

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
STROJNÍCKA FAKULTA



ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI MATERIÁLOV
Návody na cvičenia

doc. Ing. Anna GUZANOVÁ, PhD.
Ing. Dagmar DRAGANOVSKÁ, PhD.

EDÍCIA ŠTUDIJNEJ LITERATÚRY

Košice 2015

Recenzent: doc. Ing. Branislav HADZIMA, PhD.

ISBN 978-80-553-2402-9

		Strana
CVIČENIE 8	ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI MATERIÁLOV PO TEPELNOM SPRACOVANÍ, JOMINIHO SKÚŠKA PREKALITEĽNOSTI	47
CVIČENIE 9	HODNOTENIE ZVARITEĽNOSTI MATERIÁLOV	54
CVIČENIE 10	METÓDY HODNOTENIA KORÓZNYCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV	59
CVIČENIE 11	DYNAMICKÉ RÁZOVÉ SKÚŠKY, VÝPOČET RÁZOVEJ HÚŽEVNATOSTI V OHYBE	70
CVIČENIE 12	ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI NEŽELEZNÝCH KOVOV A ZLIATIN	76
CVIČENIE 13	NEDEŠTRUKTÍVNE TESTOVANIE VNÚTORNÝCH CHÝB MATERIÁLOV	82
Literatúra		92

CVIČENIE 8

Téma: ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI MATERIÁLOV PO TEPELNOM SPRACOVANÍ, JOMINIHO SKÚŠKA PREKALITEĽNOSTI

Základné teoretické poznatky

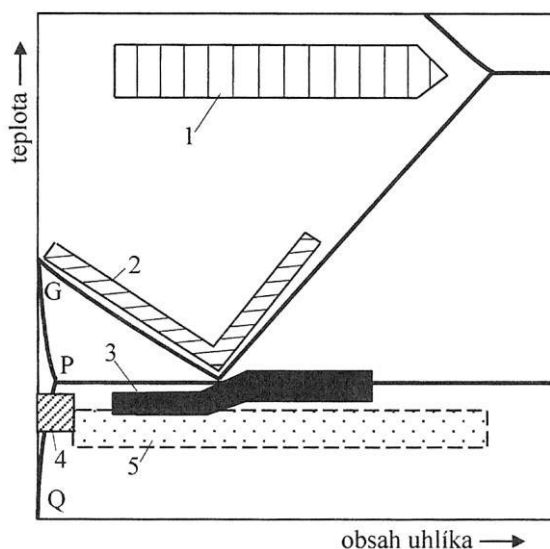
Žihanie ocelí umožňuje získať štruktúry s požadovanými mechanickými vlastnosťami súčiastok, alebo vhodnými vlastnosťami na ich ďalšie spracovanie. Z technologického hľadiska pozostáva žihanie z ohrevu na tzv. žihaciu teplotu, zotrvanie na tejto teplote a pomalé ochladenie na teplotu okolia, ktoré zabezpečí vznik rovnovážnej štruktúry.

Spôsoby žihania je možné rozdeliť na dve skupiny:

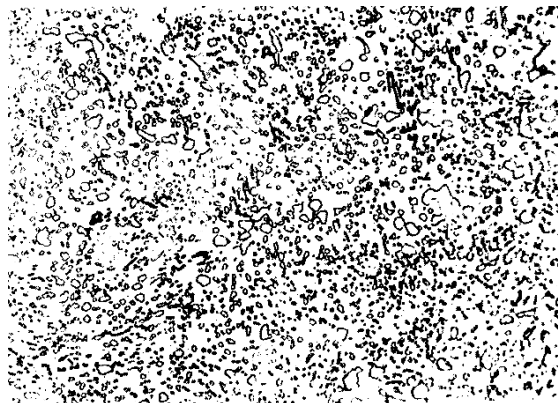
1. žihanie bez prekryštalizácie,
2. žihanie s prekryštalizáciou.

➤ Žihanie bez prekryštalizácie

Je charakteristické teplotami žihania nižšími ako teplota A_1 sústavy Fe – Fe₃C. Počas ohrevu či ochladzovania nedochádza k fázovým premenám. Najdôležitejšími druhmi žihania bez prekryštalizácie sú žihanie na mätko a žihanie na odstránenie vnútorných napätí. Ďalej sem možno zaradiť rekryštalizačné žihanie, žihanie na odstránenie krehkosti po morení a protivločkové žihanie. Teplotné pásma žihania ocelí sú na uvedené obr.8.1.



Obr.8.1 Teplotné pásma žihania ocelí.
1 – homogenizačné, 2 – normalizačné,
3 – na mätko, 4 – rekryštalizačné,
5 – na odstránenie vnútorných napätí



Obr.8.2 Mikroštruktúra ocele žihanej na mätko. Štruktúra globulárneho perlitu

Žihanie na mätko sa používa na zlepšenie tvárnosti a obrábiteľnosti ocele s cieľom znížiť pevnosť a tvrdosť, ktoré sa dosiahne sferoidizáciou lemelárneho perlitu na globulárny perlit obr.8.2. Výsledná štruktúra, tvorená feritom a guľovitými časticami karbidov, sa nazýva globulárny alebo zrnitý perlit. Žihanie na mätko sa realizuje najčastejšie pri teplotách tesne pod A_1 (660 – 700 °C). Doba izotermickej výdrže býva 4 – 12 h. Po žíhaní nasleduje ochladenie v peci alebo na vzduchu.

Žihanie na odstránenie vnútorných napätí má za cieľ znížiť hladinu vnútorných napätí, ktoré vznikajú v súčiastkach pri predchádzajúcom spracovaní. Pokles napätí prebieha následkom relaxácie prevažne cestou plastickej deformácie. Zaraďuje sa po technologických operáciách, po ktorých ostávajú v materiály vnútorné napätia (tvárnení, zvaraní, tepelnom spracovaní a pod.). Mikroštruktúra takto žíhaných ocelí sa nemení. Tento druh žihania sa realizuje pri teplotách 600 – 6500 °C, pri ktorých majú ocele nízku hodnotu medze klzu a medze tečenia.

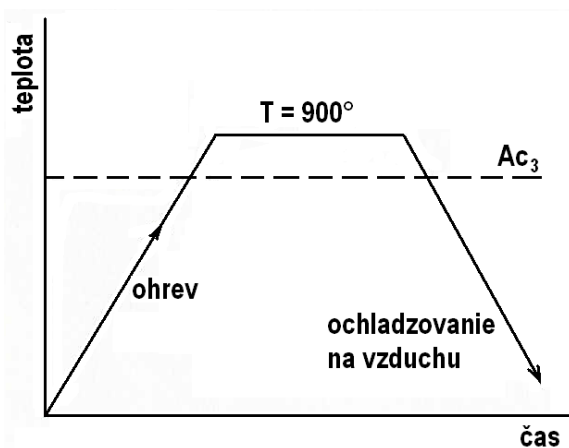
Rekryštalizačné žihanie sa používa na odstránenie následkov deformácie za studena na štruktúru a mechanické vlastnosti ocelí. Po deformácii za studena (valcovaním, ťahaním, lisovaním) sa zrná deformujú. Fyzikálna podstata rekryštalizácie spočíva v premene deformovaných zŕn na zrná nedeformované. Proces rekryštalizácie je možné rozdeliť na dve etapy. Prvú tvorí primárna rekryštalizácia, ktorá zahŕňa vznik zárodkov rekryštalizovaného kovu a ich rast na úkor deformovanej matrice. Ukončením rekryštalizácie celého objemu deformovaného kovu je ukončená primárna kryštalizácia. V priebehu druhej etapy, sekundárnej kryštalizácie, rastú niektoré zrná na úkor iných. Štruktúra nadobúda nerovnomernú veľkosť zrna. Teplota rekryštalizačného žihania musí byť vyššia ako teplota rekryštalizácie, ktorú možno určiť zo vzťahu

$$T_{\text{rekr.}} = (0,35 - 0,4) T_{\text{tav.}} \text{ [K}^{-1}\text{]}$$

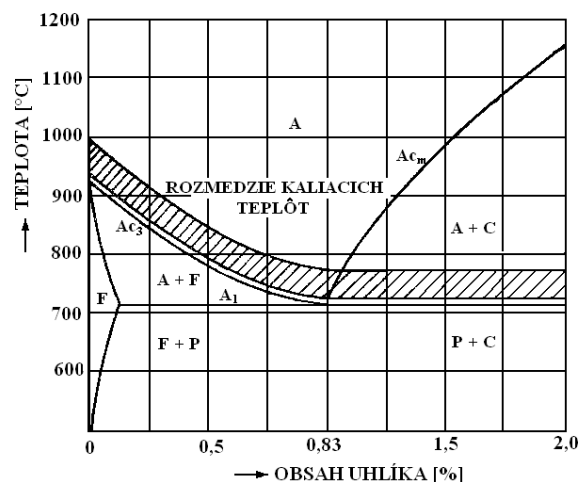
pričom $T_{\text{tav.}}$ je absolútna teplota tavenia kovov v Kelvinoch. Uhlíkové ocele sa rekryštalizačne žihajú pri 600 – 650 °C.

➤ Žihanie s prekryštalizáciou

Pri žíhaní s prekryštalizáciou sa ocele ohrievajú nad teplotu A_3 , resp. A_m pričom dochádza ku prekryštalizácii a štruktúra je austenitická. Podľa výšky prekročenia tejto teploty žihania a rýchlosti ochladzovania z teploty žihania rozoznávame *základné žihanie*, *normalizačné a homogenizačné (difúzne) žihanie*.



Obr.8.3 Diagram normalizačného žihania



Obr.8.4 Pásmo kaliacích teplôt

Normalizačné žihanie je najrozšírenejším druhom žihania s prekryštalizáciou. Jeho cieľom je zjemnenie a zrovnomernenie štruktúry. Spočíva v ohreve nad prekryštalizačné teploty A_3 alebo A_m , z izotermickej výdrže na týchto teplotách a v nasledujúcom ochladení na pokojnom vzduchu, obr.8.3. Normalizačným žíhaním sa dosahuje zjemnenie a zrovnomernenie veľkosti zrna, potláča sa vznik štruktúralne voľného cementitu, ktorý

zhoršuje vlastnosti ocele pri dynamickom namáhaní. Je základným druhom tepelného spracovania nízkouhlíkových ocelí zvyčajnej akosti.

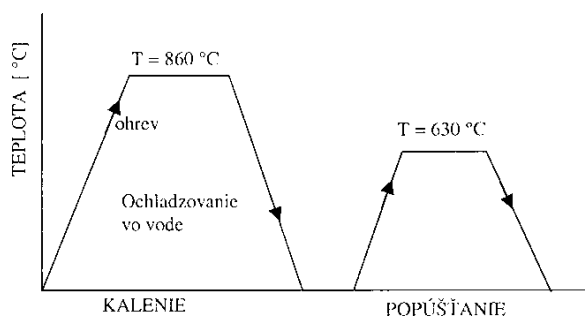
Homogenizačné (difúzne) žihanie má za cieľ odstrániť chemickú nehomogenitu odliatkov a výkovkov. Vyrovnanie chemického zloženia v priereze výrobkov sa uskutočňuje difúziou pri vysokých teplotách (200 – 300 °C nad teplotou A_3 , t.j. 1000 – 1200 °C). Úplnosť difúzných procesov závisí aj od času. Doby izotermickej výdrže na teplote difúzneho žihania dosahujú až 20 hodín. Difúznym žihamím je možné zmenšiť najmä dendritické odmiešanie. Vysoké teploty žihania a dlhé doby výdrže na vysokej teplote predstavujú vhodné podmienky pre rast austenitického zrna. Zjemnenie zrna po homogenizačnom žíhaní je možné dosiahnuť pri nasledujúcom normalizačnom žíhaní.

Kalenie je technologický postup tepelného spracovania kovov, ktorého cieľom je dosiahnuť vznik martenzitickej štruktúry a to buď v celom priereze, alebo iba v jeho časti. Postup pozostáva z ohrevu ocele na kaliacu teplotu (tesne nad prekryštalizačné teploty), výdrže na tejto teplote a ochladzovania rýchlosťou väčšou než je kritická rýchlosť. Kaliace teploty podoctektoidných ocelí ležia 30-50 °C nad A_1 , nadeutektoidné ocele sa kalia z teplôt 30-50 °C nad A_1 (obr.8.4).

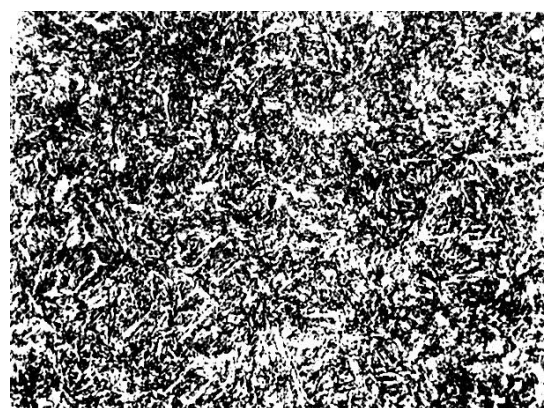
Kaliteľnosť je schopnosť ocele dosiahnuť zvýšenú tvrdosť. Závisí od obsahu uhlíka v oceli. Schopnosť ocele zakalením dosiahnuť martenzitickú štruktúru do určitej hĺbky pod povrchom nazývame *prekaliteľnosť*. Závisí od obsahu legujúcich prvkov.

Zušľachtovanie je tepelné spracovanie konštrukčných ušľachtilých ocelí, skladá sa z kalenia na martenzit a z nasledujúceho popúšťania obr.8.5. Výslednou štruktúrou po zušľachtení je sorbit, veľmi jemná (disperzná) zmes feritu a cementitu, ktorá vznikne rozpadom martenzitu počas popúšťania.

Kaliace prostredia sú látky, v ktorých po ohreve na kaliacu teplotu ochladzujeme. Ako kaliace prostredie sa používa voda, vodné roztoky kyselín a zásad, roztopené soli a kovy, vzduch, kovové dosky a pod. Uvedené prostredia sa odlišujú rôznou rýchlosťou ochladzovania.



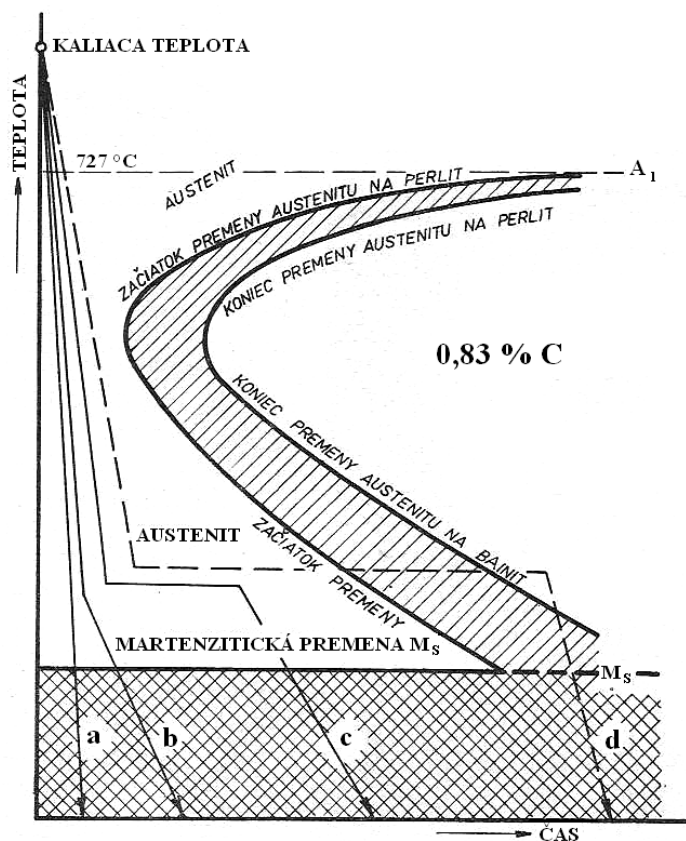
Obr.8.5 Diagram zušľachtovania ocele



Obr.8.6 Štruktúra zakalenej ocele s jemným ihlicovitým martenzitom

Podľa prevažujúcej štruktúrnej zložky sa kalenie delí na:

- a) **martenzitické kalenie** – Pri tomto kalení ochladzujeme dielec tak rýchlo, aby ochladzovacie krivky jeho povrchu i stredu minuli krivky začiatku difúzneho rozpadu austenitu. Štruktúra zakalenej ocele s jemným ihlicovitým martenzitom je na obr.8.6.



Obr.8.7 Pokles teploty kalených predmetov pri rôznom spôsobe kalenia vyneseny do diagramu izotermického rozpadu austenitu eutektoidnej ocele.

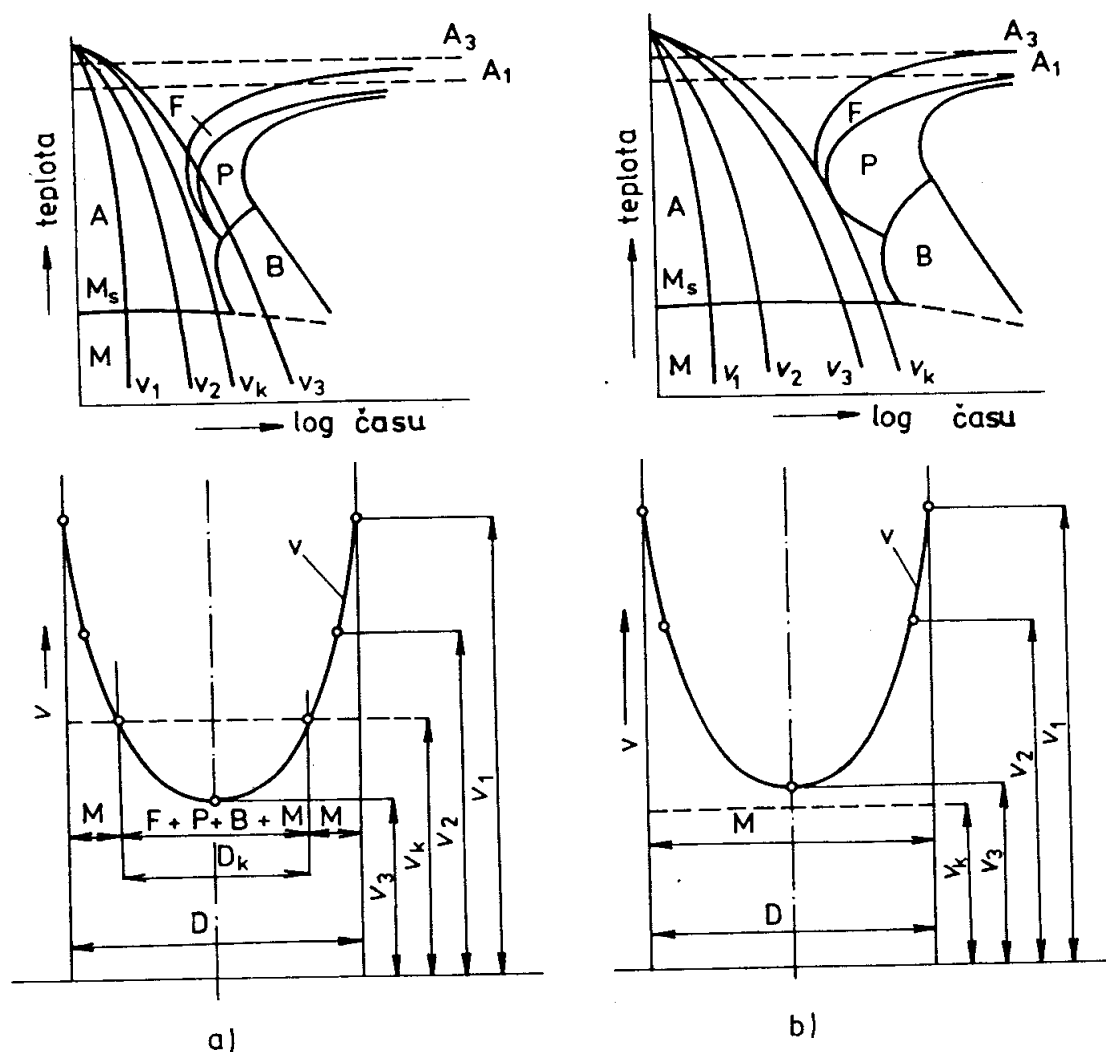
a – priame kalenie, b – lomené (prerušované) kalenie,
c – termálne kalenie, d – izotermické kalenie

Po všetkých postupoch martenzitického kalenia nasleduje vždy popúšťanie. Rozdeľujeme ho na nepretržité a pretržité. Nepretržité kalenie sa niekedy označuje ako „obyčajné“. Pri tomto kalení sa teplota predmetu znižuje plynule až pod teplotu M_s. Je to najjednoduchšie a najlacnejšie kalenie, vznikajú však pri ňom najväčšie vnútorné napätia a maximálne deformácie, takže pre niektoré tvarovo zložité súčiastky je nevhodné. K pretržitému kaleniu zaraďujeme kalenie lomené, termálne a kalenie so zmrazovaním (obr.8.7).

