

Exercises

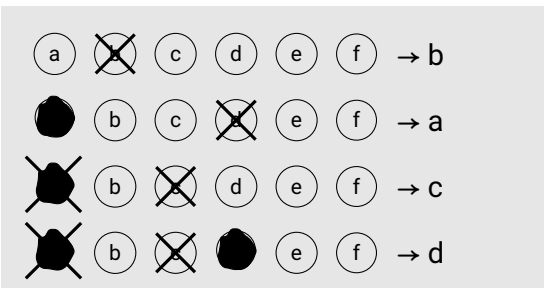
1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Surname, First name**Design Engineering Project 3B
(WB1643B)**

T1 - Projecttentamen - Hertentamen

15 July, 2025, 09:00-12:00

1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
0	0	0	0	0	0	0



Answer multiple-choice questions as shown in the example.

- Er zijn 7 vragen en daarmee zijn 72 punten te behalen.

Aanbevolen hulpmiddelen:

- WB-formuleboekje
- (Grafische) rekenmachine
- Geodriehoek/liniaal
- Kladpapier (voor eigen gebruik, wordt niet ingeleverd).

Beantwoording van vragen:

- Laat altijd zien hoe je aan een antwoord komt door middel van de gebruikte formules.
- Waar een getal een eenheid heeft moet die ook gegeven worden.
- Probeer de beantwoording **duidelijk leesbaar binnen het kader** bij het vraagstuk te schrijven.
- Wil je een antwoord aanpassen? Gebruik een gum, Tipp-Ex, een correctieroller of witte sticker (vraag eventueel aan de surveillanten). Voor grote correcties, zie de laatste pagina van dit document.

Dit tentamen is gemaakt door:

dr. F.G.J. Broeren, dr.ir. W.W.P.J van de Sande, dr.ir. J.M.C. Mol, en dr.ir. M.J.M. Hermans

Dit tentamen is gecontroleerd door:

dr.ir. R.W. Vroom



Breukvlakken



Breukvlak van een gietijzeren proefstuk. Bron: Wikimedia, user Sigmund419

3p **1a** Hierboven zien we een breukvlak van een gietijzeren proefstuk. Wat voor type breuk is dit?

- ☒ Brosse breuk
- ☐ b) Taaie breuk
- ☐ c) Vermoeiingsbreuk

3p **1b** Een gehard stalen as wordt na de warmtebehandeling bewerkt door er een kleine groef voor een borgveer in te draaien.

Welke van de volgende faaloorzaken zal waarschijnlijk als eerste tot een breuk leiden?

- ☐ a) Spanningsconcentraties aan de randen van de groef
- ☒ b) Kleine scheurtjes in het materiaal als gevolg van het draaien
- ☐ c) Afname van de dikte van de as in de groef

Vermoeiing van een Lasverbinding

Eurocode 3 geeft vermoeiingssterktes voor verschillende lasverbindingen van stalen constructies. Dit wordt aangegeven met een detailcategorie.

3p **2a** Kan je een hogere detailcategorie bereiken door een hogere kwaliteit staal te gebruiken?

☒ a Ja ☐ Nee

6p **2b** Verklaar je antwoord.

Tijdens het lassen verandert de structuur van het staal door de toegebrachte warmte. Ook al is het materiaal rondom de las sterker, de sterkte van de constructie zal bepaald worden door de las zelf.

Op pagina 14 van het formuleboekje zien we dat we de detailcategorie van een lasverbinding kunnen verhogen door de las vlak te slijpen.

9p **2c** Ga uit van een zuivere wisselbelasting van 75 MPa. Hoe veel vaker kan de vlakgeslepen verbinding belast worden in vergelijking met de onbewerkte las?

$\Delta\sigma_R = 75 \text{ MPa}$ Onbewerkt $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$ $\Delta\sigma_D = 589 \text{ MPa}$ $\rightarrow m = 3$ $N_R = \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_R} \right)^3 \cdot 5 \cdot 10^6$ $\approx 2,43 \cdot 10^6$	$\Delta\sigma_R = 75 \text{ MPa}$ Geslepen $\Delta\sigma_c = 112 \text{ MPa}$ $\Delta\sigma_D = 82,5 \text{ MPa}$ $\rightarrow m = 5$ $N_R = \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_R} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6$ $\approx 8,06 \cdot 10^6$
---	--

De geslepen las kan $\frac{8,06}{2,43} = 3,32$ keer zo vaak belast worden.

