig. 35. Transportabel ultralyds svejseudstyr.
A Impulsgenerator
B sonotrode
C Branson Sonic Power S.A., København.

Andre svejsemetoder



Prøvning af svejsforbindelser

4. Prøvning af svejsforbindelser

Ethvert værktød må regelmæssigt gennemføres kontrol af svejseomskvaliteten. Dette uddanner personalet og fører til en god kvalitet. Sædvanligvis kombineret med teknologiske prøver som trækforsøg og bøjningsforsøg er som værktøjskontrol tilstrækkelig. Videnskabelige, fejlfrie undersøgelser om egenskaber i en plastsvæjsning kan kun afgives efter omfattende langtidstests. Korttidstests viser ikke, om svejsesommen har de optimale egenskaber. Tidsfaktoren er også her af afgørende betydning.

Med simple trækforsøg kan der på relativ kort tid findes typiske, dårlige svejsforbindelser, se figur 36. Erfaringen viser, at man ud fra korttidstest med perfekte svejsninger kan regne med svejsfaktorer på 0,8 ved PVC og helt op til 1 ved polyethylen og polypropylen. Gennemsnitsforsøget kan gennemføres improviseret i ethvert værktøj. Det egner sig dog kun betinget til overlagsmæssig kontrol af styrkeegenskaber ved svejseommemene i polyolefiner. Der udtages vinkelter på den ubearbejdede svejsesom prøver på 15-50 mm bredde og 150-250 mm længde. Savbladerne trækes fri for kærver ved hjælp af zieh-klinge. Disse prøvestrimler bøjes over en dom med en radius på 6-8 mm. Som håndregel for gode sømsegenskaber gælder det, at dele af polyethylen og polypropylen skal kunne bøjes 180° én gang uden at brække.

En ødelægelsesfri afprøvning af plastsvæjsforbindelser er mulig. Det er dog vanskeligt med såvel røntgenbillede som med ultralydsoscillogram. Desuden er der mangler ved disse metoder, idet en mangelfuld binding eller træktrækning ikke kan konstateres. Et røntgenbillede garanterer ikke i alle tilfælde en god svejskvalitet. Som specialområde skal det dog bemærkes, at der ved varmelemlingssvejsning af store polyethylenrør med en røntgenopløselighed kan fastslås, om der er lunker i svejsezonen. Til visse formål afprøves lætigheden af rørbindinger og af beholdere, folier, aflæskninger, m.m. med en gråstiletter. Gennemgående huller kan på denne måde meget let findes.

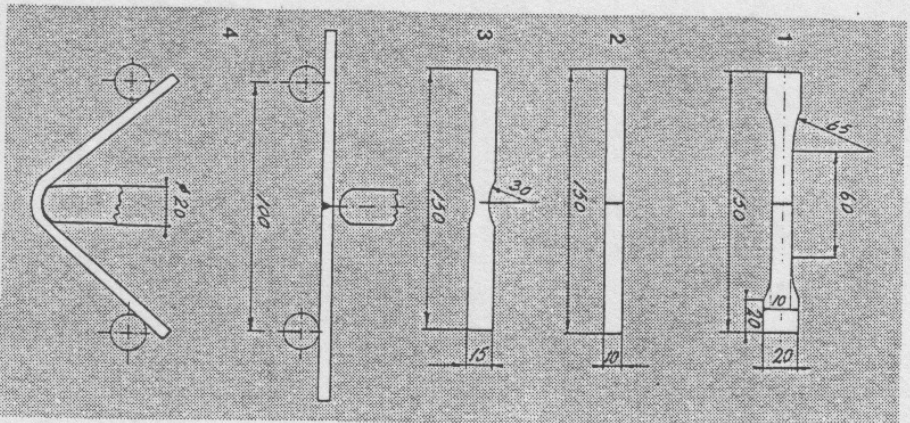


Fig. 36. Praktisk anvendelige styrkeafprøvninger af plastsvæjsforbindelser.
1. ISO trækprøve.
2. Strimmelprøve.
3. Afvundet trækprøve.
4. Foldet-bøjepøve.

Svejsertigtige konstruktioner

5. Svejsertigtige konstruktioner

Ethvert svejseom kan påvirke en konstruktionsdels egenskaber på ugunstig vis. Konstruktionen må derfor være svagere end svejsezonen giver, sammenlignet med en ikke-svejst flade, og hvilke faktorer har konstruktivt må sættes på for at forhindre en for tidlig ødelæggelse.

