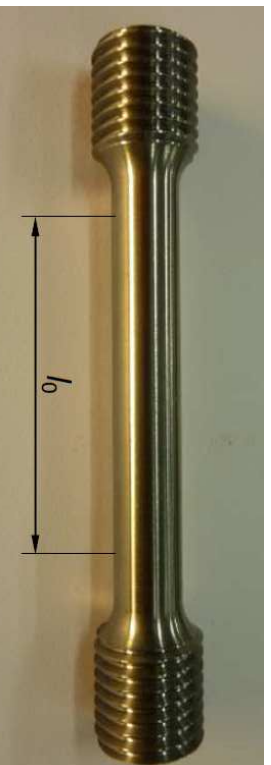


Peatükk 7

Materjalide omadused

7 - 2

Materjalide mehaanikalised omadused määratakse tavaliselt otsese testimisega, mis sageli lõpevad katsekeha purunemisega, näiteks tõmbekatse, väändekatse või löökkatse. Vastandina neile meetoditele on hakatud kasutama ka mittepurustavat testimist. Selleks, et erinevad katsetulemused oleks võrreldavad, on nii katsekehad kui katsetamise tingimused standardiseeritud. Katsekehade puhul fikseeritakse nende kuju ja mõõtmed, samuti on fikseeritud, millisel temperatuuril, õhurõhul ja õhuniiskuse juures tuleb katsed sooritada. Standardtingimustel sooritatud katsed nimetatakse *teimiks*. Üks võimalikest standardsetest teraskatsekehadest on kujutatud joonisel 7.1¹.



Joonis 7.1: Tõmbekatsel kasutatav katsekeha.

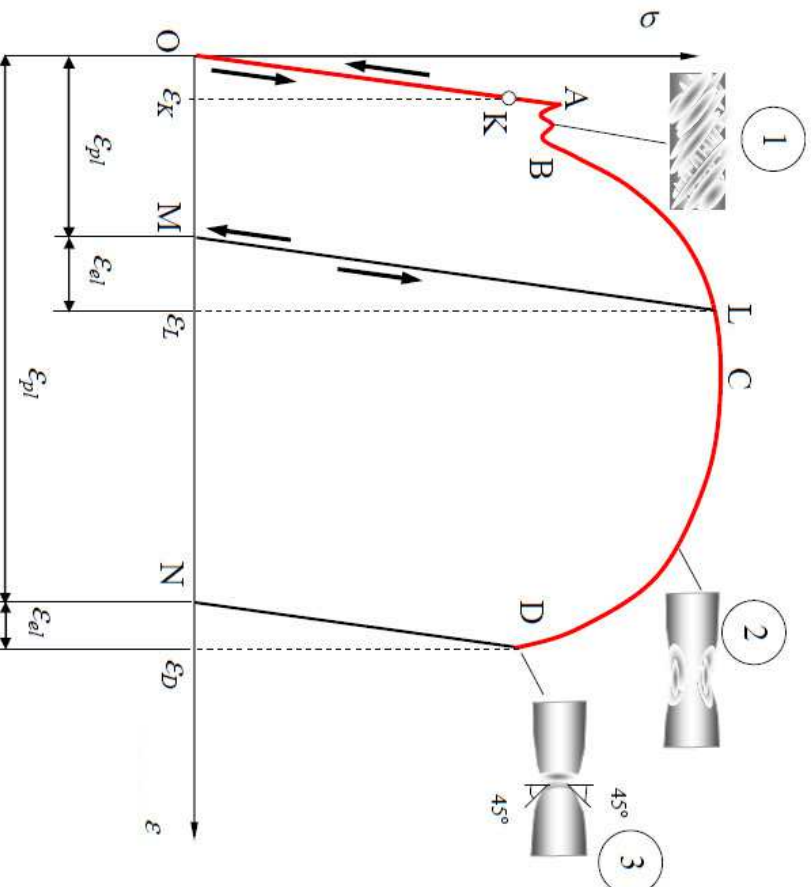
¹Selle peatüki joonised on peamiselt pärit prof. A. Klausoni koostatud õppevahendest.

