

MH2050 Materialens Mekaniska Egenskaper, 6hp

Kurs-PM 2021

Lärare

Examinator:	Stefan Jonsson	(SJ)	070-290 84 04	jonsson@kth.se
Administratör:	Anders Eliasson	(AE)	08-790 72 55	anderse@kth.se
Assistent:	Nader Heshmati	(NH)	073-928 03 12	nader2@kth.se

Schema (uppdaterat 2021-11-02), F = Föreläsning, Ö = övning

Alla föreläsningar kommer att kunna följas via ZOOM. Dessutom finns inspelningar från föregående år. Alla inspelningar finns på play.kth.se.

Vi kommer inte att ha något studiebesök på Scania pga ointresse från tidigare års studenter.

Lektioner/Övningar/Zoom möten startar med akademisk kvart 15 min efter hel timme.

Table 1 Aktiviteter i kronologisk ordning

Datum	Tid	Plats	ZOOM ID	Aktivitet	Ämne
3/11	13-15	V01	618 3032 4030	F1	Plastisk deformation
5/11	13-15	V01	693 9227 9235	F2	Plastisk deformation
8/11	10-12	V01	640 6432 2146	F3	Dislokationsteori
11/11	08-10	V01	620 0558 5884	F4	Dislokationsteori
15/11	13-15	V01	688 4591 3707	F5	Härdningsmekanismer
15/11	15-17	V01		Ö1	
18/11	13-15	V11	679 7940 9374	F6	Härdningsmekanismer
19/11	13-15	V01		Ö2	
24/11	08-10	Canvas	611 5606 5123	KS	KS på Canvas, frågor på Zoom
24/11	13-15	V01	623 5652 3024	F7	Statiska brott
26/11	13-15	V01		Ö3	
29/11	10-12	V01	668 9020 9576	F8	Utmattning
1/12	10-12	V01	675 5390 9318	F9	Utmattning
2/12	13-15	V01		Ö4	
6/12	13-15	E32	654 0958 0045	F10	Krypning
9/12	10-12	V21		Ö5	
					Rapport för SEM1
13/12	10-12	V01	696 2333 4573	F11	Repetition
16/12	13-15	V21	664 5554 6497	SEM	Seminarium
jan 17	08-13	Canvas	617 7670 3870	TENA	Tenta på Canvas, frågor på Zoom

Uppdaterat schema finns på:

<https://www.kth.se/social/course/MH2050/calendar/>

Kursinnehåll

Kursen har en teoretisk del som kopplar *metallens* mekaniska egenskaper till deras mikrostruktur och som förklarar uppkomst och utveckling av deformationsmikrostrukturer. Plastisk deformation, sett från kontinuum- och kristallplastiskt perspektiv, följs av dislokationsteori och härdningsmekanismer. Därefter följer en mer tillämpad kursdel om statiska sprickor, segt och sprött brott, utmattning, krypning och deformationsåldring. Kursen har också en räknedel där modeller tillämpas på experimentell data.

Lärandemål

Efter genomgången kurs skall studenten, för metaller, kunna:

1. Teoretiskt beskriva deformation och koppla mekaniska egenskaper till mikrostruktur.
2. Teoretiskt och praktiskt beskriva brott, brottytor, utmattning, krypning och deformationsåldring.
3. Modellera experimentell information om mekaniska egenskaper.
4. Värdera betydelsen av metallens mekaniska egenskaper.

Läromålen (LM) inbegriper följande:

LM1	teori	Elastisk och plastisk deformation, deformationsmekanismer, dislokationsteori, och härdningsmekanismer
LM2	tillämning	Segt och sprött statiskt brott, brottytor, utmattning, krypning och deformationsåldring
LM3	modellering	Modellering av mekaniska egenskaper
LM4	seminarium	Koppling av mikrostruktur och mekaniska egenskaper med värdering och reflektion i ett vidare sammanhang

Examinationsmoment

Kod	LM	hp	Betyg	Frågor (Q1-Q9)	Kommentarer
KON1	1	0.0	A-F	1-3	Frivillig
INL1	3	0.0	A-F	-	Handskrivna lösningar av utdelade problem. Kan lämnas in när som helst, även efter tentamen.
SEM1	4	2.0	P,F	-	Seminarium, gruppuppgift
TENA	1,2,3	4.0	A-F	1-3 är som KS 4-6 är efter KS 7-9 är del 2	Tentamen del1 är <u>utan</u> hjälpmedel del2 är räknedel med hjälpmedel

Examinationen sker med en kombination av frivilliga och obligatoriska moment. De frivilliga ersätter motsvarande obligatoriska moment men man kan låta sig examineras två gånger om man vill, varvid bästa resultat räknas.

