

3.1 Nagleforbindelser Al

Nagling er sammen med sveising og skruing en av de vanligste sammenføyningsmetodene for aluminiumkonstruksjoner. En fordel med bruk av aluminiumnagling er at naglingen utføres med kalde nagler.

Når en varmklinket stålnagle avkjøles, oppstår det en betydelig klemkraft mellom delene på grunn av naglens krymping. Vi får derved friksjon mellom delene som forhindrer glidning mellom dem.

Kaldklinking av aluminiumnagler gir relativt liten klemkraft. Hele lasten som skal overføres i forbindelsen, kommer derfor til å opptas som hullkantrykk mellom naglen og platene, og som skjærkrefter i naglen.

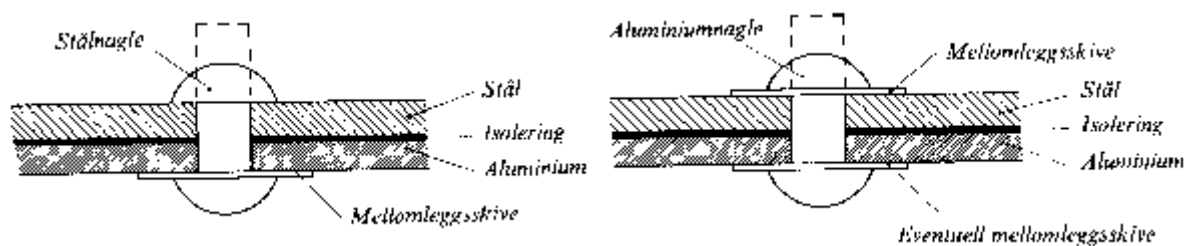
For at lasten skal fordeles jevnt på de forskjellige naglene, må naglen fylle ut hele naglehullet. Det er derfor viktig å bruke riktig hulldiameter til den nagle som skal benyttes.

1.1 Valg av Nagler

De naglene som er mest vanlige har rundt eller flatt forsenket hode. Diameter og lengde er standardisert.

Som en generell regel ved nagling av aluminium, gjelder det at vi bør bruke aluminiumnagle av samme legering som de deler som skal sammenføres. Dette er spesielt viktig på steder hvor korrosjonforholdene er vanskelige.

Hvis det er nødvendig å benytte stålnagle, må denne isoleres fra de andre delene i forbindelsen.



Figur 3.1.1
Isolering for stål og aluminium som er naglet sammen. (3)

Nagler av kobber eller messing bør ikke brukes på grunn av risikoen for galvanisk korrosjon.

Tabellen under viser vanlige naglelegeringer og deres kombinasjon med grunnmaterialet.

Grunn- materiale	Nagle	Leveringstilstand for nagler	Største dimensjon- erende spenning i nagle (N/mm ²)		Største naglediameter (mm)
			Skjærspen- ning, τ_a	Hullkant- trykk, σ_H	
Al 99,0	Al 99,0	halvhard hard	40 60	100 140	15 5
AlMg1 AlMg2 AlMg3	AlMg2,5	halvhard	90	210	25
AlMg4,5Mn	AlMg4	glødet halvhard	90 110	215 265	20 12 (20)
AlSi1Mg	AlSi1Mg	innherdet og kaldutherdet	75	180	25 ¹⁾
AlCu4MgSi	AlCu4MgSi	innherdet og kaldutherdet	140	330	12 ²⁾

¹⁾ Umiddelbart etter innherdingen, ellers 12mm
²⁾ Umiddelbart etter innherdingen

Tabell. 3.1.1

Vanlige naglelegeringer og tillatte spenninger for nagler. (3)

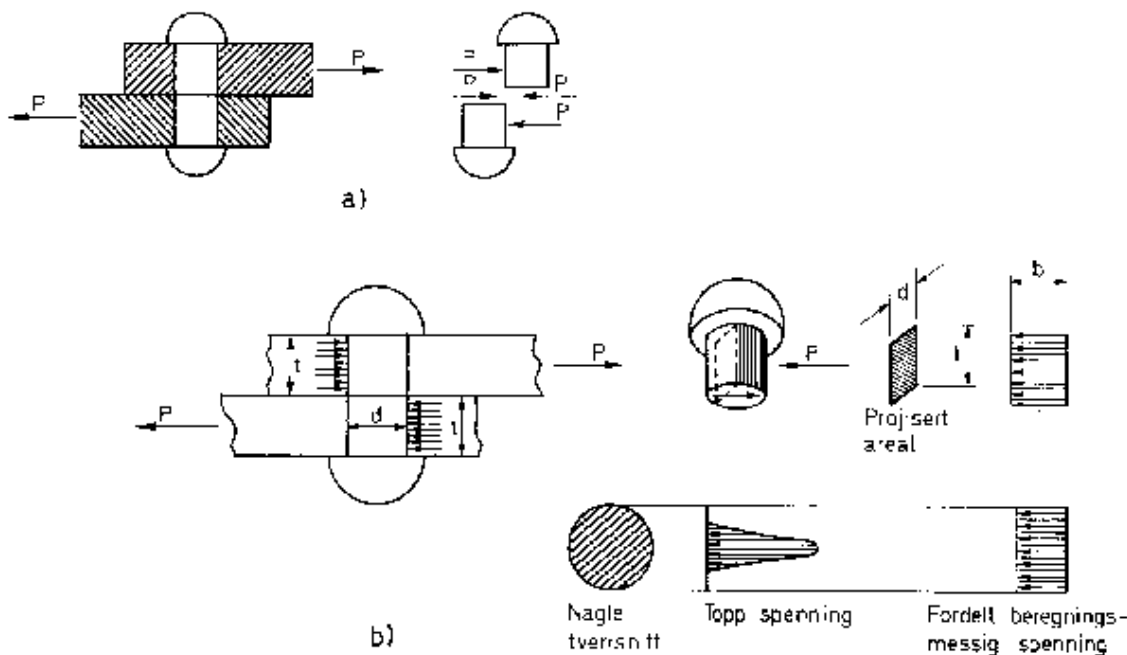
Nagler som klinkes i innherdet tilstand, utherdet i romtemperatur og oppfyller etter et par døgn de fasthetsverdiene som er oppgitt i tabellen.

