

Voor men gaat lassen worden de te verbinden delen door korte lasrupsjes voorlopig aan elkaar bevestigd. Bij plaatdikten tot 1 mm zijn lassen van enkele millimeters met een onderlinge afstand van 150 mm voldoende. In dunne plaat is het aantal 'hechten' belangrijk, want de gevolgen van uitzetten en krimp tussen de hechten is het grootst, zodat de hechten de plaat voldoende stijf moeten maken. Het hechten moet niet gezien worden als even de platen aan elkaar bakken, maar vereist wel degelijk zorgvuldigheid, omdat de hecht onderdeel uitmaakt van de lasnaad, zodat slecht hechtwerk een lasfout veroorzaakt. Het hechten geschiedt altijd met grote stroomsterkte.

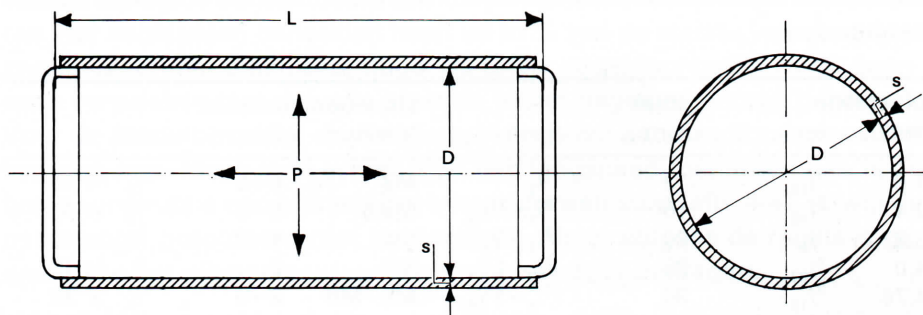
Sterkteberekeningen. Zoals gezegd zijn sterkteberekeningen hoofdzakelijk bestemd voor de ketelbouw. Nu zult u denken, daar heb je hem weer met zijn stoomketel, maar het is een onontkoombaar feit dat de ketel het kwetsbaarste onderdeel van de installatie is en blijft. Modelmachines zijn wat sterkte betreft overgedimensioneerd, omdat er aan de grootte en de fabricage van de diverse onderdelen nu eenmaal een grens is. De stoomketel daarentegen is onderhevig aan warmtespanningen en daardoor eerder slachtoffer van deformatie en defecten. Het materiaal van stoomketels (en machine-onderdelen) wordt hoofdzakelijk op trek belast. Bij stoomketels kan de trekbelasting zo hoog worden dat het materiaal een blijvende vormverandering ondergaat: de elasticiteitsgrens is overschreden. Wordt de belasting nog verder verhoogd dan breekt het materiaal en heeft men de breukspanning of treksterkte bereikt.

Het is wel duidelijk dat we de treksterkte nooit dicht mogen benaderen, we moeten zelfs ruim beneden de elasticiteitsgrens blijven. Om hierin te voorzien is de zgn. veiligheidscoëfficiënt ingevoerd, deze is normaal 4 à 5, maar voor de modelbouw houden we liever 8 aan. Wat betekent dat? De treksterkte van bijv. koper is 18 kgf/mm^2 . Omdat dit materiaal bij hardsolderen of lassen uitgloeit en in vuurkisten aan grote hitte wordt blootgesteld is de weerstand tegen vervormen sterk verminderd, m.a.w. de inwendige stijfheid van het koper is verminderd. We mogen dus niet meer rekenen met 18 kgf/mm^2 , maar moeten onze berekeningen baseren op een treksterkte van $18 : 8 = 2,25 \text{ kgf/mm}^2$.

