



STANOVENÍ VLIVU TEPLoty NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU PŘI RÁZOVÉ ZKOUŠCE

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 – Strojírenská technologie
Autor práce: **Bc. Pavel Jirků**
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Jirků**
Osobní číslo: **S12000444**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie**
Název tématu: **Stanovení vlivu teploty na mechanické vlastnosti materiálu při rázové zkoušce**
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Přehled mechanických zkoušek pro kovy (destruktivní a nedestruktivní metody), výhody, nevýhody. Vliv teploty na mechanické vlastnosti kovů.
2. Konstrukční návrh přípravku pro provádění rázových zkoušek kovů na zařízení CEAST 9300.
3. Pro zvolený materiál provést funkční testy přípravku.
4. Experimentální zjištění vlivu teploty na výsledky rázové zkoušky.
5. Vyhodnocení měření.
6. Závěr.

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- [1] PTÁČEK, L. et al. *Nauka o materiálu I. 2. opr. a rozš. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. s. 516. ISBN 80-7204-283-1.
[2] ASM HANDBOOK. *Volume 8 - Mechanical Testing and Evaluation.* 10th ed. Materials Park: ASM International, 2000. s. 998. ISBN 0-87170-389-0.
[3] ASM HANDBOOK. *Volume 14 - Forming and Forging.* 6th ed. Materials Park: ASM International, 2004. s. 978. ISBN 0-87170-020-4.
[4] PÖHLANDT, K. *Materials Testing for the Metal Forming Industry.* Berlin: Springer-Verlag, 1989. s. 226. ISBN 3-540-50651-9.
[5] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 64 s. Třídící znak 420310.
[6] ČSN EN ISO 14556. *Ocel - Zkouška rázem v ohybu na kyvadlovém kladihu tyčí Charpy s V-vrubem.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001. 18 s. Třídící znak 420380.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.**
Katedra strojírenské technologie
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **2. března 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Stanovení vlivu teploty na mechanické vlastnosti materiálu při rázové zkoušce

Determination of the effect of temperature on the mechanical properties of material during impact test

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá zjištěním vlivu záporných teplot na rázové vlastnosti zvoleného materiálu a možností provedení tohoto měření na padostroji Instron CEAST 9350, pro který je navrhnout přípravek, aby bylo měření uskutečnitelné. Dále je měření provedeno na Charpyho kladivu. Naměřené hodnoty jsou pak porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: Zkouška rázem, zkoušení materiálu, padostroj, Instron CEAST 9350, Charpy

Annotation

This diploma thesis deals with the determination of the effect of negative temperatures on the impact properties of the selected material and the possibility of performing this measurement using an Instron CEAST 9350 droptower for which a jig is designed so that the measurement is feasible. Then the Charpy impact test is performed. Finally, the results of both tests are compared and evaluated.

Key words: Impact test, material testing, droptower, Instron CEAST 9350, Charpy

Poděkování

Na úvod své práce bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. et. Bc. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. za jejich odborné rady a připomínky při tvorbě této práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu v celém období mého studia.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21005/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Teoretická část.....	9
2.1. Mechanické zkoušky pro kovy	9
2.2. Destruktivní zkoušky	9
2.2.1. Zkouška tahem, tlakem, ohybem.....	9
2.2.2. Zkoušky tvrdosti.....	14
2.2.3. Zkoušky rázem	17
2.3. Nedestruktivní zkoušky	27
2.3.1. Vizuální kontrola	27
2.3.2. Zkoušky kapilární (penetrační)	27
2.3.3. Zkoušky magnetoinduktivní a elektroinduktivní	28
2.3.4. Zkoušky ultrazvukem.....	30
2.3.5. Zkoušky pronikavým zářením (zkoušky radiologické).....	31
2.4. Vliv teploty na mechanické vlastnosti kovů	33
3. Experimentální část	38
3.1. Padostroj Instron CEAST 9350.....	38
3.1.1. Návrh přípravku pro padostroj	39
3.1.2. Návrh bříty pro padostroj	41
3.1.3. Montáž přípravku a bříty.....	42
3.2. Měřený materiál	43
3.2.1. Zkušební vzorky	44
3.2.2. Zvolené teploty měření	45
3.3. Měření na padostroji Inston CEAST 9350	46
3.3.1. Parametry měření na padostroji	46
3.3.2. Výsledky měření na padostroji	47
3.4. Měření na Charpyho kladivu	57
3.4.1. Charpyho kladivo.....	57
3.4.2. Parametry měření na Charpyho kladivu	57
3.4.3. Výsledky měření na Charpyho kladivu	58
4. Vyhodnocení	59
5. Závěr.....	63
Seznam použité literatury.....	65
Seznam příloh.....	66

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
R	Smluvní napětí	[MPa]
F	Působící síla	[N]
S_0	Původní průřez zkušební tělesa	[mm ²]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
ε	Poměrná deformace, poměrné prodloužení	[-], [%]
L	Délka zkušební tělesa	[mm]
L_0	Původní měřená délka zkušební tělesa	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{\max}	Maximální síla dosažená při zkoušce	[N]
A	Tažnost	[%]
Z	Zúžení	[%]
σ	Skutečné napětí	[MPa]
S	Okamžitý průřez zkušební tělesa	[mm ²]
φ	Skutečná logaritmická deformace	[-]
HB	Brinellovo tvrdostní číslo	[-]
D	Průměr indentoru	[mm]
d	Průměr vtisku	[mm]
HV	Vickersovo číslo tvrdosti	[-]
d	Střední velikost úhlopříčky	[mm]
F_G	Gravitační síla závaží	[N]
v	Rychlost závaží	[m/s]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
E_p'	Potenciální energie	[J]
h	Výška závaží po nárazu	[mm]
K	Práce na přeražení zkušební tyče	[J]
KC	Vrubová houževnatost	[J/cm ²]
v_0	Počáteční nárazová rychlost	[m/s]
m	Hmotnost kladiva	[kg]
t_0	Čas počátku deformace	[s]
F	Síla rázu kladiva	[N]
F_{gy}	Síla na mezi makroplastických deformací	[N]
F_m	Maximální síla	[N]
F_{iu}	Síla při iniciaci trhliny	[N]
F_a	Síla při zastavení trhliny	[N]
W_m	Práce odpovídající maximální síle	[J]
W_{iu}	Práce odpovídající okamžiku iniciace trhliny	[J]
W_a	Práce odpovídající okamžiku zastavení trhliny	[J]
W_t	Celková práce	[J]
E_{DT}	Celková energie spotřebovaná na zlomení tělesa	[J]
t_{kDT}	Nejvyšší teplota, při které materiál vykazuje křehké chování	[°C]
t_{YC}	Teplota inflexního bodu	[°C]
t_{hDT}	Teplota, nad kterou se lom šíří pouze tvárným mechanismem	[°C]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]

1. Úvod

Při navrhování strojních součástí je prvořadě znát vlastnosti materiálu, ze kterého budou vyrobeny. Protože ne všechny díly jsou při době své životnosti vystaveny neměnicím se teplotám, je rovněž nutné znát, jak se materiál chová při jejich změně. Aby bylo možné toto chování zjistit, je potřeba provést nesčetně mnoho zkušebních měření. A právě pro zkušební měření je potřeba měřícího zařízení. Na katedře strojírenské technologie Technické Univerzity v Liberci je jedním ze zařízení schopných měření materiálových vlastností padostroj Instron CEAST 9350. Tento stroj nebyl doposud na Technické Univerzitě využíván na měření rázových vlastností materiálu. Tato práce se tedy zabývá možností použití padostroje pro zjišťování nárazové práce pro přeražení zkušební tyče a následným vyhodnocením hodnot vrubové houževnatosti zkoumaného materiálu.

Cílem této práce je zjistit, jak se mění velikost práce na přeražení zkušebního vzorku při rázové zkoušce při poklesu teplot od pokojové teploty do záporných hodnot teploty. Tím je tedy sledována závislost vrubové houževnatosti na teplotě u zvoleného materiálu.

V teoretické části práce jsou nejprve uvedeny mechanické zkoušky pro kovy, ty nejpoužívanější jsou pak popsány a to jak destruktivní, tak nedestruktivní. Největší pozornost je věnována zkoušce rázové. Dále je zkoumán vliv teploty na mechanické vlastnosti kovů.

V experimentální části je nejprve představen padostroj Instron CEAST 9350, pro který bylo nejdříve nutné navrhnout přípravek pro uložení zkušebního tělesa a břit pro jeho přeražení. Dále jsou definovány zkoumaný materiál a teploty, při kterých jsou měření prováděna. Následně je uveden postup vyhodnocení naměřených hodnot z padostroje. Druhé měření je provedeno na Charpyho kladivu. Naměřené hodnoty z obou měření jsou nakonec porovnány a vyhodnoceny.

2. Teoretická část

2.1. Mechanické zkoušky pro kovy

Rozdělení mechanických zkoušek

- *podle stavu napjatosti na zkoušky při*
 - jednoosém stavu napjatosti
 - víceosém stavu napjatosti
- *podle způsobu zatížení na zkoušky*
 - tahem
 - tlakem
 - ohybem
 - krutem
 - stříhem
- *podle časového průběhu zatěžující síly na zkoušky*
 - statické
 - dynamické
- *podle účinku zatížení na zkušební těleso na zkoušky*
 - destruktivní
 - nedestruktivní

2.2. Destruktivní zkoušky

V průběhu destruktivních zkoušek dochází k deformaci nebo porušení zkušebního tělesa. Nejčastější zkoušky patřící do této kategorie jsou zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu a zkoušky tvrdosti. Tyto metody jsou tak označovány jako základní, protože zařízení k jejich provedení tvoří základ většiny mechanických zkušeben. [1]

2.2.1. Zkouška tahem, tlakem, ohybem

Zkouška tahem

Při zkoušce tahem je zkušební těleso, které je normalizované, uchyceno do čelistí zkušebního stroje. Po nasazení průtahoměru na těleso je při zkoušce zaznamenávána působící síla a prodloužení zkušební tyče. Během vyhodnocení výsledků zkoušky lze pak sestavit smluvní diagram (závislost smluvní napětí-poměrná deformace) nebo diagram skutečného napětí-skutečné deformace. [1]

Diagram smluvní napětí-poměrná deformace ($R-\varepsilon$)

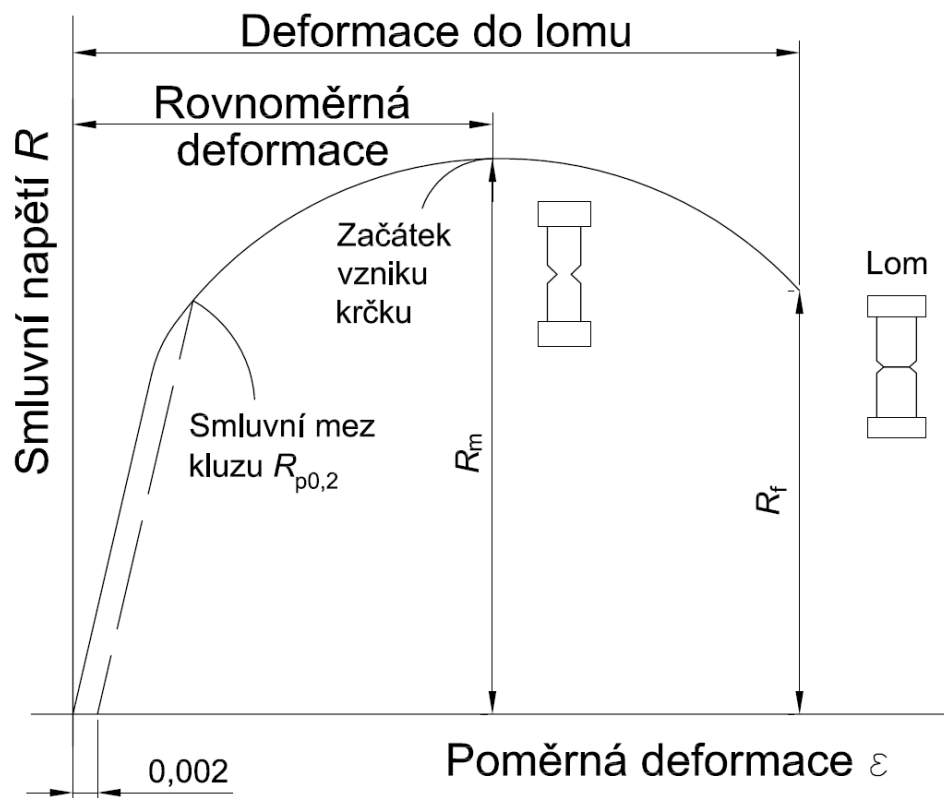
Hodnoty potřebné k sestavení diagramu – smluvní napětí R a poměrná deformace ε – se jednoduše spočítají ze zaznamenaných hodnot. [1]

$$R = \frac{F}{S_0} \quad [MPa] \quad (1)$$

kde F ... působící síla [N]
 S_0 ... původní průřez zkušební tělesa [mm²]

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad [-] \quad (2) \quad \varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde L ... délka zkušební tělesa [mm]
 L_0 ... původní měřená délka zkušební tělesa [mm]



Obr. 2.1: Smluvní diagram napětí-deformace [1]

Počáteční část diagramu je považována za přímkovou odpovídající elastické deformaci. Platí Hookův zákon: [1]

$$R = E \cdot \varepsilon \quad [MPa] \quad (4)$$

kde E ... modul pružnosti v tahu [MPa]
 ε ... poměrné prodloužení [-]

V další části diagramu nejprve dochází k odklonu od přímkové závislosti, kdy se měřená část zkušební tyče deformuje rovnoměrně a poté, před přetržením, nastává vznik krčku. Z výsledku zkoušky se pak vyhodnocují napěťové charakteristiky – smluvní mez pevnosti R_m a mez kluzu R_e . Smluvní mez pevnosti je definována jako maximální dosažené napětí ve smluvním diagramu, vypočítá se tedy: [1]

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [MPa] \quad (5)$$

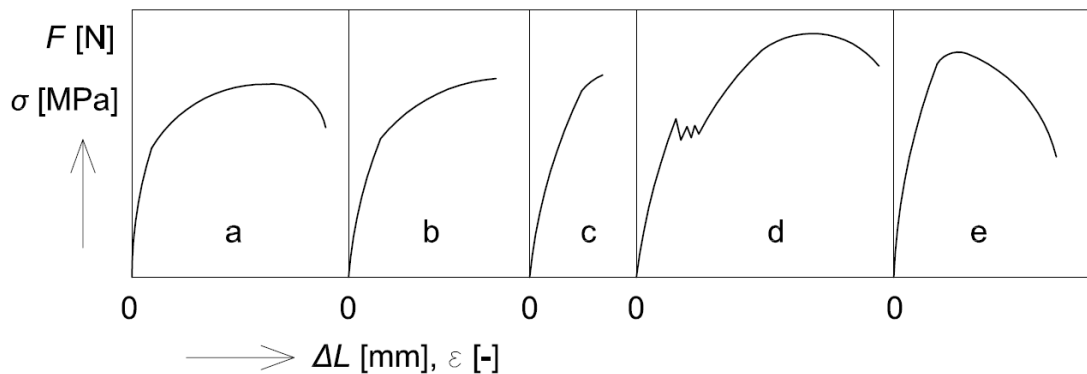
kde F_{\max} ... maximální síla dosažená při zkoušce [N]
 S_0 ... původní průřez zkušebního tělesa [mm²]