1.2 Design og beregninger av nagleforbindelser

Beregninger og dimensjonering av belastede nagleskjøter skjer etter gjeldende normer og standarder.

Generelt kan verdiene for tillatte spenninger for nagler som angitt i tabellen over benyttes.

2a) Forbindelser med 1 snitt



Figur 3.1.2

a) Avskjæring i ett snitt b) Flatetrykk (hullkanttrykk) i forbindelser med ett snitt. (1)

For kontroll av belastning, P, benyttes:

- på avskjæring:

$$P = n_1 \cdot \tau_a \cdot \frac{\pi d^2}{4} (N) \quad (3.1.1)$$

hvor n_1 = antall nagler

τ_a = skjærspenning i nagle (N/mm²)

$\sigma_{0,2}$ = flytegrense (N/mm²)

d = naglens diameter etter klinking (mm)

γ_m = materialkoeffisient (0,95 – 1,44 etter NS)

Dimensjonerende skjærspenning (etter NS):

$$\tau_{a_d} = \frac{\sigma_{0,2nagle}}{\gamma_m} \cdot 0,65 \left(N / mm^2 \right)$$

- på flatetrykk:

$$P = n_1 \cdot \sigma_H \cdot D \cdot t (N) \quad (3.1.2)$$

hvor σ_H = hullkanttrykk (N/mm²)

D = hulldiameter = naglens diameter etter klinking (mm)

t = platetykkelse (mm)

Dimensjonerende hullkanttrykk (etter NS):

$$\sigma_{H_d} = \frac{\sigma_{0,2grunnmateriale}}{\gamma_m} \left(N / mm^2 \right)$$

- på brudd i grunnmaterialet ved strekk (netto flate):

$$P = t \cdot (b - n_2 \cdot D) \cdot \sigma_n (N) \quad (3.1.3)$$

hvor σ_n = strekkspenning i grunnmaterialet (N/mm²)

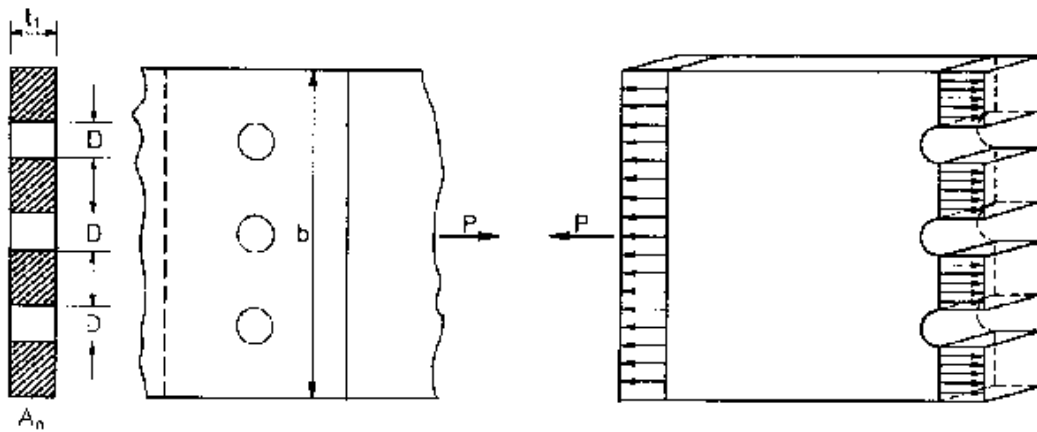
b = platebredde (mm)

n_2 = antall hull i bruddsnittet

Dimensjonerende spenning (etter NS):