De sterkste vorm voor een ketel is de bol, doordat de stoomdruk deze ketel niet kan vervormen zonder de gehele bol groter te laten worden, de druk levert dus in alle delen van de bolwand een even grote trek. Een bolvormige ketel is echter voor de praktijk niet geschikt en stoomketels hebben dan ook vrijwel altijd een cilindrische vorm. Hoe is hier nu de trekbelasting? In afb. 4-2 is een cilinder in doorsnee geschetst. Is de inwendige stoomdruk $p \text{ kgf/cm}^2$ dan werkt op het vlak $L \times D \text{ cm}^2$ een totale kracht P van $p \times L \times D \text{ kgf}$. De materiaaldoorsnede F , die deze trekbelasting moet op-

vangen is gelijk aan $2 \times s \times L$ cm, dus wanneer de ketel de druk moet weerstaan geldt $p \times L \times D = 2 \times s \times L \times \text{treksterkte } T$, waaruit volgt dat de treksterkte T in de langsnaad minimaal gelijk is aan $\frac{D \times p}{2 s}$

Voor het berekenen van de sterkte van de dwarsnaad gebruiken we dezelfde afbeelding. De totale kracht P in dwarsrichting is $\frac{1}{4} \pi D^2 \times p$ kgf. Deze trekbelasting wordt opgevangen door de dwarsnaad met een oppervlakte van $\pi D \times s$ cm²



Afb. 4-2. Krachten in een cilindrische ketel.

Door gelijkstelling krijgen we $\frac{1}{4} \pi D^2 \times p = \pi D \times s \times T$ zodat $T = \frac{D \times p}{4 s}$

Uit deze berekeningen blijkt dat de ketel in rondgaande richting $2 \times$ zo sterk is als in lengterichting, m.a.w. de dwarsnaad is twee maal zo sterk als de langsnaad. Hieruit mag verder worden afgeleid dat uit het oogpunt van sterkte de stoomketel een cilinder met bolle fronten moet zijn. Inderdaad past men deze vorm toe bij stoom- en waterhouders van hogedruk waterpijpketels. Halfronde fronten zijn in de modelbouw vrij ongebruikelijk, maar ook een flauw gebogen ketelfront geeft al een heel wat grotere stijfheid dan een vlak front. Vlakke platen hebben de minste weerstand tegen vervormen, daar zal men steunen moeten aanbrengen. Dit doet men dan ook bij grote ketelfronten en vuurkisten. De vuurkist vraagt door de enorme hitte aan de ene kant en de stoomdruk aan de andere kant bijzondere aandacht en alles zal gedaan moeten worden om te voorkomen dat de vuurkistwanden blijvend vervormen of ingedrukt worden. Het steunen van vuurkistwanden wordt gedaan met behulp van steek- of steunbouten, die echter niet zo stijf moeten zijn dat de vuurkist niet kan uitzetten.

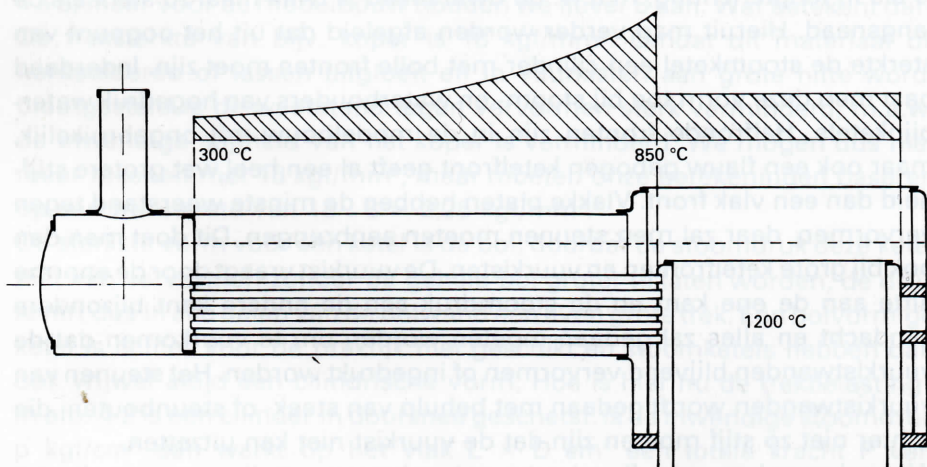
Wat er in een locomotiefketel gebeurt laat het warmtediagram van afb. 4-3 zien. Het is dan ook een vereiste dat steunbouten vanuit de vuurkist in de

platen worden *geschroefd*, zodat de boutkop als extra steun dienst doet en voorkomen wordt dat de draad 'afgestroopt' kan worden