7.1 Terase tõmbekatsed

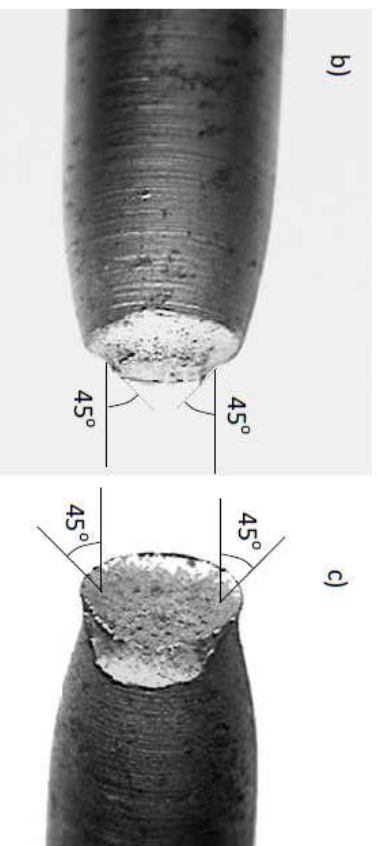
Joonisel 7.2 on kujutatud madala süsinikusisaldusega terasest katsekeha tõmbediagramm, mis esitab pinge ja deformatsiooni vahelist sõltuvust. Diagrammi võib jagada neljaks piirkonnaks.

- OA — lineaarne sõltuvus — kehtib Hooke'i seadus
- AB — voolavus — Lüdersi jooned
- BC — materjali kaljestumine — lossimine ja taaskoormamine mööda sirget LM
- CD — kaela teke — purunemine punktis D — elastse deformatsiooni kaadumine.

Tüüpiline terase purunemispilt on esitatud joonisel 7.3.



Joonis 7.2: Terase tõmbediagramm

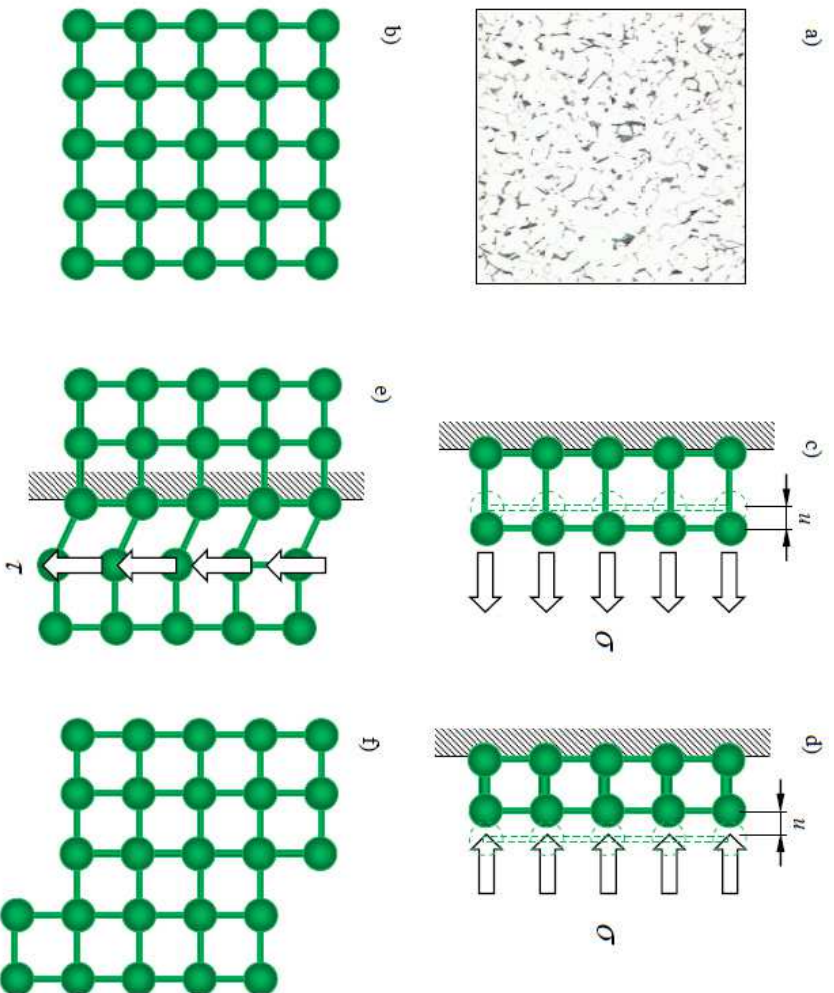


Joonis 7.3:

7.1.1 Deformatsiooni tekkemehanism

Metallidel on kristalliline struktuur. Sulametalli jahtumisel tekib palju kristalleerumistsentreid, mistõttu metall koosneb suurest hulgast teradest, mida nimetatakse kristalliitideks. Joonisel 7.4 on kujutatud kristallivõres normaalpingete ja nihkepingete poolt põhjustatud protsesse.