Følgende retningslinier skal følges, for at en konstruktion er lavet svejseteknisk korrekt:

1. Påvirkninger, som den færdige del bliver udsat for, skal fastlægges i hvert enkelt tilfælde, f.eks. beregnet anvendelsestid, driftstemperatur, påvirkninger af kemikalier, vind, lys med mere, mekanisk påvirkninger, brandforhold.
2. Den egnede plasttype skal vælges ud fra nødvendige kvaliteter og ikke ud fra pris.
3. Den bedst egnede, plastfærdige samlemetode og konstruktionsdetalje skal omhyggeligt fastlægges. Man skal anvende færrest mulige svejsfluger, og disse bør så vidt muligt placeres i svagt belastede dele. Såfremt plasttypen og konstruktionen tillader det, bør limforbindelser vælges i stedet for svejseømme. Ved stærkt belastede svejsforbindelser anvendes kun K- eller X-sømme såfremt varmelemlingssvejsemetoden eller specialmetoder, som f.eks. mulfesvejsning og friktionsvejsning ikke kan anvendes. Belastede kile- eller hjørnesamlinger kan kun anvendes hvor de bliver udsat for statiske påvirkninger og til overførsel af sekundære kræfter. Ingen bærende gevind må laves i termoplast. Ved flangeforbindelser skal der anvendes løse flanger af metal eller termohærdende plast (glasfiber, Etronax, e.l.). Så vidt det er muligt, skal der kun arbejdes med afprøvede materialer.
4. Det nødvendige materialtværsnit skal beregnes ud fra langtidstyrke og ydre påvirkninger. Ugunstigt belastede svejsfluger kan reducere en konstruktions levetid til det halve. Nøje afslømte svejsfluktorer skal derfor anvendes fra sag til sag.

5. Eventuelle brandsikringsregler skal iagttages ved fastlæggelse af godstykkelse, og forudsætningsmæssigt for en brandsikker konstruktion skal overholdes.

6. For at undgå kærver og tilstræbe et ensartet kraftforløb i hele konstruktionen skal følgende overholdes: Pludselige tværsnitændringer skal undgås. Ved stød af forskellige materialer/tykkelser skal det tykke emne løbe ud på det tynde. Planlæg ingen indvendige eller udvendige hjørner. Kile- og hjørnesømme samt overlapsvejsninger undgås, d.v.s. ingen svejseømme i hjørner, se figur 37, ingen afrundede svejseømme, hjørnesvejsninger ved ringsvejsning lukkes, svejseømme ved dynamisk belastede dele skal altid udføres kærverfri eller fjernes.

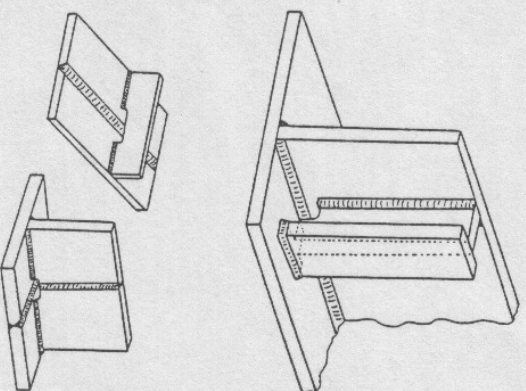


Fig. 37. Eksempler på, hvorledes man kan undgå ansamlinger af svejseømme.

Svejsertigige konstruktioner

7. Fleraksede spændingsstilande, overlappende spændingsstilande, sammenløbende eller krydsende svejse sømme samt ansamlinger af svejse sømme skal undgås, se figur 38. For at spændinger af enhver art, især varmespændinger, kan undgås, skal der konstrueres fleksibelt. Krympninger og deformationer af svejse søm og materiale skal overvejes. Svejserækkeløben: forvarmning eller spændingsudløsning, skal nøje fastlægges. Ved varierende driftstemperaturer skal der især tages højde for plastrmaterialernes store varmenudvidelseskoefficienter. Halvfabrikaternes egenspændinger skal der også tages højde for.

8. Under udførelse af emnet i værksted eller under montage skal følgende iagttages: Arbejdspladsen skal være ren, og svejsetilgngen forberedt og rengjort. Der må ikke tilføres spændinger på grund af dårligt forberedte og dårligt tilpassede dele. Ved varmgassvejsning må kun smalle, kærsvifte, homogene og svagt forhøjede svejse sømme efterlades. Kun ved hjælp af egnet svejseudstyr, regulering og måleudstyr samt veluddannede fagfolk og overvågning af processer kan man være sikker på at få en optimal svejsestyrke.

9. Kontrol ved hjælp af destruktive prøvemøder af prøvesvejsninger og eventuelt ved hjælp af sikprøver på udført arbejde skal ligeledes gennemføres.

Som det fremgår af foranstående, er plastsvæjsning ikke en samlingemøde, man bare foretager, men en arbejdsproces, der, når den udføres korrekt, er til at regne med. Ved omhyggeligt arbejde og kontrol lærer den dygtige håndværker at kombinere de faktorer, der har indflydelse på netop den svejseopgave, han står med, således at han kan aflevere et forsvarligt udført stykke arbejde.

