

Tentamen, TEN1

Konstruktionsmaterial, TMKM86

2019-01-17, kl. 8-12

Tentamen omfattar sex sidor, märkta 1-5.

Tillåtna hjälpmedel: Miniräknare. Formelsamling finns på sista sidan.

Anvisningar: Svar lämnas på lösa blad. Endast en uppgift per blad. AID-nummer skrivs på samtliga lösa blad som lämnas in.

Jourhavande lärare: Mattias Calmunger, 013-281197.

Administratör: Ingmari Hallkvist, 013-281169.

Tentamen består av fem stycken uppgifter om vardera 10 poäng, totalt 50 poäng.

Betygsgränser	0-21,5 poäng	U
	22-29,5 poäng	3
	30-39,5 poäng	4
	40-50 poäng	5

Linköping december 2018,

Mattias Calmunger
Avdelningen för Konstruktionsmaterial
Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling (IEI)

Notera att detta dokument endast ger förslag på hur uppgifterna kan besvaras. För samtliga uppgifter gäller det att om ett svar innehåller ett felaktigt resonemang eller tveksamheter kan det leda till poängavdrag.

1 Mekaniska egenskaper och inre struktur

Fokus i kursen har varit på kopplingen mellan ett materials inre struktur och dess egenskaper, och då först och främst de mekaniska egenskaperna. Besvara följande frågor.

a) Beskriv vad som menas med begreppen elasticitetsmodul, sträckgräns, brottgräns respektive duktilitet. (4 poäng)

Se kapitel 6-4 och föreläsning 1. Elasticitetsmodul: Styvhet. Ett mått på materialets motstånd mot elastisk deformation. Sträckgräns: Maximal spänning ett material kan utsättas för innan plastisk deformation erhålls. Brottgräns: Maximal spänning som materialet klarar av. Toppen av spänning-töjningskurvan. Duktilitet: Materialets förmåga till plastisk deformation. Brottförlängningen är ett mått på duktiliteten.

Som ett komplement till beskrivningar ovan kan en spänning-töjningskurva där samtliga efterfrågade egenskaper framgår skissas.

b) Två materialgrupper som tagits upp i kursen är metaller och polymerer. Dessa två grupper skiljer sig åt vad gäller deras inre struktur, på vilket sätt? Beskriv även vad som händer i den inre strukturen hos respektive materialgrupp vid plastisk deformation. (3 poäng)

Metaller är i de flesta fall uppbyggda av en kristallstruktur där atomerna sitter i ett ordnat mönster, t.ex. FCC eller BCC. Polymerer är istället uppbyggda av långa molekyllängd kedjor med en stomme av kol. Plastisk deformation hos metaller: dislokationer skapas och glider längs kristallplanen (först och främst de tätpackade planerna). Plastisk deformation hos polymerer: molekyllängderna vecklar ut sig och roterar i förhållande till varandra.

c) Aluminiumlegeringen 2024-T4 används bland annat inom flygindustrin och några av dess mekaniska egenskaper visas i tabell 1. Antag en komponent med cirkulärt tvärsnitt med diametern 50 mm. Vilken är den största kraft som komponenten kan utsättas för i drag utan att neckning påbörjas? (2 poäng)

Materialparameter	
E-modul	73 GPa
Sträckgräns	324 MPa
Brottgräns	469 MPa
Brottseghet	26 MPa m ^{1/2}
Brottförlängning	20 %

Tabell 1: Mekaniska egenskaper för aluminiumlegeringen 2024-T4.

$A = \pi d^2/4$. $\sigma = F/A$. $F = \sigma A$. För att undvika neckning får den maximala spänningen ej överskrida materialets brottgräns. Brottgräns från tabell 1: 469 MPa. $F = 469 \cdot 10^6 \cdot \pi d^2/4 \approx 920$ kN.

d) Beskriv vad som menas med ett materials brottseghet. (1 poäng)

Med brottseghet menas att materials förmåga att motstå spricktillväxt när materialet innehåller sprickor och utsätts för en last.