Jako mez kluzu se označuje napětí, při kterém vzniká plastická deformace. Vzhledem k tomu, že některé materiály nevykazují výraznou mez kluzu, byla zavedena smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$. Tato hodnota vyjadřuje napětí, které vytvoří trvalou deformaci o hodnotě $\varepsilon_p=0,002$ (0,2 %). [1]

Kromě zmíněných napěťových charakteristik se ještě ze zkoušky tahem vyhodnocují dvě deformační charakteristiky – tažnost A a zúžení Z – které se vypočítají následovně: [1]

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6) \quad Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

kde L_0 ... vzdálenost vyznačených rysek před přetržením [mm]
 L_u ... vzdálenost vyznačených rysek po přetržení [mm]
 S_0 ... původní průřez zkušebního tělesa [mm²]
 S_u ... průřez zkušebního tělesa v místě lomu [mm²]



Obr. 2.2: Základní typy konvenčních tahových diagramů [5]

a – všeobecný tvar diagramu s obvyklým poměrem jednotlivých oblastí bez výrazné meze kluzu; **b** – diagram materiálu, který se v důsledku intenzivního zpevňování přetrhne při maximální síle bez vytvoření krčku; **c** – diagram křehkého materiálu, který se před přetržením jen nepatrně plasticky deformuje; **d** – diagram materiálu s výraznou mezí kluzu; **e** – diagram materiálu, který má v oblasti plastické stability malou schopnost se deformačně zpevňovat

Diagram skutečné napětí-skutečná deformace (σ - φ)

Zatímco smluvní diagram slouží jako základní kritérium při hodnocení materiálu a pro porovnání s jinými materiály, diagram skutečného napětí σ a skutečné deformace φ se používá například k posouzení tvařitelnosti plechů nebo pro pevnostní výpočty, které vyžadují použití skutečného napětí působícího v součásti. Skutečné napětí σ se definuje: [1]

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

kde F ... okamžitá působící síla [N]
 S ... okamžitý průřez zkušební tělesa [mm²]

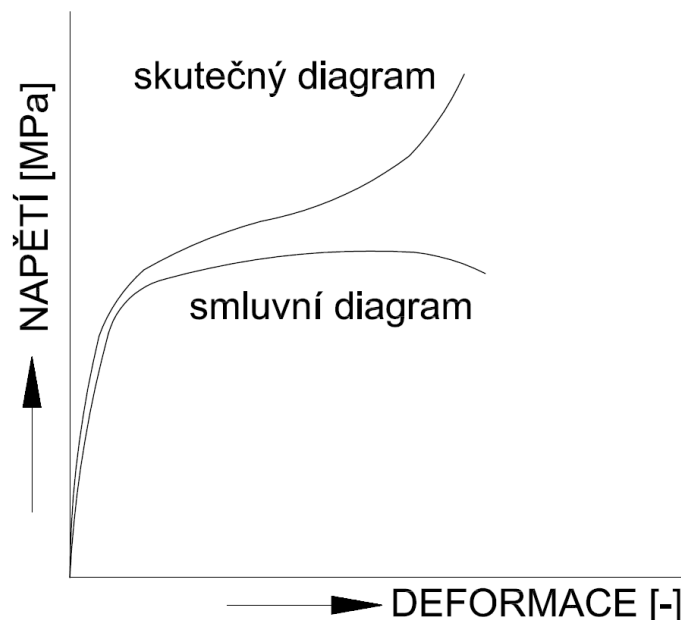
Ze zákona zachování objemu je možné odvodit vztah mezi smluvním napětím R a skutečným napětím σ . Tento vztah platí pouze do meze pevnosti, než se začne vytvářet krček na zkušebním tělese.

$$\sigma = R \cdot \frac{S_0}{S} = R \cdot (1 + \varepsilon) \text{ [MPa]} \quad (9)$$

kde S_0 ... původní průřez zkušební tělesa [mm²]
 S ... okamžitý průřez zkušební tělesa [mm²]
 ε ... poměrné prodloužení [-]

Skutečná logaritmická deformace φ se vypočítá ze vztahu:

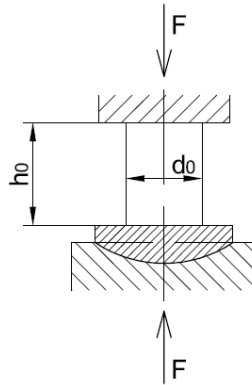
$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S} = \ln(1 + \varepsilon) \text{ [-]} \quad (10)$$



Obr. 2.3: Porovnání smluvního a skutečného tahového diagramu [1]

Zkouška tlakem

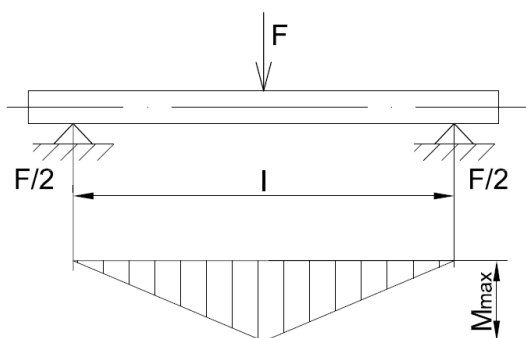
Stejně jako u zkoušky tahem se zjišťuje závislost skutečného napětí na skutečné tlakové deformaci. Zkouška tlakem je vhodná k zjištění objemové tvařitelnosti, pro hodnocení mechanických vlastností tvárných materiálů stačí zkouška tahová. Schéma zkoušky tlakem je uvedeno na obrázku 2.4. [1]



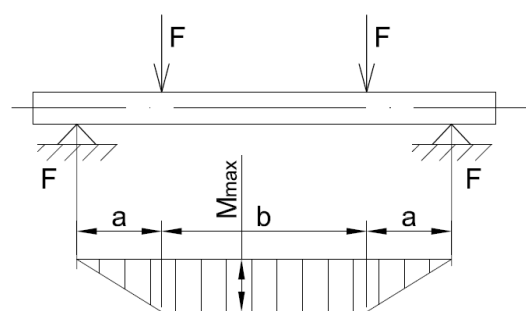
Obr. 2.4: Schéma zatěžování zkušebního tělesa při zkoušce tlakem [1]

Zkouška ohybem

Zkouška ohybem se provádí buď jako zkouška tříbodovým ohybem nebo jako zkouška čtyřbodovým ohybem. Cílem je získat závislost síla-průhyb tyče. Praktické využití má zkouška při zjišťování existence povrchových trhlin v okolí svaru nebo pro zjištění mezní deformace při ohýbání plechů. Často se také využívá pro hodnocení křehkých materiálů (litiny) nebo konstrukční keramiky. Schéma zkoušky je uvedeno na obrázcích 2.5 a 2.6. [1]



Obr. 2.5: Zkouška tříbodovým ohybem [1]



Obr. 2.6: Zkouška čtyřbodovým ohybem [1]

2.2.2. Zkoušky tvrdosti

Tvrdot se dá charakterizovat jako odpor, který klade materiál proti vniknutí cizího tělesa. Všeobecně je tvrdost definována jako funkce:

$$H = f(e, P, F, T, t, v) \quad (11)$$

kde	<i>e</i>	...	pružné vlastnosti zkoušeného kovu
	<i>P</i>	...	plastické vlastnosti zkoušeného kovu
	<i>F</i>	...	velikost síly působící na vtlačované tělísko
	<i>T</i>	...	tvár, rozměry a tvrdost vtlačovaného tělíška
	<i>t</i>	...	tření mezi vtlačeným tělíškem a zkoušeným kovem
	<i>v</i>	...	rychlost pohybu vtlačovaného tělíška

Pro určení tvrdosti existuje několik metod, které se rozdělují na zkoušky vnikací, vrypové, odrazové a dříve také kyvadlové.

Principem vnikacích metod je vtlačení přesně definovaného tělesa do měřeného materiálu. Vzniklý vtisk je potom měřítkem tvrdosti. Do této skupiny patří zkoušky podle Brinella, Rockwella a Vickerse.

Vrypové zkoušky se vyznačují rypáním diamantového hrotu do hladce obroušeného povrchu zkoušeného předmětu. Výsledná tvrdost se stanoví z šířky vrypu. Nejpoužívanější vrypovou zkouškou je Martensova metoda.

U odrazových zkoušek se tělísko o určitém tvaru a hmotnosti spustí z předem stanovené výšky na měřený předmět. Energie tělíška vytvoří důlek v materiálu a zbytek energie způsobí odskok tělíška do určité výšky, z které se pak stanoví výsledná tvrdost. Zástupcem těchto metod je zkouška podle Shoreho. [2], [5]

Mezi výhody zkoušek tvrdosti patří rychlost a jednoduchost provedení při nízké ceně. Dále se dají vyhodnotit alespoň přibližné vztahy k ostatním fyzikálním vlastnostem materiálu. Protože dochází k pouze minimální deformaci materiálu, dá se zkouška použít i na hotových výrobcích. [3]

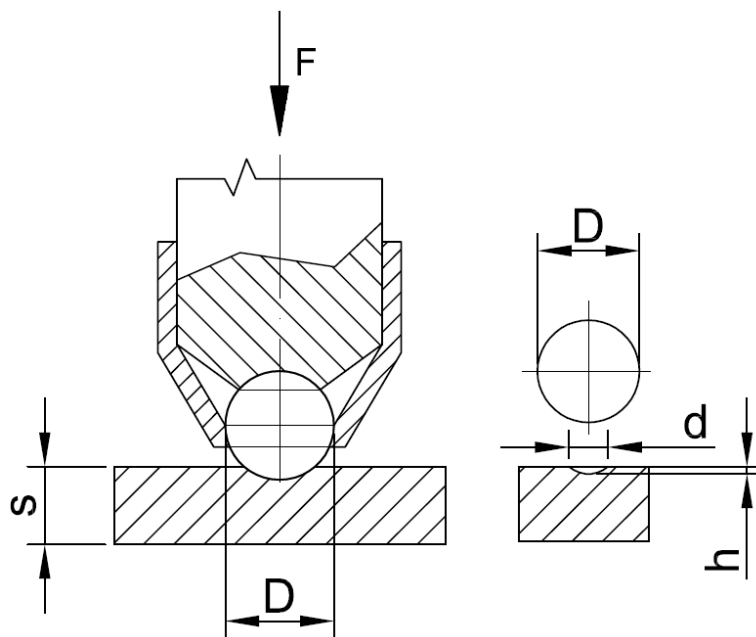
Jako nevýhodu se dá označit závislost zkoušky na druhém tělese (indentoru), jehož vlastnosti se také musí zohlednit. Na indentoru se nesmí projevit plastické deformace a pružné deformace v co nejmenší míře. Pro měření tvrdých kovů (tvrdost nad 630 HV) se může prakticky použít pouze diamant, u kterého je omezení dosažitelné velikosti, a zároveň je velmi drahý. [4]

Zkouška tvrdosti podle Brinella

Vtlačovaným tělískem (indentorem) je zde ze slinutého karbidu (tvrdokovu) vyrobená kulička průměru D . Po odlehčení se změří průměr vtisku d . Brinellovo tvrdostní číslo HB se potom spočítá ze vztahu: [1]

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (12)$$

kde F ... zátěžová síla [N]
 D ... průměr indentoru [mm]
 d ... průměr vtisku [mm]



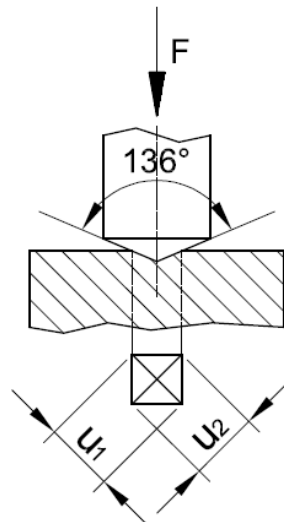
Obr. 2.7: Princip měření tvrdosti podle Brinella [5]

Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Postup zkoušky je totožný s Brinellovou zkouškou, rozdíl je ve vnikacím tělísku. Zde se používá čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem 136° . Po odlehčení se změří úhlopříčky vtisku a spočítá se jejich střední hodnota. Vickersovo číslo tvrdosti HV se definuje jako poměr vtlačovací síly a plochy vtisku. [1]

$$HV = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (13)$$

kde F ... zátěžová síla [N]
 d ... střední velikost úhlopříčky [mm]



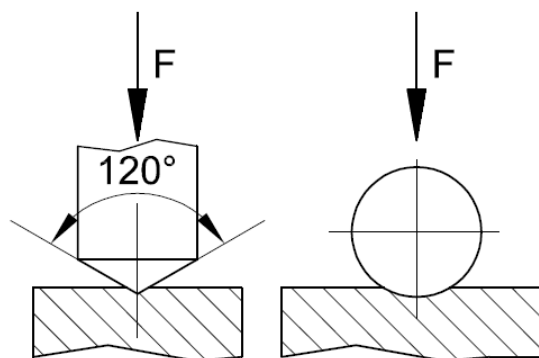
Obr. 2.8: Princip měření tvrdosti Vickersovou metodou [5]

Výhodou této metody je, že se měření dá provádět i při velmi malých zatíženích. Potom se jedná o měření mikrotvrdosti, kdy se například může změřit tvrdost jednotlivých zrn materiálu nebo průběh tvrdosti v okolí svarového spoje. [1]

Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Rockwellova metoda je založena na měření hloubky vniku kuličky nebo diamantového kužele s vrcholovým úhlem 120° do měřeného materiálu za určitého konstantního zatížení. Podle indentoru se rozlišují jednotlivé způsoby a označují se velkými písmeny za značkou *HR*. Mezi nejčastější patří *HRA*, *HRB* a *HRC*. U metody *HRA* je vnikacím tělískem diamantový kužel a jako zatížení je používáno 588 N. *HRB* používá kuličku 1/16" z tvrdokovu, případně oceli a zatížení 980 N; *HRC* diamantový kužel a zatížení 1471 N. Jednotlivé metody jsou vhodné pro různé druhy materiálů.

