

Modul praktických cvičení z predmetu TEÓRIA TVÁRNENIA

Prerekvizity

Na absolvovanie predmetu Teória tvárnenia sa predpokladá absolvovanie predmetov Základy výrobných technológií I. a Technológia tvárnenia.

Cieľ

Cieľom učebného materiálu je podpora pri štúdiu problematiky hodnotenia základných a technologických vlastností materiálov, ktoré determinujú ich aplikáciu v procesoch plošného a objemového tvárnenia.

Po absolvovaní problematiky predmetu Teória tvárnenia študent by mal byť schopný aplikovať a prehĺbiť si ich v oblasti Experimentálnych metód hodnotenia vlastností materiálov a aj v oblasti Progresívnych metód tvárnenia a Modelovania a simulácií procesov tvárnenia.

Pre koho je predmet určený

Modul praktických cvičení z predmetu TEÓRIA TVÁRNENIA je určený pre študentov inžinierskeho štúdia študijného programu Výrobné technológie a výrobný manažment, ale aj pre študentov príbuzných študijných programov, pokiaľ spĺňajú požadované prerekvizity.

Modul je členený na 6 odborných oblastí, a to na:

- 1 Plasticita a tvárniteľnosť materiálov v plošnom a objemovom tvárnení.
- 2 **Hodnotenie technologických vlastností materiálov.**
- 3 Deformačné starnutie materiálov.
- 4 Hodnotenie pretvorenia materiálu.
- 5 Plošná a normálová anizotropia materiálov.
- 6 Deformačné odpory materiálov.

2 Hodnotenie technologických vlastností materiálov

	ČAS NA ŠTÚDIUM	1 h 20 min
	CIEĽ	Po preštudovaní problematiky budete mať vedomosti a znalosti z oblasti hodnotenia technologických vlastností materiálov pre aplikácie v plošnom a objemovom tvárnení.

Budete mať prehľad o technologických skúškach, ktorými je možno hodnotiť vlastnosti materiálov a určovať vhodnosť materiálu pre jednotlivé operácie základných prác tvárnenia. Budete vedieť experimentálne vyhodnotiť technologické vlastnosti, ktoré charakterizujú vhodnosť materiálov pre aplikácie v plošnom a objemovom tvárnení, a to konkrétne pre:

- objemové tvárnenie za studena (skúška ubíjaním podľa Kuda),
- plošné tvárnenie, ťahanie (skúška hĺbením podľa Erichsena).

	INFORMÁCIE	
---	-------------------	--

2.1 Hodnotenie technologických vlastností materiálov pre procesy objemového tvárnenia

Hodnotenie technologických vlastností materiálov, resp. technologickej tváriteľnosti sa na rozdiel od základných skúšok, ako ťah, tlak, ohyb a pod., realizujú vo veľmi blízkych (napodobňujúcich) podmienkach skutočných technologických metód. Vlastnosti materiálov získané zo skúšky jednoosovým ťahom sú vlastnosti v dohovorených (ideálnych) podmienkach, a to dohovoreného tvaru a rozmerov vzorky, jednoosového stavu napätosti, dohovorenej kvázistatickej rýchlosti tvárnenia, pri teplote okolia a bez prítomnosti trenia. Napodobujúce (technologické) podmienky preto udávajú presnejší ukazovateľ tváriteľnosti, ktorý presnejšie priradí materiál ku konkrétnej technologickej metóde.

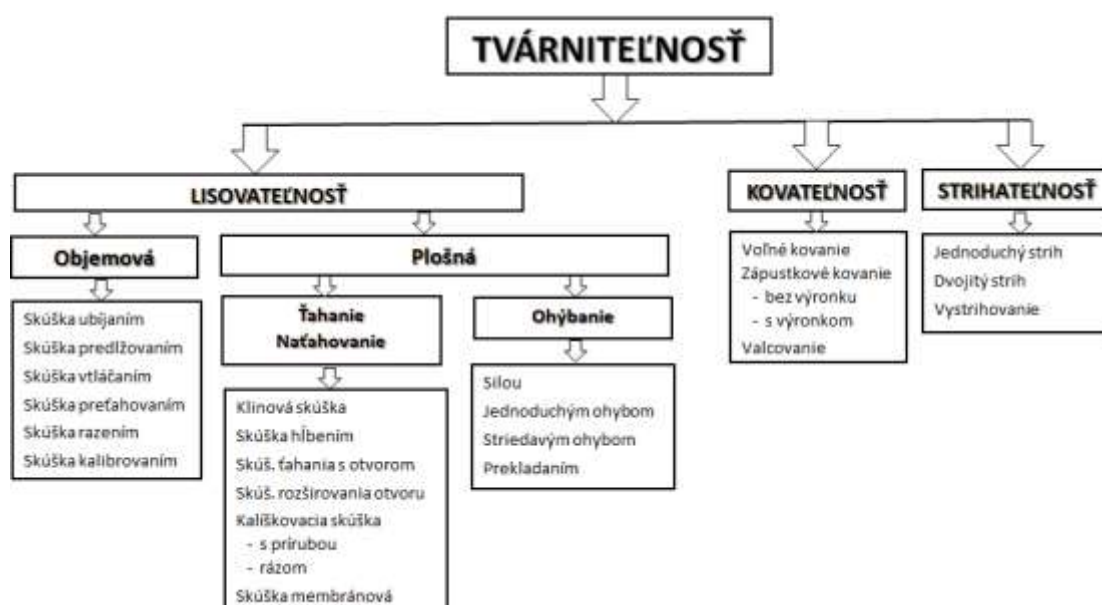
Nepriamo, resp. napodobujúce, či technologické skúšky sa klasifikujú podľa viacerých hľadísk. Technologická tváriteľnosť (Obr. 2.1) sa rozdeľuje na:

A) Lisovateľnosť

- a₁) Objemová lisovateľnosť (skúška ubíjaním, skúška predlžovaním, skúška vtláčaním, skúška preťahovaním, skúška razením, skúška kalibrovaním).
- a₂) Plošná lisovateľnosť:
 - a_{2a}) Ťahanie a natiahovanie (klinová skúška, skúška hĺbením, skúška ťahania s otvorom, skúška rozširovania otvoru, kalíškovacia skúška, skúška membránová),
 - a_{2b}) Ohýbanie (silou, jednoduchým ohybom, striedavým ohybom, prekladaním).

B) Kovateľnosť (voľné kovanie, zápustkové kovanie, valcovanie).

C) Strihateľnosť (jednoduchý strih, dvojitý strih, vystrihovanie).



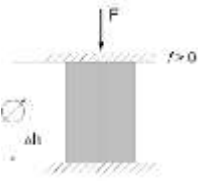
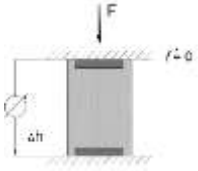
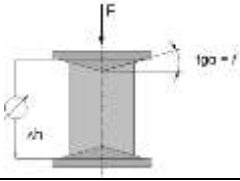
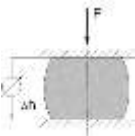
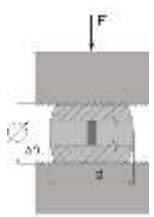
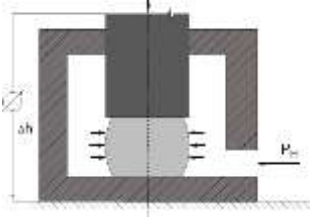
Obrázok 2.1 Klasifikácia napodobujúcich metód hodnotenia tváriteľnosti materiálov

2.1.1 Objemová lisovateľnosť

Skúšky objemovej lisovateľnosti (tvárniteľnosti), okrem vyššie uvedeného, sa rozdeľujú aj na základe tvárniacej teploty, a to na: skúšky objemovej tvárniteľnosti za studena (Tabuľka 2.1) a skúšky objemovej tvárniteľnosti za tepla (Tabuľka 2.2).

Dôležitou skúškou objemovej tvárniteľnosti za studena je skúška ubíjaním s vrubom (skúška podľa Kuda) (Tabuľka 2.1), kde je využívaný stav napätosti tlak-ťah-ťah, pričom ťahové napätia spôsobia vznik trhliny vo vrube vzorky. Podrobné informácie o skúške podľa Kuda sú uvedené v kapitole 2.1.2.2.

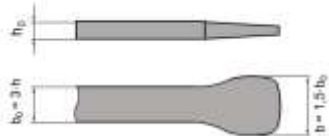
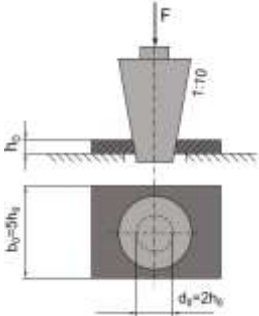
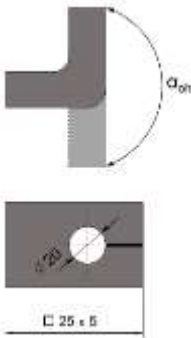
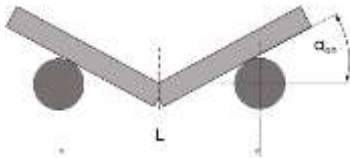
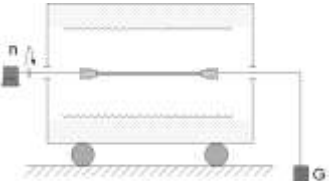
Tabuľka 2.1 Skúšky objemovej lisovateľnosti (tvárniteľnosti) za studena

Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Tlak s čelami	- rovnými 	$\sigma_d(\varphi)$	Siebel
	- vybranými 	$\sigma_p(\varphi)$	Siebel
	- kužeľovými 	$\sigma_p(\varphi)$	Siebel
Ubíjanie	- bez vrubu 	$n = \frac{h_{krit}}{h_0}$	Drastík
	- s vrubom 	$\varepsilon_{krit} = \frac{h_0 - h_{krit}}{h_0}$	(do trhliny vo vrube) Kudo
	- v hydraulickom prostredí 	$\varepsilon_{PA} = \frac{h_0 - h}{h_0}$	Novotný