- b) **bainitické kalenie** – pri tomto kalení sa austenit transformuje na bainit a to buď v priebehu plynulého ochladzovania alebo izotermicky – pri konštantnej teplote. Rozdeľujeme ho na nepretržité bainitické kalenie a na izotermické bainitické kalenie.

Prekaliteľnosť uhlíkovej a legovanej ocele:

Schéma rýchlosti ochladzovania v priereze súčiastky z uhlíkovej a legovanej ocele uvádza obr. 8.8.



Obr. 8.8 Schéma priebehu ochladzovania valcového telesa pri martenzitickom kalení (v diagrame ARA) a vzťah medzi kritickou rýchlosťou ochladzovania v_k a skutočnou rýchlosťou ochladzovania v reze telesom, a) uhlíková oceľ, b) legovaná oceľ.

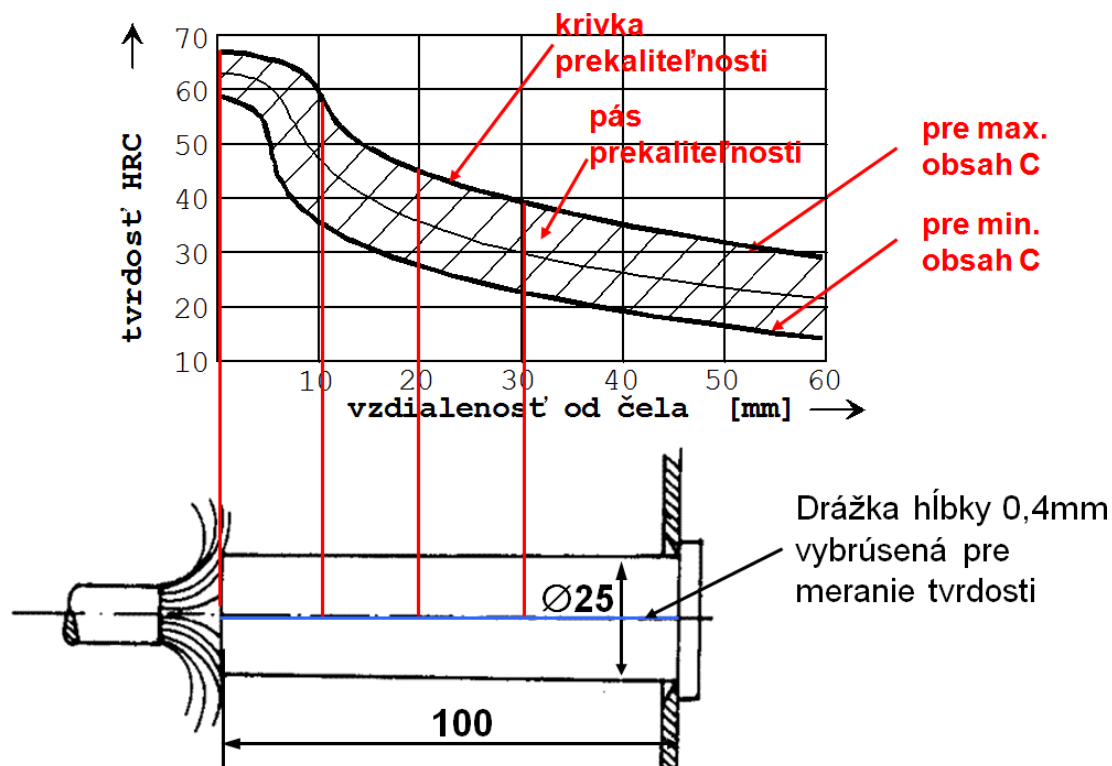
a) A – austenit, F – ferit, P – perlit, B – bainit, M – martenzit

Prekaliteľnosť sa stanovuje Jominiho skúškou prekaliteľnosti.

Postup pri Jominiho skúške prekaliteľnosti :

Oceľový valec $\varnothing 25 \times 100\text{mm}$ sa ohreje v peci na kaliacu teplotu, potom sa ochladzuje prúdom studenej vody na čelnej valcovej ploche. Následne sa na povrchu valca po celej jeho dĺžke vybrúsi plocha na meranie tvrdosti. Tvrdosť podľa Vickersa (alebo Rockwella) sa meria v pravidelných rozstupoch po cele dĺžke skúšobného valca. Výsledky sa zaznamenávajú v súradnicovom systéme: tvrdosť [HRC] – vzdialenosť od čela valca [mm]. Nameraná krivka sa nazýva **krivka prekaliteľnosti**.

Keďže výrobca oceľí garantuje obsah uhlíka v určitom rozmedzí (napr. U ocele C70U je obsah C: 0,65-0,74%C), dostaneme dve krivky prekaliteľnosti: pre horný a pre dolný obsah uhlíka. Priestor vymedzený týmito krivkami sa nazýva **pás prekaliteľnosti**, obr. 8.9.



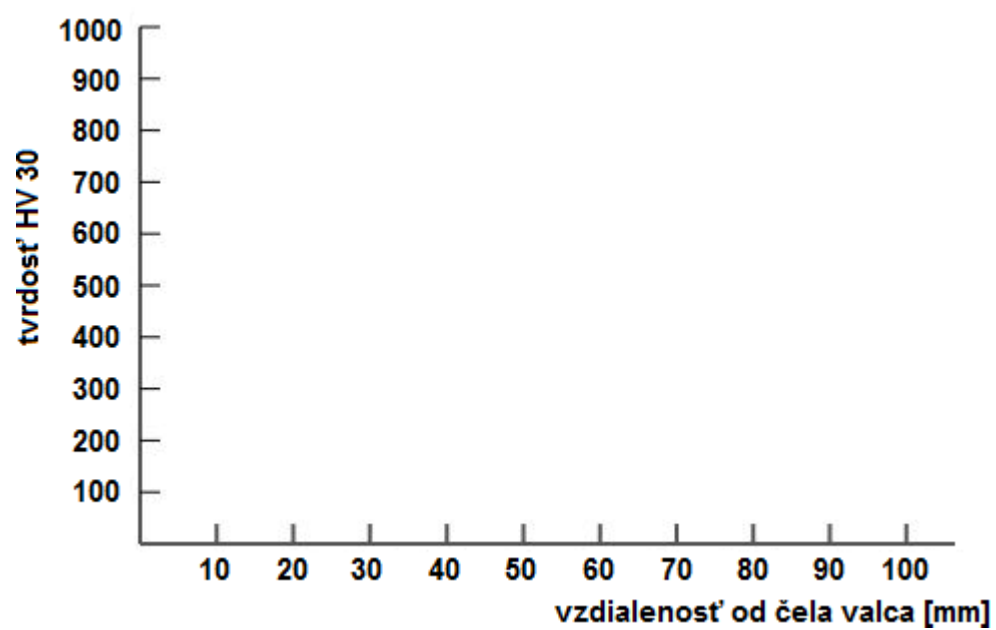
Obr. 8.9 Konštruovanie pásu prekaliteľnosti

Úloha:

Z nameraných stredných uhlopriečok Vickersovho vtlačku zistíte tvrdosť materiálu HV 30 v rôznej vzdialenosti od čela skúšobného valčeka a do priloženého súradnicového systému zakreslite pás prekaliteľnosti daného materiálu.

Materiál:**Chemické zloženie:****Teplota kalenia:****Obsah C min:****Obsah C max:**

Vzdialenosť od povrchu skúšobného valčeka [mm]	Priemerná hodnota uhlopriečky Vickersovho vtlačku [mm]		Tvrdosť HV30	
	C_{min}	C_{max}	C_{min}	C_{max}



CVIČENIE 9

Téma: HODNOTENIE ZVARITEĽNOSTI MATERIÁLOV

Základné teoretické poznatky

Zvariteľnosť je technologická vlastnosť, ktorá podľa STN 05 0000 vyjadruje vhodnosť materiálu na zhotovenie zvarového spoja požadovaných vlastností pri určitých technologických možnostiach a konštrukčnej spoľahlivosti zvarového spoja.

Nie všetky materiály sa môžu zvärať. Vhodnosť materiálu pre zváranie závisí:

- od chemického zloženia,
- od metalurgického spôsobu výroby materiálu,
- od tepelného spracovania,
- od spôsobu liatia a tvárnenia.

Na kvalitu zvarového spoja vplýva hrúbka materiálu, tvar spoja, tvar a príprava zvarových plôch, tuhosť spoja vo zvarku.

Uhlíkový ekvivalent

- je materiálová konštanta, ktorá predstavuje vplyv prvkov obsiahnutých v oceli na jej zvariteľnosť a jeho výpočet závisí od druhu zvaranej ocele. Najviac zvariteľnosť zhoršuje uhlík. Čím je viac uhlíka, tým horšia je zvariteľnosť.

Stanovenie uhlíkového ekvivalentu

Na základe štatistického spracovania množstva experimentálnych výsledkov boli pre rôzne typy ocelí odvodené rôzne vzťahy na určenie uhlíkového ekvivalentu:

- pôvodne ocelí tr. 11 a 12 s obsahom C $\geq 0,16\%$:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

- nízkolegovaných ocelí tried 13 až 16 a ocelí tr. 11 s obsahom C $< 0,16\%$

$$P_{CM}(C_E) = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B$$

Vo všeobecnosti platí:

- ocele s hodnotou $C_E \geq (0,40 \text{ až } 0,45)\%$ je potrebné považovať za náchylné na vznik studených trhlin pri zváraní – **treba vypočítat teplotu predohrevu.**

Teplota predhrevu

- pre zváranie uhlíkových a nízkolegovaných ocelí s C $> 0,22\%$ podľa Séfériana.

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_p - 0,25)} \quad (^\circ\text{C})$$

kde:

$$C_p = C_c + C_h$$

$$C_c = \frac{(360 \cdot C + 40 \cdot (Mn + Cr) + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo)}{360}$$

$$C_h = 0,005 \cdot h \cdot C_c \quad h - \text{zváraná hrúbka [mm]}$$

Podľa STN 05 1309 sa na hodnotenie zvariteľnosti používajú dve skupiny ukazovateľov:

- **Ukazovatele celistvosti zvarových spojov**, charakterizujúce odolnosť zvarových spojov voči vzniku trhlín a iných neprípustných chýb.
- **Ukazovatele vlastností zvarových spojov**, charakterizujúce zmeny jednotlivých vlastností kovov v oblasti zvarového spoja v dôsledku zvarovania.

Ukazovatele celistvosti zvarových spojov

- podľa náchylnosti ocelí na vznik štyroch základných typov trhlín:

Horúce	kryštalizačné
	likvačné
	polygonizačné
Studené	indukované vodíkom
Lamelárne	exogénne
	endogénne
Žihacie	nízkoteplotné
	klasické žihacie
	podnávarové

1. Horúce trhliny

- označované tiež ako trhliny za tepla, vznikajú pri kryštalizácii zvarového kovu, alebo pri ovplyvnení zvaru ďalšou vrstvou v oblasti likvidus - solidus alebo pri podsolidusových teplotách,
- v oceliach vznikajú nad teplotou 850 °C
- príčina: vznik ťahových napätí vo zvare v dôsledku poklesu teploty.

Podľa súčasnej klasifikácie rozlišujeme tri typy horúcich trhlín vo zvarových spojoch, obr. 9.1:

a) Kryštalizačné (solidifikačné)

- vznikajú vo zvarovom kove v priebehu jeho tuhnutia (kryštalizácie),
- sú rozvreté a tvarovo zložené,
- vznikajú v strede húsenice, môžu vystupovať až na jej povrch,
- metalurgická príčina: prítomnosť nečistôt v zvare (sulfidy, oxidy, plošné karbidy),
- riešenie: znížiť obsah nečistôt, alebo ich viazať na fázy s dostatočne vysokou teplotou tavenia.

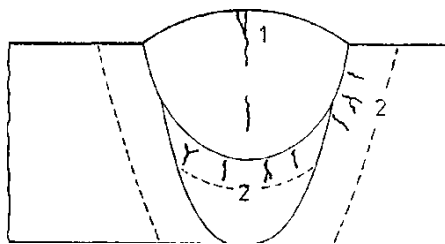
b) Likvačné

- vznikajú vo vysoko vyhriatom (podhúsenicovom) pásme teplom ovplyvnenej oblasti základného materiálu, alebo aj zvarového kovu pri viac húsenicovom zvare,
- likvujúca fáza: sulfidy, oxisulfidy, karbosulfidy, ktoré sa vyskytujú vo valcovaných oceliach vo forme riadkov,
- mechanizmus: ak majú sulfidy nižšiu teplotu tavenia ako oceľ, začnú sa vo vyhriatej TOO rozpúšťať, penetrujú na hranice austenitických zŕn, znižujú ich kohéznu pevnosť a pri ochladení vzniknú medzikryštalové praskliny,
- **Likvačné trhliny sú vždy interkryštalické**, idú po hraniciach zŕn v teplom ovplyvnenej oblasti. Na ich povrchu sa často nachádzajú zvyšky sekundárnych fáz po stuhnutí tekutého filmu. Otvorené horúce trhliny rozoznať od nižšieteplotných typov aj voľným okom podľa hnedo-čiernej nábehovej farby oxidickej vrstvy.

c) Polygonizačné

- trhliny z poklesu ťažnosti,

- mechanizmus: ťahová deformácia v dôsledku vysokých teplôt – usporiadanie dislokácií do polygonizačných sietí – sieť je prekážkou pre ďalší pohyb dislokácií – ďalšia vynútená deformácia – praskanie zŕn,
- môžu vznikať v TOO základného materiálu alebo vo zvarovom kove pri nižšej teplote ($\sim 850^\circ\text{C}$),
- sú charakteristické pre vysokolegované austenitické ocele a zliatiny Ni,
- Povrch polygonizačných trhlín, ktorý nesúvisí s výskytom tekutých fáz, ale s polygonizáciou pri rekryštalizácii (dislokačný mechanizmus), je tiež interkryštalický, ale čistý, bez sekundárnych fáz.



Obr. 9.1 Schéma oblastí výskytu základných typov horúcich trhlín
1 – kryštalizačné, 2 – likvačné (polygonizačné)

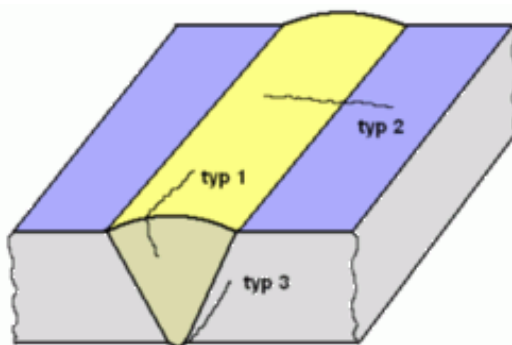
2. Studené trhliny (transformačné, vodíkom indukované, oneskorené trhliny)

– vznikajú pri teplotách pod 300°C v TOO a v jedno a viac vrstvových spojoch vyššej pevnosti, sú medzikryštalické s lesklým neoxidovaným povrchom. K ich vzniku prispieva aj tuhosť upnutia, ktorá po zváraní vyvolá vznik kontrakčných napätí vo zvarovom spoji. Môžu byť pozdĺžne a priečne cez všetky oblasti zvarového spoja.

Podmienky ich vzniku:

- prítomnosť vodíka v zvarovom spoji,
- prítomnosť štruktúry citlivej na účinky vodíka (martenzitická a bainitická),
- prítomnosť ťahových napätí.

Pôvod vodíka: z obalovej hmoty elektród, taviva, vlhkosti okolitého prostredia, z nečistých ochranných plynov alebo z nedostatočne očistených drôtov a zvarových hrán.

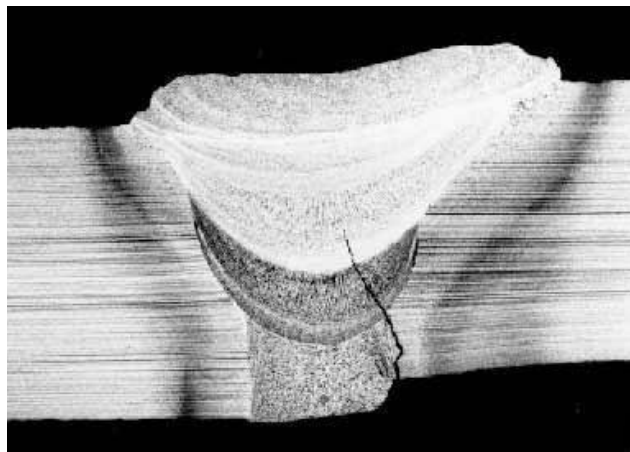


Obr. 9.2 Možný výskyt studených trhlín vo zvarovom spoji
(typ 1 – pozdĺžny, typ 2 – priečny, typ 3 – vnútorný)

Náchylnosť ocele na vznik studených, tiež nazývaných vodíkom indukovaných či oneskorených trhlín je podmienená faktormi:

- štruktúrnym (prítomnosť martenzitu vo zvarovom kove či TOO),
- napäťovým (tuhosť upnutia, ktorá po zváraní vyvolá vznik kontrakčných napätí vo zvarovom spoji),
- koncentráciou vodíka vo zvarovom kove a v TOO.

K výskytu studených trhlín dochádza v TOO ale aj vo zvarových kovoch. Trhliny môžu byť buď pozdĺžne alebo priečne. Pri zvarových kovoch väčších hrúbok trhliny vychádzajú z koreňa resp. prechodu zvarovej húsenice. Studené trhliny nemusia prechádzať na povrch, obr. 9.2. Detail studenej trhliny je na obr. 9.3.