Palmgren Miner

Berylliumkoper is een koperlegering en het heeft veel nuttige eigenschappen, zoals een hoge sterkte, het is niet magnetisch, en het is een elektrische geleider. Vanwege zijn sterkte wordt het vaak gebruikt om veren te maken.

Een fabrikant wil de levensduur van een berylliumkoper bladveer bepalen.

Gedurende een **test van 100 uur** zijn de krachten op de bladveer gemeten. Hieruit zijn de optredende spanningen, σ_i , en hoe vaak deze zijn voorgekomen, n_i , bepaald. Deze staan in de onderstaande tabel.

De SN-curve van het berylliumkoper materiaal heeft een kniepunt op $(\Delta\sigma_k, N_k) = (500 \text{ MPa}, 2 \cdot 10^6)$. De SN-curve links van het kniepunt heeft $m = 4$ en rechts van het kniepunt $m = 10$.

i	1	2
$\Delta\sigma_i$	650	350
n_i	200	1500
m_i	4	10
N_i	$70,02 \cdot 10^4$	$70,06 \cdot 10^6$
D_i	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$0,212 \cdot 10^{-4}$

- 12p 3 Vul bovenstaande tabel verder in en geef in het onderstaande vak vervolgens de berekening van de cumulatieve schade D (in 10^{-4} met 2 decimalen) en de vermoeiingslevensduur L (in 10^4 uren met 2 decimalen).

$$N_i = N_k \left(\frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_k} \right)^m \Rightarrow N_i = 2 \cdot 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_i}{500 \text{ MPa}} \right)^m$$

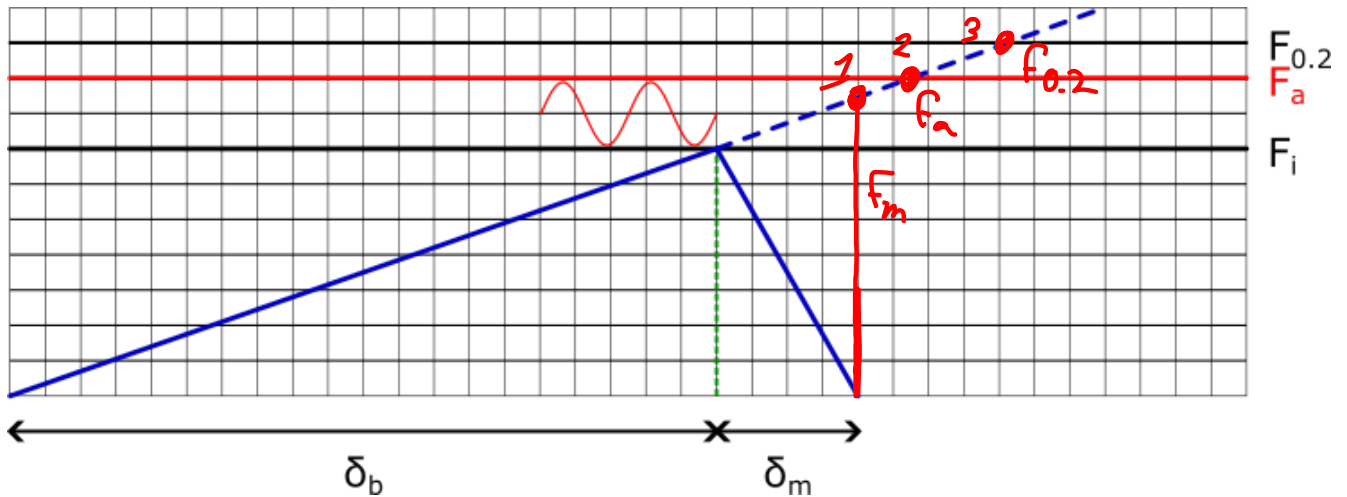
$$D_i = \frac{n_i}{N_i} \quad i=1,2 \quad \begin{matrix} n_1 = 200 \\ n_2 = 1500 \end{matrix}$$

$$D = \sum D_i = D_1 + D_2 = 3,07 \cdot 10^{-4}$$

$$L = \frac{T}{D} \quad T = 100 \text{ uur} \quad L = 32,59 \cdot 10^4 \text{ uur}$$

Schroefdiagram

Een schroefverbinding bestaat uit een stalen bout en een stalen plaat. Het schroefdiagram voor de schroefverbinding staat hieronder. In dit diagram is de vloeigrens van de bout weergegeven met $F_{0.2}$, de dynamische belastbaarheid weergegeven met F_a en de voorspanning weergegeven met F_i . De vervorming van de bout en plaat zijn weergegeven als respectievelijk δ_b en δ_m .