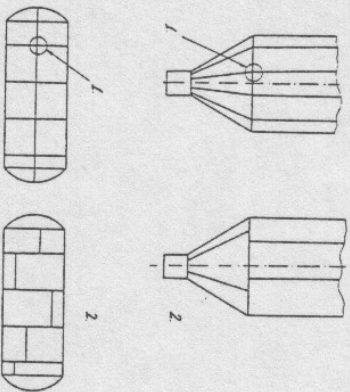
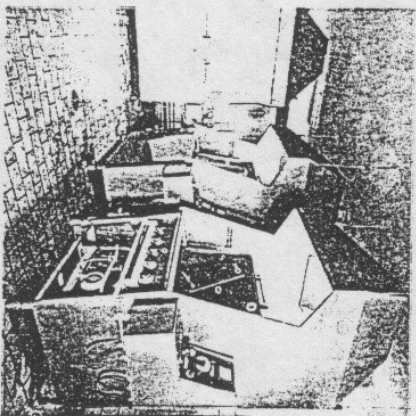
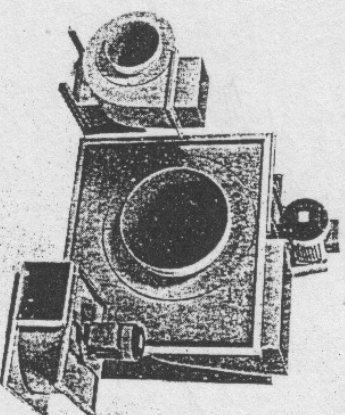


Fig. 38. Exemples på dårlige og gode, svejste konstruktioner.
1. Krydsende svejseråde giver risiko for termisk beskadigelse af plastrmaterialerne.
2. Forskydning af samlinger sikrer de bedste styrkeforhold.

Svejsertigige konstruktioner



Klithæftemaskiner samt udsugningsanlæg fremstillet i PVC ved hjælp af varmluftsvæjsning.



Udsugningsventilatorer til laboratorierne – kemisk industri – fremstillet i PVC ved hjælp af varmluftsvæjsning.

Efterbehandling af svejste konstruktioner.

I mange tilfælde er det nødvendigt at fjerne svejse sømme for at give det svejste produkt den rette finish. Efterbehandlingen kan foretages på mange måder, f.eks. ved hjælp af fræsning, høvning, filning eller skræbning, efterhjul af en pudser eller polering.

Det er vigtigt, at der ikke påføres materialerne nogen form for kærsv under efterbehandlingen, især ved skræb og filning kan det være risikø for kærsvdannelse, såfremt skræberen eller filen "smutter". Det er let at påvise, hvad en ridse i et plastrmateriale betyder. I et sejl og slagflast materiale som polypropylen uden ridser kan f.eks. en 2 mm pladeprovø bøjes og bukkes sammen et utal af gange, men blot en enkelt

ridse fra et stemmejern eller skræber er kærsv nok til at materialerproven ved næste bøjeprøve springer. Enhver svejse søm skal derfor efterlades uden nogen form for kærsv.

Det kan være nødvendigt at fremstille specialskræber, der tilpasses forskellige rundingsradier. Gamle koldsvæklinger, slaglodder til et håndtag, er velegnede. Det er naturligvis vigtigt, at skræberen er skarpstillet.

Efter skræbeprocessen kan der afsluttes med silbning med finkornet silbepapir. Her er det vigtigt at undgå for voldsom varmenudvikling som følge af et for stort tryk på pudsemaskinen.

Silbepasta kan også anvendes eller en efterpudning med Slipol eller voks kan benyttes.

En omhyggelig og rigtig udført efterbehandling af svejse sømme kan fjerne så at sige ethvert synligt bevis på en svejseansamling, men det skal bemærkes, at det er en kostbar proces.

MATERIALE	VARMLUFTSVEJSNING	VARMEELEMENTSVEJSNING	FRIKTIONS SVEJSNING
PVC Polyvinyl- chlorid	Svejsbar Lufttemperatur 240-325° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejsehastighed 15-25 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejsehastighed 50-70 cm/min. Tryk på tråd ø 3 mm 2,0 kp	Svejsbar Elementtemperatur 220-250°C Tryk v. opvarmning 0,5-1,0 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 2,0-4,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed 100-500 m/min.
PE blød højtryks- polyethylen	Svejsbar Lufttemperatur 200-240° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejsehastighed 12-20 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejsehastighed 50-70 cm/min. Tryk på tråd ø 3 mm 0,5 kp	Svejsbar Elementtemperatur 170-200°C Tryk v. opvarmning 0,2-0,5 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,8-1,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed 100-300 m/min.
PE hård lavtryks- polyethylen	Svejsbar Lufttemperatur 230-260° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejsehastighed 12-20 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejsehastighed 40-60 cm/min. Tryk på tråd ø 3 mm 1 kp	Svejsbar Elementtemperatur 190-210°C Tryk v. opvarmning 0,5-0,75 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,5-2,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed 100-300 m/min.