LM1 (teori) examineras med kontrollskrivning, KON1, med frågorna Q1-Q3. Vid behov finns möjlighet att komplettera någon eller alla frågor på tentamen, TENA. Om man svarar på fråga Qi både på KON1 och TENA så räknas det bästa resultatet på fråga Qi.

LM2 (tillämpning) examineras med tentamen, TENA, med frågorna Q4-Q6.

LM3 (modellering) examineras med INL1 för GK och med TENA, Q7-Q9 för GK eller högre betyg. Det räcker med GK på INL1 för GK på LM3.

LM4 (seminarium) examineras genom att lämna in en rapport på en projektuppgift samt hålla en presentation vid ett seminarium. Uppgifterna är menade för mindre grupper och konstruerade så att olika delar av kursen länkas samman och möjliggör reflektion över kursinnehållet.

Krav för godkänt

För LM1 och LM2, som examineras med frågor och som bedöms med poäng, krävs att respektive miniminivå uppnås. Se tabell nedan och läs mer under målrelaterade betygsriterier.

För LM3 (modellering) måste man lösa tentans problemräkningsdel tillräckligt bra eller lämna in handskrivna lösningar till en serie utdelade problem.

För LM4 (seminarium) krävs att en rapport lämnas in och att ett seminarium genomförs. Uppgiften utförs i grupp där det gäller att beskriva ingående fenomen samt att koppla dem till varandra så att en större förståelse och insikt uppnås. Varje student får ansvara för en deluppgift eller för skapandet av helhetsintrycket.

En skriftlig rapport lämnas in 1 vecka före seminariet och skall visa vad som kommer att presenteras. Normalt innebär detta någon sida text och några bilder räknat per student. För att bli godkänd fordras att studenten förstår sin deluppgift, är förberedd och redovisar sin deluppgift med tydlighet. Relevanta figurer och delar av kursen skall ingå i redovisningen och den skriftliga rapporten. Det är önskvärt, men ej nödvändigt, att någon annan källa än kursmaterialet beaktas och tas med i presentationen och rapporten. Helhetsintrycket ska förmedla hur de olika delarna som presenterats samverkar med varandra. För detta har gruppen ett gemensamt ansvar. Detta kan göras genom att sätta in uppgiften i något relevant sammanhang, eller visa exempel på observerade eller tänkbara effekter av det studerade fenomenet. Efter presentationen kan övriga kursdeltagare ställa frågor för att få en kortfattad diskussion.

Betyg E ges för kursen då samtliga lärandemål blivit godkända.

Krav för kursbetyg A-D

Alla läromål måste vara godkända, dvs kraven för betyg E måste vara uppfyllda. Därefter läggs uppnådd poängsumma för LM1, LM2 och LM3 ihop och jämförs med betygsriterierna. Se tabell nedan.

LM4 används inte för bedömning av högre betyg.

Tabell 1 Betygskriterier med maxpoäng angivna. För Q1-Q3 räknas det bästa resultatet från KON1 och TENA

	LM1, teori			LM2, tillämpning			LM3, modellering			LM4
Frågor	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	
KON1	8	8	8							
INL1							5x5=25			
SEM										P
TENA(1)	8	8	8	8	8	8				
TENA(2)							16	16	16	
	Bäst av KON1 & TENA									
Summa	S1			S2			S3			P
Gränser	E=12, FX=11			E=12, FX=11			E=25, FX=22			
	Uppfylls samtliga ovanstående krav ges betyg E									
	För betyg A-D räknas samtliga poäng ihop och jämförs med gränserna									
Max	24			24			48			P
Total	24+24+48 = 96									
Gränser	A 90%, B 80%, C 70%, D 60 % (A86p, B77p, C67p, D58p)									

Mårelaterade betygskriterier

Bedömning av svar görs med poängsättning där poäng ges för svarets **kvalitet och korrekthet**. Det gäller alltså att motivera svaret med tillämpliga delar från kursen, att inte utelämna viktiga saker och att inte komma med felaktiga påståenden. Olika meningar får inte stå i konflikt med varandra. Illustrationer ska vara tydliga, försedda med relevanta axelbeteckningar och fria från teoretiska "omöjligheter" eller mycket osannolika händelser. Illustrationer och text får inte heller stå i konflikt med varandra.