Obr. 9.3 Detail studenej trhliny

3. Lamelárne trhliny

Hlavné faktory, ktoré spolupôsobia pri vzniku lamelárnych trhlín:

- *Prítomnosť plochých rozvalcovaných inklúzií* (najčastejšie sulfidov), najmä ich množstvo a veľkosť. Ostré zakončenia týchto častíc spôsobujú svojím vrubovým účinkom lokálne zvýšenie napätia, ktoré iniciujú roztváranie oblasti plošnej inklúzie a ďalšie šírenie trhliny.
- *Plastické vlastnosti ocele* v smere hrúbky plechu (v smere osi z), určujú spôsob šírenia sa delaminácie.
- *Technológia a parametre zvárania* rozhodujú o teplotnom a napäťovom poli v oblasti spoja.
- *Konštrukcia zváraného uzla* rozhoduje o tuhosti spoja

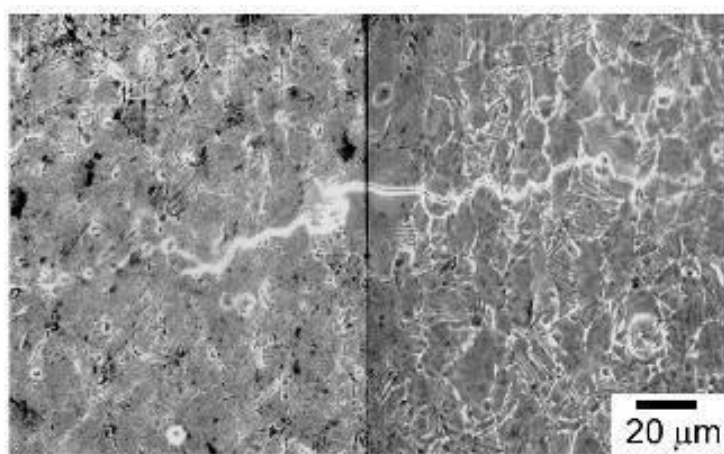
d) žihacie trhliny – vznikajú pri tepelnom spracovaní zvarových spojov (žihanie na zníženie vnútorných napätí)

4. Žihacie trhliny

Existujú 3 typy žihacích trhlín:

1. Iniciované v nízкотеплотnej oblasti pri ohreve na žihaciu teplotu (200-300°C) – pri rýchlom ohreve v dôsledku termálnych napätí medzi povrchom a jadrom zvaru. Riešenie: zníženie rýchlosti ohrevu v oblasti do 400°C, alebo žihanie z medzioperačnej teploty,
2. klasické žihacie trhliny, vznikajú počas žihanie pri teplote 600-650°C,
3. podnávarové trhliny – podobné ako 2, vznikajú počas navárania ocele austenitickou nehrdzavejúcou výstelkou.

Mikroštruktúry lamelárnych trhlín sú zobrazené na obr. 9.4 a obr. 9.5.



Obr. 9.4 Mikroštruktúra lamelárnej trhliny



Obr. 9.5 Mikroštruktúry lamelárnej trhliny

Úloha:

Vypočítajte ulíkový ekvivalent pre ocele typu 11 325, 12 030 a 13 141 a rozhodnite o potrebe použitia predohrevu materiálu.

CVIČENIE 10**Téma: METÓDY HODNOTENIA KORÓZNYCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV****Základné teoretické poznatky****Korózia**

- je samovoľné znehodnocovanie materiálov
- vzniká vzájomným pôsobením materiálu a prostredia
- prejavy: zmeny štruktúry, vzhľadu, pevnosti, hmotnostné a rozmerové úbytky

Korózia ovplyvňuje prevádzkovú spoľahlivosť, bezpečnosť, ekonomiku prevádzky a výroby.

Korózne deje – rozdelenie

- podľa druhu napadnutia materiálu
- podľa dejov, ktoré koróziu spôsobujú
- podľa reakčného prostredia

1 Korózia podľa druhu napadnutia materiálu (obr. 10.1)***Rovnomerná korózia***

- **rovnomerný** úbytok materiálu po **celom** povrchu
- umožňuje relatívne jednoducho stanoviť rýchlosť úbytku materiálu
- z hľadiska spoľahlivosti najpriaznivejší typ

Nerovnomerná korózia

- napadnutie len **určitej časti** povrchu alebo i vnútra materiálu
- nebezpečná forma korózie, nemusí byť viditeľná

Typy nerovnomerného korózneho napadnutia:

- jamková
- bodová
- lamelárna
- medzikryštálická
- transkryštálická
- selektívna

Jamková korózia

- väčšie alebo menšie jamky na povrchu
- najčastejšia u pasivovaných materiálov v miestach porušenia pasivačnej vrstvy

Bodová korózia

- ojedinelé korózne body, zvyšok materiálu bez zjavného korózneho napadnutia
- najčastejšia u pasivovaných materiálov

Lamelárna korózia

- terasovité odleptávanie materiálu

Medzikryštálická korózia

- napadnutie rozhrania medzi kryštálmi (väčšia rýchlosť korózie po hraniciach zŕn ako rýchlosť korózie samotného zrna) – materiál stráca pevnosť, môže dôjsť k jeho rozpadu

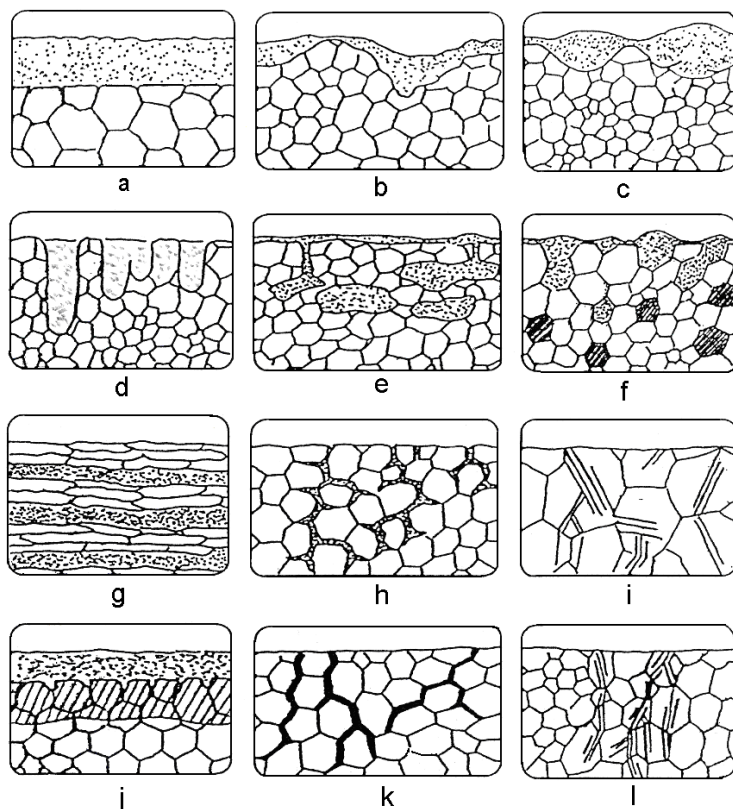
- nebezpečná, na povrchu nemusí byť viditeľná
- príklad: nehrdzavejúce ocele

Transkryštalická korózia

- súčasné napadnutie hraníc zŕn i samotných zŕn
- nebezpečná, na povrchu nemusí byť viditeľná

Selektívna korózia

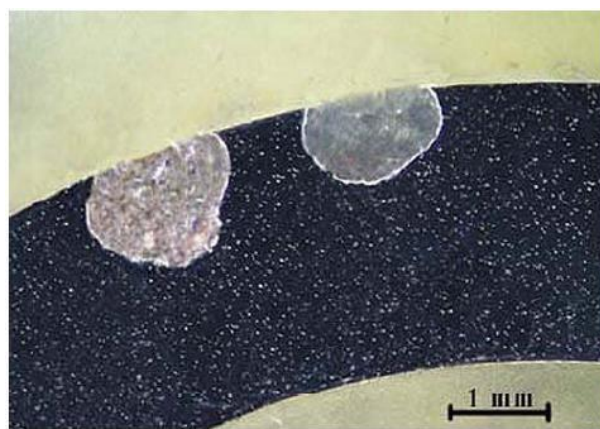
- preferenčné napadnutie jednej alebo viacerých fáz zliatiny



- a) rovnomerné,
 b) nerovnomerné,
 c) jamkové,
 d) bodové,
 e) podpovrchové,
 f) selektívne napadnutie viacfázovej štruktúry,
 g) vrstevnaté,
 h) medzikryštalické,
 i) transkryštalické,
 j) extrakčné poškodenie odzinkovaním (odzinkované zrno je vyšrafované),
 k) medzikryštalické korózne trhliny,
 l) transkryštalické korózne trhliny.

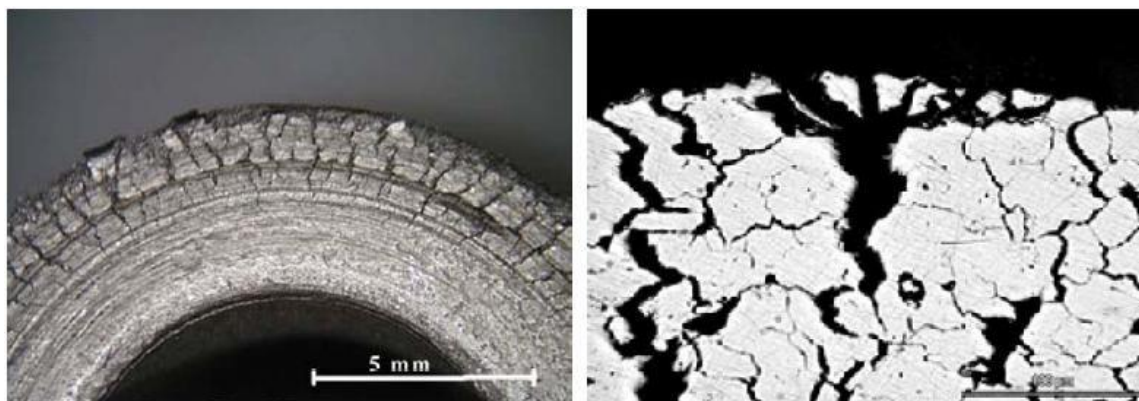
Obr. 10.1 Druhy korózneho napadnutia materiálov

Praktické príklady korózneho napadnutia (obr. 10.2 až 10.6):



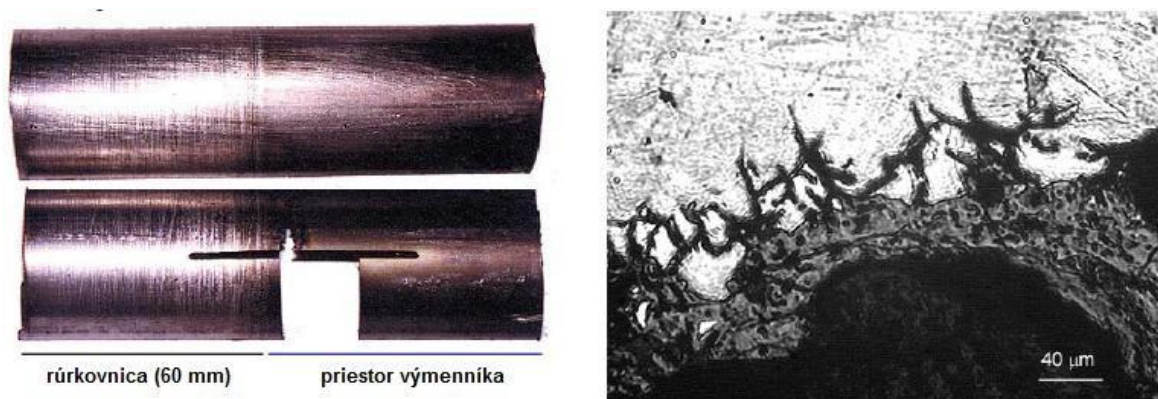
Obr. 10.2 Jamková korózia

Materiál: austenitická antikorózna oceľ 7FeCr18Ni12Mo2Ti
 Predmet: rúrka (priemer 25 mm, hrúbka steny 3 mm)
 Prostredie: roztok FeCl_3 s koncentráciou 6g/l, doba expozície 72 h



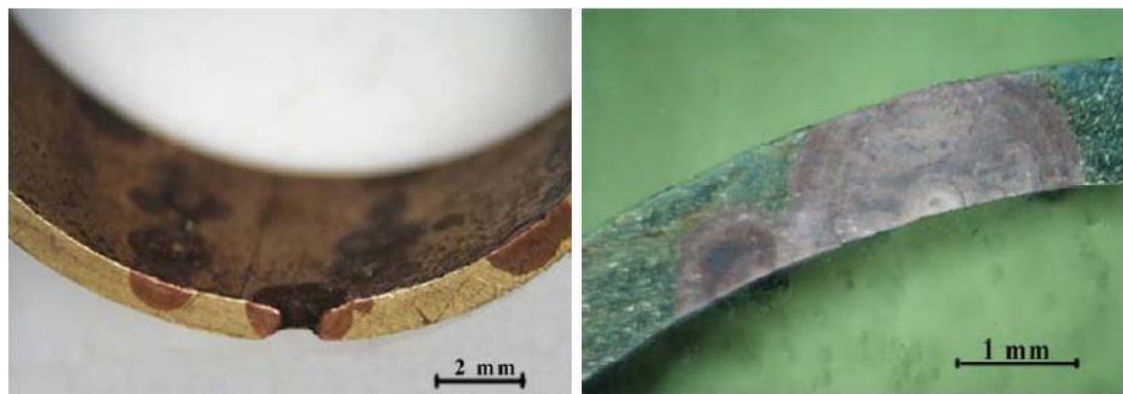
Obr. 10.3 Medzikryštalická korózia

Materiál: austenitická antikorozná oceľ 12FeCr18Ni9
 Predmet: mechanicky namáhaný pás s rozmermi 20 x 70 mm, hrúbka 4 mm
 Prostredie: 100 ml koncentrovanej H_2SO_4 + 100 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ doplnené destilovanou vodou, var; skúška podľa ASTM A 708, doba expozície 24 h



Obr. 10.4 Medzikryštalická korózia

Materiál: austenitická oceľ FeCr18Ni10 s nízkym obsahom uhlíka 0,02%
 Predmet: zváraná rúrka, vonkajší priemer 31,8 mm, hrúbka steny 2,1 mm
 Prostredie: koncový plyn z výroby HNO_3 ; teplota plynu na vstupe: 63°C; na výstupe: 100°C; tlak 651 kPa; doba expozície 2400 h
 Poškodenie: napadnutie sa šírilo prednostne po hraniciach zŕn
 Príčina: konštrukčná netesnosť, vriaca HNO_3 pod rúrkovnicou porušovala pasívnu vrstvu



Obr. 10.5 Selektívna korózia

Materiál: mosadz Ms70
 Predmet: rúrka s priemerom 20 mm, hrúbka steny 1 mm
 Prostredie: voda, doba expozície - roky



Obr. 10.6 Korózia pod napätím

Materiál: mosadz s 60% medi

Popis: samovoľné praskanie za studena tvárnených mosadzných predmetov bez následného tepelného spracovania (a to aj počas skladovania) alebo súčiastok zaťažných ťahom vplyvom vnútorných napätí

Príčina: vnútorné napätia v dôsledku nerovnomernej plastickej deformácie

Prostredie: agresívne prostredie, vzdušné prostredie

2 Korózia podľa druhu korózných dejov

- A. Chemická korózia
- B. Elektrochemická korózia
- C. Ostatné typy korózie

V elektricky nevodivom prostredí môžu vznikať vodivé alebo polovodivé korózne produkty, ktoré umožňujú vznik elektrochemických dejov (napr. oxidačné korózne produkty železa)
Modernejšie delenie je podľa reakčného prostredia

3 Korózia podľa reakčného prostredia

- A. Korózia v elektricky nevodivých prostrediach (kvapalné, plynné)
- B. Korózia v elektricky vodivých prostrediach (roztoky a taveniny elektrolytov, ionizované plyny)
- C. Ostatné typy korózie

A. Chemická korózia

- chemická reakcia **bez** účasti **elektrolytu**, **bez** vzniku elektrochemického článku
- riadi sa zákonmi **chemickej kinetiky**
- korózne produkty **ostávajú** v mieste reakcie
- Príklad: korózia v **elektricky nevodivom prostredí** (oduhličenie ocele, oxidácia železa, medi, hliníka, vodíková korózia)

B. Elektrochemická korózia

- **vznik** elektrochemického článku – galvanického alebo koncentračného
- **prenos** el. energie/elektrónu na **väčšiu vzdialenosť** než vzdialenosť dvoch atómov
- riadi sa **elektrochemickými zákonmi**
- korózne produkty **i mimo** pôsobiska ostávajú v mieste reakcie

- Príklad: Korózia v **elektricky vodivom** prostredí (korózia potrubia, korózia bludnými prúdmi, korózia v prevzdušených vodách)

C. Ostatné typy korózie

- korózia, ktorá **nie je spôsobená chemickými alebo elektrochemickými činiteľmi**
- Príklad: biologická korózia účinkom mikroorganizmov, kavitácie a pod.

Korózia v elektricky nevodivom prostredí (chemická korózia)

A. Korózia v oxidujúcich plynch (O_2 , CO_2 , SO_2)

- reakcia s kovom $Me^0 \rightarrow$ zvýšenie oxidačného čísla $\rightarrow$ vznik katiónu Ma^{2+}
- princíp: reakcia s kovom za vzniku vrstvy korózných produktov (oxidácia kovov)
- vzniknutá vrstva môže byť:
 1. **súvislá nepriepustná** kompaktná vrstva korózných produktov
 - spôsobuje oddelenie kovu a korózneho prostredia $\rightarrow$ styk kovu a prostredia len v dôsledku difúzie prostredia ku kovu $\rightarrow$ difúzia je pomalá $\rightarrow$ zníženie rýchlosti korózie
 - Príklad: Cu – medenka, Al – Al_2O_3
 2. **nesúvislá pórovitá** vrstva korózných produktov
 - nedôjde k oddeleniu povrchu kovu a korózneho prostredia $\rightarrow$ kov a prostredia sú v priamom kontakte $\rightarrow$ korózia prebieha nezmenenou rýchlosťou
 - príklady:
 - oduhličenie ocele kyslíkom pri vyššej teplote – rozklad karbidu železa
 - oxidácia železa a jeho zliatin – tvorba oxidov železa
 - oxidácia medi – tvorba oxidov medi alebo medenky
 - oxidácia hliníka – tvorba Al_2O_3

Príklad 1 Oduhličenie ocele kyslíkom pri vyššej teplote

- rozklad karbidu železa: $Fe_3C + O_2 \rightarrow 3 Fe + CO_2$ alebo $2 Fe_3C + 5 O_2 \rightarrow 6 FeO + 2 CO_2$
- možný vznik plyných produktov, ktoré porušujú štruktúru materiálu
- Fe_3C ovplyvňuje mechanické vlastnosti $\rightarrow$ strata vlastností

Príklad 2 Oxidácia železa a jeho zliatin

- tvorba oxidov železa – okovín (wüstit FeO , hematit Fe_2O_3 , magnetit Fe_3O_4)
- hrúbka a zloženie okovín závisí od teploty a parciálneho tlaku kyslíka
- korózia sa urýchlíuje pri $t > 580^\circ C$
- urýchlíenie korózie v prípade adsorpcie koróznej látky vo vrstve v dôsledku vytvorenia vrstvy agresívneho činidla v aktívnej forme s veľkou koncentráciou

Príklad 3 Med'

- atmosféra – medenka – zásaditý uhličitan meďnatý $\rightarrow$ ochrana pred poveternostnými vplyvmi (obr. 10.7 vľavo)
- oxidačné prostredie – oxidy medi – nepevné a pórovité $\rightarrow$ nechránia pred koróziou