- a) madala süsinikusisaldusega terase pinnalt – heledamad ja tumedamad (suurema süsinikusisaldusega) kristalliidid
- b) deformeerumata kristallivõre
- c) ja d) normaalpingetest põhjustatud deformatsioonid – kui sidemed katkevad, siis toimub purunemine, kui ei, siis on tegu elastse deformatsiooniga
- e) ja f) nihkepingetest põhjustatud deformatsioonid – kui siire ületab pool võresammu, siis tekkivad jäävad deformatsioonid – kui siire ületab mitut võresammu, siis võib tekkida nikepurunemine – Lüdersi jooned 45° all – seal on suurimad nihkepinged ja tekkivad jäävad deformatsioonid.
- Jäätvate deformatsioonide tekkel mängivad tähtsat rolli ka kristallivõre dislokatsioonid.

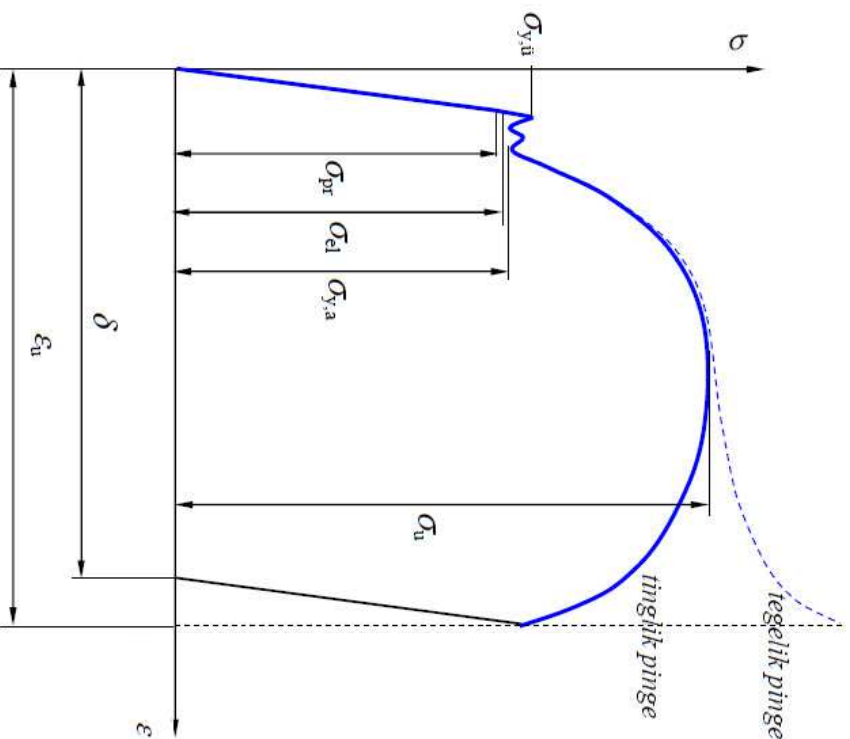


Joonis 7.4: Deformatsiooni tekkemehanism kristalliidis.

7.1.2 Materjali mehaanikalised karakteristikud

Joonisel 7.5 kujutatud tõmbediagrammil on esitatud mitmed terase mehaanikalist käitumist iseloomustavad suurused (karakteristikud). Pideva joonega on kujutatud tingliku pinge (jõud jagatud ristlõike algpindalaga) ja kriipsjoonega tegeliku pinge (jõud jagatud ristlõike tegeliku pindalaga) graafikut.