Hodnota tvrdosti podle Rockwella nemá žádnou závislost k ostatním mechanickým vlastnostem materiálu a odečítá se přímo na tvrdoměru. [1], [3]

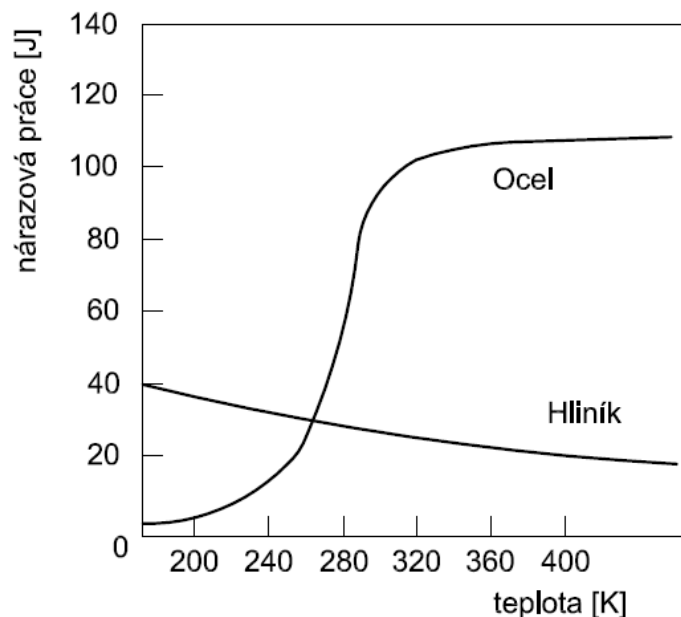


Obr. 2.9: Princip Rockwellovy metody měření tvrdosti [5]

2.2.3. Zkoušky rázem

Při rázových zkouškách se zjišťuje vliv rázového namáhání na odolnost zkoušeného materiálu. Většina zkoušek se provádí na zkušebních vzorcích s vrubem, který představuje trhlinu u skutečných výrobků. V okolí vrubu dochází ke vzniku vysoké lokální složky tahového napětí a redukci maxima smykového napětí. Smykové napětí je nutné k pohybu dislokací a tedy jeho nedostatek způsobí omezení pohybu dislokací. Z toho důvodu potom může vzniknout na součásti nežádoucí typ lomu, lom křehký.

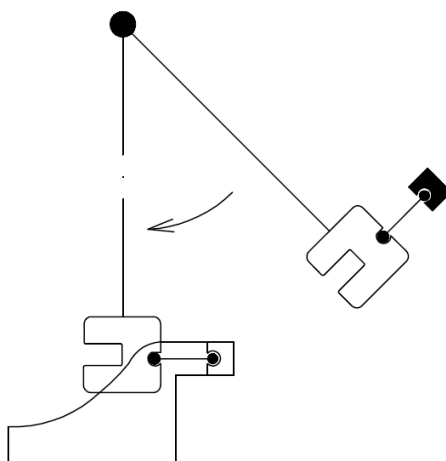
Samotné zkoušky se provádí při rychlém (dynamickém) zatěžování za různých teplot. Výsledkem zkoušky je zjištění velikosti nárazové práce, která je potřebná k porušení zkušebního tělesa, nebo zjištění charakteru lomu (štěpný – tvárný). Zkouška musí být provedena v dostatečně širokém pásmu teplot, aby se dalo vyhodnotit přechodové, nebo také tranzitní lomové chování materiálu, tedy přechod jednoho mechanismu lomu k druhému. Na následujícím obrázku 2.10 je znázorněn tento přechod u materiálu, kde se vyskytuje (ocel) a materiálu, kde se nevyskytuje (hliník). [1], [2]



Obr. 2.10: Teplotní závislost nárazové práce na oceli a hliníku [1]

Rázová zkouška tahem

Pro rázovou zkoušku tahem se používají zkušební tyče se závitovými hlavami. Zkouška nedosahuje dostatečné přesnosti a z toho důvodu se používá velmi minimálně. Schéma zkoušky je zobrazeno na obrázku 2.11. [2]



Obr. 2.11: Rázová zkouška tahem [2]

Rázová zkouška tlakem

Rázová zkouška tlakem má ještě menší význam než rázová zkouška tahem, částečné uplatnění našla pro stanovení deformační práce při kování za tepla. [2]

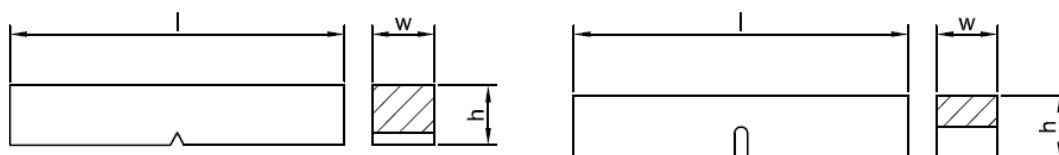
Rázová zkouška v ohybu metodou Charpy

Podstata metody

Tato metoda je určena normou ČSN ISO 148-1. Cílem je určení energie absorbované při rázové zkoušce. Provádí se na zkušební tělese s vrubem, který má danou geometrii a je umístěn uprostřed mezi dvěma podporami. Zkušební těleso je přeraženo rázem kyvadlového kladiva za určitých podmínek. Místo úderu se nachází na protilehlé straně k vrubu. Zkoušky se provádějí při specifikované teplotě, protože se rázové hodnoty materiálů mění s teplotou. [6]

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa mají předepsané rozměry. Délka je 55 mm a čtvercový průřez má délku strany 10 mm. Ve středu délky musí být vrub, a to v jedné ze dvou variant. Vrub-V musí mít úhel 45°, hloubku 2 mm a poloměr kořene 0,25 mm. Vrub-U musí mít hloubku 5 mm (není-li stanoveno jinak) a poloměr kořene 1 mm. Zkušební tělesa se musí připravovat způsobem, aby jejich úprava byla minimalizována. [6]



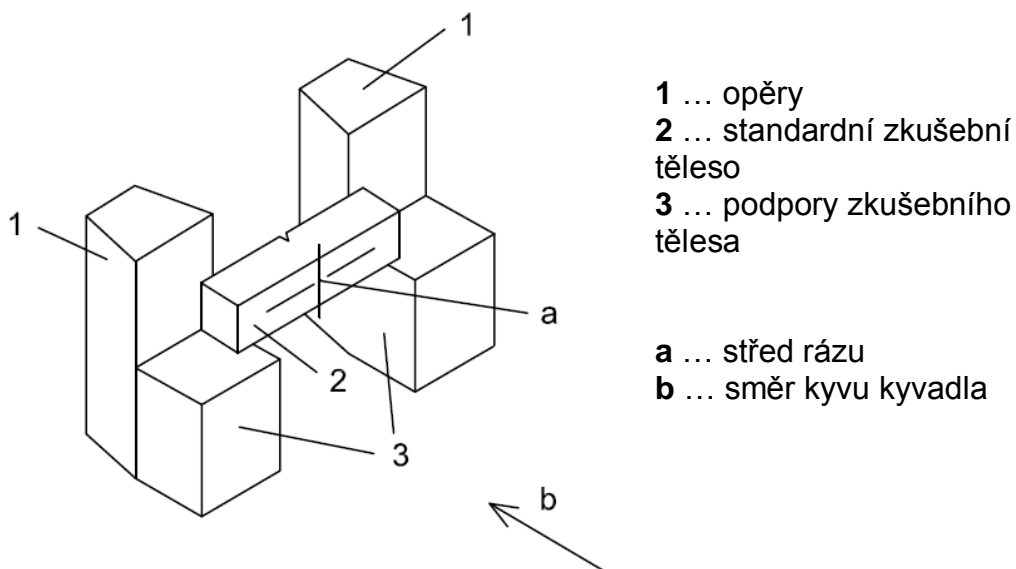
Obr. 2.12: Zkušební těleso typu Charpy pro zkoušku na kyvadlovém kladivu (vlevo V-vrub, vpravo U-vrub) [6]

Zkušební zařízení

Geometrie břitu kladiva je předepsaná ve dvou variantách. Buď jako břit o poloměru 2 mm, nebo břit o poloměru 8 mm. Pro zapisování je vhodné používat označení například KV_2 nebo KU_8 , kde V/U znamená typ vrubu a 2/8 znamená poloměr břitu kladiva. [6]

Zkušební teplota

Při zkouškách za jiných teplot než standardních ($23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$), musí být zkušební těleso temperováno s přesností $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperace se provádí v kapalném nebo plynném médiu. Mezi přenosem z temperačního média a úderem břitu kladiva nesmí uplynout více než 5 sekund. Zařízení určené pro tento přenos musí být konstruováno tak, aby se teplota vzorků udržela v přípustném rozsahu, části zařízení, které jsou během přenosu z média do stroje se vzorkem v kontaktu, se také temperují. Často používaným zařízením pro přenos zkušebního tělesa z temperačního média jsou samostředící kleště. [6]



Obr. 2.13: Terminologie a konfigurace zkušebního tělesa, podpor a opěr na zkušebním rázovém kyvadlovém stroji [6]

Vzhled lomu

Velmi častou metodou hodnocení lomové plochy u zkušebních vzorků, je stanovení procenta smykového lomu, ke kterému došlo. Čím je toto procento vyšší, tím vyšší je vrubová houževnatost materiálu. Většina vzorků obsahuje kombinaci smykového a štěpného (křehkého) lomu, hodnocení je vysoce subjektivní a proto se nedoporučuje jeho uvádění v materiálových specifikacích. [6]

Výpočet vrubové houževnatosti

Kyvadlové kladivo je před zkouškou upnuto do výšky H , po uvolnění se pohybuje po kruhové dráze a jeho celková potenciální energie E_p se rovná gravitační síle závaží F_G . Velikost kinetické energie E_k se spočítá: [1], [2]

$$E_k = \frac{F_G \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad [J] \quad (14)$$

kde F_G ... gravitační síla závaží [N]
 v ... rychlost závaží [m/s]
 g ... gravitační zrychlení [m/s²]

Celková potenciální energie se rozdělí na část, která způsobí lom zkušební tyče a na zbytek (E_p'), který vychýlí kladivo do výšky h , platí potom: [2]

$$E_p' = F_G \cdot h \quad [J] \quad (15)$$

kde F_G ... gravitační síla závaží [N]
 h ... výška závaží po nárazu [m]

Výsledná práce K na přeražení zkušební tyče je dána rozdílem potenciálních energií: [2]

$$K = E_p - E_p' = F_G \cdot (H - h) \quad [J] \quad (16)$$

Vrubová houževnatost KC je vyjádřena vztahem: [2]

$$KC = \frac{K}{S_0} \left[\frac{J}{cm^2} \right] \quad (17)$$

kde K ... výsledná práce na přeražení [J]
 S_0 ... plocha příčného průřezu v místě vrubu [cm²]

Pozn.: K symbolům KC se ještě přidává doplňující označení, které udává druh vrubu na zkoušeném vzorku (např. KCV , KCU).

Instrumentovaná zkušební metoda

Jedná se o zkoušku rázem v ohybu na kyvadlovém kladivu tyčí Charpy s V-vrubem podle normy ČSN EN ISO 14556. Podstatou je měření velikosti nárazové síly na průhybu zkušebního tělesa v průběhu zkoušky rázem v ohybu podle ČSN ISO 148-1. Plocha pod křivkou této závislosti znázorňuje spotřebovanou práci při lomu zkušebního tělesa. [7]

Zkušební zařízení

Zkušebním strojem je kyvadlové rázové kladivo v instrumentovaném provedení. K standardnímu břítu kladiva jsou obvykle připojeny dva aktivní elektrické odporové tenzometry, které měří sílu. Registrační a měřicí systém musí být kalibrován.

Průhyb se určuje buď přímo, tzn. bezkontaktním měřením posuvu břítu vzhledem k podporám za použití optických, indukčních nebo kapacitních metod, nebo se určuje výpočtem na základě měření závislosti síla-čas, které je úměrné charakteristice zrychlení. Předpokládá se tuhé kladivo. Průhyb tělesa se vypočítá dvojnásobnou numerickou integrací: [7]

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m} \cdot \int_{t_0}^t F(t) \cdot dt \left[\frac{m}{s} \right] \quad (18)$$

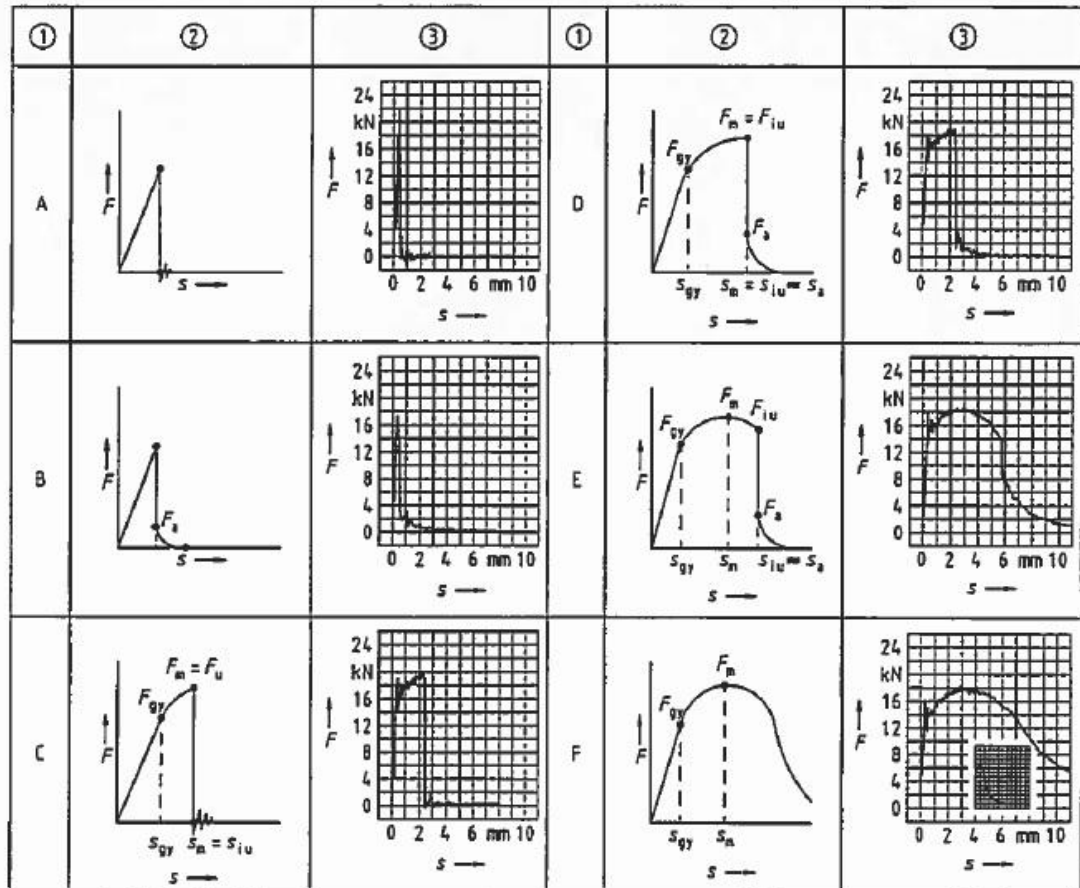
$$s(t) = \int_{t_0}^t v(t) \cdot dt [m] \quad (19)$$

kde	v_0	...	počáteční nárazová rychlost [m/s]
	m	...	hmotnost kladiva [kg]
	F	...	síla rázu kladiva [N]
	t_0	...	počáteční čas [s]

Vyhodnocení křivky síla-průhyb

Na obrázku 2.14 jsou znázorněny typy křivek síla-průhyb, které se používají pro zjednodušení vyhodnocení. Podle vztahu k teplotní závislosti nárazové práce se rozdělují do 3 skupin – spodní prahové hodnoty (křivky A, B) přechodová oblast (C, D, E) a horní prahové hodnoty (F). U křivky typu A nastává pouze nestabilní šíření trhliny, u křivek typu B, C, D a E může být stabilní i nestabilní šíření trhliny a v případě křivky F se jedná o pouze stabilní šíření trhliny.