Príklad 4 Hliník

- vzduch, oxidačné prostredie, vzniká vrstva Al_2O_3 s hrúbkou 1 μm – tvrdá kompaktná nepriepustná vrstva, poskytuje ochranu
- vytvorenie vrstvy umelo s niekoľkonásobnou hrúbkou – eloxovanie hliníka (obr. 10.7 vpravo)



medenka



eloxovaný hliník

Obr. 10.7 Prírodná a umelá oxidácia kovov

B. Korózia v redukujúcich plynch (H_2 , NH_3 , N_2)

- reakcia s nekovovými zložkami → zvýšenie ich oxidačného čísla
- princíp: reakcia s nekovovými zložkami vnútri materiálu, na povrchu nie sú žiadne korózne produkty, preto je nebezpečná
- príklad: vodíková korózia
 - oduhličenie ocele vodíkom pri vysokej teplote – rozklad Fe_3C
 - vodíková krehkosť – atomárny vodík pri nízkej teplote (do 200°C)
 - krehnutie ocele pri nízkych teplotách – zmena rozpustnosti vodíka
- výskyt: výroba vodíka, hydrogenačné procesy (výroba syntetického benzínu, syntéza amoniaku, stužovanie tukov, výroba plastov), galvanické pokovovanie (vývoj H_2), morenie ocele
- princíp: malý rozmer vodíkoveho atómu má schopnosť prenikať do mriežky kovov a tam spôsobuje niektorý z nasledujúcich nepriaznivých javov

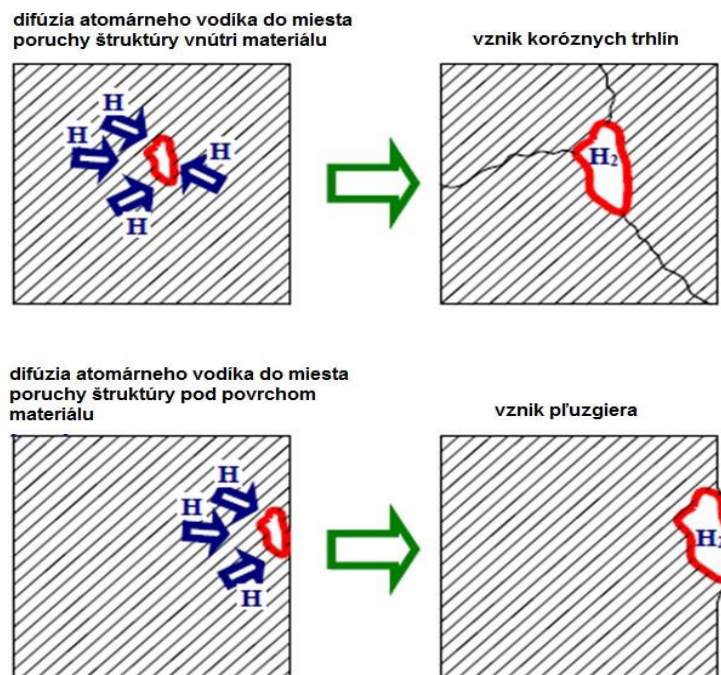
a. Vodíková krehkosť

- účinok atomárneho vodíka na oceľ pri normálnej teplote (do cca 200°C)
- difúzia atomárneho vodíka do ocele s následným vznikom molekulárneho vodíka v defekte

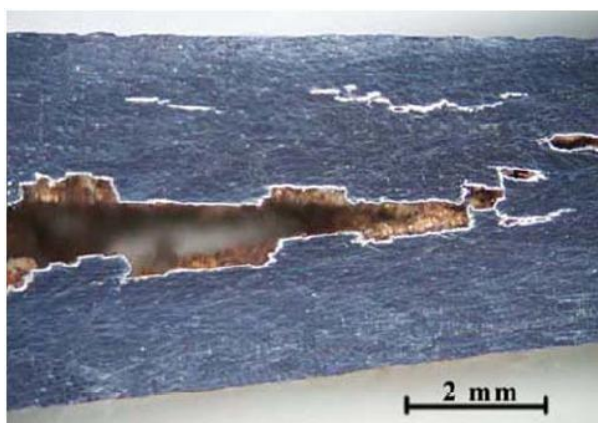
Schematický popis vzniku vodíkovej krehkosti (obr. 10.8):

disociácia H_2 na atómy koróznou depolarizačnou reakciou → difúzia atómov vodíka do ocele → nepravidelnosť v štruktúre → spojenie atómov do molekúl H_2 → molekuly H_2 bránia spätnej difúzii → hromadenie H_2 v mieste → nárast tlaku → vznik priehybov, popraskanie

- na povrchu nevidieť zmeny → nebezpečné
- prejavuje sa najmä pri ochladení zariadení (s klesajúcou teplotou klesá rozpustnosť vodíka v oceli → uvoľňuje sa plynný vodík), obr. 10.9



Obr. 10.8 Schéma vzniku vodíkovej krehkosti



Obr. 10.9 Vodíková krehkosť

Materiál: neupokojená uhlíková oceľ
 Predmet: katóda, plech s hrúbkou 5 mm, elektrolyzér NaClO
 Prostredie: kyslý vodný roztok Cl^- a ClO_3^- , doba expozície nie je známa

b. Krehnutie ocele pri nízkych teplotách

- podobný princíp – vznik molekulárneho vodíka v trhline
- rozdiel: vodík je v oceli už prítomný, je rozpustený v oceli už z výroby

Schematický popis vzniku krehnutia pri nízkych teplotách:

ocel' obsahuje z výroby menšie množstvo rozpusteného vodíka → pokles teploty → uvoľnenie plynného vodíka v dôsledku klesajúcej teploty → tlak rastie → popraskanie materiálu

- príklad: praskanie koľajníc

c. Oduhličenie ocele vodíkom pri vysokých teplotách

- rozklad Fe_3C vodíkom $Fe_3C + 2 H_2 \rightarrow 3 Fe + CH_4$
- rozklad prebieha pri vysokých teplotách (nad $550^\circ C$)

Schematický popis vzniku krehnutia pri nízkych teplotách:
 rozklad $Fe_3C \rightarrow$ vznik metánu $\rightarrow$ metán nemôže vydifundovať $\rightarrow$ metán sa hromadí v dutinách vznikajúcich rozpadom perlitu $\rightarrow$ tlak rastie $\rightarrow$ vznik pľuzgierov a trhlín

- na povrchu nevidieť zmeny $\rightarrow$ nebezpečné
- špeciálne legované ocele, ktoré nie sú náchylné na oduhličenie

Korózia v elektricky vodivom prostredí (elektrochemická korózia)

Princíp:

- vznik a existencia elektrochemického článku (vodivé spojenie A a K na vzdialenosť väčšiu než dva atómy)
- materiál, ktorý je v článku anódou koroduje
- aby korózia – anódová reakcia mohla prebiehať, musia byť elektróny uvoľnené anodickou reakciou odvedené z miesta reakcie a nejakým spôsobom spotrebované („zlikvidované“)
- ak NIE: polarizácia elektródy $\rightarrow$ spomalenie až zastavenie elektródovej reakcie $\rightarrow$ spomalenie až zastavenie korózie
- spotrebovanie elektrónov: katodická reakcia = funkciou depolarizačného deja pre anódu

Katódou môže byť i roztok, pokiaľ v ňom prebiehajú zmeny, ktoré spotrebovávajú elektróny (t.z. depolarizujú anódu, teda porušujú elektrochemickú rovnováhu na anóde), napr. korózia ocele v prekysličenej vode

Vznik potenciálu

- Nernstova rovnica: —
 - E – elektrický potenciál elektródy
 - E^0 – štandardný elektródový potenciál
 - R – molárna plynová konštanta, T – teplota v Kelvinoch, z – počet vymenených elektrónov, F – Faradayova konštanta, a – aktivita oxidovanej alebo redukovanej formy

Elektrochemický článok $\rightarrow$ korózny článok

- dva rôzne kovy v elektrolyte $\rightarrow$ korózny **galvanický** článok
- dva rovnaké kovy v elektrolyte s rôznou koncentráciou $\rightarrow$ korózny **koncentračný** článok
- dva rovnaké kovy v elektrolyte s rôznou koncentráciou, ale s rozdielnou teplotou $\rightarrow$ korózny **teplotný** článok

Elektrolytický článok $\rightarrow$ korózny článok

- kov ako vodič a elektróda $\rightarrow$ korózia bludnými prúdmi

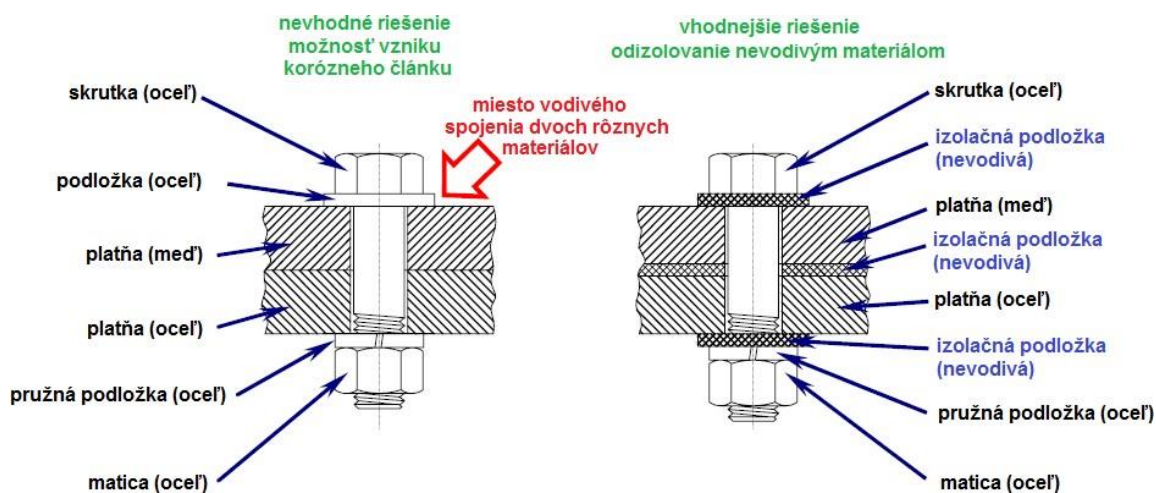
A. Korózny galvanický článok

- možnosti:
 - A1. Dva rôzne kovy ponorené alebo zmáčané elektrolytom
 - A2. Dva rovnaké kovy s rôzne opracovaným povrchom
- A1. Dva rôzne kovy ponorené alebo zmáčané elektrolytom
 - Príklad: skrutkové a nitové spoje, spoje potrubia z rôznych materiálov (obr. 10.10, 10.11)

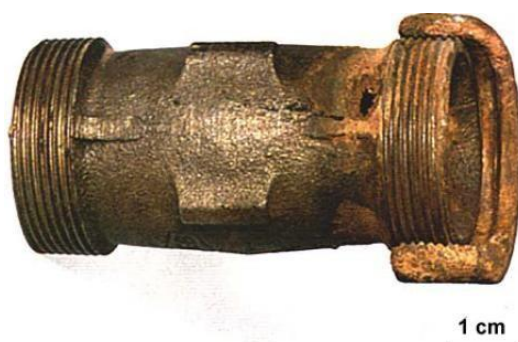
- Katóda, anóda: elektrochemický, resp. korózný rad (obr. 10.12)

A2. Dva rovnaké kovy s rôzne opracovaným povrchom

- Anóda = povrch s menšou drsnosťou, alebo povrch tvárnený za studena



Obr. 10.10 Skrutkový spoj z dvoch rôznych materiálov



Obr. 10.11 Korózný makročlánok liatina – Cu

Materiál: liatina/meď
 Predmet: rúrka plynového rozvodu spojená s medeným domovým rozvodom
 Prostredie: pôda; čas expozície neznámy

Elektrochemický rad napätí

- Vznikne zoradením kovov podľa hodnoty ich štandardného potenciálu
- **Štandardný elektródový potenciál** (E°) je hodnota potenciálu elektródy určitého kovu, ponoreného do roztoku jeho soli za štandardných podmienok (pri tlaku 101 325 Pa, teplote 25 °C a koncentrácii iónov v roztoku 1 mol/dm³) voči štandardnej vodíkovej elektróde, ktorej potenciál je podľa dohody rovný nule. Hodnota štandardného elektródového potenciálu určuje schopnosť kovu prechádzať do iónového stavu v elektrolyte, na základe čoho sa dá predpokladať chemická aktivita daného kovu v roztokoch. Čím negatívnejšia je hodnota štandardného potenciálu daného kovu, tým väčšia je jeho tendencia prechádzať do roztoku v podobe katiónov.

Korózný rad

- Vznikne zoradením kovov podľa ich koróznej odolnosti



Obr. 10.12 Elektrochemický a koróznny rad kovov

Hodnotenie korózie

- rýchlosť korózie: $\text{g.m}^{-2}.\text{deň}^{-1}$ alebo $\text{g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$
- rýchlosť úbytku hrúbky (pri rovnomernej korózii): mm.rok^{-1}

Korózia plastov a prvyží

- Plasty sú makromolekulárne organické látky + prímеси (plnivá, zmäkčovadlá, stabilizátory...)
 - Starnutie plastov
 - Degradácia plastov

A. Starnutie plastov

- Súhrn nevratných zmien vlastností plastu v danom okamihu za daných podmienok v porovnaní s vlastnosťami po výrobe
- Faktory:
 - Fyzikálne vplyvy (teplota, svetlo, UV žiarenie, radiácia, atmosféra, mechanické namáhanie)
 - Fyzikálno – chemické a chemické vplyvy (difúzia, napučiavanie, deštrukcia chemickou reakciou)
 - Biochemické vplyvy (biologická korózia účinkom mikroorganizmov, plesní)

Difúzia

- Difundujúca látka ovplyvňuje pohyb v makromolekulách → zmeny vlastností
- Difúzia v plastoch je ľahšia než v kovoch (vďaka štruktúrnemu usporiadaniu)
- Miera difúzie – priepustnosť

Napučiavanie

- Difundujúca látka vytvára s makromolekulárnymi reťazcami sekundárne väzby → oddiaľovanie reťazcov → zmena objemu, zmena vlastností

Deštrukcia chemickou reakciou

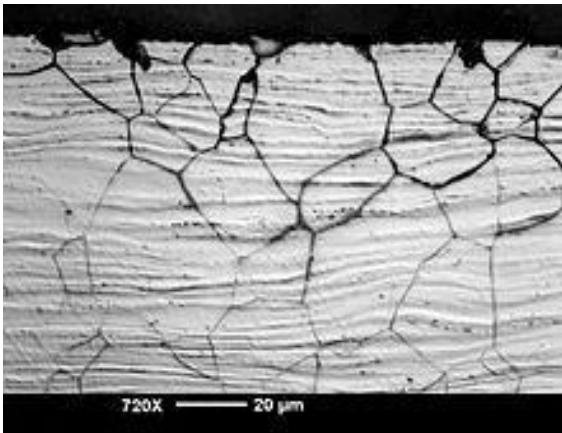
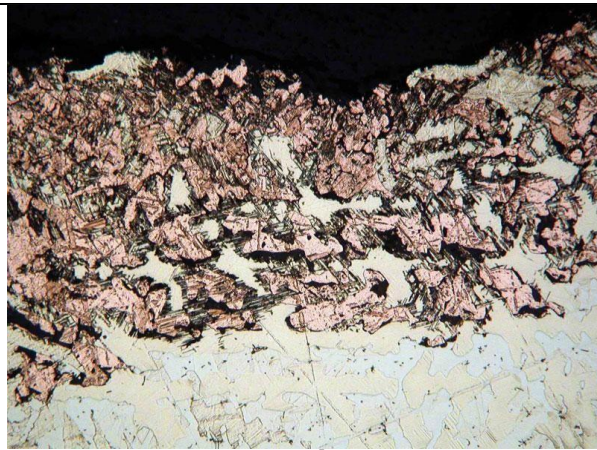
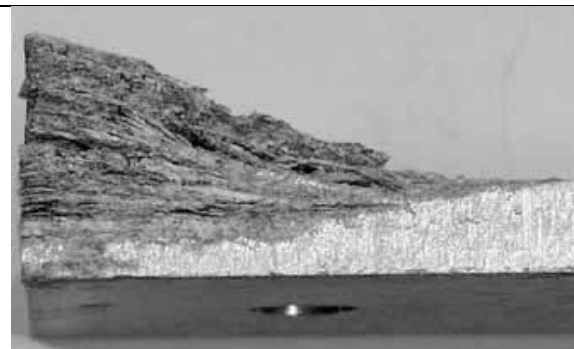
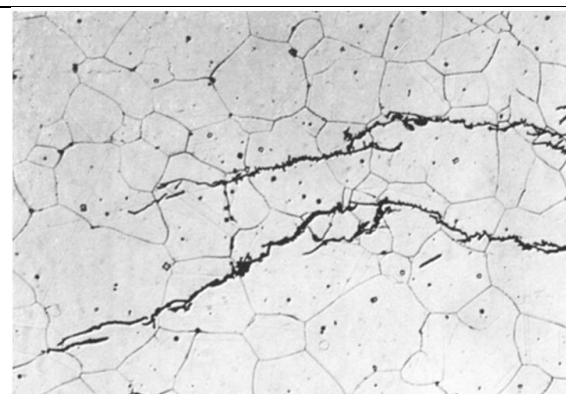
Difundujúca látka reaguje s plastom, k zmenám dochádza v dôsledku chemického napadnutia polyméru alebo prímеси (zmydelňovanie pôsobením kyselín alebo hydroxidov, reakcia s funkčnými skupinami)

B. Degradácia plastov

- rozklad polymérov, pri ktorom sa makromolekula štiepi na menšie reťazce
- depolymerizácia – štiepenie na monomér a nízke oligoméry
- deštrukcia (rozklad) polyméru – odštiepovanie nízkomolekulárnych produktov (HCl, H₂O)
- spôsoby:
 - termická degradácia – pri tepelnom namáhaní bez prístupu O₂
 - fotodegradácia – pod vplyvom svetla

Úloha:

Na uvedených metalografických rezoch určte typ korózneho napadnutia:

	 mosadz
	
	

CVIČENIE 11**Téma: DYNAMICKÉ RÁZOVÉ SKÚŠKY, VÝPOČET RÁZOVEJ HÚŽEVNATOSTI V OHYBE****Základné teoretické poznatky**

Niektoré materiály (predovšetkým kovy s kubickou priestorovo centrovanou mriežkou, nízkouhlíkové a nízkolegované ocele) pri zmene podmienok zaťažovania (teploty, stavu napätosti a rýchlosti zaťažovania) náhle prechádzajú z húževnatého do krehkého stavu. Húževnatosť materiálu je vyjadrená ako jeho schopnosť pohlcovať mechanickú energiu do porušenia. Vzhľadom na to, že jav prechodu (tranzitné správanie) je z praktického hľadiska veľmi nepriaznivá vlastnosť materiálu, bolo potrebné nájsť vhodné skúšobné metódy a kritériá na jej posúdenie.

Rázové skúšky patria do skupiny deštruktívnych skúšok a informujú o schopnosti polyméru odolávať krátkodobému ohybovému alebo ťahovému namáhaniu až do porušenia vzorky. Čím je časový interval tohto pôsobenia kratší, tým krehkejší sa javí skúšaný materiál. Výsledky skúšky slúžia na hodnotenie rovnomernosti výroby polotovaru alebo výrobku, na porovnávanie vlastností jednotlivých materiálov navzájom a aj na sledovanie priebehu starnutia napr. plastových výrobkov.