TABEL 1

TABEL 1

MATERIALE	VARMLUFTSVEJSNING	VARMEELEMENTSVEJSNING	FRIKTIONS SVEJSNING
PC poly- carbonat	Svejsbar Lufttemperatur 450-500° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato	Svejsbar Elementtemperatur 390-410°C Tryk v. opvarmning 0,1-0,3 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,5-1,0 kp/cm ² Ved opvarmning med strålevarme: Elementtemperatur 450-500°C Afstand fra varme- element ca. 1 mm	Svejsbar emnet tørres i ca. 12 timer ved temperatur 120-130°C Svejsning gennem- føres og emnet varmtempereres
PA polyamid (Nylon)	Betinget svejsbar Lufttemperatur 260-360° C Varmemiddel Atm. luft over 300°C Kvælstof: Luftmængde 25-42 l/min. Lufttryk 0,05-0,3 ato Svejsehastighed 20-30 cm/min.	Svejsbar Elementtemperatur 230-270°C Tryk v. opvarmning 0,4-0,6 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,75-1,0 kp/cm ²	Svejsbar hastighed 50-90 m/min.
P M M A Polymethyl- metacrylat Akryl Plexiglas Perspex	Svejsbar Lufttemperatur 220-250° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-50 l/min. Lufttryk 0,1-0,4 ato Svejsetråd for det meste af klar PVC	Betinget svejsbar	Betinget svejsbar

MATERIALE	VARMLUFTSVEJSNING	VARMEELEMENTSVEJSNING	FRIKTIONS SVEJSNING
Polybuten	Svejsbar Lufttemperatur 300-360° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30 l/min. Lufttryk 0,1-0,2 ato Svejseshastighed 30-40 cm/min.	Svejsbar Elementtemperatur 240-260° C Tryk v. opvarmning 0,4-0,6 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 1,0-2,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed ca. 280 m/min.
P P Polypropylen	Svejsbar Lufttemperatur 230-280° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejseshastighed 15-25 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejseshastighed 50-70 cm/min. Tryk på tråd ø 3 mm 0,1-1 kp	Svejsbar Elementtemperatur 200-220° C Tryk v. opvarmning 0,5-0,75 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 1,5-2,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed 100-300 m/min.
P O M Polyacetal	Svejsbar Lufttemperatur 240-260° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejseshastighed 12-15 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejseshastighed 40-60 cm/min.	Svejsbar Elementtemperatur 210-230° C Tryk v. opvarmning 0,1-0,3 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,4-0,6 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed må forsøges
PVDF	Svejsbar Lufttemp. 350° C Varmemiddel Luftmængde 50 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejseshastighed 15-25 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejseshastighed 50-70 cm/min. Tryk på tråd Ø 3 mm 2,0 kp	Svejsbar Elementtemp. 255° C Tryk v. opvarmning 0,8 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,8 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed: må forsøges

TABEL I

MATERIALE	VARMLUFTSVEJSNING	VARMEELEMENTSVEJSNING	FRIKTIONS SVEJSNING
P S (slagsej) polystyrol	Svejsbar Lufttemperatur 230-260° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejseshastighed 15-25 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejseshastighed 50-70 cm/min.	Svejsbar Elementtemperatur 200-220° C Tryk v. opvarmning 0,5-0,75 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,8-1,0 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar hastighed må forsøges
P E T P Termo- plastisk polyester	Betinget svejsbar Lufttemperatur 280-320° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato Runddyse svejseshastighed 6-8 cm/min. Hurtigsvejsedyse svejseshastighed 25-30 cm/min.	Svejsbar Elementtemperatur 250-270° C Tryk v. opvarmning 0,2-0,3 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,4-0,6 kp/cm ² (begyndelse) Varmeelement med P T F E belægning	Svejsbar
A B S Akryl butadien styren	Svejsbar Lufttemperatur 220-240° C Varmemiddel Atm. luft el. kvæls. Luftmængde 30-60 l/min. Lufttryk 0,1-0,5 ato	Svejsbar Elementtemperatur 200-220° C Tryk v. opvarmning 0,5-0,75 kp/cm ² (begyndelse) Tryk v. svejsning 0,8-1,0 kp/cm ² (begyndelse)	Svejsbar

TABEL I