- σ_{pr} — proportsionaalsuspäär — suurim pinge, milleni kehtib Hooke'i seadus
- σ_{el} — elastsuspäär — suurim pinge, milleni materjal praktiliselt ei omanda jäävaid deformatsioone (näiteks jäävad viimase alla 0,05%)
- $\sigma_{y,a}$ ja $\sigma_{y,i}$ alumine ja ülemine voolavuspäär — mõnikord õnnestub määrata vaid üks voolavuspäär σ_y — tinglik voolavuspäär, näiteks $\sigma_{0,2}$
- σ_u — tõmbetugevus — suurim katse jooksul fikseeritud tinglik pinge.
- δ — katkevenivus — katsekehal moodetud jääkdeformatsioon, mida sageli esitatakse protsentides.
- ϵ_u — katkedeformatsioon — katsekeha deformatsioon purunemishetkel

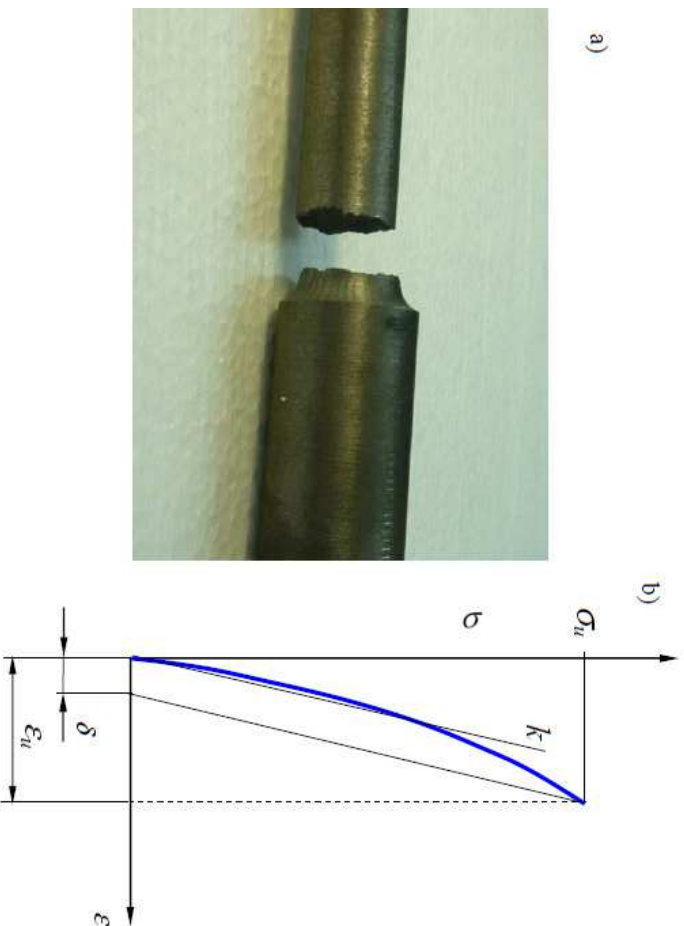


Joonis 7.5: Tõmbediagramm ja materjali karakteristikud.

7.2. Hallmalmi tõmbekatsed

7 - 10

- Malm on raua sulam, kus süsiniku sisaldus on tunduvalt suurem kui terases.
- Hallmalm — kristalliseerumisel tekkinud grafit on liblejas — murdepind halli värvi.
- Joonisel 7.6 on kujutatud tüüpiline hallmalmi purunemispilt ja tõmbediagramm.
- Katkevenivus ja katkedeformatsioon on võrreldes terasega väga väikesed
- Malm puruneb juba väga väikese deformatsiooni juures ja tal puuduvad terasele iseloomulikud pinged peale tõmbetugevuse σ_u .
- Tõmbediagrammil puudub sirge osa — leitakse n. kõõlelastsusmoodul
- Ristlõige praktiliselt ei ahene — tegelik ja tinglik pinge langevad kokku.