➤ Skúška rázom v ohybe

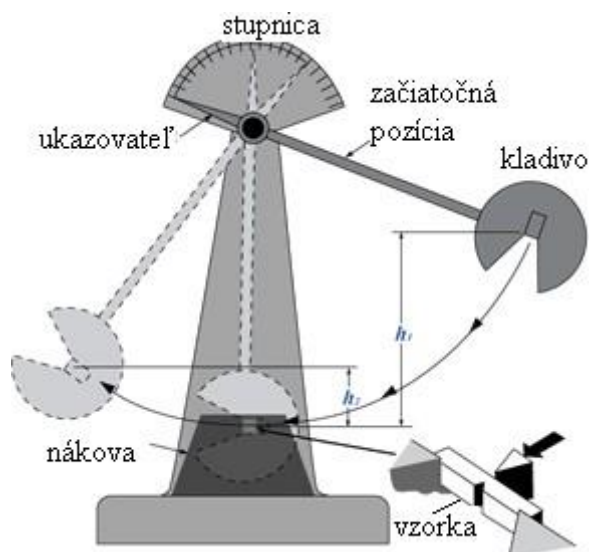
Najpoužívanější skúšobná metóda hodnotenia tranzitného správania materiálov je skúška rázom v ohybe. Jej cieľom je zistiť hodnotu vrubovej húževnatosti, ktorá je definovaná ako práca spotrebovaná na zlomenie skúšobného telieska s vrubom pri stanovených podmienkach skúšky. Pri skúške sa určuje rázová húževnatosť K_C , ktorá je daná podielom nárazovej práce L_K [J] a plochy priečneho prierezu skúšobnej tyče S_0 pred skúškou v mieste vrubu [cm²].

$$K_C = \frac{L_K}{S_0} \quad [\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}] \quad (11.1)$$

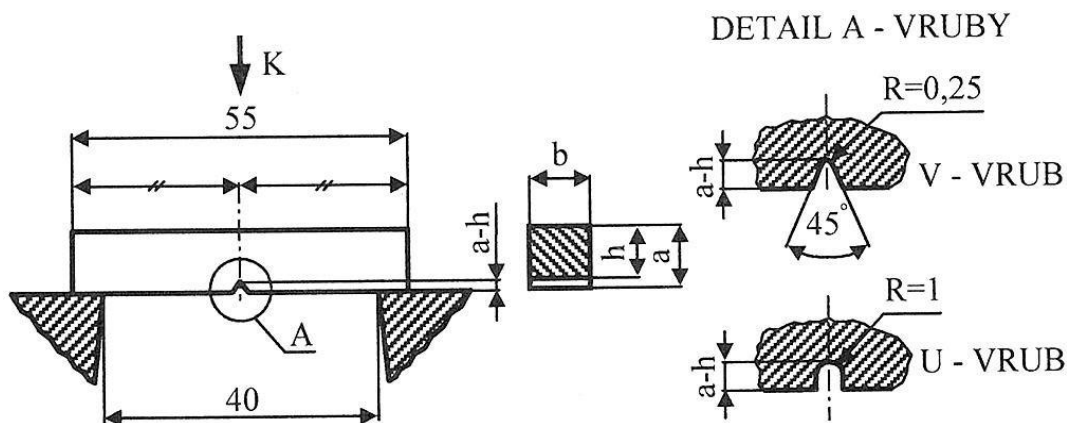
Postup skúšky je predpísaný normou STN EN 10045-1. Princíp skúšky spočíva v prerazení skúšobnej tyče predpísaných tvarov a rozmerov, ktorá je umiestnená na dvoch podperách skúšobného stroja (vrub je na odvrátenej strane úderu) jediným úderom kyvadlového kladiva. Údaje odčítané zo skúšobného kladiva (systém Charpy) obr.11.1, ako aj rozmery a tvar skúšobnej tyče pred a po skúške, sú podkladom na vyhodnotenie skúšky, t.j. podkladom na určenie *vrubovej húževnatosti* K_C a stanovenie charakteru lomovej plochy. Tvar, rozmery a označovanie skúšobných tyčí je na obr.11.2 a v tabuľka 11.1 (pri použití skúšobného kladiva s maximálnou energiou $K_{\max} = 33$ J).

Do podmienok skúšky sú zahrnuté:

- spôsob namáhania (trojbodový symetrický ohyb),
- rýchlosť zaťaženia (nárazom rýchlosťou $v = 4,5 - 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),
- teplota skúšobného telieska,
- geometrický tvar a rozmery skúšobného telieska a
- tvar, hĺbka a ostrosť vrubu.



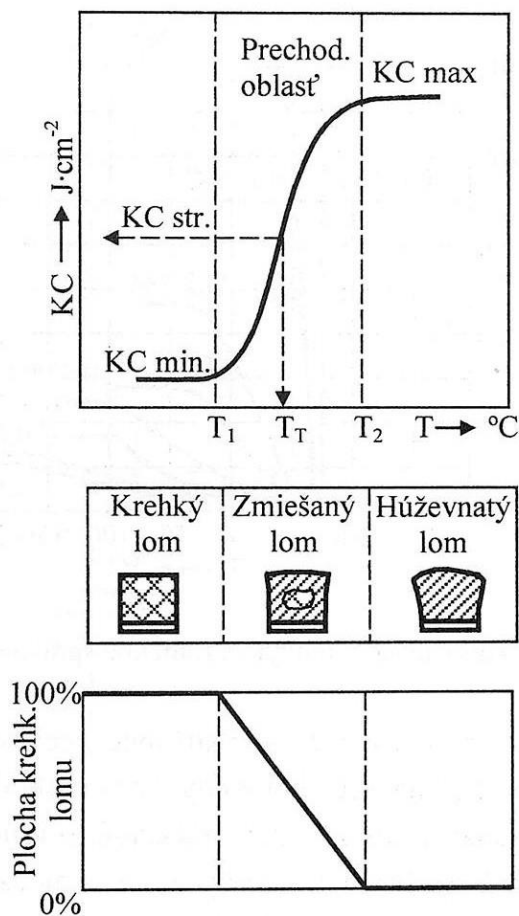
Obr.11.1 Schéma a vzhľad kyvadlového kladiva



Obr.11.2 Charakteristické rozmery a tvar skúšobných tyčí pre skúšku rázom v ohybe

Vhodným doplnením výsledku rázovej skúšky v ohybe je vyhodnotenie lomovej plochy tyče po skúške. Spravidla sa vyhodnocuje podiel húževnatej časti lomu na celkovej lomovej ploche PHL v %.

Rázová húževnatosť ako kritérium odolnosti proti krehkému lomu má praktický význam v podobe prechodovej (tranzitnej) krivky, ktorá vyjadruje závislosť vrubovej húževnatosti od teploty. Znižovaním skúšobnej teploty v určitom teplotnom intervale poklesne húževnatosť z maximálnej hodnoty $KC_{\max}$ na minimálne hodnotu. Tento interval sa nazýva *prechodová oblasť* a krivka, pri ktorej je tento pokles výrazný, *prechodovou* alebo *tranzitnou* krivkou, obr.11.3. Pri nízkych teplotách vzniká *krehký lom* s veľmi malou húževnatosťou $KC_{\min}$ a pri vyšších teplotách *húževnatý lom* s veľkou húževnatosťou. Strmá časť krivky v prechodovej oblasti tvorí rozmedzie medzi teplotami, pri ktorých dochádza k húževnatému alebo krehkému porušeniu.



Charpyho prechodová krivka pri skúške rázom v ohybe

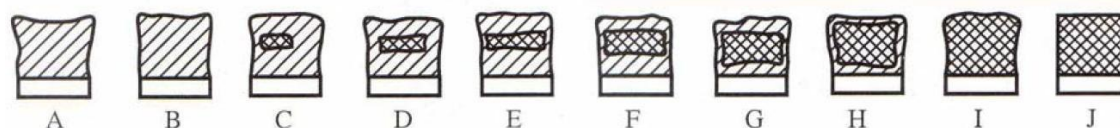
Z hľadiska aplikácie materiálov je dôležité, aby sa konštrukčný materiál zaťažoval pri teplotách nad prechodovou oblasťou.

Na strmej časti krivky je charakteristický bod, ktorého súradnica na osi teplôt udáva tranzitnú (prechodovú) teplotu T_T . Tranzitná teplota sa potom určí na základe strednej hodnoty vrubovej húževnatosti KCU_{str} (KCV_{str}) [$J \cdot cm^{-2}$]:

]

Tranzitné správanie materiálov je potrebné brať do úvahy najmä u súčiastok, ktoré budú pracovať za extrémnych klimatických podmienok. Tranzitná teplota väčšiny materiálov leží v oblasti záporných teplôt. Preto napr. súčiastka, ktorá pracuje pri zvyčajných teplotách bez problémov sa môže v prostredí s vysokou zápornou teplotou porušiť krehkým lomom.

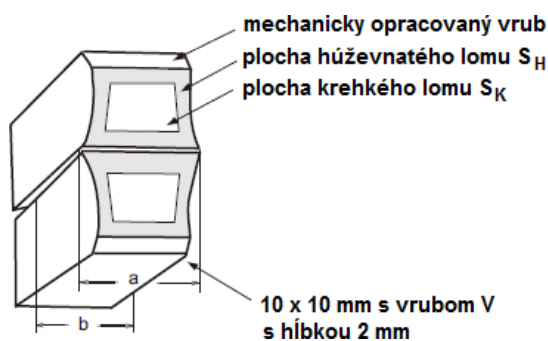
Vzhľad a klasifikácia lomovej plochy je ďalším dôležitým hodnotiacim kritériom pre vyhodnotenie skúšky rázom v ohybe. Hodnotí sa najmä charakter lomu, t.j. či ide o krehký, húževnatý alebo zmiešaný lom (obr. 11.4). V prípade zmiešaného lomu sa stanovuje percentuálny podiel plochy húževnatého a krehkého lomu.



Obr. 11.4 Typy lomov skúšobnej tyče

- A – húževnatý lom s veľkou deformáciou (zamatovo jemný)
- B – húževnatý lom s veľkou deformáciou (jemný)
- C – zmiešaný lom s veľkou deformáciou (<10% krehkého lomu)
- D – zmiešaný lom s deformáciou (cca 20% krehkého lomu)
- E – zmiešaný lom s deformáciou (cca 30% krehkého lomu)
- F – zmiešaný lom s deformáciou (cca 40% krehkého lomu)
- G – zmiešaný lom s deformáciou (cca 60% krehkého lomu)
- H – zmiešaný lom s deformáciou (cca 90% krehkého lomu)
- I – krehký lom s nepatrnou deformáciou
- J – krehký lom bez deformácie (hrubozrnný)

Lom sa hodnotí voľným okom, lupou, prípadne mikroskopom s malým zväčšením.
 Lomová plocha sa môže zosnímať a priložiť k skúšobnému protokolu.
 Podiel krehkého lomu (KL) sa vypočíta podľa obr. 11.5:



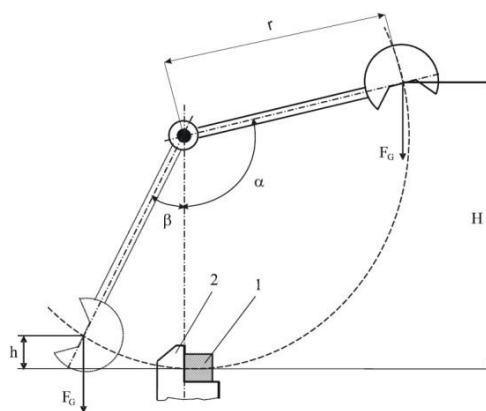
Obr. 11.5 Podiel krehkého a húževnatého lomu v priereze skúšobnej tyče

Úloha:

1. Pomocou Charpyho kladiva s parametrami uvedenými v tab. 11.1 bola vykonaná skúška rázom v ohybe a získané hodnoty vrátane tvaru a rozmerov skúšobnej vzorky sú uvedené v tab. 11.2. Na základe týchto hodnôt vypočítajte energiu spotrebovanú na prerazenie skúšobnej tyče KU (KV) a rázovú húževnatosť KCU (KCV).
2. Na základe údajov uvedených v tab. 11.3 zostrojte tranzitnú krivku a určte tranzitnú teplotu.

Tab. 11.1 Parametre Charpyho kladiva

Údaje o Charpyho kladive			
Typ	WPM 423/27		
Pracovný rozsah		0 - 300	[J]
Dĺžka ramena	r	825	[mm]
Hmotnosť závažia	m	9,375	[kg]
Počiatočný uhol	α	160	[°]
Gravitačné zrýchlenie	g	9,81	[m.s ⁻²]



Pomocné vzťahy:

Výška kladiva pred skúškou

Prekmitnutie kladiva po skúške

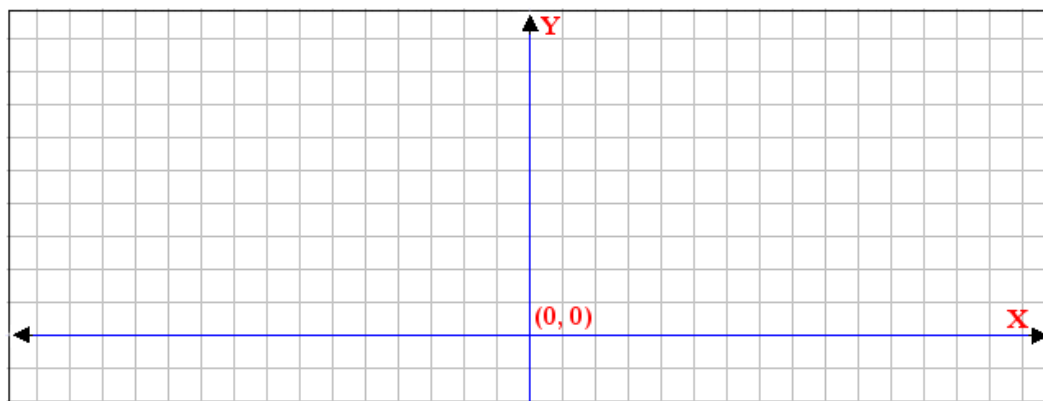
- ak $\beta < 90^\circ$
- ak $\beta > 90^\circ$

Tab. 11.2 Údaje získané zo skúšky rázom v ohybe

P.č.	Rozmery vzorky		β [°]	Typ vrubu
	a [mm]	b [mm]		
1	9,95	8,05	124	U
2	10,10	7,95	117	U
3	9,90	7,95	111	U
4	10,05	8,10	107	U
5	9,95	7,95	142,5	U
6	9,90	6,95	131	U
7	10,05	7,00	111,5	U
8	10,10	7,05	91	U
9	10,05	7,10	77	U
10	9,95	6,90	71	U
11	10,05	5,00	133	U
12	9,95	4,90	141	U
13	10,05	4,95	149	U
14	9,95	5,10	142	U
15	9,90	5,05	127	U
16	5,05	8,10	120	U
17	5,10	7,95	135	U
18	9,95	7,95	124	V
19	10,05	8,10	122	V
20	10,00	8,05	118	V
21	9,90	7,95	129	V

Tab. 11.3 Experimentálne údaje pre zistenie tranzitnej teploty

Oceľ	P.č. merania	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11 320	KU [J]	4,9	6,3	10,8	13,5	28	95	132,4	183,2	209,6	210,3	214,3
	Teplota [°C]	-33	-23	-13	-3	0	3	13	23	33	43	53
11 330	KU [J]	5,9	7,8	11,9	15,8	39	103	158,2	197,1	214,8	215,2	216,6
	Teplota [°C]	-39	-29	-19	-9	0	9	19	29	39	49	59
11 331	KU [J]	6,8	8,2	13	16,3	49	104	162,1	200,9	215,9	216,4	217,5
	Teplota [°C]	-42	-31	-22	-11	0	11	22	31	42	51	62
11 370	KU [J]	5,2	6,7	10,8	14,7	35	94	149,3	195,1	212,6	213,2	215,8
	Teplota [°C]	-37	-25	-17	-8	0	7	16	24	36	45	54
11 373	KU [J]	6,4	8	12,8	16	48,8	104,8	161,6	200,8	216,8	216,8	217,8
	Teplota [°C]	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
12 050	KU [J]	4,7	5,9	11	14,7	27	94	129,5	178,4	207,3	205,4	211,3
	Teplota [°C]	-31	-20	-12	-3	0	3	12	20	31	41	51
12 060	KV [J]	4,1	5,1	11,5	13,8	26	92	126,5	175,3	205,3	199,7	208,4
	Teplota [°C]	-30	-19	-11	-2	0	2	11	19	30	39	49
11 313	KV [J]	6,5	8,7	13,8	17	49,8	105,8	163,6	201,8	217	217,2	218,9
	Teplota [°C]	-41	-31	-21	-11	0	11	21	31	41	49	61
19 663	KU [J]	6,8	8,5	13,7	16,8	48,5	105,9	163,7	200,8	217	217,9	218,9
	Teplota [°C]	-41	-31	-21	-10	0	10	21	31	41	50	62
11 500	KV [J]	6,9	8,7	13,9	17,1	50	105	166,1	202,8	216,4	216,8	218,1
	Teplota [°C]	-43	-30	-21	-11	0	11	21	30	43	52	63
11 600	KU [J]	4,8	6,1	11,1	14,2	27	95	130,9	181,6	208,4	207,2	212,4
	Teplota [°C]	-32	-21	-13	-4	0	4	13	21	32	42	52
19 191	KU [J]	7,1	9,1	14,2	17,0	50	109,2	170,1	205,2	220,1	225,3	227,8
	Teplota [°C]	-43	-33	-24	-12	0	12	24	33	43	51	63
15 230	KV [J]	3,5	4,1	6	7,9	24	51,3	79	99,6	106,4	107,1	198,4
	Teplota [°C]	-21	-17	-11	-5	0	5	11	17	21	25	30
19 824	KV [J]	3,2	3,9	5,8	7,5	23	50,1	70,4	93,2	99,9	105,3	191,2
	Teplota [°C]	-20	-16	-10	-6	0	6	10	16	20	24	31
14 220	KU [J]	3,8	4,2	7	8,3	25	52	81	100,5	108,5	109,2	200,2
	Teplota [°C]	-22	-16	-11	-6	0	6	11	16	22	26	31
12 050	KV [J]	3,7	4,9	10	13,7	26	93	128,5	177,4	206,3	204,4	210,3
	Teplota [°C]	-31	-20	-12	-3	0	3	12	20	31	41	51
12 060	KU [J]	3,9	5,1	10,5	12,7	25	91	125,3	173,2	204,2	206,2	207,9
	Teplota [°C]	-30	-20	-11	-2	0	2	11	20	30	39	49



CVIČENIE 12**Téma: ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI NEŽELEZNÝCH KOVOV A ZLIATIN****Základné teoretické poznatky**

Technicky využívané neželezné kovy a ich zliatiny vytvárajú veľké množstvo materiálov nachádzajúcich širšie alebo špeciálne uplatnenie. Uvedieme len najčastejšie používané neželezné kovy a ich zliatiny.

1. HLINÍK A JEHO ZLIATINY

Čistý hliník má vysokú elektrickú a tepelnú vodivosť, ale pomerne nízke mechanické vlastnosti ($R_m = 70 \text{ MPa}$, $R_p 0,2 = 15 \text{ MPa}$). Vyznačuje sa veľkou tvárnosťou, pričom sa pri tvárnení deformačne spevňuje. Jeho zliatiny (s prísadami Cu, Mg, Mn, Zn, Si, Ni) majú podstatne lepšie mechanické vlastnosti.

HLINÍKOVÉ ZLIATINY PRE TVÁRNENIE

1. Binárne zliatiny Al – Mn a Al – Mg nie sú spravidla vytvrdzované pre malú rozpustnosť Mn v Al a zliatiny s horčíkom za vyšších teplôt veľmi ľahko oxidujú. Uvedené zliatiny majú dobrú odolnosť proti korózii, zvlášť v morskej vode. Ich prednosťou je aj nízka merná hmotnosť a veľmi dobrá lešiteľnosť.

2. Zliatiny k vytvrdzovaniu:

Zliatiny Al-Cu-Mg. Patria k najviac používaným zliatinám. Základnou zliatinou je dural – AlCu4Mg s asi 0,5 % Mg a Mn a 4 % Cu. Ide o hodnotný konštrukčný materiál s nízkou mernou hmotnosťou (asi 2800 kg.m^{-3}) a pevnosťou po vytvrdzovaní 400-480 MPa. Majú nižšiu odolnosť proti korózii a preto sa často plátujú hliníkom resp. AlMn. Mikroštruktúra liateho a tvárneného duralu je uvedená na obr. 12.1 a 12.2.