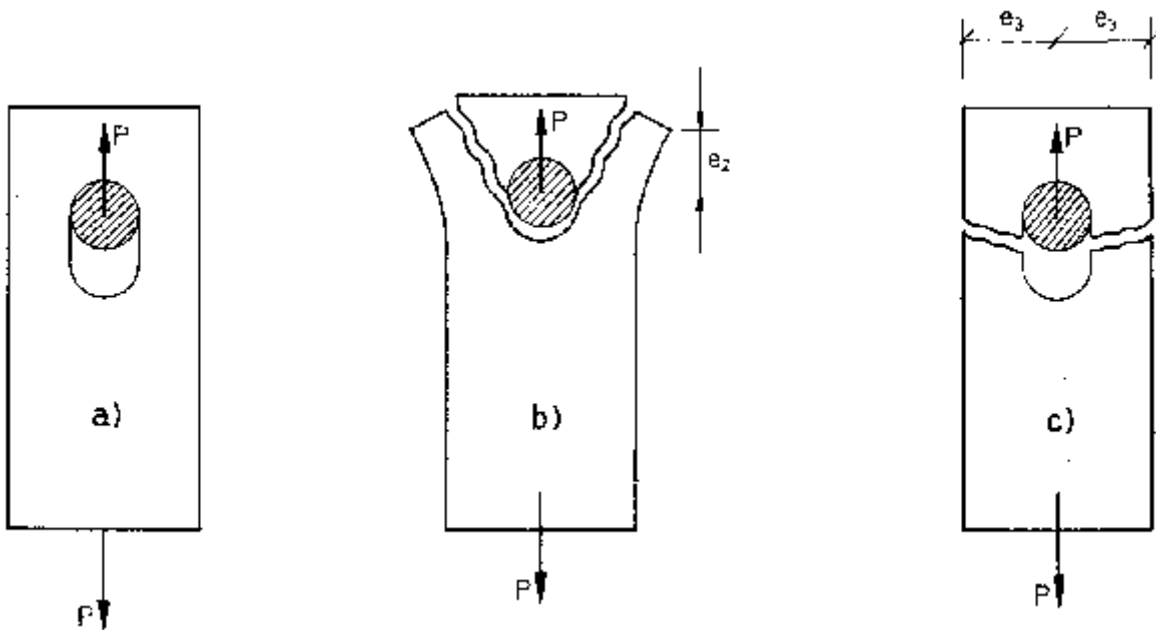
$$\sigma_{n_d} = \frac{\sigma_{0,2grunnmateriale}}{\gamma_m} \left(N / mm^2 \right)$$

Figuren under viser følgen av for stort hullkantrykk.



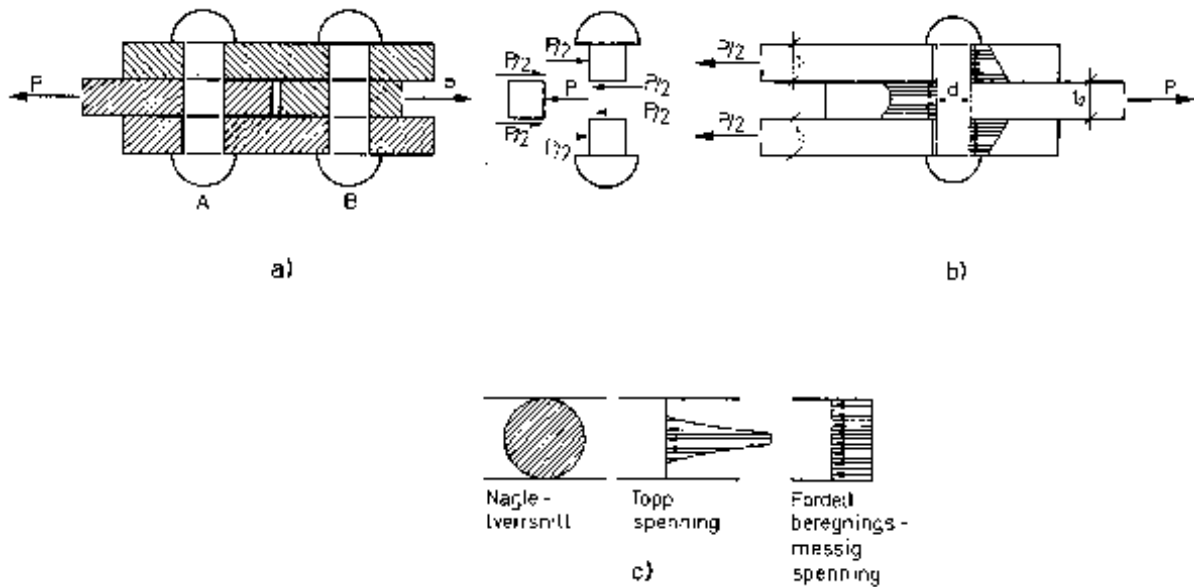
Figur 3.1.3
Brudd i grunnmaterialet, $n_2 = 3$. (1)

Hvis platen er for tynn i forhold til naglen, får vi for stort hullkantrykk, og hullene kan bli avlange. For kort randavstand, e_2 , og for svakt grunntverrsnitt (for korte sideavstander), e_3 , kan gi brudd som vist i figuren under.



Figur 3.1.4
a) For høyt hullkantrykk b) For kort randavstand c) For svakt grunntverrsnitt. (1)

2b) Forbindelser med 2 snitt



Figur 3.1.5
 a) Tosidig avskjæring b) Flatetrykk c) Hullkantrykk. (1)

For kontroll av belastning, P, benyttes:

- på avskjæring:

$$P = 2 \cdot n_1 \cdot \tau_a \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (N) \quad (3.1.4)$$

hvor $\tau_{a_d} = \frac{\sigma_{0,2nagle}}{\gamma_m} \cdot 0,75 \quad (N/mm^2)$ (etter NS)

- på flatetrykk:

$$P = 2 \cdot n_1 \cdot \sigma_H \cdot D \cdot t_1 \quad (N) \quad (3.1.5a)$$

eller

$$P = n_1 \cdot \sigma_H \cdot D \cdot t_2 \quad (N) \quad (3.1.5b)$$

Minste verdi av (7.3.1.5a) eller (7.3.1.5b) skal brukes.