Bij het berekenen van het benodigde aantal steunbouten en langsteunen moet men uitgaan van de *kerndoorsnede*, dus niet de (nominale) buitendoorsnede van de draad en bij voorkeur een draadtype met afgeronde toppen en dalen. Wat dit laatste betreft bieden de Engelse schroefdraadsystemen enig voordeel. De 'hart-op-hart-afstand' tussen twee steunbouten noemt men de *steek*. Deze steek van de steunbouten hangt af van de plaatdikte, hun doorsnede van de stoomdruk. Als richtlijn voor vlakke, gewalste koperplaat bij een keteldruk van bijv. 7 ato moet men de volgende maten aanhouden

plaatdikte		steek		steunboutdiameter		ME
mm	inch	mm	inch	Metrisch	BA	
1,6	$\frac{1}{16}$	12	$\frac{1}{2}$	M3	6-5	$\frac{1}{8} \times 40$
2,4	$\frac{3}{32}$	16	$\frac{5}{8} - \frac{11}{16}$	M3,5	5-4	$\frac{1}{8} \times 40$
3,2	$\frac{1}{8}$	20	$\frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	M4	4-3	$\frac{5}{32} \times 40$
4,0	$\frac{5}{32}$	25	$\frac{7}{8} - \frac{11}{8}$	M5	2	$\frac{3}{16} \times 40$
4,76	$\frac{3}{16}$	30	$1\frac{1}{8} - 1\frac{3}{8}$	M5-M6	2-0	$\frac{1}{4} \times 32$

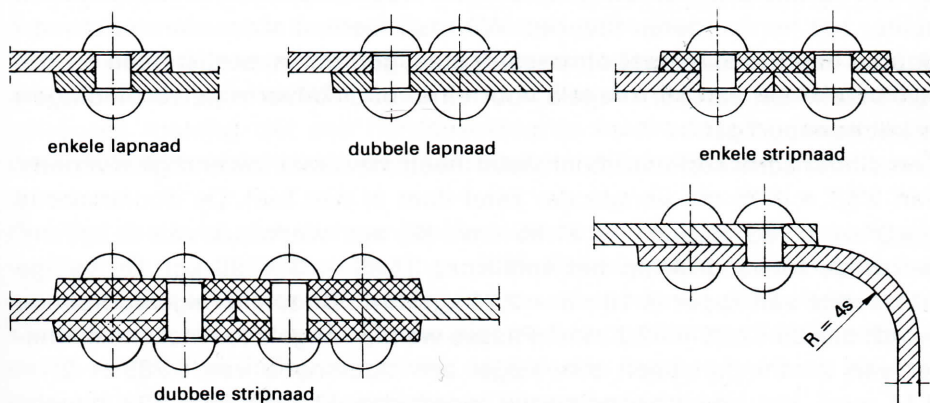
In andere gevallen moeten we de bouten als volgt berekenen: een modelketel werkt met een druk van 3 ato, de steek van de steunbouten is 16 mm en men wil koperen steunbouten gebruiken. Hoe dik moeten deze zijn? Elke bout steunt een oppervlak van $1,6 \times 1,6 = 2,56 \text{ cm}^2$. Hierop werkt een belasting van werkdruk \times oppervlak of $3 \times 2,56 = 7,68 \text{ kgf}$. Gerekend met



Afb. 4-3. Verdampingsdiagram volgens Labrijn.

de veiligheidscoëfficiënt van 8 is de veilige treksterkte van koper 2,25 kgf/mm². De kerndoorsnede van de steunbout moet dus minstens $7,68 \cdot 2,25 = 3,4 \text{ mm}^2$ zijn. Deze kerndoorsnede = $\frac{1}{4} d_k^2$ of $d_k^2 = 3,4 \cdot 0,785 = 4,331$ $d_k = \sqrt{4,331} = 2,08 \text{ mm}$, wat dus een steunbout met een kern van min 2,08 mm oplevert, nl M2,5 (zie bijlage 2, tabel 3).