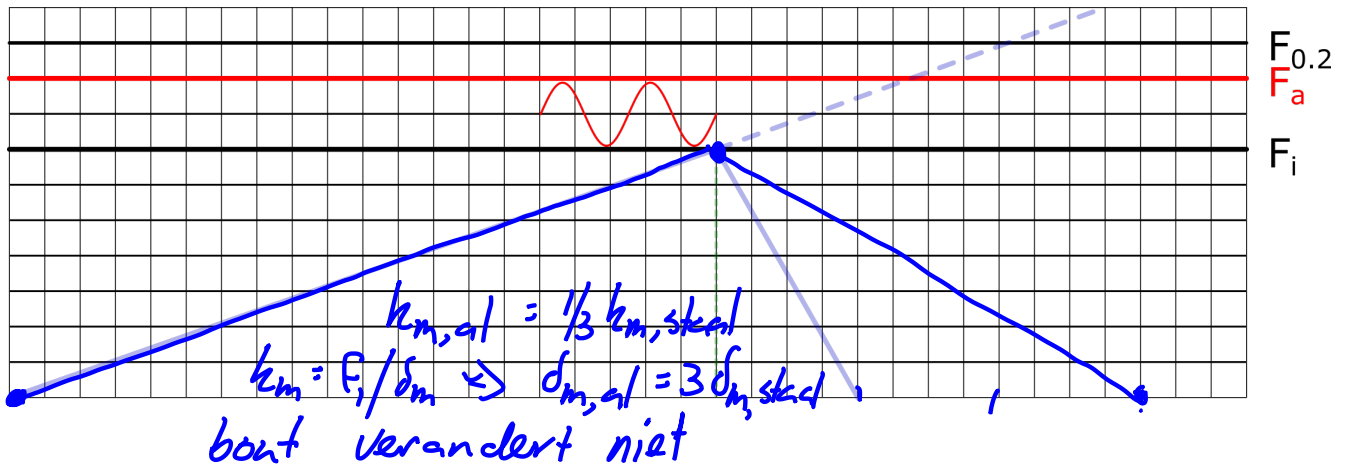
3p **4a** Op welk van de drie onderstaande scenario's zal de schroefverbinding als eerste falen?

- ☐ a Op vloeien ($F_{0.2}$)
- ☐ b Op vermoeiing (dynamische belasting F_a)
- ☒ c Op voorspanning (F_m)

4p **4b** Bepaal de stijfheidsfactor C_m . Leg uit hoe je aan je antwoord komt.

$$\begin{aligned} \delta_b &= 20 \text{ varhjes} \\ \delta_m &= 4 \text{ varhjes} \Rightarrow \delta_m = \frac{1}{5} \delta_b \\ C_m &= \frac{k_b}{k_m + k_b} = \frac{F_i / \delta_b}{F_i / \delta_m + F_i / \delta_b} = \frac{\frac{1}{\delta_b}}{\frac{1}{\delta_m} + \frac{1}{\delta_b}} = \frac{\frac{1}{\delta_b}}{\frac{5}{\delta_b} + \frac{1}{\delta_b}} = \frac{1}{5+1} = \frac{1}{6} \end{aligned}$$

- 5p **4c** In plaats van een stalen plaat, wordt er nu een aluminium plaat gebruikt. Dit aluminium is 3 keer minder stijf dan het staal.
Teken in de figuur hieronder het schroefdiagram voor de nieuwe situatie. Het eerdere schroefdiagram is weergegeven ter referentie.



Spanningsconcentraties

De wielen blijven van de assen van een ninjabrugger aflopen. Hiertoe besluit de groep om een groef in de assen aan te brengen zodat ze een borging kunnen toepassen.

De as waarop het wiel is gemonteerd heeft een diameter $d = 8$ mm. De groef is 0.5 mm diep. De spanningsconcentratiefactor in de groef van de as bedraagt $K_f = 6$.

De belastingvermoeiingsgrens is bepaald als $\sigma_e = 1/3 R_m$. De vloeigrens bedraagt $R_{p0.2} = 0.6 R_m$.