- på brudd i grunnmaterialet ved strekk (netto flate):

$$P = 2 \cdot t_1 \cdot (b - n_2 \cdot D) \cdot \sigma_n \quad (N) \quad (3.1.6a)$$

eller

$$P = t_2 \cdot (b - n_2 \cdot D) \cdot \sigma_n \quad (N) \quad (3.1.6b)$$

Minste verdi av (3.1.6 a) eller (3.1.6b) skal brukes.

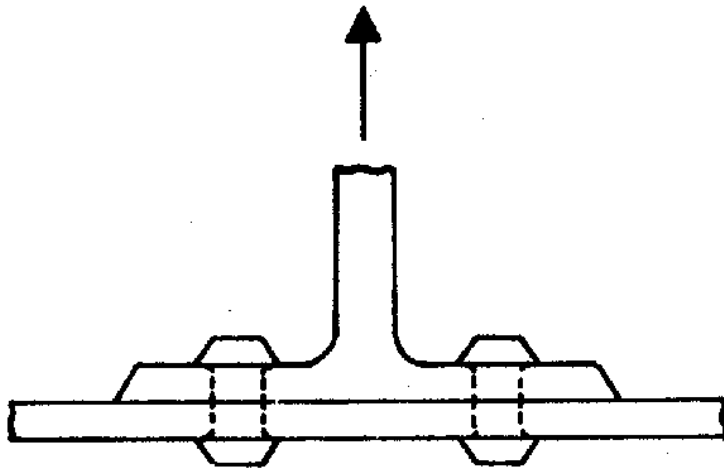
2c) Forhold mellom naglediameter og platetykkelse

For å få optimal fasthet i en skjød, må de tillatte verdiene for skjærspenning og hullkanttrykk utnyttes fullt ut. Som utgangspunkt for beregninger av naglede skjøter kan vi bruke følgende forhold mellom naglediameter, d , og platetykkelse, t :

- Overlapp eller enkeltlasket skjød:
for $t < 2\text{mm}$: $d = 2t + 2$
for $t \geq 2\text{mm}$: $(2t + 2) \leq d \leq 3t$
hvor t = minste benyttede materialtykkelse
- Dobbeltlasket skjød:
for $t < 4\text{mm}$: $d = 2t + 2$
for $t \geq 4\text{mm}$: $(2t + 2) \leq d \leq 1,5t$
hvor t = minste tykkelse av de sammenføyde materialene eller 2 ganger tykkelsen av den tynneste lask. Minste verdi benyttes.

2d) Strekkbelastning

Naglede forbindelser må ikke benyttes for å oppta strekkbelastninger i naglen.



Figur 3.1.6

Uheldig utformet skjød. Naglene utsettes for strekkpåkjenning. (3)

Skjøten blir snart slarkete, og naglenes evne til å oppta skjærkrefter reduseres, med det resultat at brudd kan forekomme ved lavere belastning enn beregnet. Om en skjød skal kunne oppta slike belastninger, bør skruer anvendes.