Tabuľka 2.2 Skúšky objemovej lisovateľnosti (tvárniteľnosti) za tepla

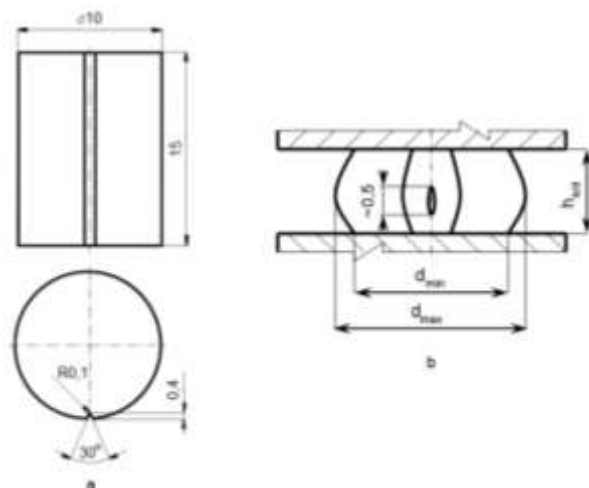
Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Tlak	- v púzdre	$\sigma_d(\varphi)$	
	- v obale	$\Delta h(p)$	Bühler-Wagener
	- v prostredí	Δh	(do lomu)
Ubjíjanie	- bez vrubu	$K_u = \frac{h_{krit}}{h_0}$	
	- s vrubmi	$D_{sm} = \frac{d}{d_0} - 1$ $(h = \frac{1}{3} h_0)$	(do trhliny vo vruboch) Židek
Valcovanie		$\frac{h_0 - h}{h_0}$	(b x h 33x33 mm) (do lomu)

Pokračovanie Tabuľky 2.2

Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Rozkovanie		$b = 1,5 \cdot b_0$	(do trhliny)
Rozširovanie		$b = 2 \cdot b_0$	(do trhlín)
Rozštiepenie		$\alpha_{oh} = 180^\circ$	(do trhliny)
Ohyb „V“		α_{oh}	(do lomu)
Krut		n	(do lomu)

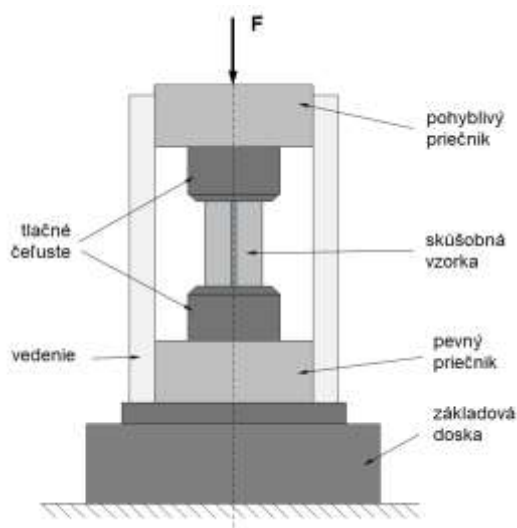
2.1.1.1 Skúška ubíjaním s vrubom – skúška podľa Kuda

Skúška ubíjaním s vrubom (Tabuľka 2.1) je jedna z najčastejšie realizovaných technologických skúšok na hodnotenie objemovej lisovateľnosti (tvárniteľnosti) za studena. Realizuje sa na skúšobných vzorkách tvaru valca s vrubom, ktorého výška h_o sa volí 1,5 až 2 násobok jeho priemeru d_o ($h_o = 1,5(2)d_o$) (Obr. 2.2a). Aby bolo zabezpečené jednoosové tlakové zaťaženie, čelné plochy majú vyrobené ryhovanie v sústerdných kružniciach.



Obrázok 2.2 Skúška ubíjaním s vrubom – skúška podľa Kuda
a – rozmery skúšobnej vzorky, b – skúšobná vzorka po zaťažení

Zaťaženie skúšobnej vzorky tlakovou silou je realizované v prípravku (Obr. 2.3), ktoré sa vkladá do univerzálneho skúšobného zariadenia. Jej stláčanie prebieha do vytvorenia trhliny vo vrube (Obr. 2.2b) do veľkosti približne 0,5 mm.



Obrázok 2.3 Prípravok na skúšku podľa Kuda

Ako hlavné hodnotiace kritérium sa vyhodnocuje kritické pomerné pretvorenie ε_{krit} podľa vzťahu (2.1), ktorého hodnota, ak prekročí 50 %, je možno konštatovať dobré vlastnosti materiálu na spracovanie procesmi objemového tvárnenia za studena. Ďalej sa vyhodnocuje vedľajšie hodnotiace kritérium kritický tvárniaci tlak p_{krit} pri vytvorení trhliny podľa vzťahu (2.2).

$$\varepsilon_{krit} = \frac{h_0 - h_{krit}}{h_0} 100 \quad (2.1)$$

kde h_0 – výška skúšobnej vzorky pred zaťažením (mm),
 h_{krit} – výška skúšobnej vzorky po vytvorení trhliny (mm).

$$p_{krit} = \frac{F_{krit}}{S_{krit}} \quad (2.2)$$

kde F_{krit} – Sila pri vytvorení trhliny (N),
 S_{krit} – prierez vzorky po vytvorení trhliny (mm²).