Voor het berekenen van de benodigde plaatdikte moeten we even nader op de ketelconstructie ingaan. De ketelromp kan zijn vervaardigd uit naadloos getrokken koper, gewalst koper of staal met klink- of lasnaad. Lassen of klinken verzwakt het materiaal en daar zullen we terdege rekening mee moeten houden. Men drukt de sterkte die de plaat na het lassen of het boren van nagelgaten behouden heeft uit in % van de sterkte van de onverzwakte plaat: het plaatpercentage. De totale nageldoorsnede wordt eveneens vergeleken met de volle plaat en wordt nagelpercentage genoemd. Voor de modelbouw zal men de voorkeur geven aan naadloos getrokken koperen pijp. Moet men echter toch een langsnaad toepassen dan is de beste constructie een binnenliggende geklonken strip (afb. 4-4), terwijl de naad wordt gesoldeerd met hardsoldeer. Als er volgens de regels is gewerkt kan het plaatpercentage toch nog wel 95% bedragen.



Afb. 4-4. Klinknaadvormen.

Een dubbele stripnaad met twee of drie rijen nagels aan elke zijde heeft een nagelpercentage van 80%, een dubbel geklonken lapnaad 75% en een enkele lapnaad slechts 55%, maar de laatste is niet aan te bevelen wegens het optredende koppel. Om de dikte van de ketelplaten te berekenen gebruiken we de reeds vermelde formule

$$s = \frac{p \times D \times f}{2 T}$$

waarin s = plaatdikte (cm), p = werkdruk (kgf/cm²), D = inwendige keteldiameter (cm), T = treksterkte materiaal (kgf/cm²), f = veiligheidscoëfficiënt (8)

De treksterkte van koper is $18 \text{ kgf/mm}^2 = 1800 \text{ kgf/cm}$

Heeft men een naadloos getrokken koperen buis met een inwendige diameter van 10 cm en een wanddikte van 2,4 mm dan is de veilige werk-

$$\text{druk } s = \frac{p \times D \times f}{2 T} \text{ of } p = \frac{s \times 2 \times T}{D \times f} = \frac{0,24 \times 2 \times 1800}{10 \times 8} = 10,8 \text{ kgf/cm}^2$$

Een goed voorbeeld is een vraagstuk van een machinistenexamen uit 'de goeie ouwe tijd' bereken de wanddikte van de rompplaat van een stoomketel als gegeven is

diameter stoomketel 2,40 m

stoomdruk 12 kgf/cm^2

plaatpercentage langsnaad 80%

nagelpercentage 83%

treksterkte 3825 kg/cm^2

veiligheidscoëfficiënt 4,25

Ingevuld in de formule geeft dit $s = \frac{12 \times 240 \times 4,25}{2 \times 3825} = 1,6 \text{ cm}$, maar dat

is de volle plaat. De plaat- en nagelpercentages maken een correctie op de berekende wanddikte nodig $s = \frac{1,6}{0,8 \times 0,83} = 2,4 \text{ cm}$.

Behalve hardsolderen en klinken kan men ook schroeven toepassen, omdat het niet altijd mogelijk is klinknagels te gebruiken, zoals men zal ervaren bij bijvoorbeeld het stookfront van een locomotiefketel. In Nederland is echter het hardsolderen favoriet. Wil men hiervan afzien dan moet men bouten van monelmetaal of roestvrij staal gebruiken, beslist géén brons! Het berekenen van klinknagels voor eind- of cirkelvormige verbindingen is het eenvoudigst.

Een cilindrische koperen stoomketel heeft bijv een inwendige diameter van $2\frac{1}{2}'' = 6,35 \text{ cm}$ (lengte der ketel doet er niet toe) De doorsnede is $\frac{1}{4}\pi D^2 = 0,785 \times 6,35^2 = 31,65 \text{ cm}^2$ Bij een werkdruk van 3 kgf/cm^2 wordt de totale druk op het ketelfront $31,65 \times 3 = 95 \text{ kgf}$ De veilige treksterkte van koper is $18 \div 8 = 2,25 \text{ kgf/mm}^2$ De totale nageldoorsnede wordt dan $95 \div 2,25 = 42,2 \text{ mm}^2$ Passen we bijv nagels toe met een diameter van 2 mm dan heeft elke nagel een doorsnede van $0,785 \times 2^2 = 3,14 \text{ mm}^2$ Het totaal aantal nagels wordt dan $42,2 \div 3,14 = 13,4$ nagels. Uit het oogpunt van symmetrie zullen dit zestien nagels worden, anders krijgt men bovendien een onmogelijk te hanteren steek.