2 Kristallstruktur, atombindningar och härdningsmetoder

a) Skissa en FCC-enhetscell och visa i din skiss vilket som är det tätpackade kristallplanet. Motivera även betydelsen av ett tätpackat plan för materialets mekaniska egenskaper. (2 poäng)

Se kursbok/föreläsning för skiss av FCC. Det tätpackade planet är (111)-planet. Dislokationsglidning sker lättast längs tätpackade plan i tätpackade riktningar. Den kritiska skjuvspänningen är den spänning som krävs för att orsaka dislokationsglidning längs ett kristallplan. FCC-metaller har tätpackade plan men då BCC-metaller saknar tätpackade plan krävs normalt en högre spänning för att orsaka dislokationsglidning i en BCC-metall jämfört med en FCC-metall. Hos BCC-metaller rör sig dislokationer istället längs "nästan" tätpackade plan. Det är ett högre friktionsmotstånd mot dislokationsrörelse i "nästan" tätpackade plan jämfört med tätpackade plan.

b) Beskriv på vilket sätt som ett materials atombindningar påverkar materialets mekaniska egenskaper. (1 poäng)

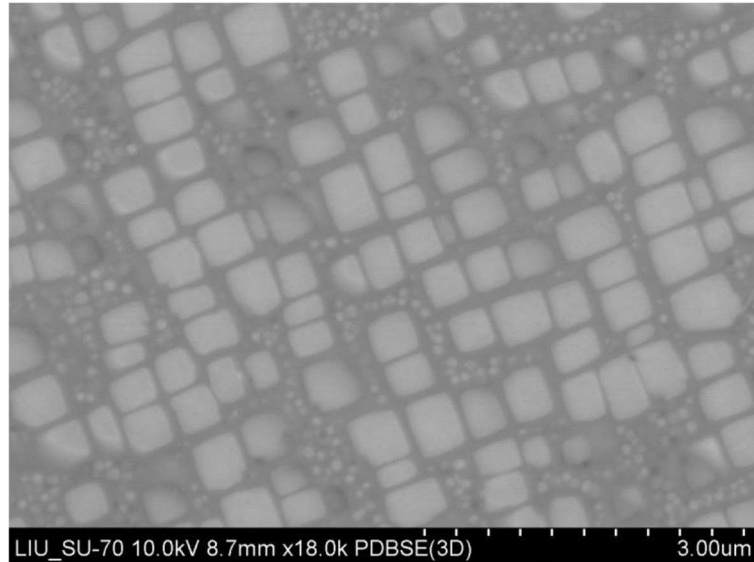
Se kapitel 6-4 i kursboken. Generellt kan man säga att ett materials styvhet (elasticitetsmodulen) är direkt kopplad till styrkan hos materialets atombindningar. Starka bindningar -> högre styvhet. Vid elastisk deformation kan man tänka att bindningarna är fjädrar som dras ut där fjäderkonstanten motsvaras av elasticitetsmodulen.

c) Lösningshärdning, partikelhärdning, korngränshärdning och deformationshärdning är alla exempel på härdningsmekanismer hos metalliska material. Förenklat kan man säga att respektive mekanism är kopplad till en typ av kristallfel i kristallstrukturen. Koppla ihop respektive mekanism med en typ av kristallfel. Motivera dina val. (4 poäng)

Lösningshärdning: Punktfel, t.ex. interstitiell eller substitutionell atom. Punktfelen ger upphov till en störning i kristallstrukturen vilket försvårar för dislokationsglidning och därmed härdar materialet (högre sträck- och brottgräns). Partikelhärdning: Volymfel, t.ex. utskiljning av en annan fas. Dislokationer har svårt att tränga igenom partiklarna är därmed härdas materialet. Korngränshärdning: Ytfel, t.ex. korngräns. Korngränserna agerar som stopp för dislokationsglidning. Deformationshärdning: Linjefel, t.ex. dislokation. En ökad dislokationstäthet leder till att dislokationerna stoppar upp varandra, jämför med trafikstoppning i en korsning där en bil är en dislokation. Se vidare kapitel 4 i kursbok och skissa gärna bilder på respektive kristallfel.

d) Figur 1 visar mikrostrukturen hos en nickel-baserad superlegering som bland annat används i kritiska komponenter gasturbiner och flygmotorer. Materialet

består av två faser: γ (mörk fas) och γ' (ljus fas). Ange med hjälp av bilden vilken härdningsmekanism som bidrar till en ökad hållfasthet för just detta material. Förklara även på vilket sätt denna härdningsmekanism gör materialet starkare. (3 poäng)



Figur 1: Mikrostruktur hos en nickel-baserad superlegering.