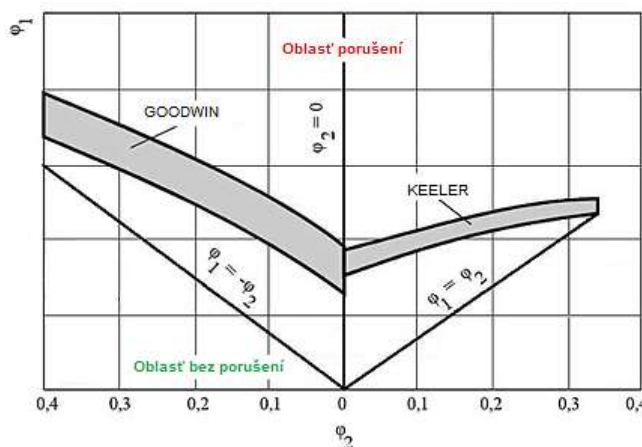
2.1.2 Plošná lisovateľnosť

Skúšky plošnej lisovateľnosti (tvárniteľnosti) vychádzajú z rôznych deformačných schém, ktoré sú, napr. pri ťahaní a ohýbaní, a teda nie je možné použiť univerzálne hodnotiace kritérium. Aby bola definovaná miera využitia deformačnej schopnosti materiálu (plechu), napr. pri ťahaní, je nutné poznať skutočné medzné deformácie pre všetky napätosti, vyskytujúce sa v pri tejto základnej práci plošného tvárnenia. Je ich možno definovať Keller (pre oblasť ťah-ťah) Goodwinovými (pre oblasť ťah-tlak) krivkami medznej tvárniteľnosti, alebo Tomlenovovým kritériom tvárniteľnosti plechov, ktoré definuje vplyv stavu napätosti na veľkosť intenzity lokálnej deformácie pri medzných stavoch, čo najlepšie vyjadruje oktaedrický skos γ_{ok} , ktorý sa vypočíta podľa rovnice (2.1).

$$\gamma_{ok} = \frac{2}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad (2.3)$$

kde φ_1 – skutočné (logaritmické) pretvorenie v smere dĺžky (-),
 φ_2 – skutočné (logaritmické) pretvorenie v smere šírky (-),
 φ_3 – skutočné (logaritmické) pretvorenie v smere hrúbky (-).

Využitie Keller-Goodwinových kriviek, tzv. limitných diagramov (FLD/FLC) (Obr. 2.3) umožňuje stanovenie rozsahu oblasti bezpečného tvárnenia pri hlbokom ťahaní, určenie presného miesta, kde najčastejšie dochádza k vzniku krčku alebo porušenia materiálu, ďalej spresnenie veľkosti potrebného napätia na tvárnenie výtvarku, ale aj určenie optimálnych technologických parametrov ako sú rýchlosť tvárnenia, chladenie a mazanie počas výroby.



Obrázok 2.3 Keeler-Goodwinov diagram

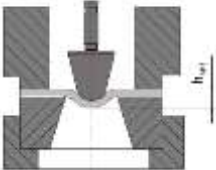
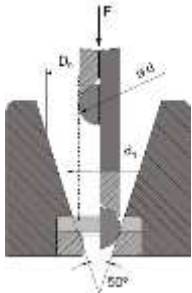
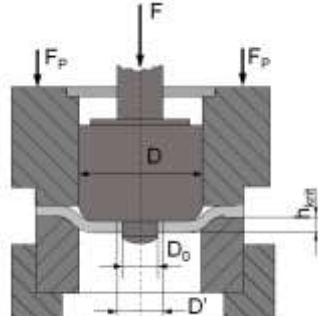
Na zvislej osi je najväčšia logaritmická deformácia v rovine plechu φ_1 , ktorá pri ťahaní môže byť iba kladná. Na vodorovnej osi je najmenšia logaritmická deformácia v rovine plechu φ_2 , meraná vždy v smere kolmom na φ_1 . Táto deformácia môže nadobúdať kladné aj záporné hodnoty. V Keeler-Goodwinovom diagrame sú definované druhy namáhania materiálu:

- $\varphi_1 = \varphi_2$ – vyvážený dvojosový ťah,
- $\varphi_2 = 0$ – dvojosové namáhanie, pri ktorom sa plech predlžuje iba na úkor redukcie hrúbky, bez zmeny šírky,
- $\varphi_1 = -2\varphi_2$ – jednoosový ťah pre izotropný materiál,
- $\varphi_1 = -\varphi_2$ – plošný stav deformácie bez zmeny hrúbky plechu.