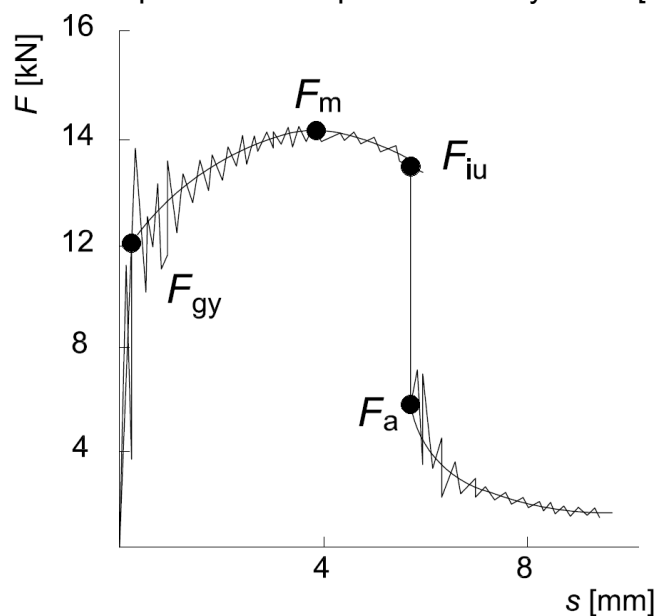
Podmínkou pro další vyhodnocení po stanovení typu křivky je, zřetelné dosažení makroskopických deformací F_{gy} , křivky typu A a B tak nemohou být vyhodnocovány. [7]



Obr. 2.14: Charakteristické křivky síla-průhyb [7]

(1 – typ křivky, 2 – schematické znázornění, 3 – skutečný záznam)

Ze závislosti síla-průhyb se vyhodnotí charakteristické hodnoty síly – síla na mezi makroplastických deformací F_{gy} , síla maximální F_m , síla při iniciaci trhliny F_{iu} a síla při zastavení trhliny F_a . Hodnoty deformace (průhybu) se odečtou na příslušné ose podle zmíněných sil. [7]

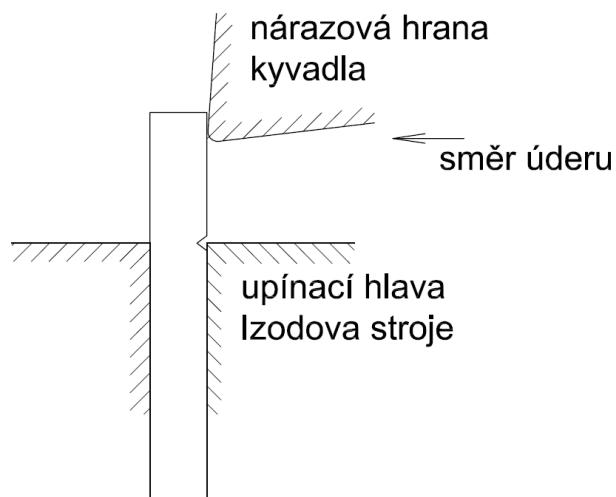


Obr. 2.15: Stanovení charakteristických hodnot síly [7]

Charakteristické nárazové práce – práce odpovídající maximální síle W_m , práce odpovídající okamžiku iniciace trhliny W_{iu} , práce odpovídající okamžiku zastavení trhliny W_a a celková práce W_t – se určí vyhodnocením plochy pod křivkou síla-průhyb v příslušném intervalu. [7]

Rázová zkouška v ohybu metodou Izod

Od Charpyho metody se Izodova zkouška liší způsobem upnutí a zatížení zkušební tyče. Tyč je upnuta pouze na jednom konci až k vrubu. Z toho vyplývá výhoda možnosti provedení více zkoušek na stejné tyči. Pokud se zkoušky pohybují v oblastech vysoké houževnatosti, jsou výsledky Charpyho zkoušky a Izodovovy zkoušky málo odlišné. Charpyho zkouška se používá především v Evropě, zatímco v USA převažuje zkouška Izodova. Její schéma je uvedeno na obrázku 2.16. [4], [5]

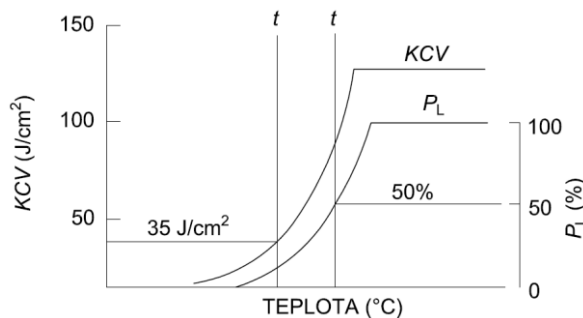


Obr. 2.16: Umístění vzorku v Izodově stroji [3]

Vyhodnocení zkoušky vrubové houževnatosti

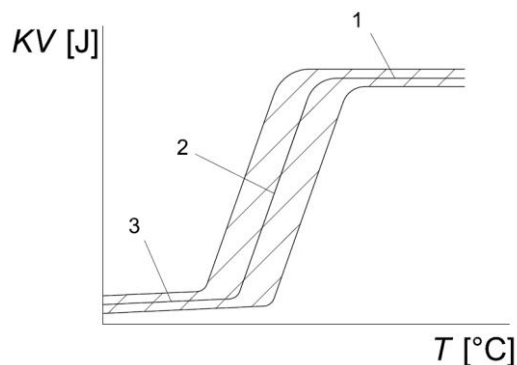
Jednoduchost a časová nenáročnost jsou hlavní výhody této zkoušky. Používá se pro porovnání různých stavů jednoho materiálu, nebo pro porovnání různých materiálů navzájem. [5]

Výsledkem zkoušky je také zjištění přechodových křivek, ze kterých se pak stanovují tranzitní teploty, které udávají hodnocení odolnosti vůči křehkému porušení. Nejčastější tranzitní teplotou je nejnižší teplota, při které hodnota KCV neklesne pod předem zvolenou hodnotu (například 35 J/cm^2). Druhou používanou tranzitní teplotou, je teplota $t_{50\%}$, což je teplota, při které je procento tvárného lomu $P_L = 50 \%$. [1]



Obr. 2.17: Určení tranzitních teplot [1]

Křivka závislosti absorbované energie jako funkce teploty se získá proložením jednotlivých hodnot aproximační křivkou. Tvar křivky a rozptyl zkušebních hodnot jsou určeny materiálem, tvarem zkušebního tělesa a nárazovou rychlostí. Pokud křivka vykazuje přechodové chování, oblasti horních a dolních prahových hodnot jsou rozděleny oblastí přechodovou. [6]



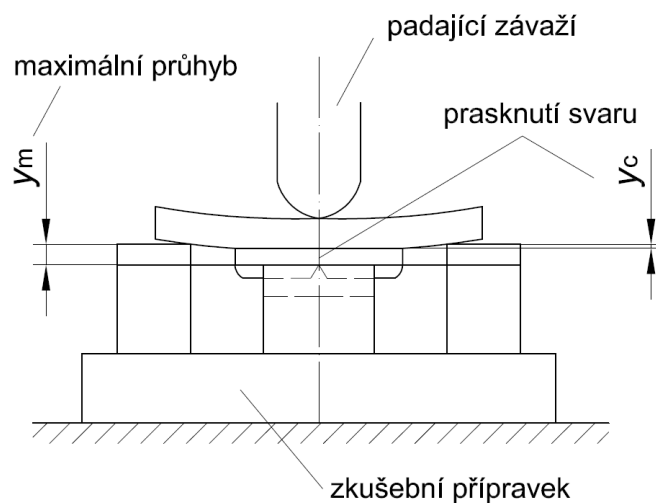
Obr. 2.18: Schematická křivka teplotní závislosti absorbované energie [6]
(1 – oblast horních prahových hodnot, 2 – přechodová oblast, 3 – oblast spodních prahových hodnot)

Mezi hlavní nevýhody zkoušky vrubové houževnatosti patří to, že hodnota přechodové teploty udává jen nejnižší teplotu namáhání v provozu, neříká nic o kritickém napětí, které při dané teplotě způsobí porušení. Dále je také lomová plocha příliš malá na to, aby se z ní dal přesně vyhodnotit charakter lomu. Z těchto důvodů jsou tyto metody nahrazovány novějšími a fyzikálně výhodnějšími zkouškami. [5]

Zkouška padajícím závažím – stanovení teploty nulové houževnatosti

t_{NDT}

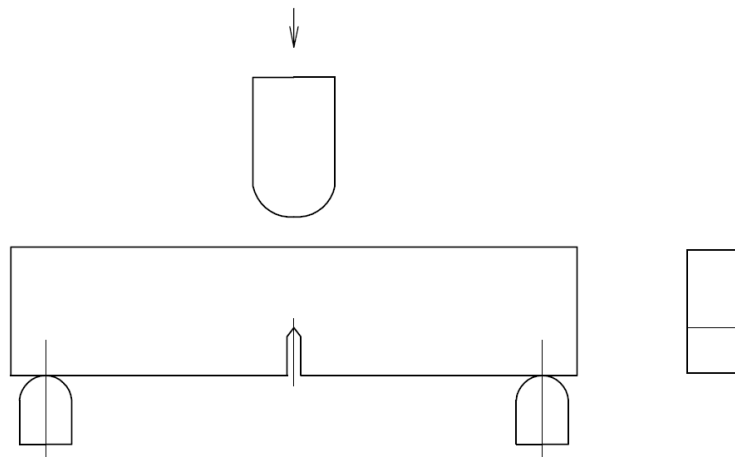
K provedení této zkoušky se používají zkušební tělesa s návarem, do kterého je vybroušený ostrý vrub. Zkouška spočívá ve stanovení limitní teploty, nad kterou nedojde k šíření lomu do základního materiálu z vrubu. Vrub tak slouží jako iniciátor trhliny. Zkušební těleso je umístěno na přípravek a je namáháno na padostroji třibodovým ohybem. Ohyb je vyvolán nárazem padajícího závaží. Zkouška se provádí za různých teplot, hodnotí se, zda trhlina prošla do materiálu a výsledná teplota t_{NDT} je nejvyšší teplota, kdy k proniknutí došlo. [1], [5]



Obr. 2.19: Zkouška padajícím závažím [1]

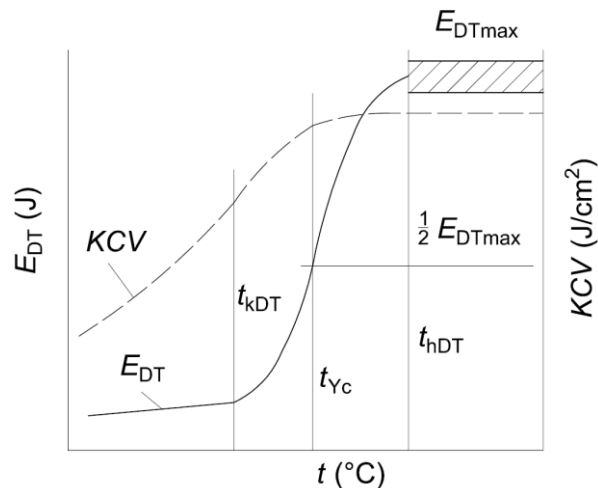
Zkouška rázem v ohybu velkých těles

Na rozdíl od zkoušky vrubové houževnatosti, se při této zkoušce používají velké zkušební tyče se skutečnou tloušťkou plechu. Zkušební tyče jsou opatřeny ostrým vyfrézovaným lisovaným vrubem a zatěžují se až do zlomení trojbodovým ohybem. Zkoušení se provádí na speciálních padostrojích nebo na kyvadlových kladivech. Výsledná nárazová práce je celková energie spotřebovaná na zlomení tělesa E_{DT} . [1], [5]



Obr. 2.20: Zkušební těleso na zkoušku rázem v ohybu velkých těles [1]

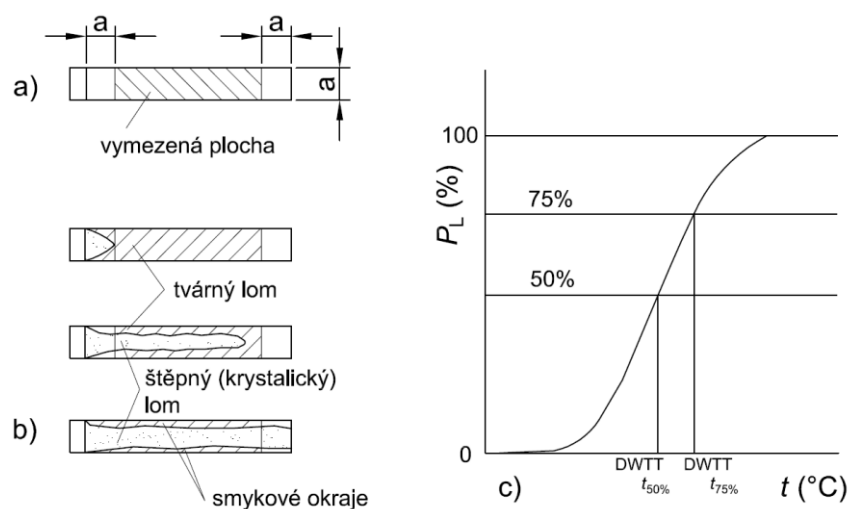
Průběh závislosti E_{DT} na teplotě je podobný průběhu tranzitní křivky vrubové houževnatosti. Ze získané závislosti E_{DT} -teplota se získávají 3 tranzitní teploty: t_{kDT} ... nejvyšší teplota, při které materiál vykazuje křehké chování; t_{YC} ... teplota inflexního bodu; t_{hDT} ... teplota, nad kterou se lom šíří pouze tvárným mechanismem. [1], [5]



Obr. 2.21: Teplotní závislost energie E_{DT} a tranzitní teploty t_{kDT} , t_{YC} , t_{hDT} [1]

Zkouška rázem v ohybu velkých těles původní tloušťky (DWTT)

Tato zkouška se používá při hodnocení ocelových plechů na výrobu tlakových potrubí. Zkušební tělesa mají tvar hranolu, je v nich vytvořený vrub lisováním a tloušťka je totožná s výchozí tloušťkou stěny potrubí. Hodnocení zkoušky se provádí ze vzhladu lomové plochy a zjišťuje se tak odolnost proti šíření lomu za podmínek rázového namáhání. Zkouška se provádí na padostrojích nebo kyvadlových kladivech. Nárazová rychlost musí být nejméně 5 m/s a musí dojít k úplnému zlomení tělesa. Sestrojením závislosti podílu tvárného lomu P_L a teploty t se získá tranzitní křivka. [1]



Obr. 2.22: Zkouška rázem v ohybu velkých těles původní tloušťky [1]

a) vymezení lomové plochy, b) změna vzhledu lomu s teplotou, c) určení tranzitních teplot

2.3. Nedestruktivní zkoušky

O tom, jakou kvalitu a životnost vyrobený díl dosáhne, rozhoduje použitý materiál a technologický proces výroby. Výroba samotného materiálu je závislá na několika faktorech, které ovlivňují jeho výslednou kvalitu. Žádný materiál tak není zcela bez vad, projevuje se na něm mimo jiné nedokonalost výrobní technologie nebo třeba chyby lidského faktoru. O tom zda je materiál vhodný pro další použití rozhoduje vada materiálu – odchylka rozměrů, tvaru, hmotnosti, vzhledu a dalších veličin od vlastností předepsaných normou. Pro zjištění těchto odchylek se používají nedestruktivní metody zkoušení materiálu.