Detta material är partikelhärdat. De kubiska utskiljningarna, γ' , är partiklarna och agerar som förstärkning i en matris av γ . Styrkan hos metalliska material är direkt kopplad till hur väl materialet kan stå emot dislokationsglidning. Stort motstånd mot dislokationsglidning \rightarrow starkt material. γ' -fasen har hög styrka och agerar som hinder för dislokationsglidning i materialet. Se kapitel 11-1 i kursboken.

3 Diffusion, korrosion och stelning

a) Med diffusion menas en orienterad förflyttning av atomer/joner i ett material och detta kan användas som ett kraftfullt verktyg för att uppnå önskade egenskaper i materialet. Till exempel vid sätthärdning av stål som studerades i en av kursens laborationer. Beskriv hur processen sätthärdning går till och vilka materialegenskaper man önskar att uppnå med processen. (3 poäng)

Se kapitel 5-1 i kursbok och laboration 3. Vid sätthärdning (uppkolning) av ett stål lägger man stålet i en ugn med hög temperatur och en kolrik miljö, ofta en gas. Vid den höga temperaturen kan kolatomer diffundera in i ytan på stålet och diffusion sker lättare vid hög temperatur. Med processen erhåller man ett material med hög hårdhet i ytan tack vare den höga kolhalten. Den inre kärnan av materialet behåller sig seghet vilket är önskvärt.

b) Beskriv kortfattat vad som menas med begreppet korrosion. (1 poäng)

Med korrosion menas nedbrytning av material.

c) Vad menas med anodisering av aluminium? Beskriv hur processen går till och vad syftet med behandlingen är. (3 poäng)

Anodisering är en process för att skapa ett ytskikt (ofta oxidskikt) hos ett metalliskt material som ska skydda materialet från t.ex. korrosion. Ytskiktet tål även mekanisk nötning bättre och förbättrar även materialets förmåga att bli målat. Se kap 23-6 och föreläsning 9 angående hur processen går till.

d) Att förstå hur stelning av en metallsmälta sker och vilka egenskaper som erhålls är viktigt inom materialtekniken inte bara för detaljer som ska gjutas till en exakt form. Till exempel vid sammanfogningsmetoden svetsning kommer svetsfogens egenskaper bero av stelningsprocessen vid svetsningen. Ange i vilka steg som stelning av en metallsmälta sker samt beskriv skillnaden på homogen och heterogen kärnbildning. (3 poäng)

Stelning sker i stegen: kärnbildning och tillväxt. Homogen kärnbildning sker direkt ur smältan och kräver stor underkylning. Heterogen kärnbildning sker på redan befintliga ytor och kräver mindre underkylning. Se kap 9-1 och föreläsning 3.

4 Järnlegeringar och fasdiagram

a) Ange den huvudsakliga skillnaden i kemisk sammansättning mellan ett rostfritt stål och gjutjärn. (1 poäng)

Rostfritt stål: Fe, 0.1-2 % C och minst 12 %Cr. Gjutjärn: Fe, 2-4% C och 0,5-3% Si.

b) Inom ramen för kursen behandlades fem grupper av rostfria stål samt fem grupper av gjutjärn. Välj ett rostfritt stål samt ett gjutjärn och beskriv dess respektive mikrostruktur, egenskaper och typiska användningsområden. (4 poäng)

Se kursbok kapitel 13-10 och 13-11 samt föreläsningar.