Joonis 7.6: Malmi purunemispilt ja tõmbediagramm

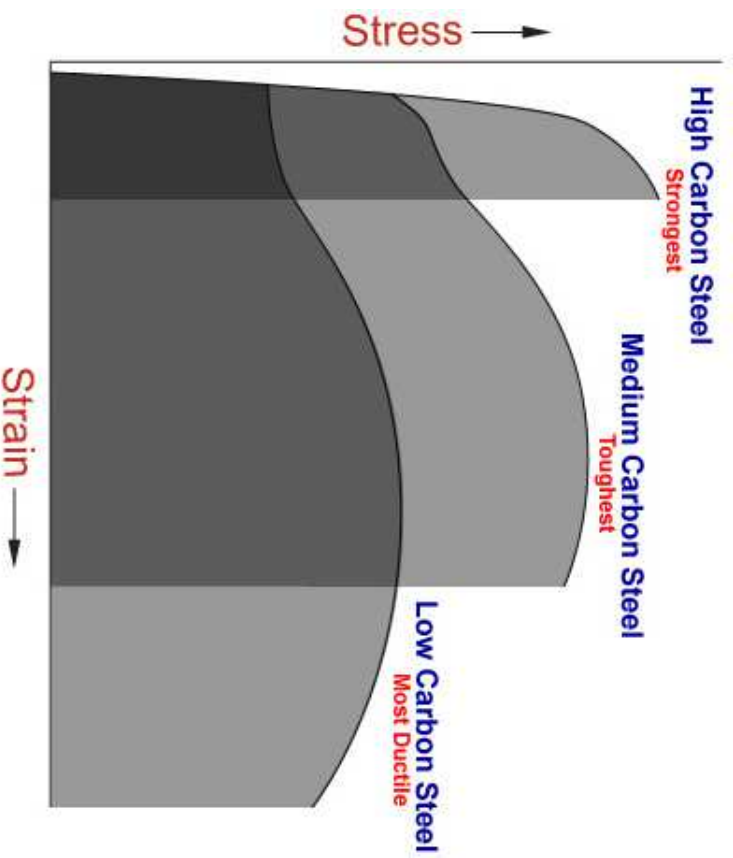
7.3. Haprus, sitkus, plastsus, tugevus

7 - 12

7.3 Haprus, sitkus, plastsus, tugevus

Vastavalt käitumisele enne purunemist, saab välja tuua mitmeid erinevaid materjali omadusi, vt. joonist 7.7, kus on esitatud erineva süsinikusisaldusega rauasulamite tõmbediagrammid. Tavaliselt lähenetakse materjalide vaadeldavatele omadustele läbi vastandlike omaduste paaride: elastsus – plastsus, haprus – sitkus. Elastsus mõistet käsitlesime esimeses peatükis.

- Plastsed materjalid
 - Plastsus² — materjali omadus omandada olulisi jääkdeformatsioone.
 - Plastsuse määra on tähtis teada näiteks valtsimisel, sepi tamisel, traadi tõmbamisel jne.
 - Mida plastsem on materjal, seda suurem on tema katkevenivus.
 - Katekeahenemine



Joonis 7.7: Erineva süsinikusaldusega rauasulamine tõmbediagrammid

7.3. Haprusus, sitkus, plastsus, tugevus

7 - 14

- Haprad³ materjalid
 - Haprus⁴ — materjali omadus puruneda juba tühise deformatsiooni korral.
- Sitked⁵ materjalid
 - Sitkus⁶ — materjali omadus enne purunemist oluliselt deformeeruda.
 - Selle definitsiooni põhjal ei pruugi sitke materjal olla eriti plastne — ta võib olla ka kõrgelastne, näiteks kummi.
- Plastsel sitkel materjalil pole alati võimalik eristada selget voolavuspiiri — tinglik voolavuspiir.
 - Tugevus⁷ — materjali tugevust iseloomustab tema tõmbetugevus⁸, s.t. suurim katse jooksul fikseeritud tinglik pingeline.

³I. k. Brittle

⁴I. k. Brittleness

⁵I. k. Ductile

⁶I. k. Ductility

⁷I. k. Strength

⁸I. k. Tensile strength

Ingliskelses kirjanduses on kombeks eristada kahte sitkeid materjale iseloomustavat omadust: *ductility* ja *toughness*. Eesti keelde võiks tõlkida neid tõlkida vastavalt kui *venivus* ja *sitkus* ja siin eeldatakse, et tegu on plastsete materjalidega. Definiitsioonid:

- *Ductility is a measure of the deformation at fracture. Defined by percent elongation or percent reduction in area.*
- *Toughness is the ability to absorb energy up to fracture. Units: the energy per unit volume, e.g. J/m³. Can be measured by an impact test.*
- Mida sitkem materjal, seda rohkem tööd tuleb teha tema purustamiseks ja seega seda suurem on tema tõmbediagrammi aluse pinna pindala.