- 6p **5a** Bereken M_s/M_d (met 2 decimalen) waarin M_s het toelaatbaar buigmoment bij statische belasting is waarbij geen plastische vervorming mag optreden en M_d het toelaatbaar dynamische buigmoment is waarbij geen vermoeiingsbreuk zal optreden.

$$M_s = \frac{\pi}{32} d^3 R_{0.2} ; M_d = \frac{\pi}{32} d^3 \sigma_e / K_f$$

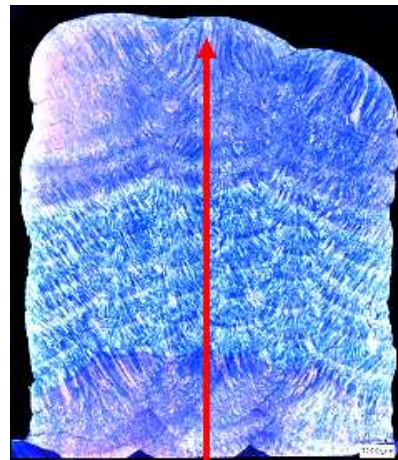
$$R_{0.2} = 0.6 R_m \Rightarrow \frac{M_s}{M_d} = \frac{\frac{\pi}{32} d^3 0.6 R_m}{\frac{\pi}{32} d^3 R_m / 3 K_f} = 0.6 \cdot 3 K_f = 10.8$$

- 3p **5b** Geef ten minste 2 voorbeelden hoe de vermoeiingssterkte van de as verbeterd kan worden terwijl een groef voor de borging behouden blijft.

- stress relieke groeve / relieke cut
 - afrondingen: undercut, afgeronde groef met ring.
 - sterker materiaal
 - gloeien, voor hogere sterkte

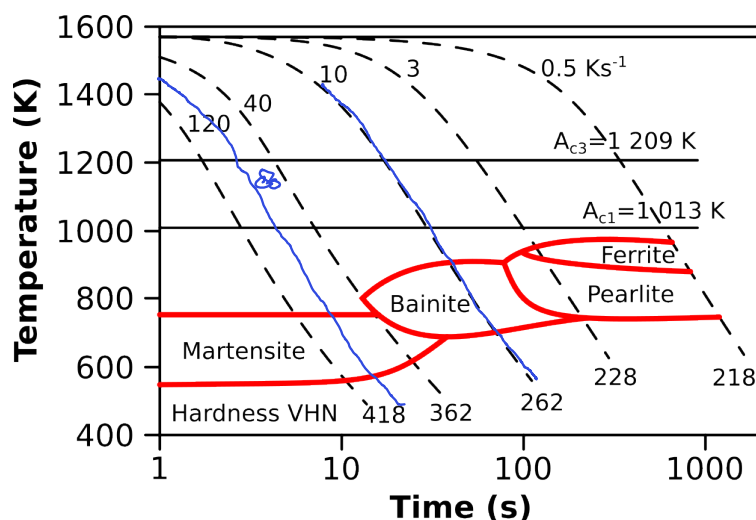
Effect van Lassen

Voor het 3D-printen van grote constructies kan men gebruik maken van het MIG/MAG-lasproces. Hierbij wordt het product laag voor laag opgebouwd door het neersmelten van de lasdraad. Om specifieke eigenschappen te verkrijgen kan men de lasparameters aanpassen. In de figuur hiernaast wordt een dwarsdoorsnede weergegeven van een blok geprint S690 hoog-sterkte staal. De onderste en bovenste zone zijn geprint met een hoge warmte-inbreng, de middelste zone met een lage warmte-inbreng.



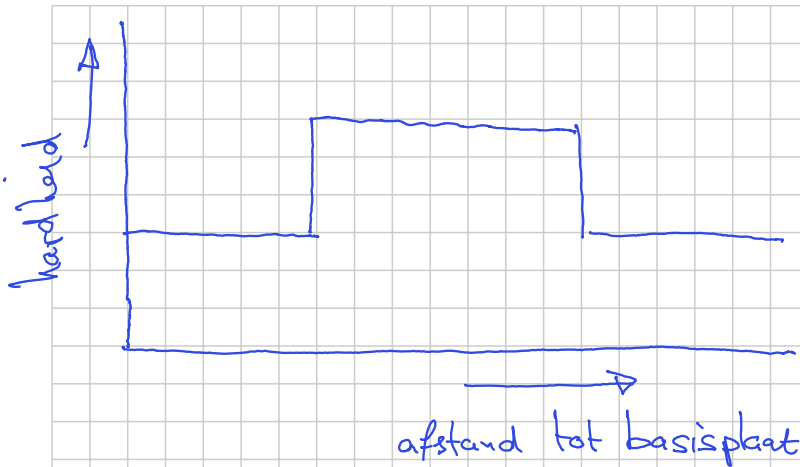
Doorsnede van een blok geprint in S690 hoog-sterkte staal.