Zjišťování vad těmito metodami je většinou nepřímé a provádí se za pomoci nějaké fyzikální látky. Tato fyzikální látka v interakci s prostředím (zkoušeným materiálem) mění své parametry. Změny jsou závislé na homogenitě materiálu, přičemž v místech vad se projevují lokální změny.

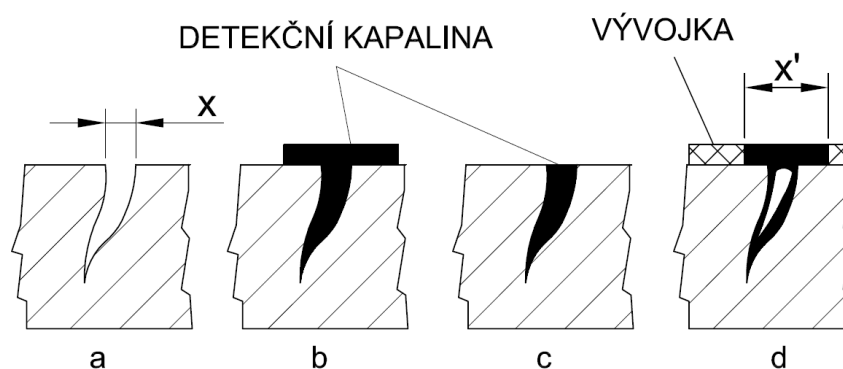
Podle schopnosti identifikace vad na povrchu nebo uvnitř materiálu rozlišujeme povrchové vady a vnitřní vady. Vzhledem k tomu, že neexistuje metoda, která by byla schopná zjistit všechny typy vad ve výrobku, musí se v praxi volit vhodná kombinace několika metod. [1]

2.3.1. Vizuální kontrola

Jedná se o základní a nejjednodušší kontrolu. Nejčastěji se používá jako první a zjišťují se povrchové vady výrobku. Podle použitých pomůcek se rozděluje na přímou kontrolu (pouhým okem) a nepřímou kontrolu (použití optických přístrojů). Kontrola vyžaduje dobré osvětlení, dostatečnou zrakovou schopnost pracovníka a vhodnou úpravu zkoumaného povrchu. [1]

2.3.2. Zkoušky kapilární (penetrační)

Kapilární zkoušky se používají pro zjištění vad, které vyúsťují na povrch, tzn. takových vad, které souvisí bezprostředně s povrchem a jsou na povrchu otevřené (trhliny, póry). Princip zkoušky spočívá v nanesení detekční kapaliny na předem očištěný povrch. Kapalina má nízké povrchové napětí a působením kapilárních sil vniká do trhlin. Následně se detekční kapalina odstraní a nanese se vývojka (suspense bílého pigmentu v těkavé látce), čímž se vyvolá indikace. V místech trhlin pak detekční kapalina vystoupí a nasytí vývojku, která se buď obarví (metoda barevné indikace) nebo se stopa vady v pigmentu pozoruje v ultrafialovém záření (fluorescenční metoda). Princip kapilární zkoušky je zobrazen na obrázku 2.23. [1], [5]

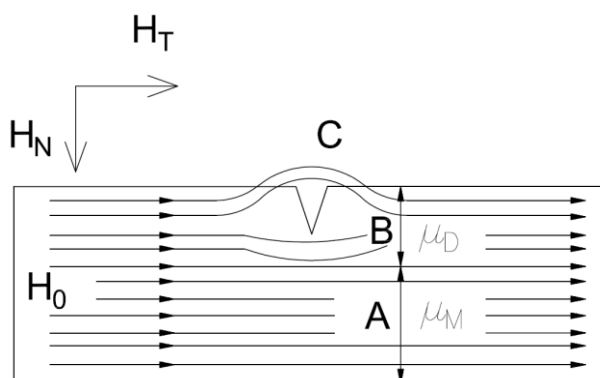


Obr. 2.23: Princip kapilární zkoušky [5]

2.3.3. Zkoušky magnetoinduktivní a elektroinduktivní

Těmito zkouškami se zjišťují povrchové vady polotovarů a výrobků nebo vady, které jsou těsně pod povrchem. Nejvíce se používají v hutních provozech a při kontrolách polotovarů.

Magnetoinduktivní metody jsou založeny na principu zjišťování rozptylu magnetického pole v místě defektu (obrázek 2.24). Zkoušený předmět je vystaven účinku magnetického pole. Případné překážky (poruchy materiálu), které mají jinou permeabilitu, v cestě magnetického toku zapříčiňují vznik rozptylového magnetického pole. Magnetický tok tak v místě poruchy vystoupí do vzduchu, překlene vadu a vrátí se zpět do součástí. [1], [5]



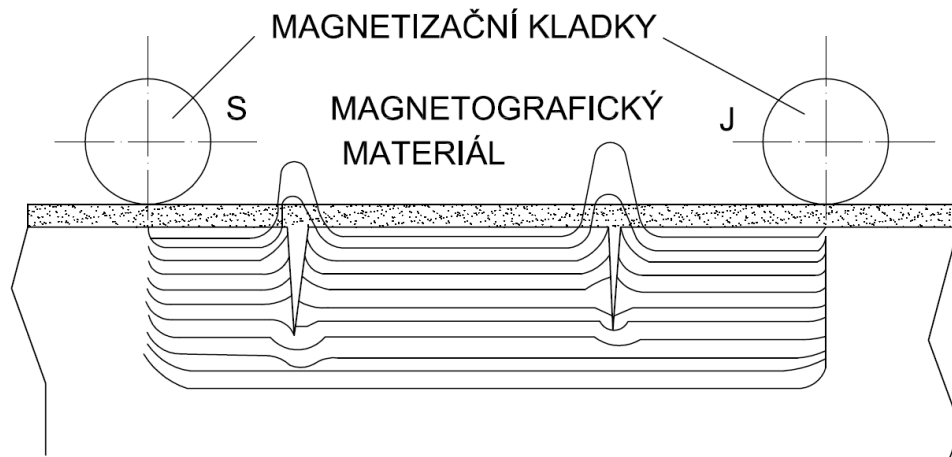
Obr. 2.24: Princip vzniku rozptylového magnetického pole v místě povrchové trhliny

Magnetická prášková metoda (metoda polévací)

Zkoušený předmět je vystaven účinkům magnetického pole. Následně je polit kapalnou suspenzí, ve které byl rozpuštěný magnetický prášek. Drobné částice prášku jsou přitahovány do místa vady a zároveň jsou přidržované na povrchu. Tím se nad vadou vytvoří nános magnetického prášku a vada je tak vizuálně identifikovatelná. [5]

Metoda magnetografická

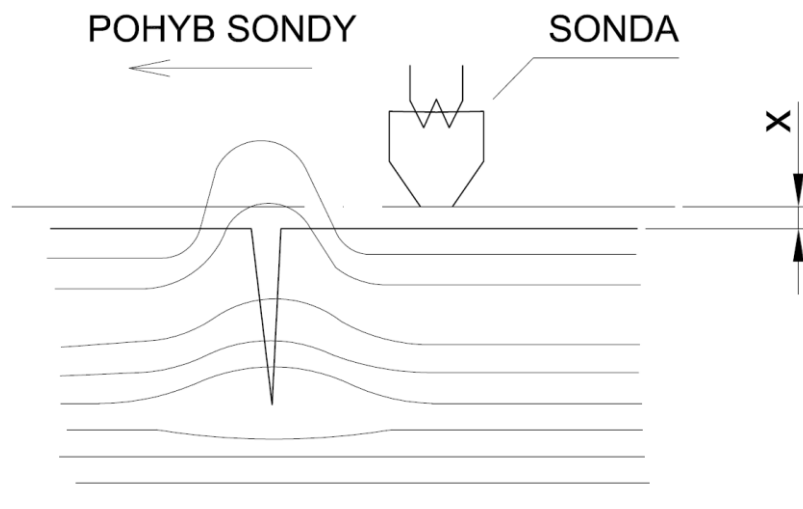
Hlavní použití této metody (obrázek 2.25) je při zjišťování vad ve svarech. Rozptylový tok, který se zaznamenává na magnetografické pásky, se zde nejdříve fixuje a až pak vyhodnocuje. Proces spočívá nejprve v magnetizaci zkoumaného místa (například svaru), při kterém se zaznamenává rozptylový tok na pásek. Vyhodnocení je elektrické nebo akustické, metoda je bezdotyková. [1], [5]



Obr. 2.25: Schéma magnetografické metody [1]

Indikace pomocí ferosondy

Tato metoda (obrázek 2.26) je bezdotyková a umožňuje zjistit chyby ve hloubce 20 mm pod povrchem. Princip spočívá v umístění snímací cívky blízko povrchu. Cívka elektromagnetickou indukcí zachytává rozptyl magnetického toku v místě defektu. Zkoušený předmět je snímací cívkou obepnut a indukovaný proud vzniklý v cívce se zesiluje a zviditelňuje například v osciloskopu. Cívka je upevněna a předmět se pohybuje nebo naopak. [1], [5]



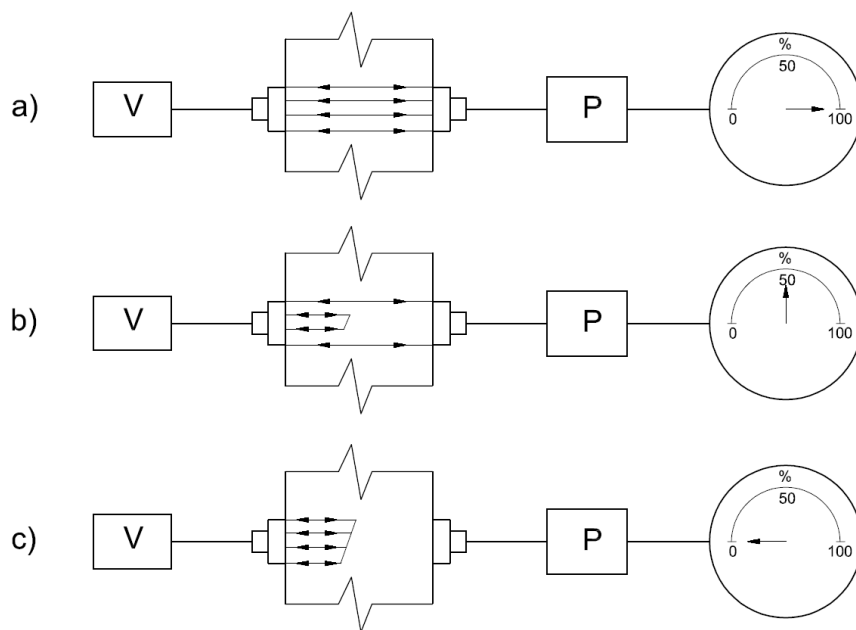
Obr. 2.26: Schéma metody pohyblivé sondy [1]

2.3.4. Zkoušky ultrazvukem

Ultrazvuk je pružné mechanické vlnění hmotného prostředí s vyšší frekvencí, než je frekvence, která je slyšitelná lidským uchem. Kmitočtová hranice slyšitelnosti je v rozmezí od 16 do 20 kHz, takže vlnění nad pásmem slyšitelnosti (20 kHz) se označuje jako ultrazvuk. Ultrazvuk je vytvářen zařízeními, která přeměňují nějaký druh energie (kinetickou, elektrickou) na ultrazvukovou. Zařízení mohou být mechanická nebo elektromechanická. [1], [5]

Průchodová metoda

V tomto případě se používají dvě ultrazvukové sondy, každá na jedné straně zkoumaného předmětu (obrázek 2.27). Jedna sonda pracuje jako vysílač, druhá jako přijímač. Zkoumá se hodnota ultrazvukové energie, která projde přes zkoušený předmět. Pokud se v předmětu nachází vada, do přijímače projde menší hodnota. Metoda se dá použít pouze pro kontrolu předmětů s rovnoběžnými plochami, kde se dají sondy nastavit souose. [1], [5]

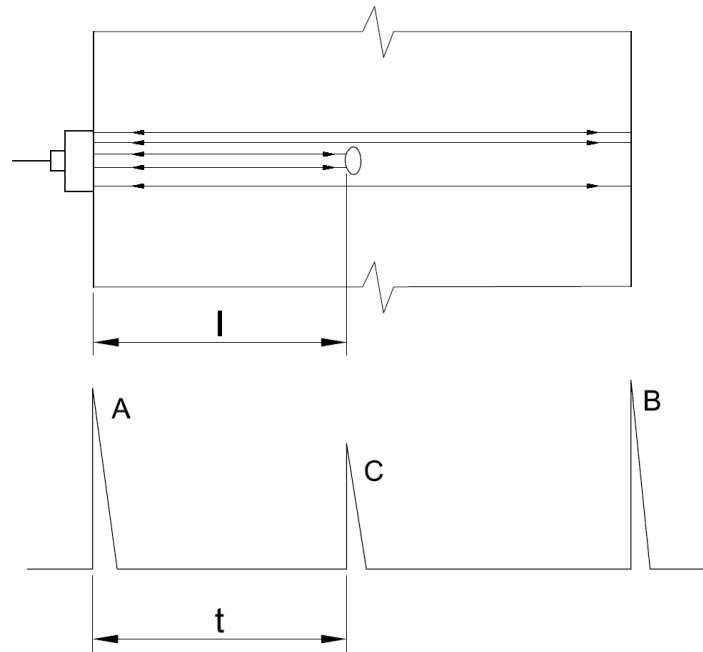


Obr. 2.27: Metoda průchodová [1]

V – vysílač, P – přijímač; a ... materiál bez vady, b, c ... materiál s vadou různé velikosti

Odrazová metoda

Výhodou této metody (obrázek 2.28) je, že se dá použít na kontrolu předmětů přístupných pouze z jedné strany. Proto je to také metoda nejrozšířenější. Princip spočívá ve vysílání krátkých ultrazvukových impulsů do materiálu. Impulzy se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vad. Podle použití jedné nebo dvou sond, se ultrazvukové vlny po odrazu buď vrátí na tentýž, nebo na druhý měnič. Průběh impulsu je zobrazován na obrazovce. [1], [5]