I appendix finns fasdiagrammet för järn-kol (Fe-C). Betrakta legeringen Fe-0,5%C och besvara följande frågor.

c) Bestäm kemisk sammansättning och andelar av respektive fas vid 728 °C. (2 poäng)

Faser? cementit (Fe_3C) och austenit (γ). Kemisk sammansättning? $C_{\text{Fe}_3\text{C}}=6,67\%C$ och $C_\gamma=0,77\%C$. Fasandelar? $\% \text{Fe}_3\text{C}=(1-0,77)/(6,67-0,77)\approx 4\%$. $\% \gamma=100-4=96\%$.

d) Bestäm kemisk sammansättning och andel respektive strukturbeståndsdel vid 726 °C. (2 poäng)

Strukturbeståndsdelar? Primär cementit ($\text{Fe}_3\text{C}'$) och perlit ($\alpha+\text{Fe}_3\text{C}$). Kemisk sammansättning? $C_{\text{Fe}_3\text{C}'}=6,67\%C$ och $C_{\text{perlit}}=0,77\%C$.

Andel av strukturbeståndsdelar? $\% \text{Fe}_3\text{C}'=4\%$ och $\% \text{perlit}=96\%$. Dessa värden tas från c-uppgiften. Detta då allt som var γ över den eutektoidiska linjen har blivit perlit och Fe_3C finns kvar (men kallas nu primär för att inte blanda ihop den med den Fe_3C som finns i perliten).

e) Beskriv vad som har hänt i materialet när temperaturen har sjunkit från 728 °C till 726 °C? Skissa gärna bilder på mikrostrukturen. (1 poäng)

När temperaturen sjunker från 728 °C till 726 °C genomgår delar av materialet en

eutektoidisk reaktion. Med eutektoidisk reaktion menas att två fasta faser bildas samtidigt ur en annan fast fas. I detta fall har allt som var austenit ovanför linjen blivit till perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) under linjen. Se t.ex. kapitel 12-8 för bilder på hur mikrostrukturen förändras när temperaturen sjunker.

5 Polymerer, kompositter och materialval

a) Polymerer brukar delas in i grupperna termoplaster, härdplaster och elastomerer. Beskriv skillnader mellan dessa grupper vad gäller inre struktur och egenskaper. (3 poäng)

Samtliga grupper är uppbyggda av långa molekylkedjor. Skillnaden mellan grupperna är hur molekylkedjorna är bundna till varandra. Hos termoplaster är kedjorna sammanlänkade med van der Waals-bindningar som är svaga bindningar. Härdplaster och elastomerer däremot har starka kovalenta tvärbindingar mellan kedjorna. Hos härdplaster är det tätt mellan de starka tvärbindingarna medan det hos elastomerer är relativt glest. Hos elastomerer är kedjorna även upplindade i spiraler vilket leder till att dessa har stor elastisk deformation. Termoplaster är den enda av grupperna som är smältbar. För att visa de mekaniska egenskaperna kan en typisk dragprov-kurva för respektive grupp skissas och beskrivas. Se kapitel 16 och lektion 8.

b) Vid konstruktion med polymera material måste man i de flesta fall beakta polymerens glasomvandlingstemperatur. Vad menas med glasomvandlingstemperatur och hur påverkar denna materialets mekaniska egenskaper? (2 poäng)

Med glasomvandlingstemperatur menas den temperaturen då en polymer går från att vara seg och duktil (över T_g) till att vara spröd och glasaktig (under T_g). Till exempel sjunker E-modulen drastiskt när man går över T_g .

c) Vad är ett kompositmaterial och vad har denna materialgrupp för typiska egenskaper? Ge även ett exempel på en applikation där kompositter är ett lämpligt materialval. Motivera. (2 poäng)

Ett kompositmaterial är en sammansättning av två eller flera material. Vanligast är att ett material agerar matris och det andra förstärkning. Ett vanligt exempel är en kolfiberkomposit där epoxi ofta används som matris och kolfiber som förstärkning. Kompositmaterial har ofta en hög specifik styrka, det vill säga hög styrka i förhållande till sin låga vikt. Detta är t.ex. bra i flygplan och cyklar. Vidare är dessa material ofta dyra i förhållande jämfört med t.ex. Al-legeringar som också har hög specifik styrka. Kolfiberkompositter används därmed i applikationer där lågt pris inte är ett krav.