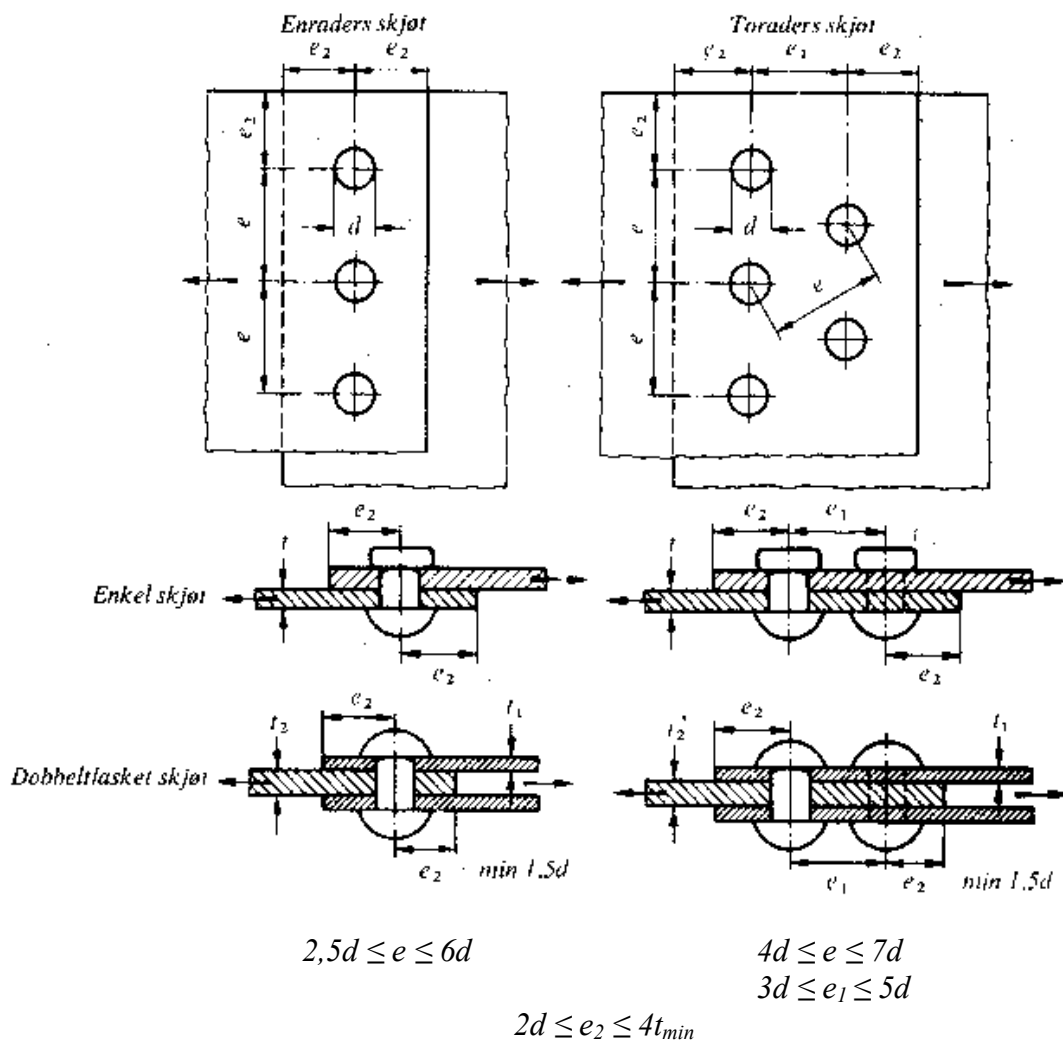
2e) Dynamisk belastning

Utmatningsbrudd kan oppstå ved naglede forbindelser som utsettes for dynamisk belastning. Slike brudd oppstår som regel i grunnmaterialet og sjelden i naglen.

Årsakene kan som regel vises til uheldig konstruktiv utforming. En vanlig årsak kan være at det benyttes for mange nagler i lastens retning. Det bør ikke benyttes mer enn 3 naglerader.

2f) Design

For å oppnå optimal fasthet i en naglet skjøl, bør nagleavstand og kantavstand velges ifølge figuren under.



Figur.3.1.7
Passende kant- og nagleavstand ved naglede skjølter. (3)

Disse skjøtene kan føre til vanskeligheter hvis skjøten skal være tett. Skal skjøten være vann tett, bør det benyttes 2 naglerader. Tetningstape kan benyttes, men dette reduserer fastheten med ca. 20%.

1.3 Utførelse av nagleforbindelser

3a) Lokking og boring

Naglehullene bør bores. Stansing bør bare benyttes ved tynne plater og når påkjenningene er lave. Hullene bør dessuten grades for å gi plass til hulkile mellom nagleskaft og -hode. Dette sikrer at naglehodet får godt anlegg mot platen. Gradingen bør også utføres på baksiden, slik at en hulkile bygges opp ved staking av naglens hode. Skarpe overganger gir bruddanvisninger som spesielt ved dynamisk belastninger nedsetter fastheten.

Det er viktig at naglen fyller hullet helt etter klinkingen. Dette forutsetter at differansen mellom hull diameter og naglediameter holdes innenfor snevre grenser.

Tabellen under angir passende diameterforskjeller:

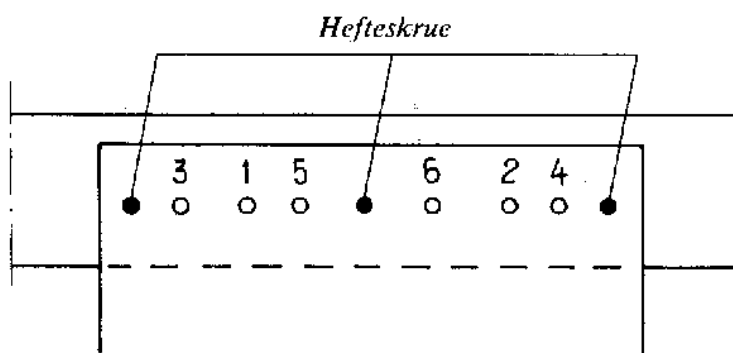
Naglediameter (mm)	Klaring mellom hull og nagle (mm)
- 3	0,05
(3) - 7	0,1
(7) - 10	0,2
(10) - 12	0,3
(12) -	0,4

Tabell. 3.1.2
Diameterforskjeller mellom hull og nagle. (3)

3b) Nagling

Før naglingen begynner, bør delene heftes sammen med skruer eller spesielle klemmer. For tynne plater bør avstanden mellom klemmene ikke overstige 250mm.

Naglerrekkefølgen bør være som vist i figuren under.



Figur.3.1.8
Rekkefølge for klinking. (3)

Klinkingen bør skje med så få slag som mulig. Klinkhammeren bør derfor være tung og arbeide med størst mulig slaglengde. Også mothodet bør være tungt og holdes fast mot setthodet.

Passende vekt på hammer og mothold er vist i tabellen under.

Naglediameter	Vekt (kg)		
	håndhammer	lufthammer	mothold
(2) – 3	0,2	–	0,6
(3) – 4	0,2 – 0,3	1 – 2	1,5
(4) – 6	0,4 – 0,5	3 – 6	2,0
(6) – 8	0,6 – 0,8	3 – 10	2,5
(8) – 12	–	6 – 10	5,0

Tabell. 3.1.3

Passende vekter for klinkhammer og mothold. (3)

Ved klinking av nagler opp til 5 – 6mm kan det benyttes en indirekte metode. Ved denne metoden slår hammeren på setthodet og motholdet stuker opp stukhodet. Stukhodet utformes vanligvis som et flatt, sylindrisk hode ved denne metoden.