Vytvrdzovanie duralov je založené na obmedzenej a so znižujúcou sa teplotou klesajúcou rozpustnosťou prísadového prvku. Spočíva v nasledovnom tepelnom spracovaní:

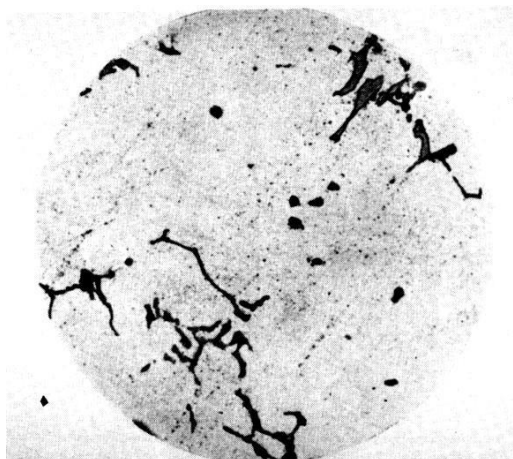
- rozpúšťacie žihanie – ohrev do oblasti tuhého roztoku α (490- 505 °C) - obr.12.3,
- ochladzovanie vo vode - potlačí segregáciu a vzniká jednofázová štruktúra presýteného tuhého roztoku α .
- starnutie – presýtený tuhý roztok nie je stabilný a v závislosti od vonkajších podmienok nastáva prirodzené starnutie (samovoľný rozpad presýteného tuhého roztoku pri normálnej teplote) alebo umelé starnutie (pri zvýšenej teplote). V zliatine bude prebiehať precipitácia Al_2Cu formou jemných čiastočiek v objeme zrna, čo vedie k zvýšeniu tvrdosti a pevnosti materiálu.

Zliatiny Al-Cu-Ni. Prísada Ni do 2 % bráni poklesu tvrdosti do 300 °C.

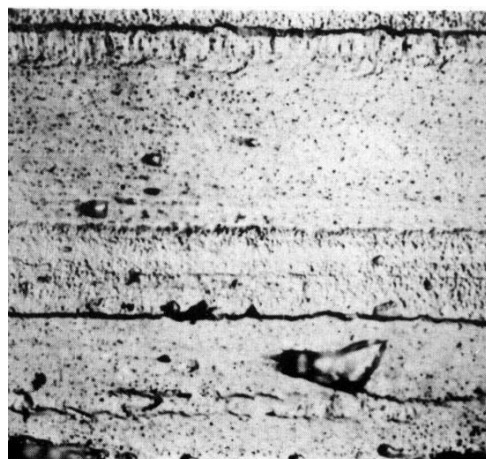
Zliatiny Al-Zn-Mg (5 – 8 % Zn). Zliatiny tohto typu spĺňajú podmienky pre vysokopevnostné zliatiny, t.j. $R_m > (E / 150)$, kde E je modul pružnosti v ťahu.

Zliatiny Al-Cu-Si. Sú charakteristické nižšou pevnosťou, ale vyššou koróznou odolnosťou a húževnatosťou v porovnaní s duralmi.

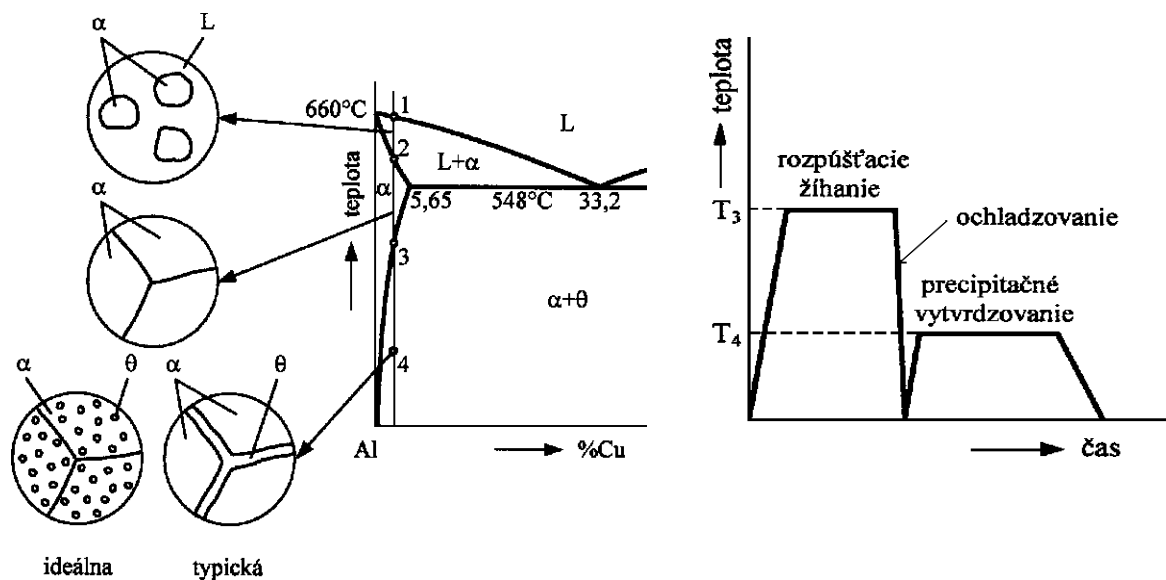
Zliatiny Al-Li. Sú to nové zliatiny pre letecký priemysel. Vyznačujú sa nízkou mernou hmotnosťou a dobrými mechanickými vlastnosťami, umožňujúce zníženie hmotnosti konštrukcie lietadla.



Obr.12.1 Mikroštruktúra liateho duralu. Svetlé zrná tuhého roztoku α fáza CuAl_2 , zv. 150 x



Obr.12.2 Mikroštruktúra tvárneného duralu. Tuhý roztok α a tmavá fáza obsahujúca Mn a Fe, zv. 1000 x



Obr.12.3 Fázový diagram Al – Cu a schéma vytvrdzovania

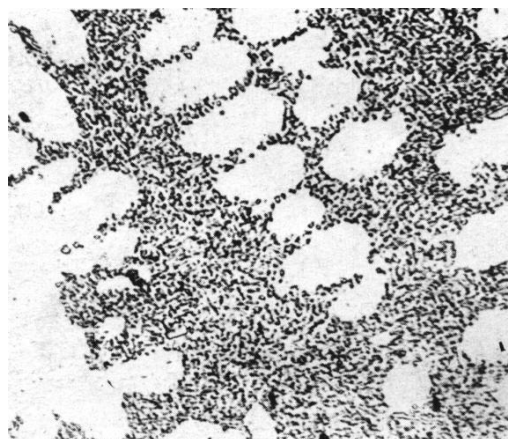
HLINÍKOVÉ ZLIATINY PRE ODLIEVANIE

Zliatiny na odliatky sú v porovnaní s tvárnenými zliatinami charakteristické vyšším obsahom prísad a obsahom eutektika v štruktúre, čo popri dobrých mechanických vlastnostiach zabezpečuje aj ich dobré zlievarenské vlastnosti. Tieto zliatiny sú buď binárne alebo viackomponentné na báze Al – Si, Al – Cu, Al – Mg.

Zliatiny Al-Si – silumíny. Patria k najlepším zliatinám na odlievanie. Majú nízku hustotu ($2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) dobrú odolnosť proti korózii a pri odlievaní dobrú zabiehavosť a malú zmraživosť (0,5 %). Tieto vlastnosti majú predovšetkým zliatiny s eutektickým (12,5 %) alebo blízkym eutektického zloženiu. Štruktúra je tvorená tuhým roztokom Si v Al a eutektikom ($\alpha + \text{Si}$). Kremík v eutektiku je prítomný vo forme ihlíc (obr.12.4) a je krehký. Z tohto dôvodu sa používa modifikovanie – očkovanie silumínu prísadou Na alebo Sr tesne pred odlievaním. Kremík v modifikovanom silumíne má jemnú globulitickú formu (obr.12.5). Modifikovaním sa zvyšuje pevnosť aj ťažnosť silumínu.



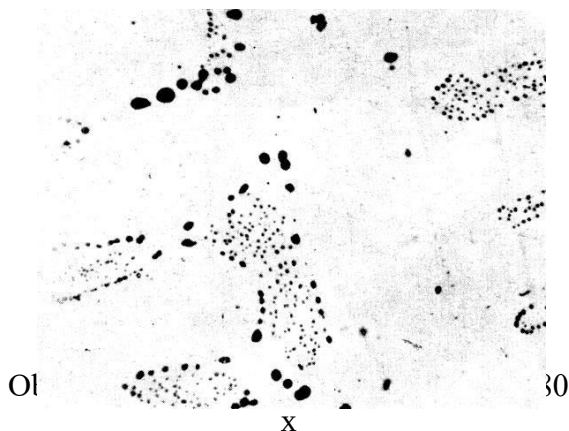
Obr.12.4 Mikroštruktúra silumínu. Si je vylúčený vo forme veľkých ihlíc, zv 200 x



Obr.12.5 Mikroštruktúra modifikovaného silumínu, zv 100 x

MEĎ A JEJ ZLIATINY

Meď má výbornú elektrickú a tepelnú vodivosť. Čistá meď patrí medzi najtvárnejšie kovy vôbec. Pre svoju nízku pevnosť sa používa Cu spevnená tvárnením za studena alebo s prísadami iných prvkov. Hlavnou nečistotou v medi je kyslík, ktorý tvorí s Cu pri 0,39 % eutektikum. Mikroštruktúra liatej Cu s podeutektickým obsahom kyslíka je na obr.12.6. Na obr.12.7 je mikroštruktúra tvárnenej Cu. Vyskytujú sa tu deformačné dvojčatá.



Ol

x



Obr.12.7 Mikroštruktúra tvárnenej medi, zv. 100 x

Meď a jej zliatiny môžeme rozdeliť do 3 skupín, a to:

- meď a vysokomeďnaté zliatiny,
- mosadze – zliatiny Cu – Zn, prípadne ďalšie prvky
- bronzy – zliatiny Cu + iný prvok ako Zn

Tieto skupiny sa ešte ďalej delia na tvárnené a zlievarenské.

Mosadze

α – mosadze sú zliatiny Cu a Zn s obsahom Zn do 32,5 %. V liatom stave majú tieto zliatiny dendritickú štruktúru, po tvárnení a vyžihnutí homogénnu polyedrickú štruktúru. Majú podobné vlastnosti ako čistá meď. Sú dobre tvárne za nízkych aj vysokých teplôt. Mechanické vlastnosti sa zvyšujú s rastúcim obsahom Zn.

$\alpha + \beta$ mosadze majú obsah Zn nad 32,5 %. Majú heterogénnu štruktúru, ktorá je tvorená svetlými zrnami α – fázy a tmavými zrnami fázy β . Na obr.12.8 je mikroštruktúra tvárnenej a žihanej a na obr. 12.9 liatej $\alpha + \beta$ mosadze. Tieto zliatiny sa vyznačujú vysokou pevnosťou ale menšou húževnatosťou.

Mosadze sa označujú písmenami Ms a číslom, ktoré udáva množstvo Cu v percentách v zliatine, napr. Ms 63.

Mosadze pre tvárnenie: Ms 70, Ms 68, Ms 63, Ms 60, Ms 58.

Mosadze pre odlievanie: Ms 63, Ms 58.



Obr.12.8 Mikroštruktúra $\alpha + \beta$ mosadze liatej. Zv 90 x



Obr.12.9 Mikroštruktúra $\alpha + \beta$ mosadze tvárnenej a žihanej. Zv 100 x

Bronzy

Sú to zliatiny medi s ďalšími prvkami okrem zinku a obvykle sa nazývajú podľa hlavnej prísady, a to cínové bronzy, hliníkové, berýliové atď.

Cínové bronzy. Sú zliatiny medi s cínom, kde množstvo oboch kovov je min. 99,3 %. Pre technickú prax majú význam len zliatiny do 20 % Sn. Pri vyššom obsahu Sn sú veľmi krehké. Do 5 % Sn sú zliatiny homogénne a tvorené len tuhým roztokom ($\alpha = \text{Cu}_{(\text{Sn})}$). V liatom stave je ich štruktúra dendritická, v stave tvárnenom a žihanom polyedrická. Zliatiny s obsahom 5 – 20 % Sn majú štruktúru tvorenú kryštálmi α a eutektikom ($\alpha + \delta$). Fáza δ je elektrónová zlúčenina, je to krehká fáza znižujúca ťažnosť. Na odliatky sa používajú bronzy s viac ako 20% Sn. Využívajú sa častejšie ako bronzy tvárnené. Majú dobrú pevnosť, húževnatosť, vysokú odolnosť proti korózii a výborne trecie vlastnosti.

Hliníkové bronzy sú zliatiny, kde hlavnou prísadou je hliník. Praktický sa využívajú zliatiny do 12 % Al. Asi do 8 % majú jednofázovú štruktúru tuhého roztoku α , pri vyššom obsahu štruktúru $\alpha + \beta$. Zliatiny s 10 – 12 % Al je možné tepelne spracovať podobne ako ocele (martenzitickou transformáciou). Homogénne zliatiny sú húževnaté, dobre tvárne za studena aj za tepla. Heterogénne zliatiny sú pevnejšie tvrdšie a za studena menej tvárne.

Kremíkové bronzy s obsahom 0,9 – 3,5 % Si majú dobrú tvárnosť za tepla aj za studena a používajú sa tiež na výrobu odliatkov. Odolávajú účinkom kyseliny sírovej soľnej a niektorým zásadám.

Berýliové bronzy. Obmedzená rozpustnosť berýlia v tuhom stave (max. 2,7 %) umožňuje tepelne spracovanie berýliových bronzov precipitačným vytvrdzovaním. Vyznačujú sa

vysokou pevnosťou, tvrdosťou ($R_m = 1200 \text{ MPa}$, $HB = 400$) a odolnosťou proti korózii. Sú však drahé.

Niklové bronzы. Širšie uplatnenie majú komplexne viaczložkové zliatiny, ktoré sú vytvrditeľné. Majú dobrú pevnosť aj pri zvýšených teplotách, dobrú medzu únavy a sú odolné proti korózii. Najčastejšie sa používajú zliatiny Cu-Ni-Fe-Mn, kde prísada železa a mangánu výrazne zlepšuje korózne vlastnosti, predovšetkým v morskej vode a v prehriatej vodnej pare.

Pre svoj vysoký elektrický odpor sa používajú ako odporový a termočlánkový materiál, napr. nikelin – CuNi30Mn, konštantán – CuNi 45Mn.

TITÁN A JEHO ZLIATINY

Titán, je kov s dobrými mechanickými vlastnosťami a výbornou odolnosťou proti korózii ako v technický čistom stave, tak aj vo forme zliatin. V žíhanom stave má pevnosť 240-550 MPa, tvárnením za studena sa zvyšuje až nad 800 MPa. Štruktúra ti závisí od teploty pri akej bol žíhaný. Pri žíhaní s teplotou nižšou ako je teplota allotropickej premeny

$\alpha \rightarrow \beta$ (885 °C) vzniká štruktúra polyedrického titánu. Po prekročení teploty premeny $\alpha \rightarrow \beta$ pri žíhaní vzniká ihlicovitá štruktúra - obr.12.10.

Zliatiny titánu sa delia podľa fáz, ktoré obsahujú.

a) Zliatiny s α – fázou.

Zliatiny Ti – Al do obsahu max. 8% Al. Pri nižších obsahoch Al vzniká po rýchlom ochladení ihlicovitá štruktúra, pri vyšších % Al vznikajú štruktúry Widmannstättenové.

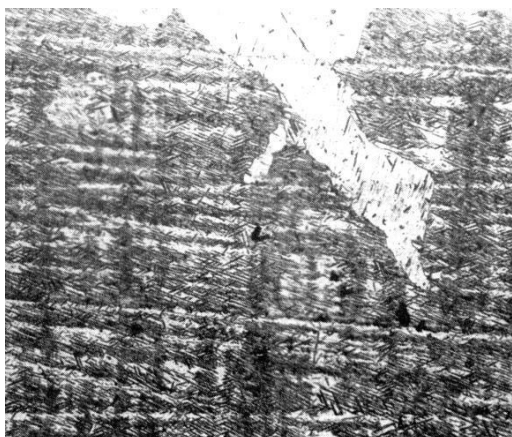
Zliatiny Ti – Al – Sn používané v technickej praxi majú obyčajne 5% Al a 2,5% Sn ($R_m = 825 \text{ MPa}$, $A = 10\%$). S prídavkom Zr sú označované ako super α .

b) Zliatiny s β – fázou.

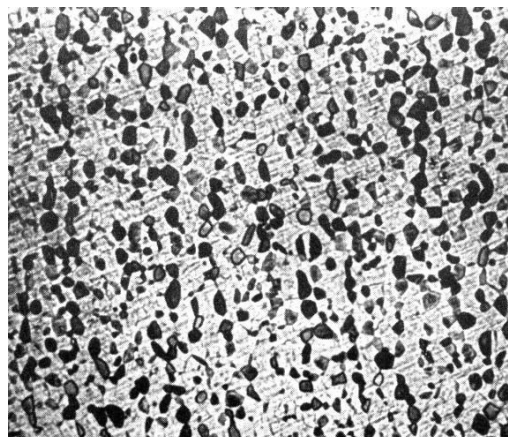
Dôležitými stabilizátormi β – fázy sú Mo, V, Ta, Nb. Sú vytvrditeľné a dosahujú vysokú pevnosť pri teplote okolia, ale majú horšie vlastnosti pri teplotách nad 350 °C.

c) Zliatiny s $\alpha + \beta$ fázou, obr. 12.11.

Obsahujú stabilizátory α fázy (Al) a stabilizátory β fázy (V, Mo, Fe, Cr, Mn). Používajú sa v tepelne spracovanom stave – vytvrdzovaním. Pozostáva z rozpúšťacieho žíhania, rýchleho ochladzovania a izotermického rozpadu fázy β na precipitát α . Najrozšírenejšie sú zliatiny TiAl6V4. Majú vysoké mechanické vlastnosti ($R_m = 990 \text{ MPa}$), ktoré možno zvýšiť vytvrdzovaním na $R_m = 1050$ až 1250 MPa .



Obr. 12.10 Mikroštruktúra zakaleného titánu s ihlicovitou štruktúrou, zv. 200 x



Obr.12.11 Dvojfázová zliatina titánu, zv. 500 x

Úloha:

1. Porovnajte štruktúry modifikovaných a nemodifikovaných silumínov, vysvetlite vplyv Si na vlastnosti silumínov.
2. Porovnajte štruktúry a mechanické vlastnosti duralu v stave bez kalenia a v stave kalenom.
3. Sledujte rôzny stupeň tvárnenia u čistej medi.
4. Znázorníte základné štruktúry mosadzí v liatom a tvárnenom stave.

CVIČENIE 13**Téma: NEDEŠTRUKTÍVNE TESTOVANIE (NDT) VNÚTORNÝCH CHÝB MATERIÁLOV****Základné teoretické poznatky**

Prvoradým cieľom v strojárskej výrobe je *kvalita* a *spoľahlivosť* výrobkov. Pre stabilizáciu úrovne a zabezpečenie rastu kvality výrobkov je nevyhnutný neustály monitoring výrobného procesu, ktorý pomáha včas odhaliť kritické miesta vo výrobnom postupe. Silným nástrojom pri zlepšovaní kvality je *defektoskopia*.

Defektoskopia je vedný odbor, ktorý pomocou nedeštruktívnych metód odhaľuje prítomnosť defektov v materiáloch a výrobkoch, resp. predpovedá vznik možností materiálových porúch v prevádzke.