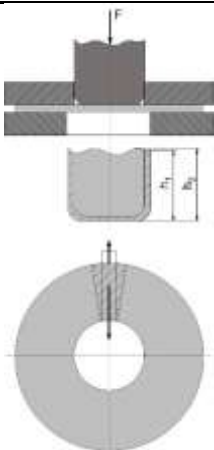
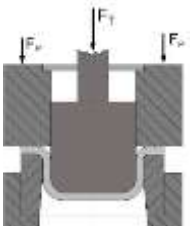
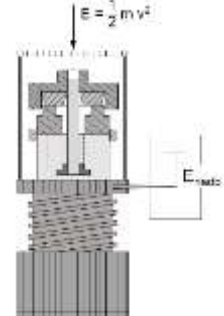
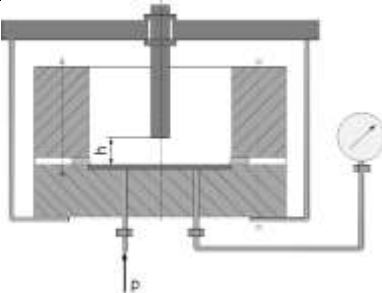
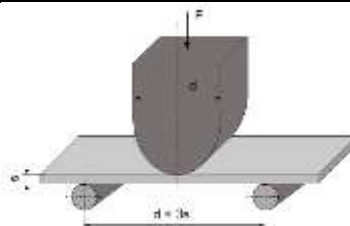
Vzhľadom na platnosť zákona konštantnosti objemu, kde platí, že súčet logaritmických deformácií sa rovná 0, možno v každom bode diagramu vypočítať logaritmickú deformáciu hrúbky plechu φ_3 .

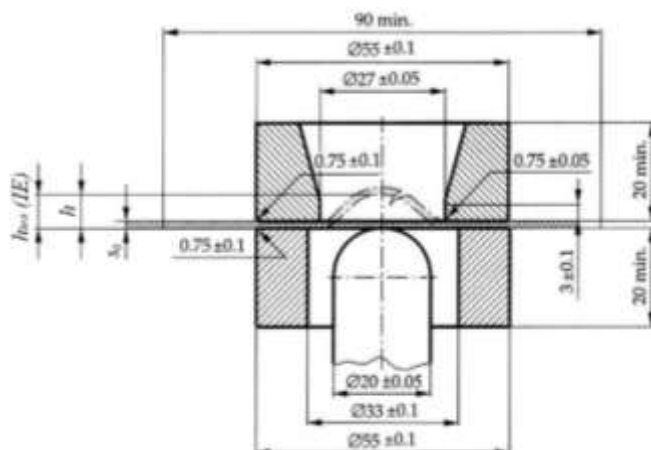
Prehľad napodobujúcich skúšok pre plošné tvárnenie je uvedený v Tabuľke 2.3. Napr. nepriame technologické skúšky pre ťahanie, skúšky plošnej lisovateľnosti, sú skúšky, ktorými hodnotíme hlbokoťažnosť materiálu. Rozmanitosť deformačných schém pri plošnom tvárnení neumožňuje použiť univerzálne kritérium na hodnotenie lisovateľnosti, je nutné vychádzať z výsledkov technologických skúšok, modelujúcich rôzne kombinácie namáhania materiálu.

Tabuľka 2.3 Skúšky plošnej lisovateľnosti (tvárniteľnosti)

Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Ťahanie			
Klinová		$K = \frac{b_{max}}{b_0}$	(bez lomu)
Hĺbením		h_{krit}	(do lomu) Erichsen STN EN ISO 20482
Hĺbením s otvorom		$m = \frac{d_1}{D_0}$	(do lomu) Fukui $\frac{d}{D_0} \cong \frac{1}{6}$ d_1 – priemer výťažku v okamihu lomu
Rozširovaním otvoru		h_{krit} $m = \frac{D'}{D_0}$ $A = \frac{h_{krit} \cdot (D'_{max} + D'_{min})^2}{4D \cdot (D'_{max} - D'_{min})}$	(do lomu) Siebel-Pomp $D' = \frac{D'_{max} + D'_{min}}{2}$ $\frac{D_0}{D} = \frac{1}{3}$

Pokračovanie Tabuľky 2.3

Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Kalíškovacia		$f = \frac{h_2 - h_1}{h_2}$	Beiswenger-Siebel
Kalíškovacia s pridržaním príruby		$T = \frac{F_{max} - F_T}{F_{max}}$	(do lomu) Engelhardt-Gross F_{max} – sila pri odtrhnutí dna
Kalíškovacia rázová		$\frac{E_{nadb}}{V_v}$	(do lomu) Petrarcha
Membránová (hydraulická)		h	(do lomu) Tomlen
Ohýbanie			
Silou		a_{OH}	STN EN ISO 7438