En ulempe ved den indirekte metoden er at en stor del av slagkraften går tapt ved at energien overføres til platen og ikke utnyttes til stukingen, men til å vibrere de delene som skal sammenføres.

For små nagler spiller ikke disse tapene noen stor rolle. De kan lett kompenseres ved at det benyttes en større klinkhammer eller klinkemaskin.

For grove nagler spiller derimot klinkhammerens eller klinkemaskinens vekt liten rolle, og alle energitap bør derfor unngås.

For nagler med diameter på 8mm og over bør vi derfor bruke en direkte klinkemetode, hvor motholdet settes mot setthodet og hammeren utformer stukhodet.

Det er vanskelig å slå et flatt, sylindrisk hode til rett form ved denne metoden. Naglen vil lett kante, eller andre feil kan oppstå. Den grove naglens stukhode bør utformes rundt eller som konisk hode og med motholdet mot setthodet.

Håndhammer kan anvendes for nagler opp til 8mm diameter. For grovere nagler benyttes alltid lufthammer eller naglepressemaskiner. Nødvendig stukkraft ved bruk av naglepresse avhenger av naglens legering og tilstand, samt diameter og stukhodeform.

Tabellen under viser nødvendig stukkraft for ulike naglediameter, legeringer og tilstander ved pressing i naglepresse. Verdiene i tabellen gjelder for et flatt, sylindrisk stukhode.

Legering	Tilstand	Stukkraft (kN) for naglediameter									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Al99,0	Halvhard	2	8	18	32	45	71	100	130	160	200
	Hard	1,5 x verdi over									
AlSi1Mg	kaldtherdet	2,0 x verdi over									
AlMg2,5	Halvhard	2,5 x verdi over									
AlCu4MgSi	mykglødet	3,0 x verdi over									

Tabell. 3.1.4

Omtrentlig stukkraft for forskjellige legeringer, tilstander og naglediameter ved stuking til flatt sylindrisk hode i naglepresse. (3)

Tabellen under viser opplysninger om andre stukkodeformer.

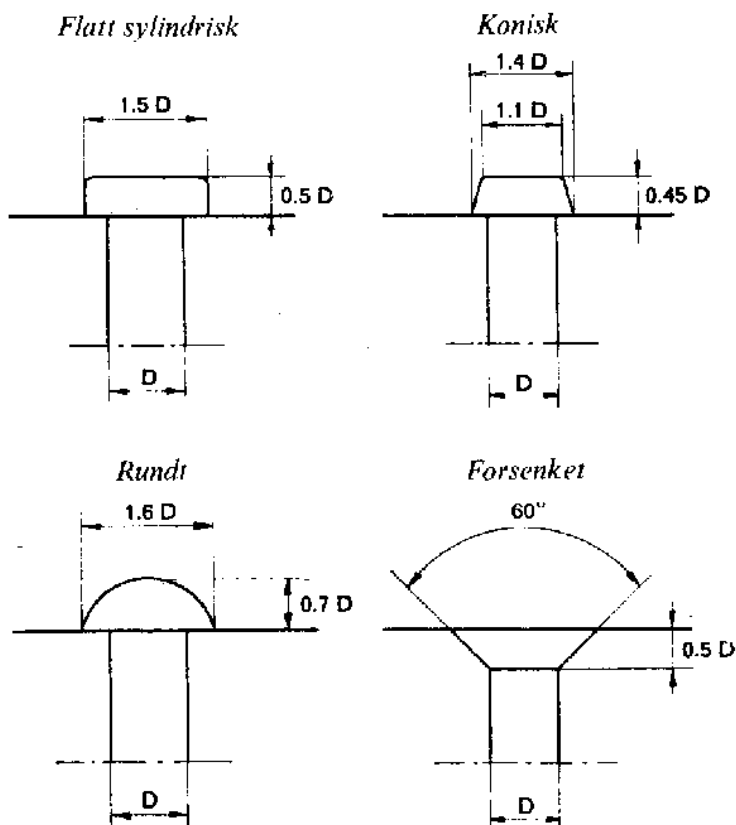
Hodeform	Skaftlengde ¹⁾	Relativ stukkraft
Flatt sylindrisk	$1,05Lk + 1,8 D$	1,0
Rundt	$1,05Lk + 1,5 D$	2,0
Konisk	$1,05Lk + D$	1,0
Forsenket	$1,05Lk + D$	1,7

¹⁾ Lk = sum tykkelse sammenføyningsmaterialene eller sum sammenføyningsmateriale og lasker.
D = nagleskaftdiameter

Tabell. 3.1.5

Nødvendig skaftlengde og relativ stukkraft for forskjellige hodeformer. (3)

De vanligste benyttede stukkodeformer er vist under.