Defekt je definovaný ako porušenie materiálu alebo výrobku, ktorého povaha, tvar, rozmery a priestorová orientácia má negatívny vplyv na jeho funkčné vlastnosti. Včasnou identifikáciou a lokalizáciou defektov pomocou *nedeštruktívnych metód skúšania* je možné predchádzať škodám na majetku a ľudských životoch.

Pri nedeštruktívnych skúškach (*NDT – non-destructive testing*) sa využívajú fyzikálne princípy, ktoré na skúmané materiály nevplývajú mechanicky, ani tepelne.

Pri voľbe vhodnej metódy nedeštruktívneho testovania potrebné zohľadniť vlastnosti skúmaných materiálov, napríklad ich elektrickú vodivosť, bezpórovitosť povrchov, feromagnetizmus a iné.

Metódy NDT sa v strojárskej výrobe využívajú najmä pre skúmanie prítomnosti povrchových i vnútorných chýb vo zvaroch a odliatkoch.

Chyby zvarových spojov

Druhy chýb zvarových spojov definuje norma STN EN ISO 6520-1. V oblasti zvárania sa rozlišujú pojmy *chyba* a *defekt*.

Chyba je definovaná ako akákoľvek odchýlka od ideálneho stavu a *defekt* ako neprípustná chyba.

Norma rozčleňuje chyby do šiestich základných skupín :

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| 1 – trhliny | 4 – studené spoje a neprievary |
| 2 – dutiny | 5 – chyby tvaru a rozmerov |
| 3 – vtrúseniny | 6 – iné chyby |

Chyby tavných spojov podľa ich umiestnenia je možné rozdeliť na :

- *povrchové (obr. 13.1),*
- *chyby nachádzajúce sa tesne pod povrchom,*
- *vnútorné (obr. 13.2).*



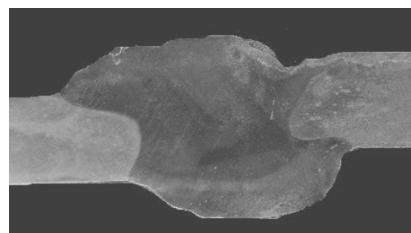
Nepravidelný povrch



Pretečený povrch



Kvaple



Zápal



Trhliny

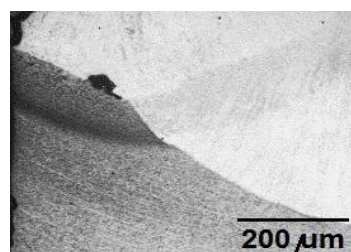


Rozstrek

Obr. 13.1 Povrchové chyby zvarových spojov

Vnútorne chyby zvarových spojov

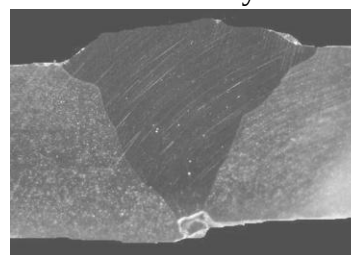
Dutiny - póry



Vtrúseniny



Studený spoj



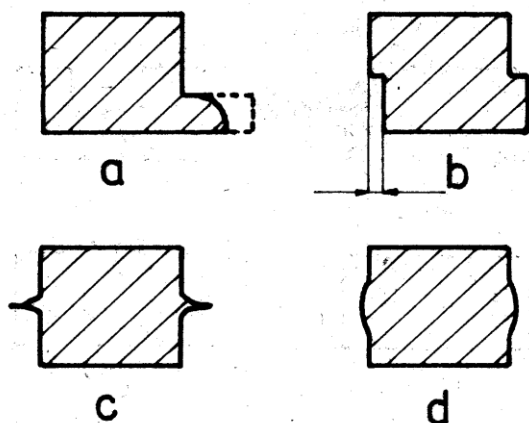
Neprevarený koreň

Obr. 13.2 Vnútorne chyby zvarových spojov

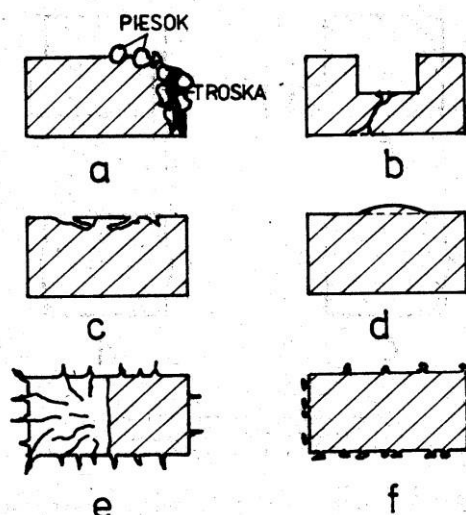
Chyby odliekov

Druhy chýb odliekov a ich klasifikáciu uvádza norma STN 42 1240. Norma rozdeľuje chyby odliekov do nasledujúcich skupín:

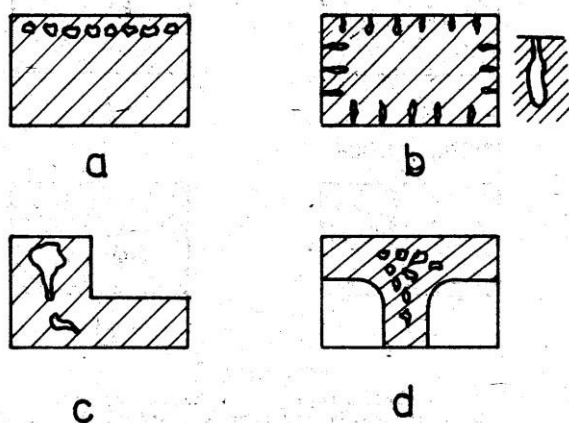
1. chyby tvaru, rozmerov a hmotnosti (obr. 13.3)
2. chyby povrchu (obr. 13.4)
3. prerušenie súvislosti: trhliny, praskliny
4. dutiny (obr. 13.5)
5. chyby štruktúry: najmä odmiešanie
6. chyby chemického zloženia, nesprávne fyzikálne alebo mechanické vlastnosti
7. vtrúseniny (obr. 13.6)



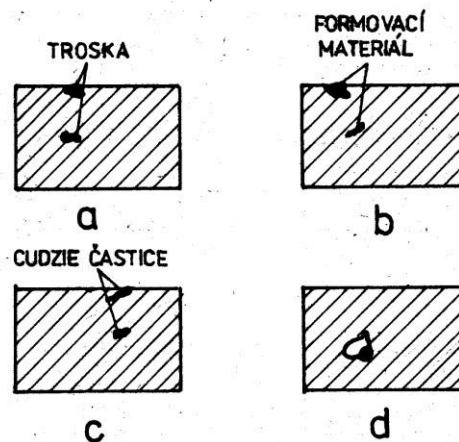
Obr. 13.3 Chyby tvaru, rozmerov a hmotnosti: a) nezabehnutie, b) presadenie, c) zatečenina, d) vydutie



Obr. 13.4 Chyby povrchu: a) pripečeniny, b) zavaleniny, c) zálupy, d) nárusty, e) výronky, f) výpotky



Obr. 13.5 Dutiny: a) bubliny, b) bodliny, c) stiahnutiny, d) riediny



Obr. 13.6 Vtrúseniny: a) troskovitosť, b) zadrobeniny, c) cudzie častice, d) broky

Niektoré chyby odliatkov sú opraviteľné, iné nie. Niektoré praskliny sa dajú opraviť zvaraním, tmelením, pórovitosť impregnáciou a pod. Možnosť opravy chýb závisí od účelu použitia odliatku a jeho mechanického zaťaženia.

Najpoužívanejšie metódy hodnotenia chýb materiálov *na povrchu* a v oblastiach *blízkyh povrchu*:

- Vizuálna metóda (VT – Visual testing)
- Kapilárna metóda (PT – Liquid Penetrant testing)
- Magnetická prášková metóda (MT – magnetic particle testing)
- Metóda vírivých prúdov (ET – Eddy current testing)

Metódy hodnotenia *vnútorných* chýb zvarových spojov

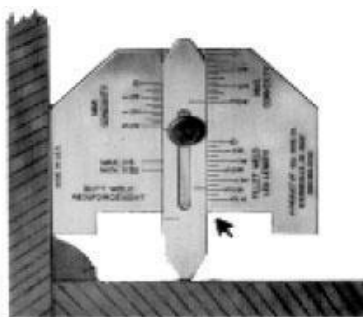
- Prežarovacia metóda (RT – Radiography testing)
- Ultrazvuková metóda (UT – Ultrasonic testing)

1. Vizuálna kontrola zvarových spojov (VT) - STN EN ISO 17637: 2011

Vizuálna prehliadka je *prvá metóda*, ktorou sa *vždy* začína kontrola zvaru. Je možné ňou identifikovať povrchové chyby zvarov (trhliny, neprievary, pórovitosť, odkryté stiahnutiny, deformácie, korózia, kvaple, zápaly). Hodnotený povrch musí byť *očistený* od zvyškov trosky, masťnôt a oxidov. Pri skúške musí byť zabezpečené dostatočné *osvetlenie* kontrolovaného miesta a kontrolór musí mať *spôsobilý zrak*.

Metódy vizuálnej kontroly podľa prístupnosti kontrolovaných miest a použitých kontrolných prostriedkov:

- a) *priama kontrola*: voľným okom, alebo pomocou lupy (zväčšenie 7x), mikroskopu (zv. 20 – 30x). Vzďialenosť oka od pozorovaného povrchu by mala byť max. 250 mm. Na kontrolu geometrie zvaru sa používajú rôzne pomôcky: posuvné meradlá, oceľové pravítka, mierky na zvary (obr. 13.7), etalóny.
- b) *nepriama kontrola*: pomocou optických alebo optoelektronických prístrojov: endoskopy, periskopy, boroskopy, fibroskopy (obr. 13.8) resp. kamery.



Meranie zvaru



Šablóna kútových zvarov



Meradlo na zvary

Obr. 13.7 Mierky a pomôcky na priamu kontrolu zvarov



Obr. 13.8 Kontrola nedostupných priestorov fibroskopom

2. Kapilárna metóda (PT)

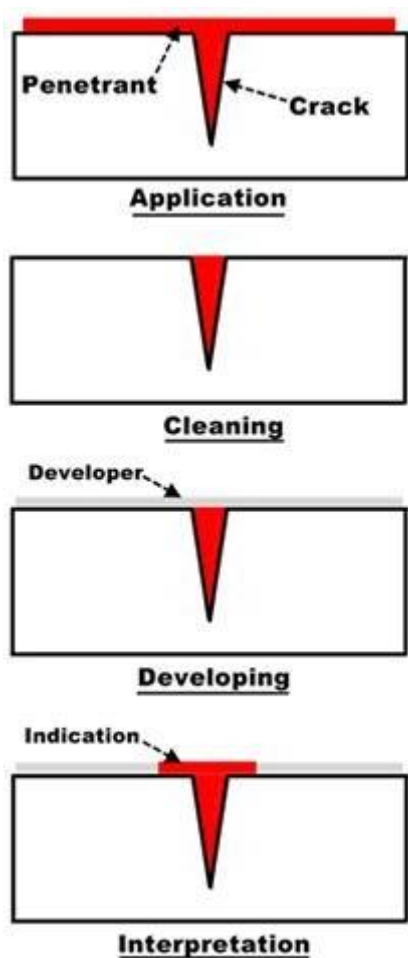
Podstatou kapilárnej metódy je *použitie kvapaliny* s nízkym povrchovým napätím, *ktorá vnikne do necelistvostí materiálu*. Po odstránení jej prebytku z povrchu skúšaného predmetu a nanesení *indikačnej kvapaliny* vystúpi vplyvom kapilárnych síl na povrch, čím necelistvosť (chybu) zviditeľní. Metóda je použiteľná pre identifikáciu chýb na povrchu

kovových aj nekovových nepórovitých materiálov (*trhliny, studené spoje, póry, odkryté riedeniny, prípadne netesnosti zvarových spojov*).

Postup pri kapilárnej skúške (obr. 13.9):

Na očistený a odmastený hodnotený povrch sa:

- nanesie penetračná kvapalina – petrolej s farbivom
- penetrant sa nechá pôsobiť 5-20min, aby vznikol do defektov
- nadbytok penetrantu sa odstráni
- na povrch sa nanesie vývojka – suspenzia CaCO_3 (MgCO_3) v prchavej kvapaline (acetóne) a nechá sa pôsobiť 5-20min
- defekt sa zviditeľní – penetrant vystupuje z chyby pôsobením kapilárnych síl do vývojky na povrchu.



Obr. 13.9 Postup pri kapilárnej skúške

Na realizáciu kapilárnej skúšky sú dostupné sady potrebných kvapalín vo forme sprejov (odmasťovač, penetrant, vývojka).

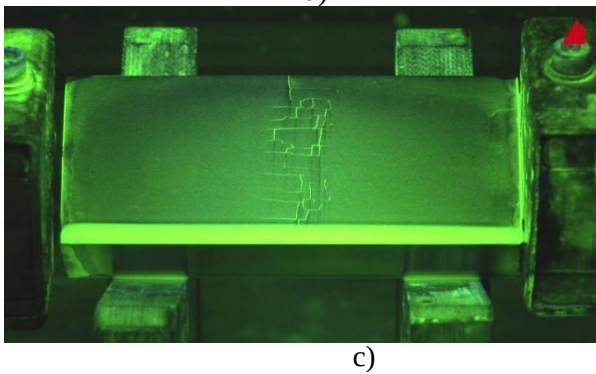
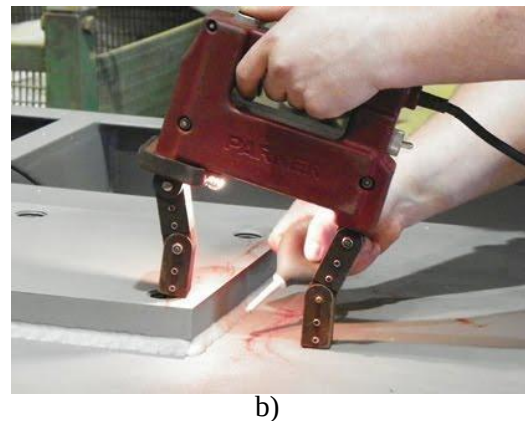
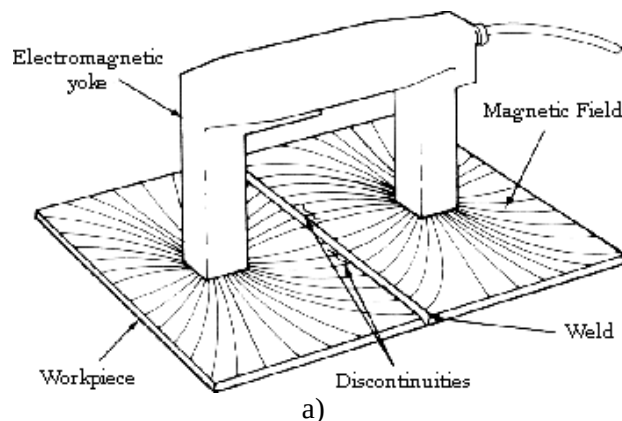
3. Magnetická prášková metóda (MT) - STN EN ISO 17638: 2010

Metóda je založená na indikácii rozptylu *magnetického indukčného toku*, ktorý v magnetovanom materiáli vzniká v mieste chyby ako dôsledok zvýšeného magnetického odporu. Táto metóda umožňuje detekovať *povrchové a podpovrchové chyby feromagnetických materiálov (vlasové trhliny, preložky, trhliny, studené spoje vo zvaroch a póry)*.

Používajú dva základné spôsoby magnetovania – pozdĺžne a priečne, ich kombinácia umožňuje indikáciu všetkých chýb v jednej operácii.

Magnetické pole je možné v mieste defektu indikovať (obr. 13.10):

- polievaním zvaru suspenziou magnetického prášku v oleji.
- suchým detekčným práškom Fe_2O_3 a Fe_3O_4 ,
- *magnetofluorescenčne* magnetickým práškom s čiastočkami *luminoforu*. Defekt sa pozoruje pri ultrafialovom žiarení (320 – 400nm).



Obr. 13.10 Magnetická prášková metóda:
a) principiálna schéma, b) realizácia skúšky,
c) magnetofluorescenčná defektoskopia

4. Nedeštruktívne skúšanie vírivými prúdmi (ET) - STN EN 1711

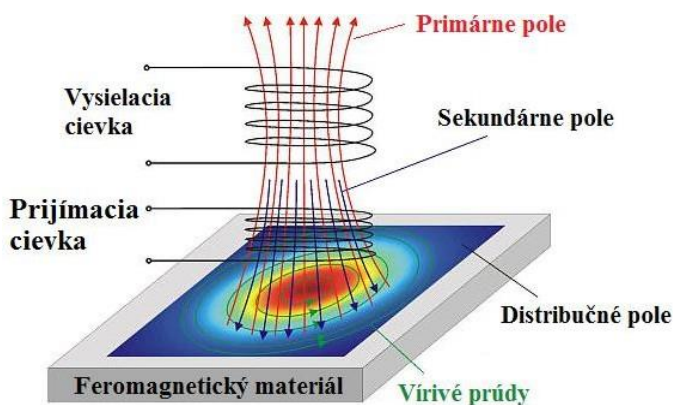
Ide o bezdotykové testovanie vhodné aj pre neferomagnetické materiály.

Skúšané objekty (profily, rúry) sú vystavené toku elektrického prúdu indukovaného striedavým magnetickým poľom, ktoré v nich indukuje vírivé prúdy s najväčšou intenzitou na povrchu súčiastok v závislosti od ich elektrickej vodivosti. Vírivé prúdy vytvárajú vlastné magnetické pole, ktoré spätne pôsobí na budiace pole cievky. Obidve magnetické polia sa vektorovo skladajú. Výsledné magnetické pole závisí od elektrickej vodivosti povrchu, čiže jeho veľkosť sa vplyvom povrchových defektov bude meniť (zmenšovať). Tieto zmeny umožňujú detegovať aj veľmi jemné povrchové trhliny.

Vyhodnotenie sa vykonáva prostredníctvom napätia priamo v cievke, ktorá budí elektromagnetické pole, alebo v druhej meracej cievke. Cievkový systém má dve vinutia (budiace a meracie) a meria sa amplitúda a fáza napätia na meracom vinutí.

Cievkové systémy môžu byť:

- priechodzie – výrobok prechádza dutinou cievky
- príložné – cievka sa prikladá na povrch hodnoteného výrobku



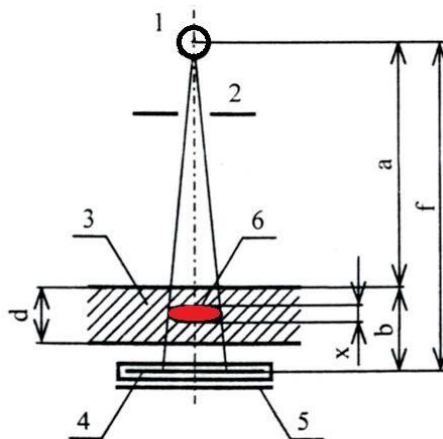
Obr. 13.11 Skúšanie vírivými prúdmi

5. Prežarovacie metódy skúšania zvarov (RT) - STN EN 1435

Využívajú fyzikálne vlastnosti ionizujúceho elektromagnetického žiarenia. Sú založené na *zoslabení intenzity elektromagnetického žiarenia* (s vhodnou vlnovou dĺžkou) *pri prechode skúšaným materiálom*. Žiarením sa dajú zviditeľniť a zaznamenať vnútorné defekty v ich reálnej podobe (obr. 13.11).