Obrázok 2.3 Schéma skúšky ťahania hĺbením plechov podľa Erichsena

Ťažník sa plynulo vtláča do materiálu rýchlosťou $(0,15 \text{ až } 50) \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Vtláčanie sa zastaví v okamihu vzniku trhliny po celej hrúbke plechu. Odčíta sa hodnota prehĺbenia h_{krit} , ktorá je charakteristikou materiálu pri Erichsenovej skúške a označuje sa IE . Hodnota prehĺbenia sa odčítava s presnosťou na $0,1 \text{ mm}$. Vtlačky sa realizujú striedavo a v minimálnej vzdialenosti 60 mm , aby sa eliminovalo ich vzájomné ovplyvňovanie. Ako doplňujúce hodnotiace kritérium sa hodnotí vzhľad povrchu skúšobnej vzorky v mieste prehĺbenia a tiež tvar a umiestnenie trhliny. Pre hlbokoťažné plechy je typický tvar trhliny vo vrstevniciach okrúhleho tvaru (Obr. 2.4a). Tvar trhliny vychádzajúci zo stredu je typický pre vláknité materiály, čo je nevhodné pre hlboké ťahanie (Obr. 2.4b), rovnako nie je vhodný tvar trhliny vychádzajúcej zo stredu lúčovito (Obr. 2.4c). Skúška je vyhovujúca, ak prehĺbenie IE je väčšie alebo sa rovná predpísanému prehĺbeniu podľa materiálového listu. Pre tenké plechy je to od 10 do 12 mm . Ako bolo spomenuté vyššie, vlastnosti plechu sa posudzujú aj na základe drsnosti po ťahaní. Ak je povrch hladký, tak materiál má jemnozrnnú štruktúru, ak je povrch zdrsnený, tak má materiál zhrubnuté zrnno.



Obrázok 2.4 Tvar trhliny pri skúške hĺbením podľa Erichsena

a – tvar trhliny určujúci že materiál je vhodný pre hlboké ťahanie,
b, c – tvary trhlín určujúce, že materiál nie je vhodný pre hlboké ťahanie

2.1.3 Kovateľnosť

Dôležitými skúškami objemovej tváriteľnosti za tepla sú skúšky, ktorými sa hodnotí kovateľnosť. Kovateľnosť sa vyhodnocuje viacerými napodobujúcimi skúškami, a to pre:

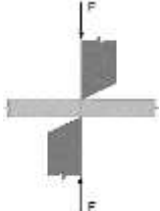
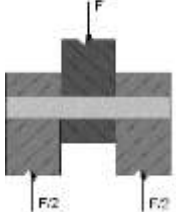
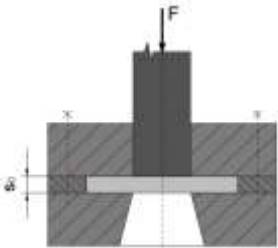
- 1) Voľné kovanie.
- 2) Zápustkové kovanie:
 - a) s výronkom,
 - b) bez výronku.

Najčastejšie sa kovateľnosť hodnotí skúškou ubíjania bez vrubu, kde ukazovateľom tvárniteľnosti je súčiniteľ ubíjania K_u alebo sa hodnotí skúškou ubíjania s vrubmi, po vytvorení trhlín vo vruboch (skúška podľa Žideka), kde sa vyhodnocuje ukazovateľ deformačnej schopnosti D_{sm} (Tabuľka 2.2). Pri skúške podľa Žideka sa vychádza zo strednej hodnoty skúšok realizovaných v intervale teplôt od 700 °C do 1 300 °C. Vyhodnocuje sa veľkosť a množstvo trhlín a následne sa materiál zaraďuje do 5 stupňov, a to: I – bez trhlín (dobrá kovateľnosť), II – jemné a ojedinelé trhliny (znížená kovateľnosť), III – malé trhliny vo všetkých vruboch (stredná kovateľnosť), IV – stredné trhliny vo všetkých vruboch (zhoršená kovateľnosť) a V – veľké trhliny vo všetkých vruboch (zlá kovateľnosť).

2.1.4 Strihateľnosť

Dôležitou vlastnosťou materiálov je aj strihateľnosť. Na jej definovanie sa realizujú základné skúšky pevnosti v strihu, a to pre jednoduchý strih alebo strih dvojitý a skúška technologická, tzv. skúška vystrihovania. Schémy jednotlivých skúšok s uvedením základných hodnotiacich parametrov sú uvedené v Tabuľke 2.4.

Tabuľka 2.4 Skúšky strihateľnosti

Skúška	Schéma	Ukazovateľ	Poznámka
Jednoduchý strih		$\tau_p = \frac{F_{max}}{S_0}$	
Dvojitý strih		$\tau_p = \frac{F_{max}}{2S_0}$	
Vystrihovanie		$\tau_p = \frac{F_{max}}{O_s}$	

	ZHRNUTIE POJMOV	Tvárniteľnosť materiálu. Objemová lisovateľnosť za studena, objemová lisovateľnosť za tepla, kovateľnosť, plošná lisovateľnosť a strihateľnosť. Hodnotenie ukazovateľov tvárniteľnosti materiálu pre objemové tvárnenie za studena (skúška podľa Kuda) a plošné tvárnenie (skúška podľa Erichsena).
---	------------------------	---