d) Flytande naturgas har en temperatur på cirka -160 °C och när naturgasen ska transporteras används i många fall behållare av aluminium. Motivera detta materialval utifrån minst två viktiga egenskaper hos aluminium. (3 poäng)

Aluminium har FCC-struktur och därmed ingen omslagstemperatur. Med omslagstemperatur menas den temperatur där materialet får förändrade mekaniska egenskaper (för polymerer kallas denna för glasomvandlingstemperatur). När man går under omslagstemperaturen erhålls spröda egenskaper istället för ett duktilt beteende över omslagstemperaturen. Då naturgasen har så pass låg temperatur är

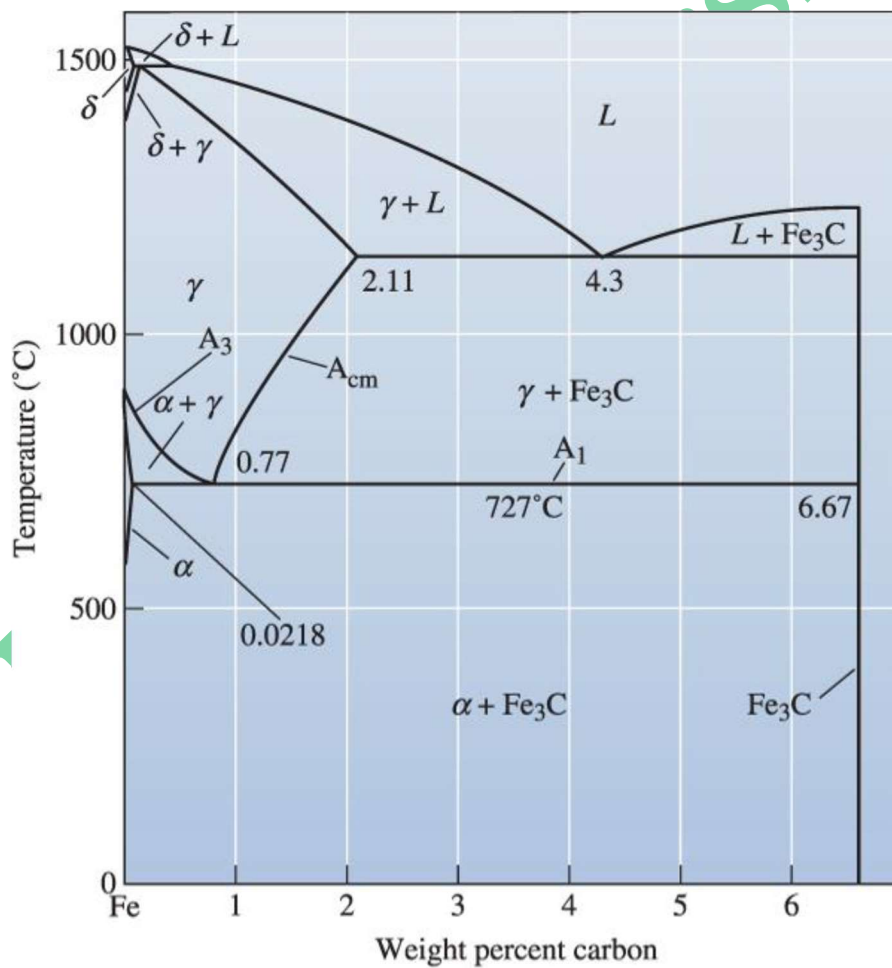
det viktigt att materialet inte har en omslagstemperatur och därmed blir sprött. Ett stål med BCC-struktur hade fått spröda egenskaper vid $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ och därmed inte varit ett lämpligt materialval. En ytterligare egenskap som är viktig för materialet till behållaren som ska transporteras är att det ska ha låg densitet. Vid materialval av produkter/konstruktioner som ska transporteras är låg vikt ofta ett krav för att minska bränsleförbrukningen. Aluminium till gruppen lättmetaller och Al-legeringar har låg vikt men fortfarande hög styrka.

Appendix

Mekaniska egenskaper

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Fasdiagram



Figur 2. Fasdiagram för Fe-C.