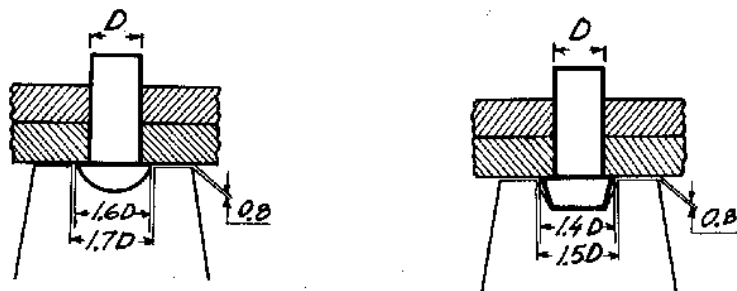


Figur 3.1.9

Vanlige stukehodeformer. (3)

Ved klinking av grove nagler med trykklufthammer, passer den koniske hodeformen spesielt godt. Forsenkede stukkoder bør om mulig unngås.

Mothold for runde og koniske naglehoder er vist i figuren under. For flate, sylindriske stukhoder benyttes et flatt mothold.



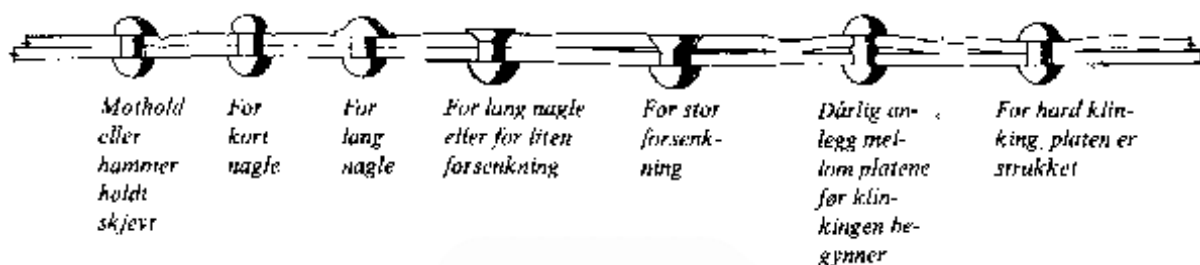
Figur 3.1.10
Mothold for rundt og konisk hode. (3)

Nagler med diameter over 12mm i AlSiMg og AlCuMgSi klinkes vanligvis kalde i innherdet tilstand og før materialet rekker å bli kaldutherdet. Dette skjer ganske raskt, og allerede etter 2 til 3 timer er klinkbarheten klart dårligere.

Hvis vi oppbevarer naglen i en fryseboks med temperatur mellom -5 og -20°C forsinkes kaldutherdingsprosessen, og mykheten kan beholdes i flere døgn.

1.4 Vanlige feil ved nagling

Figuren under viser noen vanlige feil ved nagling.



Figur 3.1.11
Vanlige feil ved nagling. (3)

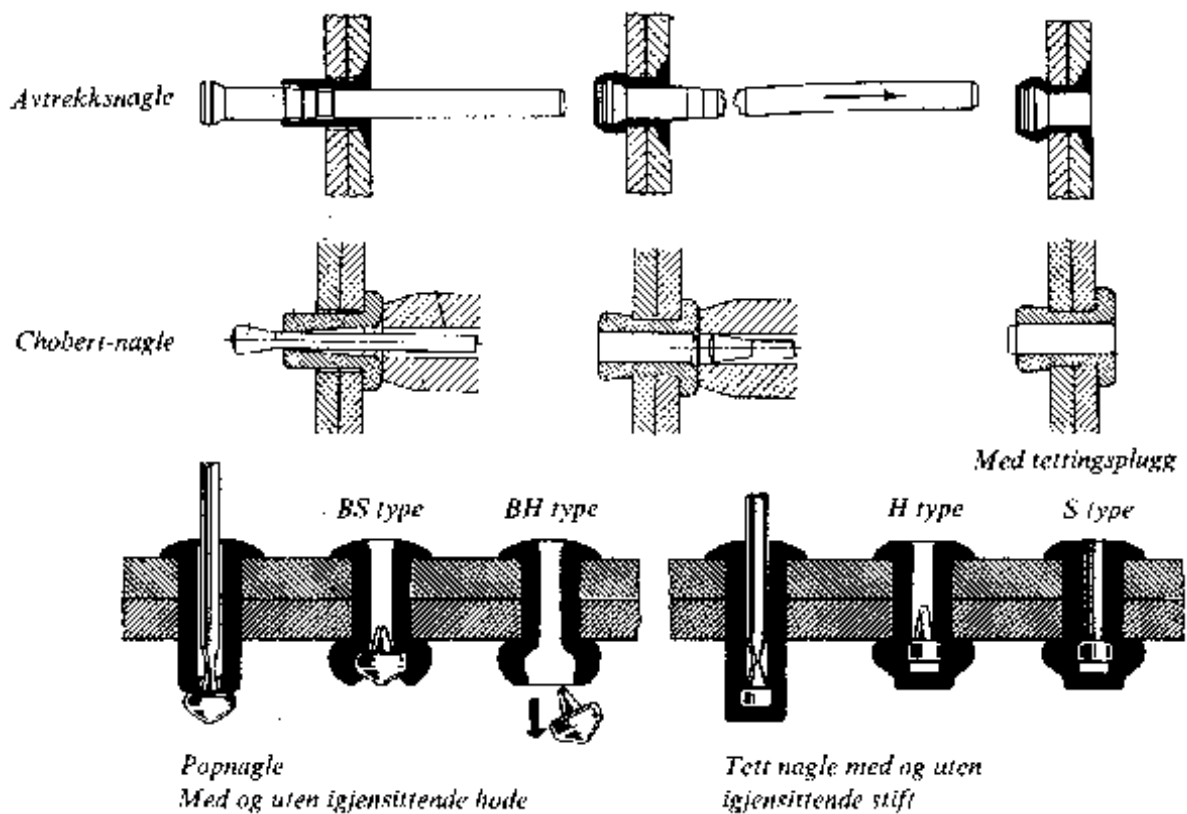
1.5 Blindnagler

Blindnagler kan stukes uten mothold og muliggjør derfor nagling på steder hvor det ikke er plass for mothold. Naglene er dessuten raske og enkle å benytte.