	OTÁZKY	10
---	---------------	----

1. Akými technologickými skúškami sa hodnotia vlastnosti materiálu pre aplikácie v objemovom tvárnení za studena?
2. Akými technologickými skúškami sa hodnotia vlastnosti materiálu pre aplikácie v objemovom tvárnení za tepla?
3. Akými technologickými skúškami sa hodnotia vlastnosti materiálu pre aplikácie v plošnom tvárnení – ťahaní?
4. Akými technologickými skúškami sa hodnotia vlastnosti materiálu pre aplikácie v plošnom tvárnení – ohýbaní?
5. Akými skúškami sa hodnotí strihateľnosť?
6. Vysvetlite postup hodnotenia vlastností materiálu skúškou podľa Kuda.
7. Aké je hlavné hodnotiace kritérium pri Kudovej skúške a akú minimálnu hodnotu by malo nadobúdať?
8. Vysvetlite postup hodnotenia vlastností materiálu skúškou podľa Erichsen.
9. Aké je hlavné hodnotiace kritérium pri Erichsenovej skúške, a aké jeho hodnoty určujú vhodnosť tenkých plechov pre operácie hlbokého ťahania?
10. Aké je vedľajšie hodnotiace kritérium pri Erichsenovej skúške, a čo určuje vhodnosť materiálu pre operácie hlbokého ťahania?

	ÚLOHA	Realizujte hodnotenie napodobujúcich (technologických) vlastností materiálu pre procesy objemového tvárnenia za studena (skúška ubíjania s vrubom) a plošného tvárnenia (skúška ťahania hĺbením).
--	--------------	---

A) Metodické pokyny pre hodnotenie technologických vlastností materiálu pre procesy **objemového tvárnenia za studena**:

- Skupinu študentov rozdeliť na 3 pracovné skupiny, ktoré budú tvoriť 4 alebo 5 študentov, a ktoré kooperatívnym i kolaboratívnym prístupom budú riešiť čiastkové úlohy, súvisiace s hodnotením vlastností materiálu skúškou podľa Kuda.
 1. *tím* – identifikácia hodnoteného materiálu, príprava skúšobného telesa (definovanie rozmerov skúšobnej vzorky (d_0 , h_0) a po stlačení do porušenia (d_{min} , d_{max} , h_{krit}). Výpočet prierezov po vytvorení trhliny vo vrube z priemerov (S_{krit1}) a aplikáciou zákona konštantnosti objemu (S_{krit2}) a kritického priemeru vzorky (d_{krit}).
 2. *tím* – uloženie prípravku (Obr. 2.3) do univerzálneho skúšobného zariadenia, realizácia skúšky podľa Kuda a záznam kritickej sily pri vytvorení trhliny vo vrube (F_{krit}).
 3. *tím* – hodnotenie hlavného (ε_{krit}) a vedľajšie hodnotiaceho kritéria (p_{krit}) (1. *tím* poskytne rozmery výšky skúšobnej vzorky po vytvorení trhliny (h_{krit}) a kritického priemeru (d_{krit}), ďalej hodnoty prierezov S_{krit1} a S_{krit2} . a 2. *tím* poskytne hodnotu kritickej sily pri porušení vzorky F_{krit}).
- V skupine vypracuje referát každý študent samostatne.

	ZADANIE 1	Skúška podľa Kuda
---	------------------	-------------------

Pre daný materiál vypočítajte hlavného hodnotiace kritérium (kritické pomerné pretvorenie) (ϵ_{krit}) a vedľajšie hodnotiace kritérium (kritický tlak) (p_{krit}).

Materiál: STN 41 1375

Rozmery skúšobnej vzorky: d_o , h_o (Obr. 2.2a)

Skúšobné zariadenia, prístroje a pomôcky: univerzálne skúšobné zariadenia EU 40, prípravok (Obr. 2.3) posuvné meradlo, kalkulačka.

Postup a princíp merania:

1. Odmerať východiskové rozmery skúšobnej vzorky d_o , h_o .
2. Vzorku zaťažiť tlakovou silou do porušenia súdržnosti materiálu (vytvorenia trhliny vo vrube).
3. Odmerať rozmery skúšobnej vzorky po roztrhnutí (d_{min} , d_{max} , h_{krit}).
4. Vypočítať kritické prierezy vzorky po porušení súdržnosti (S_{krit1} , S_{krit2}).
5. Vyhodnotiť kritickú silu pri porušení súdržnosti materiálu F_{krit} .
6. Vypočítať hlavné hodnotiace kritérium (ϵ_{krit}) a vedľajšie hodnotiace kritérium (p_{krit}).

Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:

h_{krit} (mm)	d_{max} (mm)	d_{min} (mm)	d_{krit} (mm)

S_{krit1} (mm ²)	S_{krit2} (mm ²)	ϵ_{krit} (%)	p_{krit1} (MPa)	p_{krit2} (MPa)

Výpočet:

- Hlavného hodnotiaceho kritéria: podľa vzťahu (2.1)
 - Kritického prierezu z priemerov vzorky: podľa vzťahu: $S_{krit1} = \frac{\pi d_{krit}^2}{4}$ (2.3)
- kde kritický prierez (Obr. 2.2b) sa vypočíta podľa vzťahu: $d_{krit} = \frac{d_{min} + d_{max}}{2}$ (2.4)
- Kritického prierezu zo zákona konštantnosti objemu: podľa vzťahu: $S_{krit2} = \frac{S_o h_o}{h_{krit}}$ (2.5)
 - Vedľajšieho hodnotiaceho kritéria: podľa vzťahu (2.2)

Záver: Na základe vypočítaného hlavného a vedľajšieho hodnotiaceho kritéria vyhodnotiť vhodnosť materiálu pre procesy objemového tvárnenia za studena.