Vid bedömningen värderas detaljrikedom, motivering och analysförmåga. Nedan ges två exempel för att illustrera vad som förväntas på den avancerade nivån. Tabellen läses med fördel nerifrån, då varje nivå kan ses som en påbyggnad av de underliggande. Det kan påpekas att exemplen visar nivån. Det är mycket svårt att minnas alla detaljer. För A-nivån på utmattning, kan flera av detaljerna i diskussionen saknas under förutsättning att det som sägs är på den redovisade nivån. Ofta visar frågan mer specifikt vad som förväntas.

A	Redogöra för detaljerade samband och mekanismer. Kunna föra resonemang på en övergripande nivå där olika mekanismer analyseras och/eller jämförs med stor detaljrikedom och tydliga motiveringar.
<p>Bauschingereffekten: Rita diagram och förklara uppkomsten av mikrospänningarna, visa att de korn som har lägst flytspänning i riktning 1 kommer att få högst spänning efter reversering. Förklara att spänningarna omfördelas vid fortsatt deformation och att vi egentligen bara mäter ett medelvärde av en svärm olika inre spänningar och töjningar. Förklara att reverserad deformation betyder att dislokationer med motsatt teckens sänds ut, jämfört med tidigare, vilket ger en effektiv plastisk återhämtning med reducerad dislokationsdensitet och lägre flytspänning som följd.</p> <p>En utmattningssprickas initiering, tillväxt och restbrott: Vid polerad provstav bildas intrusioner/extrusioner där persistent slip bands mynnar på kristallytan. Pga oxidation av nyexponerad metall, kan deformationen inte reverseras när belastningen reverseras. Initieringen är skjvukontrollerad och den första sprickan växer 45° mot huvudspänningsriktningen genom det första kornet. Sprickan byter därefter riktning och växer 90° mot huvudspänningsriktningen. När sprickan växer ökar $\Delta K_{I,eff}$ vilket gör att sprickans tillväxthastighet konstant ökar. Den plastiska zonen blir snabbt betydligt större än normal kornstorlek och tillväxten, da/dN är relativt oberoende av olika mikrostrukturelement. Spricktillväxten är i Parisregimen där $\log(da/dN)$ är linjär mot $\log(\Delta K_{I,eff})$. Den effektiva spänningsintensitetsfaktorn, $\Delta K_{I,eff}$ utgör skillnaden i ΔK på dragspänningssidan i utmattningcyklerna. Genom att mäta avståndet mellan striationerna kan man mäta da/dN på en utmattningsbrottyta. Striationer är ofta tydliga i Al men kan vara mindre utvecklade i stål. Vid utmattning i vakuum bildas oftast inte striationer vilket betyder att oxidation i sprickspetsen är viktig för deras bildande. Utan oxidation är deformationen i sprickspetsen mer reversibel och räfflor utbildas inte. Restbrottet, som är sprött, sker vid maxlasten i sista cykeln när K_{IC} överskrids.</p>	
C	Redogöra för samspel mellan olika begrepp och förklara orsakssamband i flera steg. Förklara och redogöra för mekanismer med större detaljrikedom och med tydliga motiveringar.
<p>Bauschingereffekten: Förklara att sänkningen beror på mikrospänningar (bakspänningar) och att dislokationerna ska passera hinder som de redan passerat när deformationen reverseras.</p> <p>En utmattningssprickas initiering, tillväxt och restbrott: Initiering sker ofta vid defekter, så som stora inneslutningar, karbidkluster, korrosionsgropar, slagmärken och repor. På polerad provstav bildas intrusioner där sprickinitiering sker. Vid tillväxt bildas striationer, räfflor, som visar utmattningssprickans läge i varje cykel. Genom att följa dem bakåt hittar man initieringspunkten. Tillväxten sker vinkelrätt mot största huvudspänningen och är snabbast i centrum av en kropp pga av mindre plastisk zon där, än i ytan. När K_{IC} överskrids sker restbrott.</p>	
E	Redogöra för grundläggande begrepp och förklara de viktigaste orsakssambanden.
<p>Bauschingereffekten: Flytspänningen sjunker vid reverserad deformationsriktning.</p> <p>En utmattningssprickas initiering, tillväxt och restbrott: En utmattningsspricka måste först initieras. Därefter tillväxer den i varje lastcykel. I början sker tillväxten sakta men i slutet går den fort. Slutligen sker restbrott vilket har ett helt annat utseende på brottytan.</p>	