Schroeven zijn wel sterker dan nagels maar de getapte schroefdraad verzwakt de verbinding. Nu kunnen klinknaden alleen niet altijd vervorming voorkomen, vooral bij grote ketelfronten kan de belasting zo groot worden dat we langssteunen moeten gebruiken. Heeft men bijv een cilindrische modelketel met een inwendige diameter van 10 cm dan werkt op elk front een totale druk $P = \text{keteldruk} \times \text{frontoppervlak} = p \times \frac{1}{4}\pi D^2$ Is de keteldruk 3 kgf/cm^2 dan wordt $P = 3 \times 0,785 \times 10^2 = 235,5 \text{ kgf}$ Neemt men langssteunen van fosforbrons met een veilige treksterkte van $30 \div 8 = 3,75 \text{ kgf/mm}^2$ dan is de benodigde kerndoorsnede $235,5 \div 3,75 = 62,8 \text{ mm}^2$

Verdeelt men deze benodigde doorsnede over drie steunen dan krijgt elke langssteun een kernddoorsnede van $62,8 \cdot 3 = 20,9 \text{ mm}^2$, dus een kerndiameter van 5,16 mm, zodat men M6 zal gebruiken. Het is natuurlijk ook mogelijk gebogen fronten toe te passen, hoe beter de bolvorm wordt benaderd hoe groter de buigweerstand van zo'n front is. Heeft men een vuurgangketel dan zal de vuurgang de constructie verstevigen door ten eerste vermindering van het frontoppervlak zodat P kleiner wordt en ten tweede doordat de vuurgang nu zijn geheel als 'steunbout' werkt.

Het berekenen van het aantal nagels is dus nodig om de klinkverbinding de juiste sterkte te geven. Het hoeft echter niet altijd te betekenen dat men daarmee kan volstaan, klinknaden hebben niet alleen een bevestigingsfunctie maar moeten ook stoomdicht zijn, d.w.z. er zijn meer nagels nodig dan voor de sterkte noodzakelijk is. Vuistregel is dat de nagelsteek drie maal de nageldiameter moet zijn.

In de modelbouw worden klinknaden dichtgemaakt door de naden te laten vollopen met zwaarlopend tinsoldeer, bijv. 40/60. In het grootbedrijf worden klinkverbindingen door 'koken' stoomdicht gemaakt. 'Koken' is een verbastering van het Engelse werkwoord to caulk = breekdicht. Deze methode moet echter dringend worden afgeraden voor plaatdikten onder 4 mm, en is dus voor de modelbouw niet te gebruiken.

Tegen het klinken van stoomketels schijnt er geen aversie te bestaan omdat een geklonken ketel minder solide zou zijn dan een gelaste. De veelvuldig gehoorde mening dat een hardgesoldeerde ketel zonder bezwaar kan droogkoken moet echter zonder meer naar het rijk der fabelen worden verwezen.

Ook dat een ketel met dichtgevoelde klinknaden zou gaan lekken als gevolg van de verschillende uitzettingscoëfficiënten van koper en tin is beslist niet waar. Als lekken optreedt is het constructiewerk niet goed uitgevoerd. Klinken heeft als voordeel dat men niet met de problemen die bij hardsolderen tengevolge van de verhitting optreden te kampen heeft, en bovendien ziet een geklonken mode ketel er bijzonder 'echt' uit.

Draaien

Centraal in de machinbouw staat de draaibank. Dit is het oudste gereedschapswerktuig. Hoe oud is moeilijk te zeggen, maar houtdraaibanken zijn al uit de Egyptische cultuur bekend en omstreeks 1700 bestonden er al horlogemakersbanken. De Fransman Thiout voorzag de draaibank omstreeks 1750 van een support met beitelhouder. Draadsnijden werd mogelijk gemaakt door de Engelse instrumentenmaker Jesse Ramsden. Zijn bank werd in 1797 verbeterd door Maudsley, die de eerste grote