B) Metodické pokyny pre hodnotenie technologických vlastností materiálu pre procesy **plošného tvárnenia za studena:**

- Skupinu študentov rozdeliť na 3 pracovné skupiny, ktoré budú tvoriť 4 alebo 5 študentov, a ktoré kooperatívnym i kolaboratívnym prístupom budú riešiť čiastkové úlohy, súvisiace s hodnotením vlastností materiálu skúškou podľa Erichsena.
 1. *tím* – identifikácia hodnoteného materiálu, príprava skúšobného telesa (definovanie rozmerov skúšobnej vzorky (B_o , L_o , s_o) a naznačenie stredov vtlačkov.
 2. *tím* – realizácia skúšky podľa Erichsena a odčítanie jednotlivých hĺbok vtlačkov (h_i).

3. *tím* – hodnotenie hlavného (h_{krit}) a vedľajšie hodnotiaceho kritéria (tvar a umiestnenie trhliny)
(2. *tím* poskytne hodnoty jednotlivých hĺbok vtlačkov).

- V skupine vypracuje referát každý študent samostatne.

	ZADANIE 2	Skúška podľa Erichsena
---	------------------	------------------------

Pre daný materiál vypočítajte hlavného hodnotiace kritérium (hĺbku vtlačku) (h_{krit}) a vedľajšie hodnotiace kritérium (tvar a umiestnenie trhliny).

Materiál: STN 41 1321

Rozmery skúšobnej vzorky: B_0 , L_0 , s_0

Skúšobné zariadenia, prístroje a pomôcky: zariadenie Erichsen, permanentný popisovač, posuvné meradlo, kalkulačka.

Postup a princíp merania:

1. Odmerať východiskové rozmery skúšobnej vzorky B_0 , L_0 , s_0 a naznačiť stredy vtlačkov vo vzdialenosti 60 mm.
2. Vzorku zaťažiť guľovým ťažníkom do porušenia súdržnosti materiálu a odčítať hĺbku vtlačku.
3. Vtlačky realizovať striedavo a opakovať 6 krát.
4. Vypočítať hlavné hodnotiace kritérium ($\mathcal{E}_{krit}$).
5. Vyhodnotiť vedľajšie hodnotiace kritérium (tvar a umiestnenie trhliny).

Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:

Poradie merania	Hĺbka vtlačku h_i (mm)
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
Kritická hĺbka vtlačku h_{krit} (mm)	

Poradie merania	Poloha a tvar trhliny	
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
Hodnotenie		

Výpočet:

- Hlavného hodnotiaceho kritéria: podľa vzťahu:
$$h_{krit} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{krit_i}}{n} \quad (2.6)$$

Záver: Na základe vypočítaného hlavného a vedľajšieho hodnotiaceho kritéria vyhodnotiť vhodnosť materiálu pre procesy plošného tvárnenia.

	LITERATÚRA	12
---	-------------------	----

1. Analytické a experimentálne metódy predikcie ukazovateľov lisovateľnosti tenkých plechov. 2008. Dostupné na: <http://fstroj.uniza.sk/web/kame/personalweb/donic.html#don02/>.
2. BÍLIK, J., KAPUSTOVÁ, M. a RIDZOŇ M.: Teória tvárnenia. Trnava : Alumni Press, 2015. 262 s., ISBN 978-80-8096-215-9.
3. BLAŠČÍK, F. POLÁK, K.: Teória tvárnenia. Bratislava, Alfa Bratislava, 1987.
4. BLAŠČÍK, F. a kol.: Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvarovania. Bratislava: Alfa Bratislava, 1988.
5. BREZINOVÁ, J.: Základy materiálového inžinierstva - Návod na cvičenia. Košice: EŠL Košice, 2020.
6. CALLISTER, W. D.: Materials science and engineering: an introduction. 6th ed. New York, NY: John Wiley, c2003. ISBN 04-711-3576-3.
7. FOREJT, M., PÍŠKA M.: Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: VUT Brno, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
8. HRIVŇÁK, A. a kol.: Teória tvárnenia a nástroje. Bratislava, Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-01032-X.
9. KALPAKJIAN, S.: Manufacturing Engineering and Technology. Massachusetts: PE-USR, 2006.
10. KOSTKA, P. A kol.: Technológia tvárnenia. Vydavateľstvo STU, Bratislava 1995.
11. MOLLIKOVÁ, E.: ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ. Ústav materiálových věd a inženýrství [online]. Brno: FSI VUT v Brně, 2012. Dostupné na: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/zmv/Index.html>.
12. VELES, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. ALFA Bratislava, 1985.