Exempel på omöjligheter

Nedan ges några exempel på "omöjligheter" som leder till 1-2p avdrag i en 3p-fråga.

- Mohrs cirkel förskjuts upp/ned längs med τ -axeln. Mohrs cirkel minskar med ökad deformation.
- Krypkurvan ritas så slarvigt att den får ett max och ett min. Detta betyder att krypningen skulle reverseras, dvs en dragbelastad provstav skulle krympa, vilket förefaller omöjligt (eller kräver att mycket konstiga saker händer i materialet).
- S-N kurvan visar ett minimum och går upp igen. Detta är helt omöjligt beroende på att testningen utförs vid olika värden på y-axeln, spänningsamplituden. Livslängden plottas på x-axeln. För varje y-värde kan det bara finnas ett x-värde, om än med stor spridning, men kurvan kan aldrig vända upp. Den kan bara plana ut mot oändlig livslängd när amplituden minskar.
- S-N kurvan skär x-axeln. Detta skulle betyda att utmattning kan ske vid noll spänningsamplitud.
- S-N kurvan i korrosivt medium visar längre livslängd än i inert atmosfär/vakuum. (I och för sig inte omöjligt, men väldigt konstigt.)

Exempel på inkonsistens

- I svaret anges korrekt att lösningshärdning inte påverkar deformationhårdenheten. En illustration visar att flytkuvan ändrar lutning. (Den ska ju bara parallellförskutas uppåt. Inte ändra lutning.)
- I svaret diskuteras pile-up av kantdislokationer. En illustration visar en lågvinkelkorngrens där kantdislokationerna är travade på varandra. (I en pile-up ligger kantdislokationerna som ett tåg efter varandra i samma glidplan.)

Exempel på slarvfel utan avdrag

- En illustration av utmattningshållfasthet mot statisk belastning är helt korrekt, men linjerna för oändlig livslängd och omedelbart brott har markerats fel (förväxlat). I svaret beskrivs allt korrekt. Förväxlingen anses vara ett slarvfel och passerar utan avdrag.

Övriga förtydliganden

TENA 4h, skrivs utan hjälpmedel och examinerar teori och tillämpningar. Teoridelen görs utan hjälpmedel. På teoridelen får hjälpmedel användas, så som Excel, Matlab och formelsamlingar.

Betyg A-D delas ut som en procent av maxpoängen. Det ska noteras att det kan behövas mindre justeringar, t. ex. om en fråga är misledande eller felaktigt formulerad, eller om frågorna verkar ha blivit i svåraste laget.

Poängen kommer inte att rapporteras utan används för gradering. Däremot kommer de att förmedlas till kursdeltagarna.

Komplettering

Komplettering är möjlig genom att lämna in *handskrivna* (scannat/fotat med mobil, och inskickat via epost går bra) lösningar till den del/de delar på tentamen där man fick FX. För F på SEM1 får man lämna in en ny rapport och komma överens med examinatoren om en ny presentation.

Seminarium

Varje student, väljer en uppgift från listan som finns på Canvas. En skriftlig rapport lämnas in enligt inlämningsdatum i ovanstående schema. Eftersom vi har 4h totalt för seminariet så kan bidraget från en enskild student vara max ca 5 min.

Kursmaterial

Kompendium Tryckt ex kan fås på begäran.	Mechanical Properties of Metals and Dislocation Theory from an Engineer's Perspective, S. Jonsson. (Gratis)
Canvas	Kompendium och övrigt kursmaterial

Med reservation för skrivfel. Vänligen påtala eventuella otydligheter i texten.

Stefan Jonsson