Voor de hoge warmte-inbreng-zone is de gemiddelde afkoelsnelheid bepaald op $10 \frac{K}{s}$. Voor de lage warmte-inbreng-zone is de gemiddelde afkoelsnelheid $80 \frac{K}{s}$. De figuur hieronder geeft het Continuous Cooling Transformation (CCT) diagram voor dit staal.



CCT diagram van S690 staal.

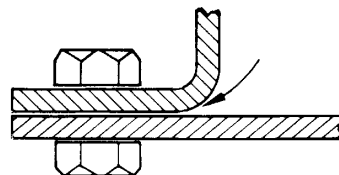
- 6p **6** Schets het hardheidsverloop als functie van de afstand tot de basisplaat, langs de rode pijl in de doorsnede bovenaan deze opgave. Verklaar het verloop.



In het midden is de warmte inbreng lager. Daardoor is de afkoelsnelheid hoger. In het CCT diagram zien we dat dit resulteert in een lagere hardheid.

Corrosie

Hiernaast is een flensverbinding weergegeven. Wanneer dit type verbinding gebruikt wordt in een chloridehoudend milieu, zoals zeewater, is er een risico op spleetcorrosie.



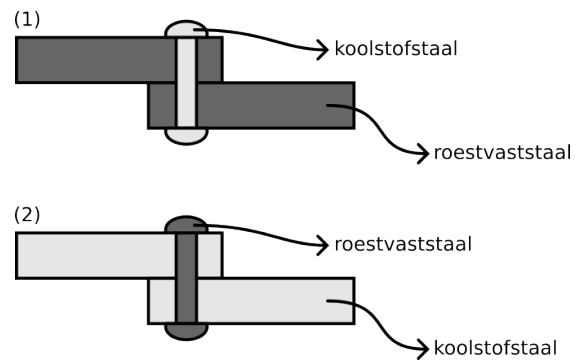
- 3p **7a** Welke van de volgende beweringen over deze flensverbinding is juist?

- ☐ a Bij spleetcorrosie wordt migratie van positief geladen chlorides richting de spleet veroorzaakt door een verhoging van de pH in de spleet
- ☐ b Bij spleetcorrosie van een overlapverbinding zal de corrosie juist buiten de overlap plaatsvinden
- ☒ c Propagatie van spleetvormige corrosie gaat gepaard met een verlaging van de pH in de overlap
- ☐ d Tijdens voortschrijding van spleetvormige corrosie wordt de spleet verrijkt in zuurstofconcentratie

Hiernaast zijn twee varianten van een klinkverbinding weergegeven:

1. een koolstofstalen klinknagel die twee roestvaststalen platen verbindt
2. Een roestvaststalen klinknagel die twee koolstofstalen platen verbindt

Het koolstofstaal heeft een reductiepotentiaal van $-0,7\text{ V}$ en roestvaststaal een reductiepotentiaal van $-0,2\text{ V}$. Deze verbinding zal worden ondergedompeld in een corrosief milieu op een niet-inspecteerbare locatie.



3p **7b** Welke van de volgende stellingen over de klinkverbinding is juist?

- ☐ a Configuratie (a) heeft de voorkeur boven die van (b) want het edeler roestvaststalen oppervlak is groter dan die van de klinknagel
- ☐ b Configuratie (a) heeft de voorkeur boven die van (b) want de edele roestvaststalen platen zullen de onedeler klinknagels beschermen
- ☐ c Configuratie (a) heeft niet de voorkeur boven die van (b) want de roestvaststalen klinknagels zullen de koolstofstalen platen beschermen in configuratie (b)
- ☒ d Configuratie (a) heeft niet de voorkeur boven die van (b) want de koolstofstalen klinknagels zullen snel corroderen door het galvanisch contact met de roestvaststalen platen in configuratie (a)

3p **7c** In corrosie-terminologie wordt vaak het woord 'kathode' gebruikt. Wat is de juiste definitie van kathode?

- ☐ a Het metallisch pad waar elektronentransport langs plaatsvindt
- ☐ b Het corrosief milieu waaraan een elektrode wordt blootgesteld
- ☒ c De locatie aan een elektrode waar de reductiereactie plaatsvindt
- ☐ d De locatie aan een elektrode waar de oxidatiereactie plaatsvindt
- ☐ e Het metallisch pad waar ionentransport langs plaatsvindt

Lead

- 8