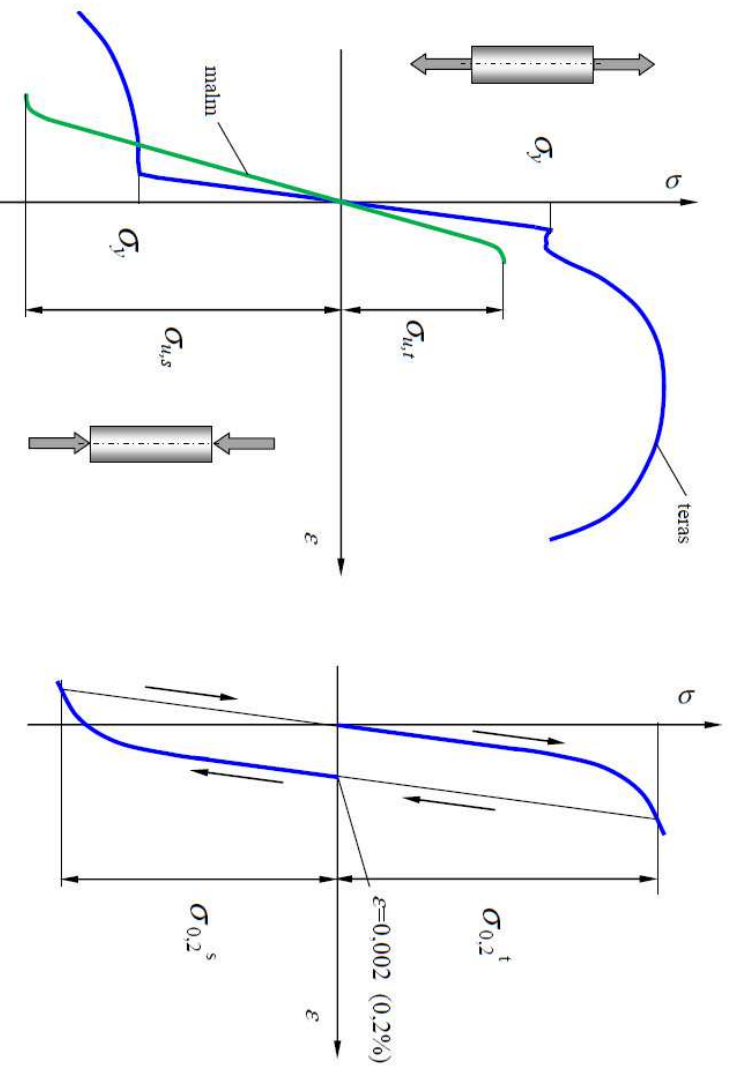
Peale eelnevate võib veel eristada sepistatavust⁹, näiteks kuld. Sellisest materjalist on võimalik vormida hästi õhukesti lehti. Venivus (*ductility*) ja sepistatavus (*malleability*) pole sünonüümid: kuld on nii veniv kui sepistatav, tina vaid sepistatav

⁹I. k. *malleable*

7.4 Survekatsed

Materjalide käitumist iseloomustavad tõmbe- ja survediagrammid võivad teisest oluliselt erineda, vt. joon 7.8.

- Terasel voolavuspiir on küll tõmbel ja survel sama, kuid peale voolamist on kõverad erineva kujuga.
 - Tõmbel ristlõige väheneb, survel suureneb
- Malm puruneb tõmbel ja survel erineva pingel korral — tõmbe- ja survetugevused on erinevad.
 - Hapra materjali survetugevus on tavaliselt tunduvalt suurem kui tõmbetugevus (näiteks hallmalm või betoon).
- Bauschingeri efekt — plastsel deformatsioonil väheneb materjali voolepiir (tinglik voolepiir või elastsuspiir) vastassuunas deformeerumisel, vt. joon. 7.8, kus on näha, et $\sigma_{0,2}^t > \sigma_{0,2}^s$.



Joonis 7.8: Tõmbe- ja survediagrammide võrdlus (vasakul) ja Bauschingeri efekt (paremal)