Obr. 2.28: Odrazová metoda [1]

Rezonanční metoda

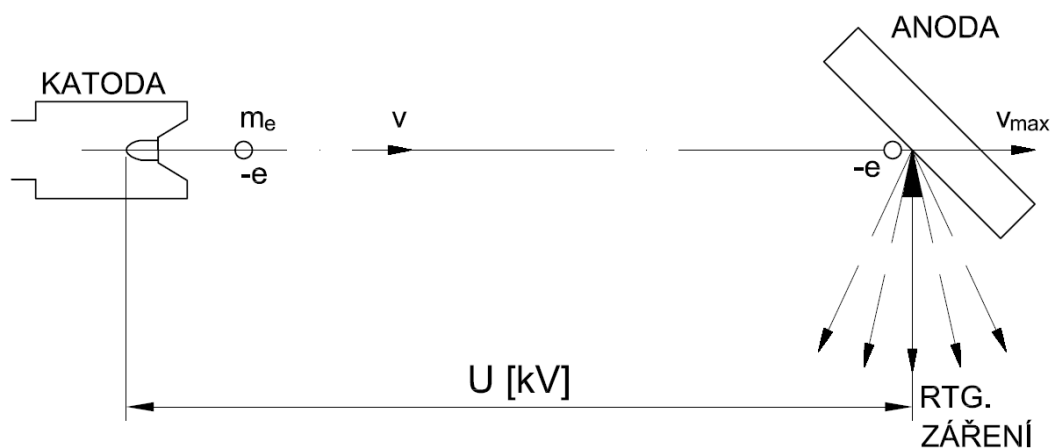
K měření rezonanční metodou stačí přístup z jedné strany. Do zkoušeného materiálu se vysílají ultrazvukové vlny. Frekvence vln se plynule mění. Pokud se poloviční délka vlny rovná tloušťce předmětu, vznikne v předmětu stojaté vlnění, vysílač tak dodává minimum energie a předmět se dostane do vlastní rezonance. [1]

2.3.5. Zkoušky pronikavým zářením (zkoušky radiologické)

U těchto zkoušek se využívá schopnosti některých záření pronikat tuhými látkami. Používají se rentgenové záření, záření gama a záření neutronové. Velké použití našly tyto metody ve slévárenství a ve svařování. Podle druhu zdroje a způsobu záznamu obrazu se rozdělují na: A) metody radiografické – obraz zkoušeného materiálu zaznamenávají na fotografický film; B) metody radioskopické – obraz zkoušeného materiálu zviditelňují na fluorescenčním stínítku; C) metody ionizační – registrují prošlou intenzitu záření indikátorem záření, který je založen na principu ionizace. [1]

Rentgenologické zkoušky

Na obrázku 2.29 je uvedeno schéma rentgenky, která je zdrojem záření. Katoda rentgenky obsahuje wolframové vlákno, které při žhavení elektrickým proudem emituje elektrony do vyčerpaného prostoru rentgenky. Pokud se mezi katodu a anodu vloží vysoké napětí, tak jsou elektrony emitované katodou urychlovány směrem k anodě. Energie dopadajícího elektronu se přemění na energii fotonu rentgenového záření. Pro posouzení pronikavosti je nejdůležitější vlnová délka rentgenových paprsků. [1]



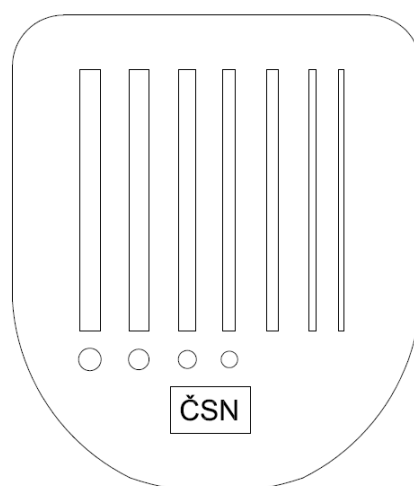
Obr. 2.29: Schéma vzniku rentgenového záření [1]

Gamagrafie

Zdrojem záření jsou radioaktivní zářiče, jejichž záření se označuje jako radioaktivita. Toto záření je nezávislé na vnějších podmínkách, je tak zcela určeno prvkem, který ho vysílá. Zdrojem je jádro radioaktivního prvku. V technice se používají izotopy, které převážně vyzařují paprsky gama. Pro manipulaci se používají speciální kryty z vysoce absorpčních materiálů s ovládním na dálku. [1]

Hodnocení výsledků prozařování

Výsledné radiogramy se vyhodnocují pomocí drátkových měrek (obrázek 2.30). Velikosti vad se stanovují měrkami drážkovými. Výsledkem je stanovení druhu, velikosti, četnosti a vzájemné polohy vnitřních vad. Radiogramu je pak přidělen jakostní stupeň. [1]

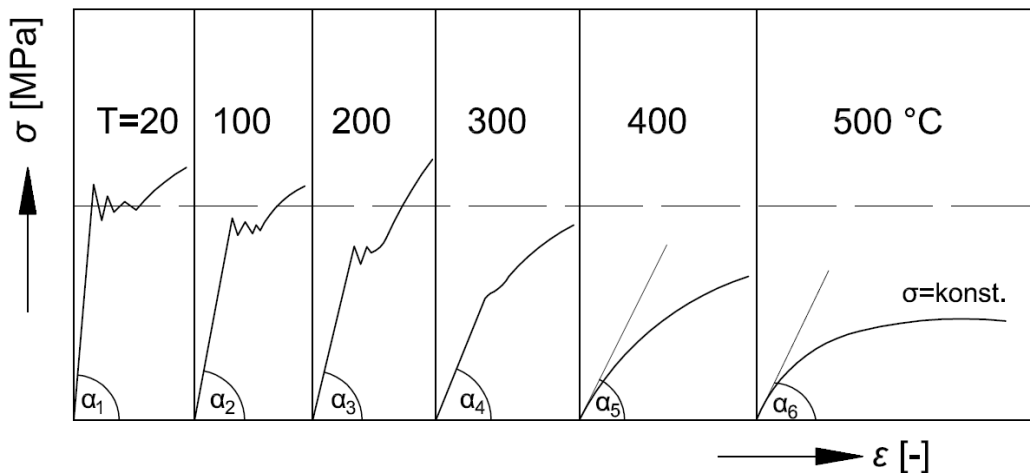


Obr. 2.30: Drátová měrka [1]

2.4. Vliv teploty na mechanické vlastnosti kovů

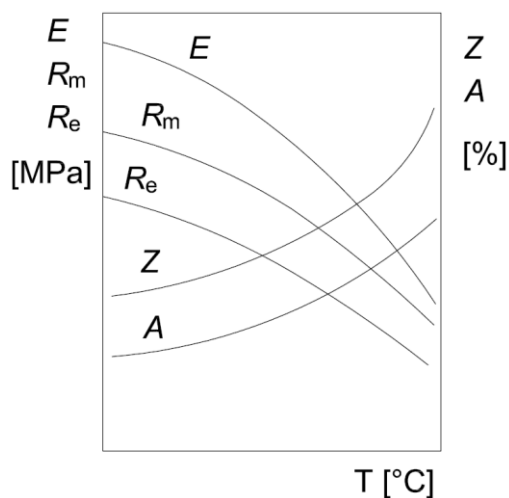
Pokud jsou materiály vystaveny jiným teplotám, než je běžná pokojová teplota, dochází ke změně jejich vlastností. Při teplotách nízkých se výrazně zvětšuje mez kluzu, zatímco plastičnost a houževnatost klesá. V praxi je častější namáhání materiálů za vyšších teplot.

Je to právě teplota, která ze všech známých faktorů ovlivňuje vlastnosti materiálu nejvíce. Na obrázku 2.31 je znázorněna změna tvaru tahu diagramu nízkouhlíkové oceli. Je vidět, že se zvyšující se teplotou klesá výrazná mez kluzu a při teplotách nad 400 °C zaniká úplně. Nastává tečení kovu. Zároveň také klesá sklon lineární části diagramu. [5]



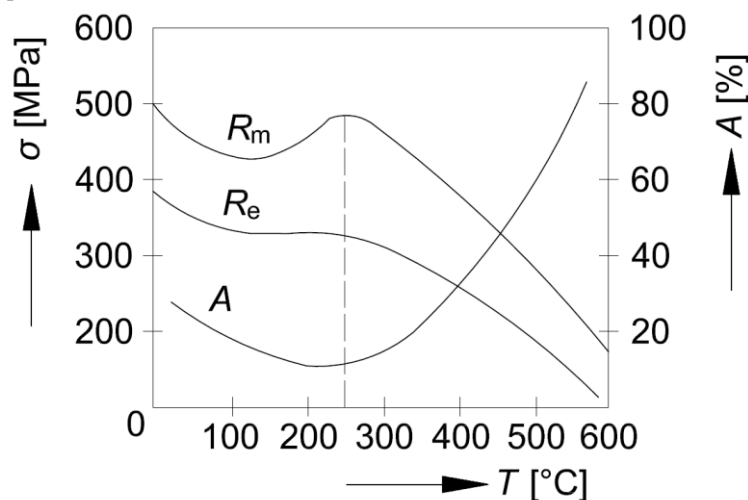
Obr. 2.31: Vliv zkušební teploty na změnu tvaru tahu diagramu nízkouhlíkové oceli [5]

Na obrázku 2.32 je znázorněna všeobecná závislost napěťových charakteristik (mez kluzu R_e , mez pevnosti R_m), deformačních charakteristik (tažnost A , zúžení Z) a modulu pružnosti E pro kovy na teplotě. Z obrázku vyplývá, že se zvyšující se teplotou mez kluzu, mez pevnosti a modul pružnosti klesají, zatímco se tažnost a zúžení zvyšují. [5]



Obr. 2.32: Závislost mechanických vlastností na zkušební teplotě [5]

U slitin, kde se projevuje dynamické deformační stárnutí, může při zvýšené teplotě dojít k přechodnému růstu meze pevnosti a meze kluzu. Na obrázku 2.33 je opět znázorněna nízkouhlíková ocel a je zřejmé, že zhruba při teplotě 150 °C dochází k tomuto zvýšení až do teploty 250 °C. Tento jev se označuje jako dynamické deformační stárnutí. Podstata je v segregaci intersticiálních atomů příměsi z tuhého roztoku Fe_α . Zvýšený odpor kovu proti deformaci a porušení je vyvolán blokadí pohybu dislokací vyloučenými atomy. Kromě dosažení maxima meze pevnosti zároveň materiál vykazuje pokles hodnoty tažnosti. Tento jev se nazývá křehkost za modra. [5]



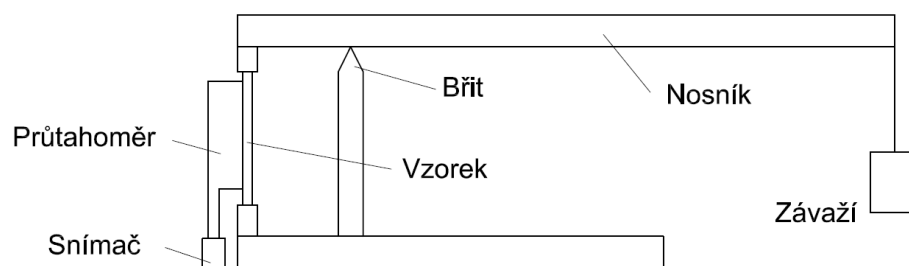
Obr. 2.33: Závislost mechanických vlastností na zkušební u uhlíkové oceli [5]

Tečení kovů

Plastická deformace je funkcí nejen napětí, ale také teploty. Může k ní docházet i při konstantním napětí a stálé teplotě. Tento jev se nazývá tečení a je definován jako pomalá plastická deformace materiálu, která je vyvolána dlouhodobým působením konstantního napětí a konstantní teploty. [5]

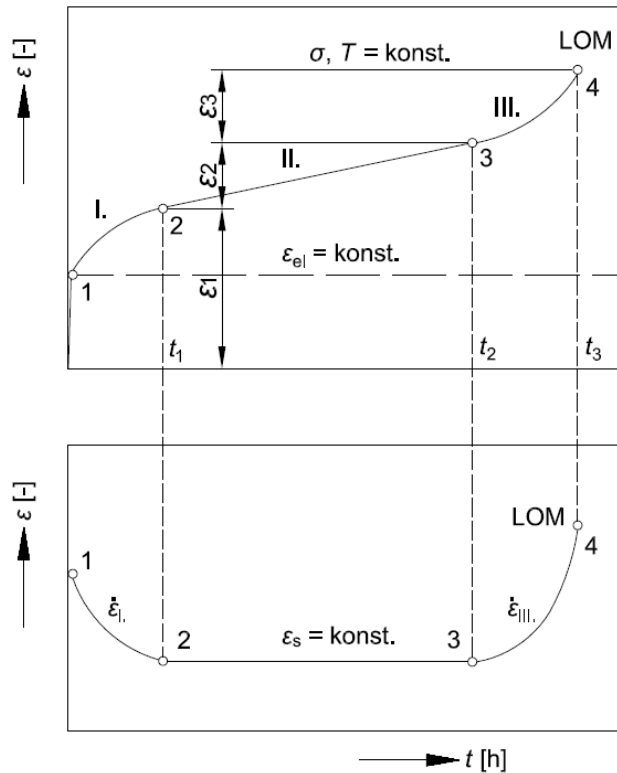
Zkušební zařízení

Schéma zkušebního zařízení je znázorněno na obrázku 2.34. Zatěžovací páka na břitu se pootočí, pokud dojde k prodloužení vzorku. Zatěžovací síla vyvolaná závažím je po celou dobu zkoušky konstantní. Zkušební těleso se nachází v peci při vysoké teplotě a prodloužení je zaznamenáváno průtahoměrem. [1]



Obr. 2.34: Schéma zkušebního stroje pro zkoušky tečení [1]

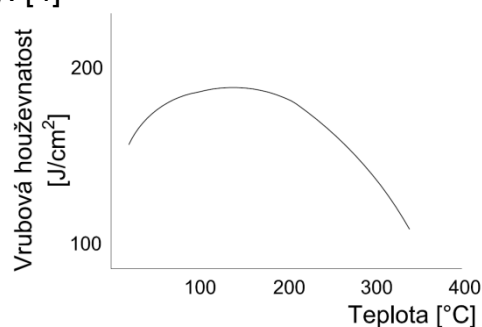
Zkouškou se zjišťuje závislost deformace na čase, výsledkem je křivka tečení (creepová křivka) pro dané podmínky zkoušení (teplota, napětí). Na křivce jsou tři charakteristické úseky, které se označují římskými číslicemi I, II, III a znamenají primární, sekundární a terciální stádium tečení. Nejdéle trvá sekundární stádium, kde je rychlost plastické deformace konstantní a minimální a proto je této části vztahována nejvyšší pozornost. [1]



Obr. 2.35: Křivka tečení [1]