Det finnes ulike typer blindnagler. Felles for dem er at de har et helt eller delvis gjennomgående hull i aksial retning. Avhengig av nagletypen er hullet etter naglingen tomt eller fylt av en stift.

Det må ved bruk av tomme nagler tas hensyn til at skjøten kan gli ved tilstrekkelig høy belastning på grunn av at naglen trykkes sammen. Nagleprodusenten gir opplysninger om tillatte belastninger.

Forskjellige nagler er vis i figuren under.

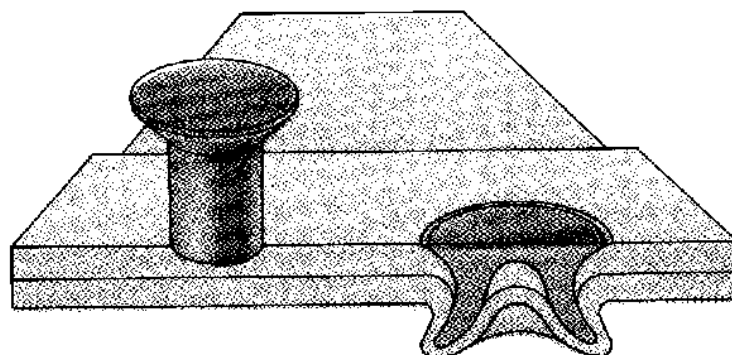


Figur 3.1.12
Vanlige blindnagler. (3)

1.6 Andre nagleforbindelser

Figuren under viser eksempel på selvstansende nagler som lager sine egne hull og danner en forbindelse, alt i en operasjon.

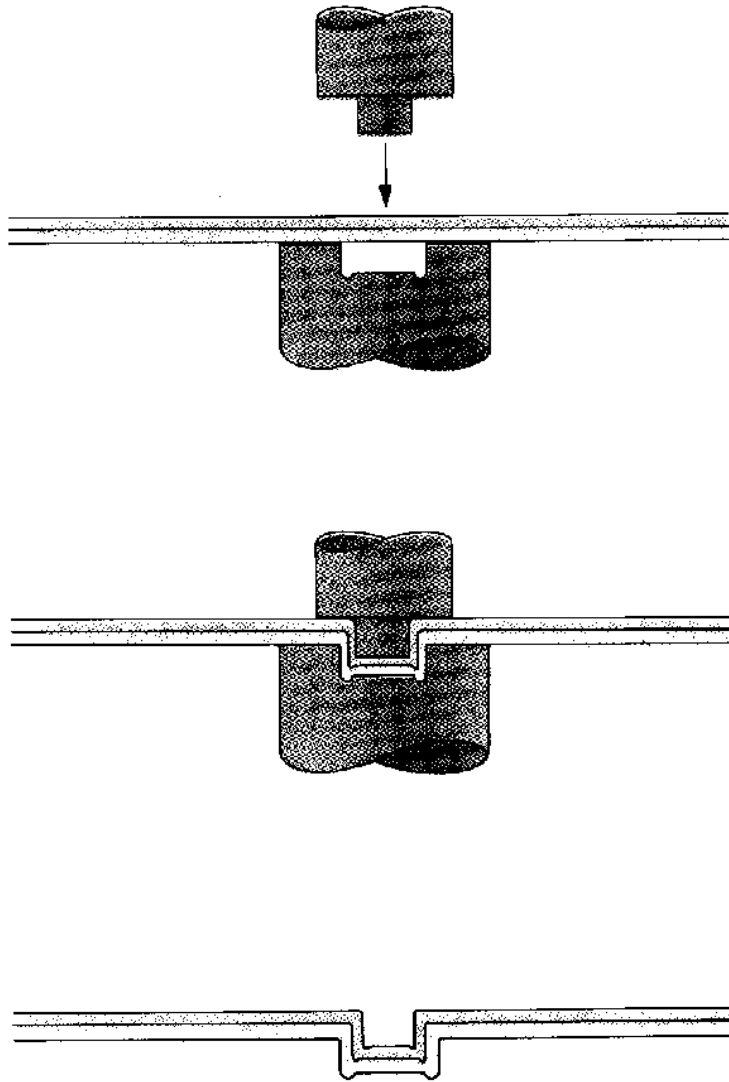
Metoden anvendes bl.a. i bilindustrien for å feste aluminiumsplater på profiler.



Figur.3.1.13
Selvstansende nagler. (2)

Det er også mulig å nagle uten nagler.
Metoden, som egner seg godt for store serier, forbinder ulike materialer i en stukeoperasjon.
Resultatet blir et gradfritt, rundt punkt.

Det finnes også andre lignende metoder.



Figur 3.1.14
Nagling uten nagler. (2)