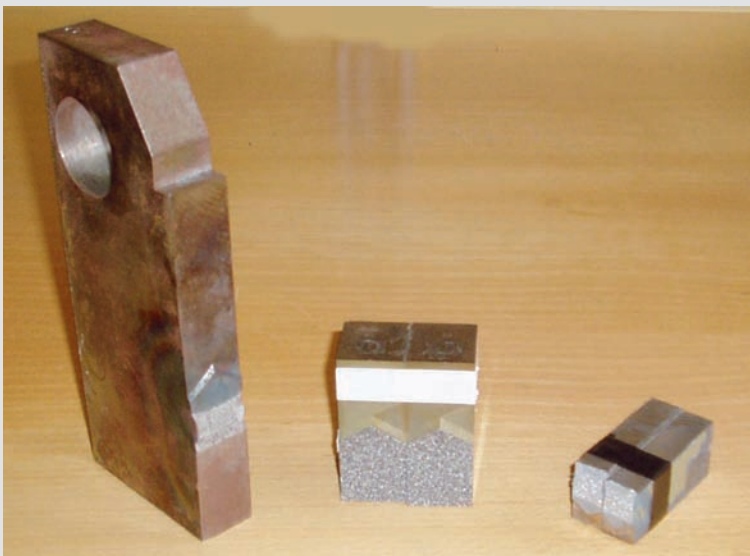


Att konstruera med stål

Läromedel för konstruktörer



KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad



Modul 9

Brottmekanik

Kjell Eriksson

Att konstruera med stål - Läromedel för konstruktörer omfattar:

- Modul 1 **Allmänna grunder**
Ove Lagerqvist, LTU
- Modul 2 **Material och komponenter**
Anders Samuelsson, SSAB Oxelösund och Anders Olsson, Outokumpu Stainless
- Modul 3 **Konceptuell utformning**
Bernt Johansson, LTU och Håkan Sundquist, KTH
- Modul 4 **Bärverksanalys**
Bernt Johansson, LTU
- Modul 5 **Tvårsnittsbärförmåga**
Bernt Johansson, LTU
- Modul 6 **Stabilitet för stänger och balkar**
Torsten Höglund, KTH
- Modul 7 **Kallformade profiler**
Torsten Höglund, KTH och Jan Strömberg, Plannja
- Modul 8 **Utmattning**
Kjell Eriksson, LTU
- Modul 9 **Brottmekanik**
Kjell Eriksson, LTU
- Modul 10 **Förband**
Bert Norlin, KTH och Milan Veljković, LTU
- Modul 11 **Bärförmåga vid brand**
Peter Karlström, SBI
- Modul 12 **Tillverkning, montering och kontroll**
Björn Uppfeldt, SBI

Materialet har tillkommit med bistånd från följande institutioner och företag:

SSAB Tunnbrät AB

www.ssabtunnbrat.com

SSAB Oxelösund AB

www.oxelosund.ssab.se

Outokumpu Stainless AB

www.outokumpu.com

Plannja AB

www.plannja.se

Banverket

www.banverket.se

Skanska Sverige AB

www.skanska.se

**SBUF-Svenska Byggbranschens
Utvecklingsfond**

www.sbuf.se

KTH-Kungliga Tekniska Högskolan

www.kth.se

LTU-Luleå tekniska universitet

www.ltu.se

SBI-Stålbyggnadsinstitutet

www.sbi.se

Björn Wahlströms Fond

Förord

I *Att konstruera med stål* har svenska forskare och experter samlats för att ta fram ett läromedel som med sina tolv fristående moduler täcker det mesta en stålkonstruktör kan råka ut för i sin vardag. *Att konstruera med stål* är tänkt för teknologer som studerar på en nivå motsvarande de avslutande årskurserna av en svensk civilingenjörsutbildning, men kan i sin helhet eller i delar även användas för kortare, koncentrerade kurser riktade mot redan yrkesverksamma konstruktörer och beräkningsingenjörer.

I teknikhistorien kommer sprött brott i konstruktionsstål och dess behandling under nittonhundratalet att få en central plats. Omfattande haverier i broar och fartyg kulminerade strax före sekelmitt och den följande utvecklingen av motåtgärder ägde rum inom två närliggande discipliner, den ena materialteknisk och den andra inom mekaniken.

Inom materialtekniken undersöktes villkoren för sprödbrott i samtida konstruktionsmaterial och grunden lades för dagens moderna höghållfasta stål med god och tillfredsställande seghet. Materialtekniken tog väsentligen sikte på kontroll av stålets mikrostruktur, främst kornstorlek, samt utveckling av legeringsteknik och termomekanisk behandling. Med grund i de traditionella kolstålen utgjorde de tätade kolmanganstålen ett första steg i utvecklingen av de moderna konstruktionsstålen och i dag är finkornstål, mikrolegerade stål och utskiljningshärdade mikrolegerade stål viktiga milstolpar.

Denna utvecklingslinje kan emellertid inte drivas hur långt som helst utan när småningom mättnad. I grova drag kan med dagens teknik stålets hållfasthet ökas mer än segheten. Ju högre hållfasthet desto lägre blir segheten, relativt sett, och absolut sett blir ett mycket höghållfast stål lika sprött som de varifrån utvecklingen utgick. För att kunna framställa stål med ytterligare förhöjd hållfasthet och med seghet i paritet med hållfastheten, måste man antingen finna en ny teknik eller göra en väsentlig upptäckt inom den befintliga.