Vliv teploty na vrubovou houževnatost

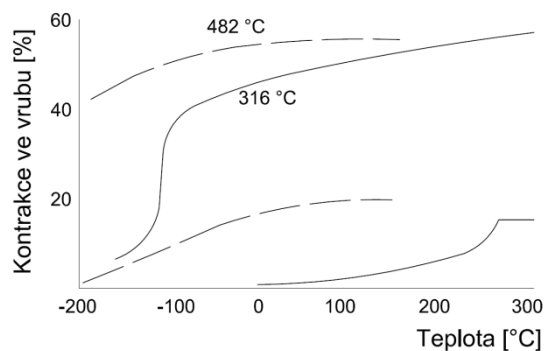
Na obrázku 2.36 je zaznamenána závislost vrubové houževnatosti na teplotě u měkké oceli s nízkým obsahem uhlíku. Je patrné, že s rostoucí teplotou nejprve dochází k růstu houževnatosti, v oblasti mezi 100 a 200 °C, pak začíná pokles. Při teplotě 200 °C je houževnatost pořád ještě značná, při 300 °C dochází k přeražení zkušební tyče při mnohem menším úhlu ohybu. Při zkoušení za nízkých teplot rovněž dochází k poklesu houževnatosti, pokles je na rozdíl od vyšších teplot náhlý se značně rozptýlenými výsledky. [4]



Obr. 2.36: Vliv vyšších teplot na vrubovou houževnatost měkké oceli [4]

Pro posouzení jakosti ocelí je často důležitější znát hodnotu přechodové teploty než je číselná hodnota vrubové houževnatosti. Přechodová teplota se mimo jiné dá charakterizovat jako nejnižší teplota, při které je lom v celém průřezu zkušební tyče houževnatý a určuje se provedením série rázových zkoušek za různých teplot. [4]

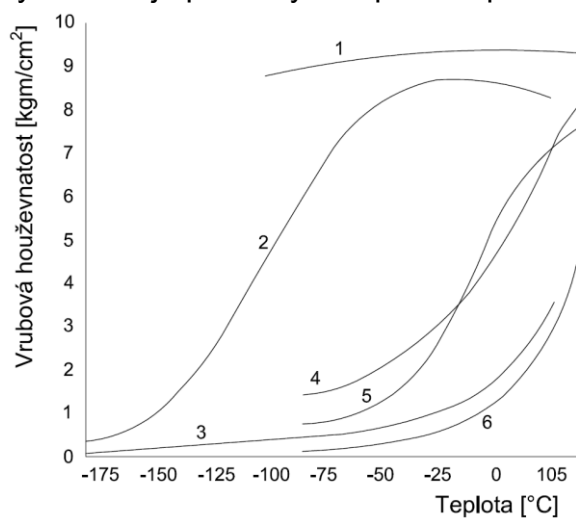
Zkušební tyče na zkoušku rázem obsahují vrub, s hloubkou vrubu klesá houževnatost. Pokles houževnatosti velmi souvisí právě s přechodovou teplotou. Na obrázku 2.37 je zaznamenána závislost houževnatosti na teplotě u dvou vzorků – jeden je popuštěn na 316 °C, druhý na 482 °C. U prvního vzorku má hladká tyč přechodovou teplotu v okolí -100 °C, zatímco u tyče s vrubem hlubokým 10 % tato teplota stoupá až na 260 °C. U druhého vzorku je pokles houževnatosti na tyči hladké i vrubované pozvolnější. [4]



Obr. 2.37: Závislost houževnatosti na teplotě u oceli s 0,4% C a 1,75% Mn [4]

Vliv nízké teploty na vrubovou houževnatost různých ocelí

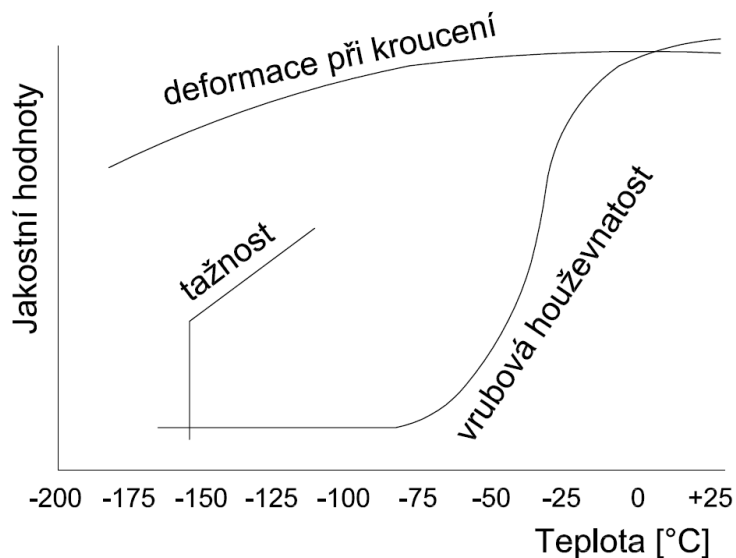
Na obrázku 2.38 je vidět, že snížení vrubové houževnatosti při nízkých teplotách se u uhlíkových ocelí projevuje nejdříve, u slitinových až při nižších teplotách. U niklových ocelí je při nízkých teplotách pokles malý. [2]



Obr. 2.38: Vliv teploty na vrubovou houževnatost různých druhů ocelí [2]
1 – korozivzdorná ocel 18-8; **2** – žíhaná ocel (Ni=3,5%); **3** – uhlíková ocel C=0,35% žíhaná; **4** – normalizačně žíhaná ocel C=0,35%, Ni=1,5%, Cr=0,6%; **5** – žíhaná Cr ocel (Cr=13%); **6** – uhlíková ocel C=0,35% normalizačně žíhaná

Vliv nízké teploty na hodnoty houževnatosti při různých zkouškách

Na obrázku 2.39 je znázorněn vliv nízké teploty na výsledky zkoušky tahem, rázových vrubových zkoušek a zkoušek krouticích. Použity byly vzorky vyrobené ze stejné oceli. U zkoušky tahem je sledován vliv nízké teploty na změnu velikosti tažnosti, u rázové vrubové zkoušky na změnu velikosti vrubové houževnatosti a u krouticích zkoušek je sledována změna velikosti deformace při kroucení. U všech zkoušek tyto hodnoty při snižování teploty klesají, snížení hodnoty vrubové houževnatosti nastává nejdříve. [2]



Obr. 2.39: Vliv teploty na hodnoty houževnatosti zjištěné při trhacích, rázových a krouticích zkouškách [2]

3. Experimentální část

Na katedře strojírenské technologie Technické Univerzity v Liberci je pro měření dynamických zkoušek materiálů k dispozici padostroj Instron CEAST 9350. V současné době je využíván pouze na měření zkoušky tahem. Cílem experimentální části této práce je rozšířit možnost měření tohoto stroje, a to sice zkonstruováním přípravku pro měření rázových vlastností materiálu. Práce tedy obsahuje návrh přípravku a jeho výkresovou dokumentaci, dle které byl přípravek následně vyroben.

Po zhotovení přípravku bylo nutné ověřit jeho funkčnost. Toho bylo docíleno při měření závislosti vrubové houževnatosti na teplotě u oceli ČSN 41 1373. Aby bylo možné naměřené hodnoty vyhodnotit, měření této závislosti bylo následně provedeno na Charpyho kladivu. Tím tedy bylo docíleno měření v instrumentované formě (padostroj) a neinstrumentované formě (Charpy). Díky možnosti porovnání naměřených hodnot z obou měření, pak bylo možné rozhodnout, zda navržený způsob měření rázových vlastností na padostroji je vhodný.

3.1. Padostroj Instron CEAST 9350

Padostroj Instron CEAST 9350 je univerzální stroj, který se dá použít pro měření vlastností materiálů i finálních výrobků. Mezi standardní vybavení stroje patří motorizovaný příčník a vyměnitelný trn, který zajišťuje možnost použití stroje pro různé aplikace. Součástí je také software pro jednoduché vyhodnocení naměřených dat. Měření se dá provádět v neinstrumentované i instrumentované formě. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 1, stroj je znázorněn na obrázku 3.1. [8]

Tab. 1: Specifikace padostroje Instron CEAST 9350 [8]

Energetický rozsah [J]	Nárazová rychlost [m/s]	Pádová výška [m]	Hmotnost závaží [kg]
0,59 až 1800	0,77 až 24	0,03 až 1,10	2,00 až 70,00

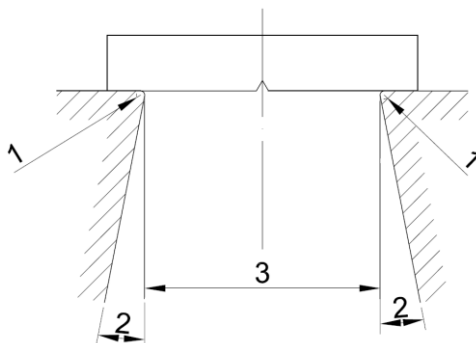


Obr. 3.1: Padostroj Instron CEAST 9350 [8]

Poznámka k pádové výšce padostroje: v tabulce 1 je uvedena maximální pádová výška padostroje 1,1 m. Jedná se o maximální hodnotu, při které nastává volný pád. Urychlením pomocí pružin je potom možné dosáhnout vyšších pádových výšek a to až 29,4 m.

3.1.1. Návrh přípravku pro padostroj

Pro měření na padostroji bylo nejprve nutné navrhnout přípravek pro uložení zkušebního tělesa. Rozměry přípravku musí odpovídat normě ČSN EN ISO 148-2, jak je uvedeno na obrázku 3.2 a v tabulce 2.



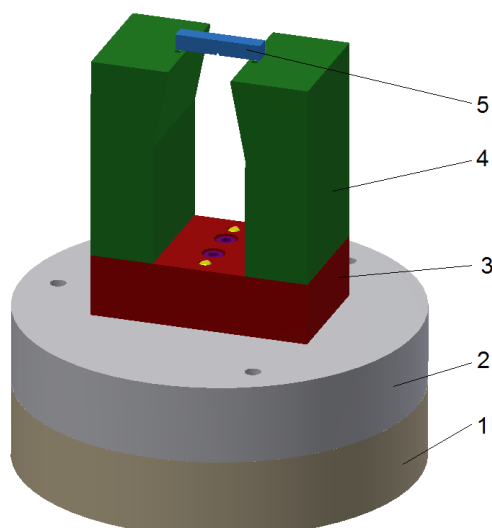
Obr. 3.2: Rozměry pro přípravek dle normy [9]

Tab. 2: Geometrické charakteristiky [9]

Číslo	Označení	Velikost
1	Poloměr opěr	$1^{+0,50}_{-0,00}$ mm
2	Úhel úkosu opěr	$11^\circ \pm 1^\circ$
3	Vzdálenost mezi opěrami	$40^{+0,20}_{-0,00}$ mm

Schéma navrženého přípravku

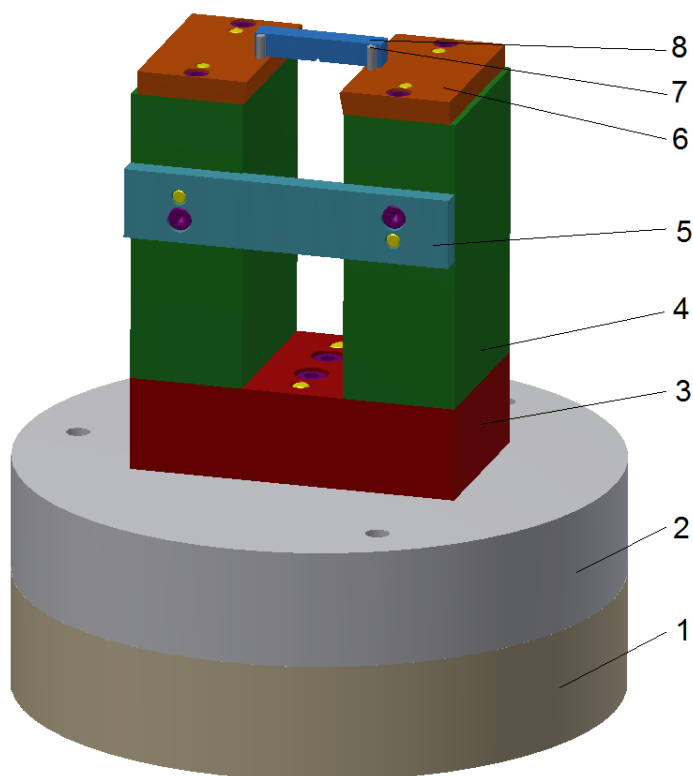
Prvotní návrh přípravku pro měření rázových vlastností je zobrazen na obrázku 3.3. Návrh dodržuje konstrukční vizi přípravku používaného pro měření zkoušky tahem v dynamickém provedení na padostroji Instron CEAST 9350 na Technické Univerzitě v Liberci z diplomové práce pana Jakuba Mareše z roku 2014.



Obr. 3.3: Prvotní návrh přípravku pro padstroj

1 – kotouč, 2 – podstava, 3 – spodní deska, 4 – sloupek, 5 – měřený vzorek

Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byly provedeny dvě změny v konstrukci, výsledný přípravek je pak zobrazen na obrázku 3.4. První změna se týkala plochy dotyku se zkušební tělesem, která byla řešena pomocí vyměnitelných vložek (6), a to z důvodu případného opotřebování. Dále byla pro zvýšení tuhosti přidána příčná vzpěra (5). Výrobní výkresy jednotlivých částí přípravku, které byly potřeba vyrobit, jsou součástí přílohy.

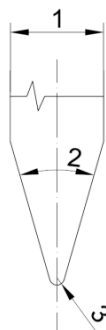


Obr. 3.4: Finální verze přípravku

1 – kotouč, 2 – podstava, 3 – spodní deska, 4 – sloupek, 5 – příčná vzpěra, 6 – vyměnitelná vložka, 7 – vymešovací kolík, 8 – měřený vzorek

3.1.2. Návrh břitu pro padostroj

Kromě přípravku pro uložení zkušební tělesa bylo ještě nutné navrhnout břit pro přeražení tělesa při samotné zkoušce. Břit musí splňovat rozměry stanovené normou ČSN EN ISO 148-2 dle obrázku 3.5 a tabulky 3.



Obr. 3.5: Schéma břitu [9]

Tab. 3: Rozměry břitu [9]

Číslo	Označení	Velikost
1	Šířka břitu	10 až 18 mm
2	Úhel břitu	$30^\circ \pm 1^\circ$
3	Poloměr zaoblení hrany břitu	2,00 až 2,50 mm

Navržený břit

Původní návrh břitu pro přeražení zkušební tyče je zobrazen na obrázku 3.6. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byl břit konstruován ze dvou kusů, které se do sebe zašroubují. Břit se upíná do vyměnitelného trnu stroje. Pro nastavení polohy po namontování břitu na stroj jsou použity zajišťovací matice. Výsledný břit je zobrazen na obrázku 3.7. Výrobní výkresy jsou pak součástí přílohy.