Kvalitu zvarov je možné hodnotiť:

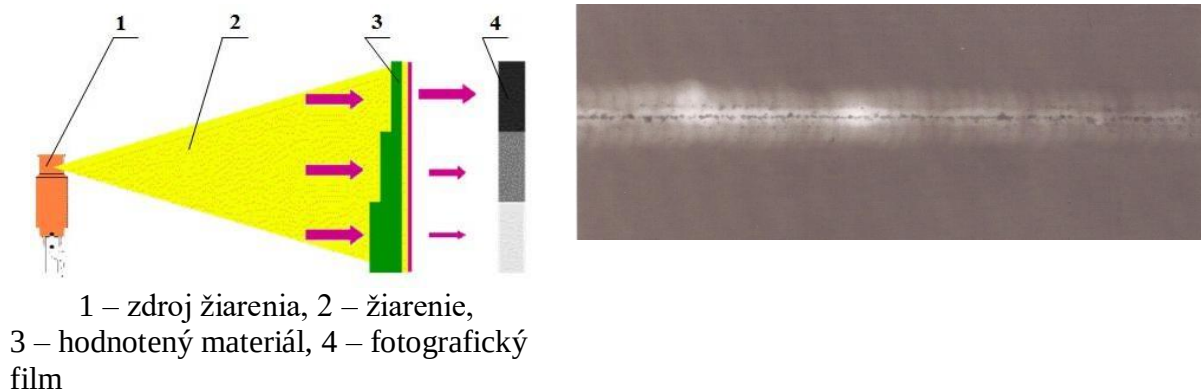
- röntgenovým žiarením. Prežarované hrúbky do 75 mm.
- gama žiarením (žiarenie rádioaktívnych izotopov, ktoré vzniká pri rozpade ich jadier. Umožňuje prežiariť ocelové výrobky do hrúbky 150 mm.)
- betatrónovým žiarením (žiarenie vzniká v betatróne, ktorý je urýchľovač elektrónov emitovaných z katódy. Umožňuje prežiariť ocelové výrobky do hrúbky 500 mm.)
- neutrónovým žiarením, ktoré využíva pre vznik neutrónov izotopy (napr. kalifornium Cf^{252}).



Obr. 13.11 Princíp prežarovacích metód: 1 – zdroj žiarenia, 2 – filter, 3 – vzorka, 4 – film, 5 – olovená platňa, 6 - vnútorný defekt, a – vzdialenosť vzorky od zdroja, x – veľkosť chyby, b – vzdialenosť filmu od vzorky, d – hrúbka vzorky, f – ohnisková vzdialenosť

Spôsob vyhodnotenia:

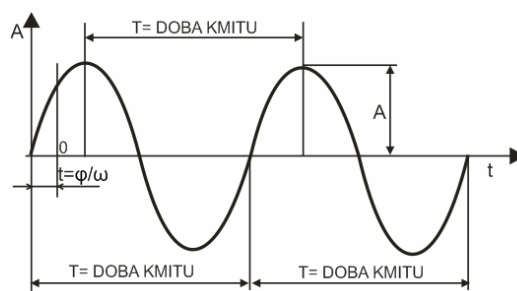
Na vrstve citlivého filmu s vrstvou Ag vzniká obraz defektu (sčernanie). Výsledkom hodnotenia rádiogramu je *stanovenie druhu, veľkosti, množstva, eventuálne polohy skrytých defektov s pridelením klasifikačného stupňa* (obr. 13.12).



Obr. 13.12 Princíp prežarovacích metód (vľavo), rádiogram zvarového spoja (vpravo)

6. Ultrazvukové metódy skúšania zvarov (UT)

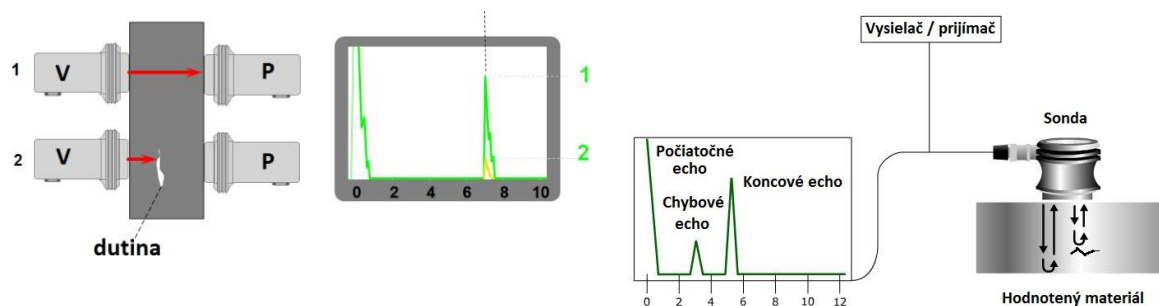
Ultrazvuk je mechanické kmitanie častíc prostredia s frekvenciou vyššou ako 20 kHz. Zdrojom vlnenia je piezoelektrický menič. Charakteristickou veličinou vlnenia je vlnová dĺžka „ λ “ (resp. doba kmitu), ktorá vyjadruje vzdialenosť, ktorú prebehne vlna v dobe jednej periódy, obr. 13.13.



Obr. 13.13 Doba kmitu vlnenia

Ultrazvukovú defektoskopiu je možné realizovať tromi základnými spôsobmi:

- *prechodový* – používa 2 sondy (vysielač a prijímač), spôsob je obmedzená na rovnobežné plochy s konštantnou hrúbkou, ku ktorým musí byť prístup z oboch strán (obr. 13.14 vľavo).
- *odrazový* – kontrola sa realizuje z jednej strany, sonda je súčasne vysielačom aj prijímačom, krátke impulzy ultrazvuku prechádzajú materiálom a vracajú sa späť. Chyba v materiáli sa zobrazí ako chybové echo. Umožňuje identifikovať prítomnosť defektu a jeho lokalizáciu (obr. 13.14 vpravo).
- *rezonančný* – využíva sa na meranie hrúbok materiálov do 100 mm pomocou ultrazvukových impulzov, ktorých frekvencia sa plynulo mení.

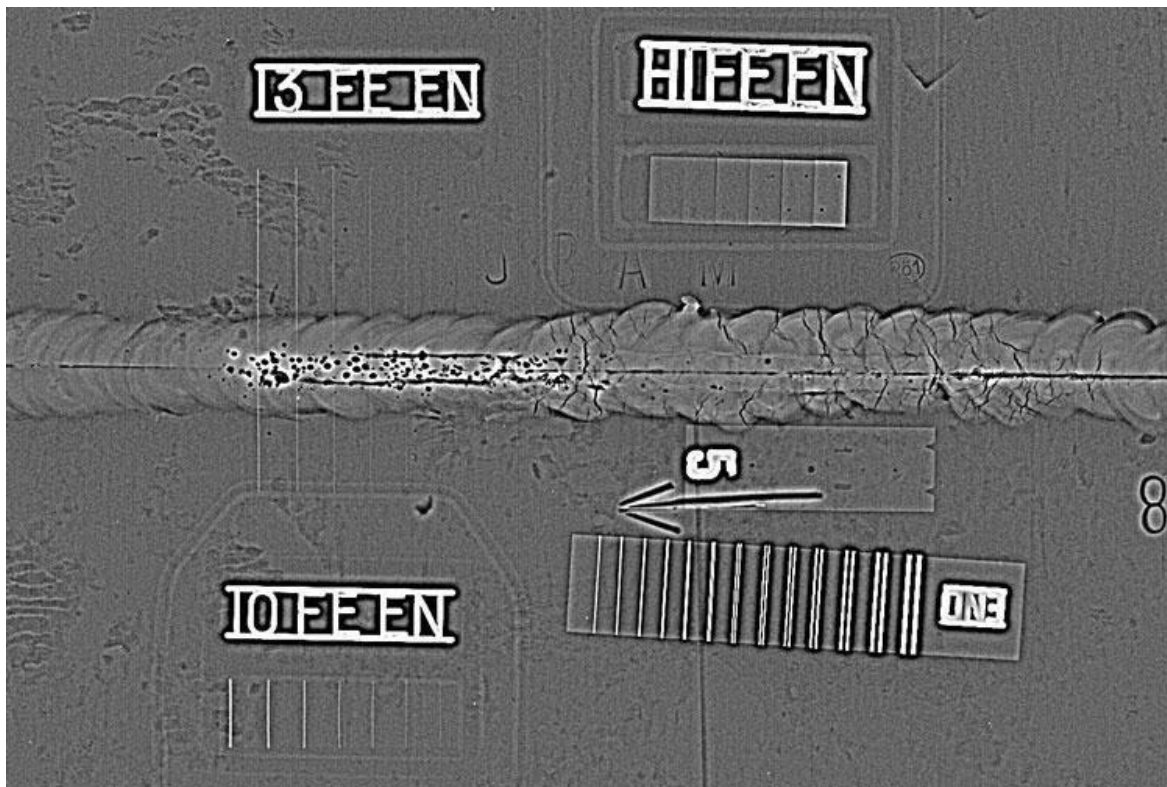


Obr. 13.14 Prechodová (vľavo) a odrazová (vpravo) UZ defektoskopia

Rozhranie kov – vzduch odráža 100 % vlnenia, preto sa medzi vysielacou sondou a materiálom používa akustická väzobná látka – olej, vazelína, voda a pod. Drsnosť povrchu nemá byť väčšia než 10 % vlnovej dĺžky.

Úloha:

Identifikujte chyby v rádiografickom zázname zvaru, podľa obrázku:



Na vyhodnotenie typu chýb použite nasledovnú klasifikáciu:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4						
Aa	Ab	Ac	Ad	Ba	Bb	Bc	Bd	C	Da	Db	Dc	Ec																	
VELIKOST PODLE VADY																VELIKOST													
Tloušťka základ. materi.																Plynové dutiny				Okrouhlé-bubliny				Aa					
V 5 mm																Struskové				Protáhlé-póry				Ab					
V 5 mm V 10 mm																Vnější				Rádka				Ac					
V 10 mm V 25 mm																Korové				Shluk				Ad					
V 25 mm V 50 mm																													
V 50 mm																													
II																													
V																													
1/2 V																													
Y																													
U																													
1/2 U																													
X																													
K																													
p-c																													
Podložený svarem																													
Podložený páskem																													
Povrch obrobený																													
PLAMENEM																													
Ruční																													
Pod tavídkem																													
Tavíci se elektr.																													
W elektrodou																													
ELEKTROSTRUSKOVÉ																													
Rentgenogram																													
Gamagram																													
KLASIFIKOVÁNO PODLE VADY																													
Aa	Ab	Ac	Ad	Ba	Bb	Bc	Bd	C	Da	Db	Dc	Ec																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4						
ZPRACOVAL A VYDAL STÁTNÍ VÝZKUMNÝ ÚSTAV MATERIÁLŮ - PRAHA																ATLAS VZOROVÝCH RADIOGRAMŮ VAD SVARŮ OCELI				Klasifikační stupně dle ČSN 081305				Studený spoj				C	

LITERATÚRA

1. MICHEL, J.- HIDVÉGHY, J.- BURŠÁK, M.: Náuka o materiáli. Návody na cvičenia, Hutnícka fakulta TU Košice, 2000.
2. MARTINEC, Ľ.- ŠIMKOVIČ, M.: Náuka o materiáloch. STU Bratislava, 1997.
3. ČECH, J.- GRUTKOVÁ, J.- KURIAN, J.- RODZIŇÁKOVÁ, O.: Náuka o kovoch. Návody na cvičenia, ALFA Bratislava, 1981.
4. LUKÁČ, I.: Vlastnosti a štruktúra neželezných kovov. ALFA Bratislava, 1981.
5. GRUTKOVÁ, J.: Vlastnosti a štruktúra neželezných kovov. Návody na cvičenia. ALFA Bratislava, 1980.
6. RODZIŇÁKOVÁ, O.- GRUTKOVÁ, J.-MIŠIČKO, R.: Náuka o kovoch. Návody na cvičenia, ALFA Bratislava, 1987.
7. GRUTKOVÁ, J.- RODZIŇÁKOVÁ, O.: Metalografické praktiká. ALFA Bratislava, 1973.
8. TOMÁŠ, M.: Príspevok k štúdiu procesov plastického pretvorenia pri ťahaní zložitých rotačne symetrických tvarov výťažkov. Dizertačná práca, TU Košice, 2000.
9. DORAZIL, E.: Nauka o materiálu I, edice VUT Brno, 1979, Brno
9. HABRAKEN, L. – DE BROUWER, J.-L.: De Ferri Metallographia I. Presses Academiques Europeennes, Bruxelles, 1966
10. POKORNY A. – POKORNY J.: De Ferri Metallographia III. Berger – Levrault, Paris, 1967
11. LAMBERT, N. – GREDAY, T. – HABRAKEN, L.: De Ferri Metallographia IV. Verlag Stahleisen M. B. H., Dusseldorf, 1983
12. PACAL, B.: Nauka o materiálu II – návody do cvičení. SNTL, Praha 1984
13. PTÁČEK, L. – JUST, D. – ŠVEJCAR, J.: Fyzika kovů. VUT Brno, 1986
14. PUŠKÁR, A. - MICHEL, J. et al.: Náuka o materiáli I. ALFA Bratislava, 1981.
15. ČECH, J. - GRUTKOVÁ, J. - KURIAN, J. - RODZIŇÁKOVÁ, O.: Náuka o kovoch, Návody na cvičenia. ALFA Bratislava, 1981.
16. MICHEL, J. – BURŠÁK, M.: Náuka o materiáli. TU v Košiciach, 2008. ISBN 978-80-8073-951-5.
17. PTÁČEK, L. et al.: Náuka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2003. ISBN 80-7204-283-1.
18. MIHÁLIKOVÁ, M. – BURŠÁK, M. – MIŠIČKO, R.: Náuka o materiáli, Návody na cvičenia. Technická univerzita v Košiciach, HF, 2004, ISBN 80-8073-158-6.
19. SKOČOVSKÝ, P. – BOKŮVKA, O. – KONEČNÁ, R. – TILLOVÁ, E.: Náuka o materiáli pre odbory strojnícke. Žilinská univerzita v Žiline, 2001, ISBN 80-7100- 831-1.
20. MICHEL, J. – HIDVÉGHY, J. – BURŠÁK, M.: Náuka o materiáli, Návody na cvičenia. Technická univerzita v Košiciach, 2000, ISBN 80-7099-529-7.
21. BOKŮVKA, O. et al.: Návody na cvičenia a nauky o materiáli I., Žilinská univerzita, 1999, ISBN 80-7100-662-9.
22. VELES, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. ALFA Bratislava, 1985.
23. ZRNÍK, J. a kol.: Náuka o materiáloch, korózia. TU Košice, 2000. 56 s. ISBN 80-7099-544-0.
24. KONEČNÁ, R. – TILLOVÁ, E.: Náuka o materiáli II, Návody na cvičenia – referáty, Žilinská univerzita, 2000, ISBN 80-7100-756-0.
25. MOORE, W. J.: Fyzikální chemie. SNTL, Praha 1979.
26. MARTINEC, Ľ. - ŠIMKOVIČ, M.: Náuka o materiáloch. STU Bratislava, 1997.
27. GULIAJEV, A.P.: Metallovedenie. Metallurgija, 1986.
28. ANDERSON, J. C. et al.: Materials Science, Stanley Thornes, United Kingdom, 1998.

29. DOWLING, N.: Mechanical Behavior of Materials. Prentice-Hall. USA, 1993.
30. SKOČOVSKÝ, P. – PALČEK, P. – KONEČNÁ, R. – VÁRKOLY, L.: Konštrukčné materiály. Žilinská univerzita v Žiline, 2000, ISBN 80-7100-608-4.
31. PLUHAR, J. a kol.: Nauka o materiáloch. SNTL/ALFA, Praha, 1989.
32. RODZIŇÁKOVÁ, O. - GRUTKOVÁ, J. - MIŠIČKO, R.: Náuka o kovoch, Návody na cvičenia, ALFA Bratislava, 1987.
33. GRUTKOVÁ, J. - RODZIŇÁKOVÁ, O.: Metalografické praktiká. ALFA Bratislava, 1973.
34. PULC, V. - HRNČIAR, V. - GONDÁR, E.: Náuka o materiáli, 2. vyd., STU Bratislava, 2008, ISBN 978-80-227-2847-8.
35. KOUTSKÝ, J.: Slitinové oceli pro energetické strojírenství. SNTL Praha, 1981.
36. PTÁČEK, L. et al.: Náuka o materiálu II. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2003, ISBN 80-7204-283-3.
37. SKOČOVSKÝ, P. – ŠIMAN, I.: Štruktúrna analýza liatin. ALFA Bratislava, ISBN 80-05-00092-8.
38. PULC, V. - HRNČIAR, V. - GONDÁR, E.: Grafické liatiny. STU Bratislava, 2008.
39. ZÁBAVNÍK, V. – BURŠÁK, M.: Materiál, Tepelné spracovanie, Kontrola kvality. Technická univerzita v Košiciach, HF, 2004, ISBN 80-8073-159-4.
40. ZÁBAVNÍK, V. - BURŠÁK, M.: Zošľachtovanie a kontrola kvality materiálov. TU Košice, 2004, ISBN 80-8073-071-7.
41. ZÁBAVNÍK, V.: Tepelné spracovanie kovov. VŠT Košice, 1975.
42. ZÁBAVNÍK, V. – BURŠÁK, M.: Materiál, tepelné spracovanie, kontrola kvality 1. dopl. vyd., TU Košice, 2009. ISBN 978-80-553-0139-6.
43. HLUCHÝ, M. - MODRÁČEK, O. – PAŇÁK, R.: Strojírenská technologie 1.2. díl, Metalografie a tepelné zpracování, 3. vyd., Praha, Scientia, 2002, ISBN 80-7183-265-0.
44. Koroze. [online] [cit. 15-12-01]. Dostupné na internete:
<[http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_pre
dn13-Ko.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_pre
dn13-Ko.pdf)>
45. K. SMÓLING: Tepelné a chemicko-tepelné spracovanie v príkladoch. Alfa, Bratislava, 1988.
46. JECH, J.: Tepelné zpracování ocelí. Metalografická příručka, SNTL, Praha 1933.
47. GRUTKOVÁ, J.: Vlastnosti a štruktúra neželezných kovov, Návody na cvičenia. ALFA Bratislava, 1980.
48. IŽDINSKÁ, Z. – SEJČ, P. – ŠVEC, P.: Náuka o materiáli II, Návody na cvičenia. STU v Bratislave, 1998, ISBN 80-227-1050-4.
49. SKOČOVSKÝ, P. – VAŠKO, A.: Materiály a technológie. Žilinská univerzita v Žiline, 2004, ISBN 80-7100-831-1.
50. CAHN, R.W. - HAASEN, P.: Physical Metallurgy. Metallurgija, 1987.
51. SKOČOVSKÝ, P.: Nové konštrukčné materiály, Vybrané kapitoly. Žilinská univerzita, 1995, ISBN 80-7100-264-X.
52. SEDLÁČEK, V.: Povrchy a povlaky kovů. Praha, ČVUT, 1992.
53. KOCICH, J. - TULEJA, S.: Korózia a ochrana kovov, HF TU Košice, 1998.
54. KOCICH, J.: Povrchová ochrana ocelí. ELFA, Košice, 1984.
55. BARTONÍČEK, R. et al.: Koroze a protikorozní ochrana kovů, Academia, Praha, 1966.
56. NOVÁK, P.: Druhy koroze kovů. KOM 49, 4, 2005, s. 75.
57. TULEJA, S.: Korózia a ochrana kovov. Návody na cvičenia. ALFA Bratislava, 1980.
58. ČÍHAL, V.: Mezikrystalová koroze ocelí a slitin, Academia Praha, 1984.
59. HRIVŇÁK, I.: Úžitkové vlastnosti a voľba materiálu. STU Bratislava, 1999, 186 s.