Inom den mekanistiska inriktningen identifierades de faktorer som är avgörande för brott och deras inverkan var för sig och i samverkan klarades. Samtidigt utvecklades och verifierades mekaniska modeller för dimensionering. Denna del av mekaniken kallas i dag brottmekanik där en gren, mycket kortfattat, behandlar inverkan av sprickor på konstruktioners lastbärande förmåga. Det finns i dag ett antal väl beprövade brottmekaniska dimensioneringsmetoder och vissa är normerade i Eurokod 3.

Avsnittet Brott är en fenomenologisk genomgång på en relativt elementär nivå av brottmekanikens grunder och några av de för närvarande mest använda dimensioneringsmetoderna. En målsättning har varit att ge läsaren en överblick av dagens metoder och deras ursprung och även en inkörsport för vidare studier i ämnet. Som alltid kommer nya och mer effektiva dimensioneringsmetoder att utvecklas från vissa av dagens metoder medan andra faller i glömska. Vad man i dag med stor säkerhet ändå vågar förutsäga är att morgondagens brottvillkor kommer att vila på energibalans analogt med Griffiths formulering redan 1921.

Sprödbrotten minskade starkt i omfattning redan för ett halvt sekel sedan men enstaka fall uppträder än i dag i äldre konstruktioner. Men det spröda brottet är likt en farsot som inte kan utrotas. Det kan dock hållas på betryggande avstånd om tillräcklig kunskap om fenomenet och dess förutsättningar vidmakthålls och tillämpas. Sänker man garden slår sprödbrottet tillbaka direkt och obönhörligt. Det är därför av stor vikt att tidigare generationers, ofta bittra erfarenheter inte får falla i glömska. Avsnittet Brott har också ambitionen att vara en minneslapp om sprödbrottets risker.

Luleå i september 2005

Kjell Eriksson

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Dragprovning	3
2.1	Dragprovkurvan	3
2.2	Dragprovdata.....	4
2.3	Påkänning.....	5
2.4	Inverkan av temperatur.....	5
3	Slagprovning	7
3.1	Historik.....	7
3.2	Provning.....	7
3.3	Slagprovdata	8
3.4	Kvalitetsklasser	8
4	Brottmekanik	11
4.1	Linjär brottmekanik	11
4.1.1	Griffiths brottvillkor	11
4.1.2	Deformationsmodus.....	12
4.1.3	Spänningar vid en sprickspets.....	13
4.1.4	Spänningsintensitetsfaktor.....	14
4.1.5	Styrd last och styrd förskjutning.....	14
4.1.6	Brottvillkor	14
4.1.7	Brottmekanisk dimensionering.....	15
4.1.8	Exempel spänningsintensitetsfaktorer	15
4.1.9	Plastisk zon vid sprickspetsen	16
4.1.10	Villkor för linjär brottmekanik.....	17
4.1.11	Appendix: Spänningsintensitetsfaktorer.....	18
4.2	Brottmekanisk provning	20
4.2.1	Provstavar	20
4.2.2	Bestämning av brottseghet.....	20
4.2.3	Korrektion för plastisk deformation	21
4.2.4	Inverkan av godstjocklek	22
4.2.5	Framtidsutsikter	22
4.3	Icke linjär brottmekanik	23
4.3.1	Dugdale-modellen	23
4.3.2	CTOD-kriterium för spricktillväxt	24
4.3.3	CTOD design curve	25
4.3.4	R6-metoden.....	26
5	J-integralen	29
5.1	Bakgrund	29
5.2	Sprickutbredningskraft och brottvillkor.....	30
5.3	Bestämning av brottseghet.....	31
5.4	J och CTOD.....	34
5.5	Stabil spricktillväxt	34
6	Spricktillväxt vid utmattning	35
6.1	Inledning	35

6.2	Spricktillväxtparametrar.....	36
6.3	Tillväxtlagar och dimensionering.....	38
6.4	Sprickslutning.....	38
6.5	Integration av tillväxtlagen	38
6.6	Spektrumbelastning	39
6.7	Korta sprickor	40
6.8	Mikrostruktur och spricktillväxt	41
6.9	Spricktillväxt och miljö.....	41
6.10	Spänningskorrosion.....	42
7	Brott i konstruktionsstål	43
7.1	Inledning.....	43
7.2	Svetsförband.....	44
7.3	Brottmekanismer	44
7.3.1	Segt brott	45
7.3.2	Sprött brott	46
7.4	Från sprött till segt brott.....	46
8	Svensk och Europeisk standard	49
8.1	Inledning.....	49
8.2	Val av stål med hänsyn till brottseghet	49
8.3	Standardförfarande	49
8.4	Särskilt förfarande.....	52
9	Referenser	53
9.1	Standard för provningsmetoder och dimensionering.....	53
9.2	Handböcker.....	53
9.3	Artiklar	53
9.4	Litteratur.....	54
10	Exempel: Brott och utmattning	55