Obr. 3.6: První návrh břitu



Obr. 3.7: Konečný návrh konstrukčního řešení břitu

3.1.3. Montáž přípravku a břitu

Při montáži přípravku (obrázek 3.4) bylo nejprve nutné zasunout středící kolíky do spodní desky (3), následně na ni nasadit sloupky (4) a připevnit je pomocí šroubů. Potom byly nasazeny středící kolíky do sloupků (4) a to na horní ploše a z boku. Ke sloupkům pak byly přišroubovány vyměnitelné vložky (6) a příčná vzpěra (5). Dalším krokem bylo zasunutí středících kolíků do podstavy (2) a přišroubování spodní desky (3) se sloupky (4). Smontovaný přípravek byl pak přenesen do pracovního prostoru stroje, kde pomocí kotoučů (1) bylo dosaženo potřebné výšky přípravku. Před měřením pak bylo ještě nutné zasunout kolíky (7) do vložek (6) pro vymezení polohy vzorku. Montáž břitu (obrázek 3.7) spočívala v jeho našroubování do vyměnitelného trnu stroje a vymezení polohy utažením zajišťovacích matic.



Obr. 3.8: Namontovaný přípravek připravený pro měření



Obr. 3.9: Namontovaný břit připravený pro měření

3.2. Měřený materiál

Zkoušeným materiálem byla zvolena nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce ČSN 41 1373. Jedná se o ocel, která je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. [10]

Pro ověření vlastností materiálu byla provedena statická zkouška tahem podle ČSN EN ISO 6892-1. Z tyče o čtvercovém průřezu bylo na soustruhu vyrobeno 5 zkušebních vzorků o průměru 10 mm, měření bylo zhotoveno na trhacím stroji TIRA test 2300. Ukázka zkušebního vzorku je na obrázku 3.10, trhací stroj na obrázku 3.11. Průměrné výsledky zkoušky jsou uvedeny v tabulce 4, diagram závislosti smluvní napětí-poměrné prodloužení pro vzorek 1 je na obrázku 3.12. Výsledný zkušební protokol je součástí přílohy 1.



Obr. 3.10: Zkušební vzorek pro tahovou zkoušku

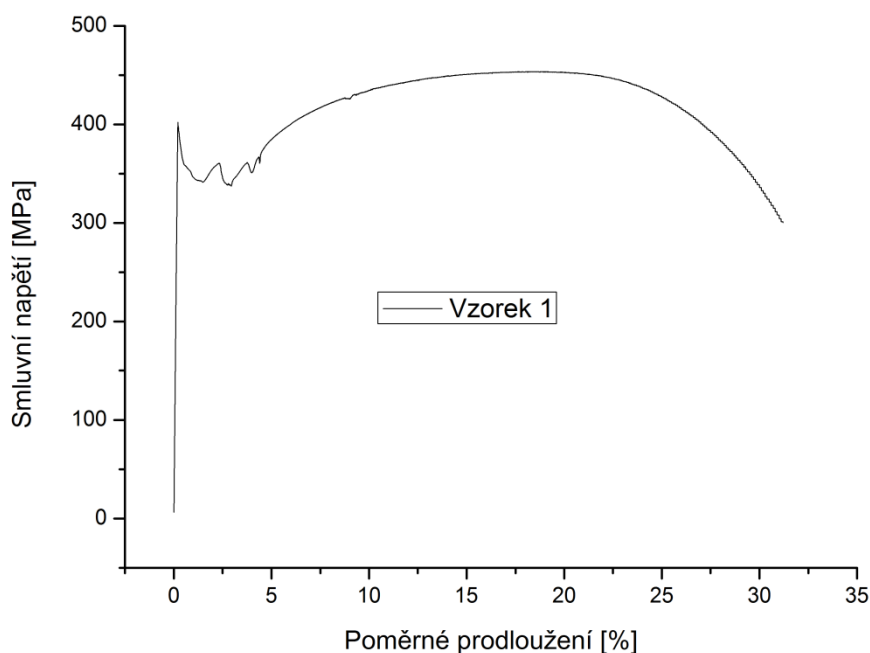


Obr. 3.11: Trhací stroj TIRA test 2300

Tab. 4: Výsledky měření zkoušky tahem

	R_{eH} [MPa]	R_{eL} [MPa]	R_m [MPa]	A_g [%]	A_{50mm} [%]
Průměrná hodnota	397,6	338,3	454	18,49	31,57
Směrodatná odchylka	15,2	8,0	11	0,51	1,01

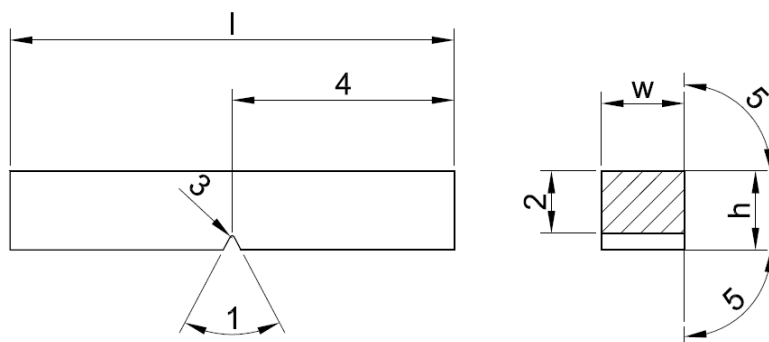
R_{eH} ... výrazná horní mez kluzu, R_{eL} ... výrazná dolní mez kluzu,
 R_m ... mez pevnosti; A_g ... homogenní tažnost; A_{50mm} ... tažnost

Obr. 3.12: Závislost $R-\epsilon$ pro vzorek 1 ze zkoušky tahem

Výsledky měření odpovídají deklarovaným mechanickým hodnotám materiálu ČSN 41 1373.

3.2.1. Zkušební vzorky

Ze stejného polotovaru, ze kterého byly vyrobeny vzorky pro zkoušku tahem, byla rovněž zhotovena zkušební tělesa pro měření rázové zkoušky. Tato tělesa musí odpovídat normě ČSN ISO 148-1. Vzorky byly nejprve z tyče nařezány, potom byly zbaveny ostrých hran na brusce a nakonec na nich byl vyfrézován vrub. Pro měření byla zvolena zkušební tělesa s V-vrubem. Jejich tvar a rozměry jsou zobrazené na obrázku 3.13 a v tabulce 5.



Obr. 3.13: Zkušební těleso s V-vrubem [6]

Tab. 5: Rozměry zkušební tělesa s V-vrubem [6]

Označení	Značka a číslo	Jmenovitý rozměr	Výrobní tolerance	Třída tolerance
Délka	l	55 mm	$\pm 0,60$ mm	js15
Výška	h	10 mm	$\pm 0,075$ mm	js12
Šířka	w	10 mm	$\pm 0,11$ mm	js13

Označení	Značka a číslo	Jmenovitý rozměr	Výrobní tolerance	Třída tolerance
Úhel vrubu	1	45°	± 2°	-
Výška pod vrubem	2	8 mm	± 0,075	js12
Poloměr zakřivení kořene vrubu	3	0,25 mm	± 0,025	-
Vzdálenost roviny symetrie vrubu od konců zkušebního tělesa	4	27,5 mm	± 0,42	js15
Úhel mezi přilehlými podélnými povrchy zkušebního tělesa	5	90°	± 2°	-



Obr. 3.14: Vyrobený zkušební vzorek

3.2.2. Zvolené teploty měření

Měření na padostroji i na Charpyho kladivu bylo provedeno pro celkem 6 zvolených teplot, pro každou teplotu bylo měřeno 5 vzorků. Zvolené teploty jsou: běžná pokojová teplota (dále také označována jako RT – room temperature); 0 °C; -10 °C; -20 °C; -30 °C a -40 °C. Pro dosažení záporných teplot byla použita laboratorní mraznička ProfiMaster PMU 0450, která je zobrazena na obrázku 3.15.



Obr. 3.15: Laboratorní mraznička ProfiMaster PMU 0450

3.3. Měření na padostroji Inston CEAST 9350

3.3.1. Parametry měření na padostroji

Parametry měření byly nastaveny pomocí připojeného počítače v softwaru CeastVIEW 6.01, který padostroj ovládá. Ještě před samotným zadáním parametrů bylo nejprve nutné zjistit celkovou hmotnost příčnicku a přídavného závaží, čehož bylo docíleno pomocí digitální váhy. Tyto hodnoty pak byly zadány do programu společně s vybráním typu zkoušky a zadáním rozměrů zkušebního tělesa. Po několika zkušebních nastaveních, byla nakonec jako nárazová energie zvolena hodnota 250 J. Ze zadaných údajů software automaticky dopočítal rychlost dopadu a počáteční výšku závaží (výpočty jsou dále uvedeny). Zadané parametry jsou zobrazeny na obrázku 3.16.

4 - Data Acquisition System 64K		5 - Material		6 - Temperature		7 - Options	
1 - General		2a - Type, standard, model		2b - Falling weight settings		3 - Specimen	
Impact Energy	250.000	J	Tup holder mass	1.300	kg		
Impact Velocity	8.47	m/s	Additional mass	4.327	kg		
Falling Height	3656.994	mm	Total Mass	6.971	kg		
Impact Point Offset	0.000	mm					
Extension Length	0.000	mm					
Extension Mass	0.000	kg	Support Type				

Obr. 3.16: Zadané parametry měření na padostroji

Výpočet rychlosti dopadu:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 250}{6,971}} = 8,47 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (20)$$

kde E ... energie dopadu [J]
 m ... hmotnost závaží [kg]
 v ... rychlost dopadu [m/s]

Výpočet počáteční výšky závaží:

$$W = F \cdot s \Rightarrow s = \frac{W}{F} = \frac{E}{m \cdot g} = \frac{250}{6,971 \cdot 9,80665} \cdot 1000 = 3656,994 \text{ [mm]} \quad (21)$$

kde W ... mechanická práce [J]
 F ... gravitační síla od závaží [N]
 s ... výška závaží [mm]
 g ... gravitační zrychlení [m/s²]

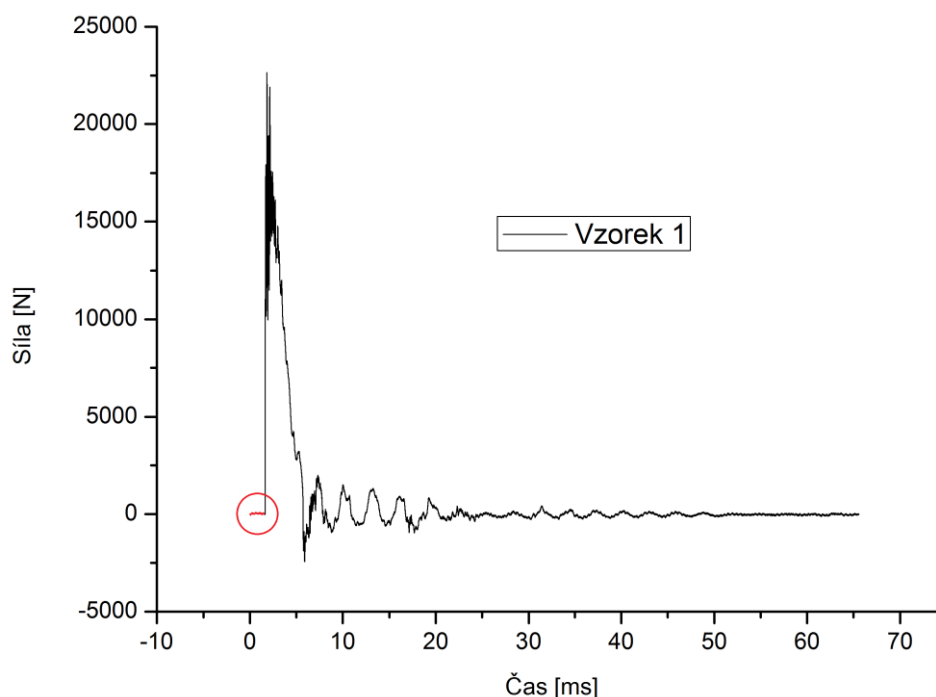
Postup samotného měření pak spočíval ve vložení vzorku do přípravku a spuštění padostroje pomocí připojeného softwaru. Síla rázu v jednotlivých časových okamžicích je měřena pomocí tenzometru, který je

umístěn na vyměnitelném trnu. Vyhodnocení program na základě zjištěné závislosti čas-síla provádí automaticky a to sice dvojnásobnou integrací pro zjištění deformace (průhybu) tělesa. Po sestrojení závislosti síla-deformace pak software pomocí integrace zjistí velikost plochy pod křivkou a získá tak potřebnou práci. Tyto výpočty jsou dále ukázány a ověřeny pomocí softwaru OriginPro 8 SR0.

3.3.2. Výsledky měření na padostroji

Počátek snímání dat na padostroji začíná v okamžiku, kdy příčnick stroje protne optický senzor, jehož poloha se dá nastavit. Aby nedošlo k zaznamenání velkého množství dat, je vhodné mít senzor umístěný tak, aby spuštění měření nenastalo příliš brzy. Spodní poloha je pak omezena brzdou, která zachycuje padající trn tak, aby nedošlo ke srážce s pevnou částí stroje.

Výsledkem měření je tedy zjištění velikosti síly v čase. Z těchto hodnot je možné sestrojit graf závislosti síla-čas. Na obrázku 3.17 je tato závislost ukázána pro vzorek 1 při pokojové teplotě (RT 1).



Obr. 3.17: Závislost síla-čas pro vzorek 1 při pokojové teplotě

Pro zjištění vykonané práce je potřeba zjistit deformaci vzorku. Nejprve je tedy nutné spočítat okamžitou rychlost v každém bodě a poté deformaci. Pro vzorek RT 1 je u tohoto výpočtu vynecháno prvních 1633 bodů měření, kdy příčnick protnul optický senzor, ale ještě při nich nedochází k nárazu (viz vyznačená část na obrázku 3.17). Software padostroje tyto výpočty provádí automaticky, ukázka jejich výsledků je v tabulce 6, jejich ověření je uvedeno dále.

Tab. 6: Vypočítané hodnoty softwarem CeastVIEW 6.01

Bod	Čas [ms]	Síla [N]	Deformace [mm]	Rychlost [m/s]
1	1,633	80,56243	0	8,47
2	1,634	173,296163	0,00847	8,469975
3	1,635	312,396761	0,0169	8,449966
4	1,636	486,27251	0,02535	8,449919
5	1,637	752,881991	0,0338	8,44984
...
63903	65,535	-17,967161	212,646945	3,600542

Výpočet rychlosti a deformace je proveden numerickou integrací, jak je uvedeno v kapitole 2.2.3. Kromě naměřených hodnot je ještě potřeba znát počáteční rychlost a celkovou hmotnost závaží a přičníku, které jsou uvedeny v kapitole 3.3.1.

Výpočet rychlosti pro bod 2:

$$v_1 = 8,47 \left[\frac{m}{s} \right] \quad m = 6,971 \text{ [kg]}$$

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m} \cdot \int_{t_0}^t F(t) \cdot dt$$

$$v(2) = v_1 - \frac{1}{m} \cdot F(2) \cdot (t_2 - t_1)$$

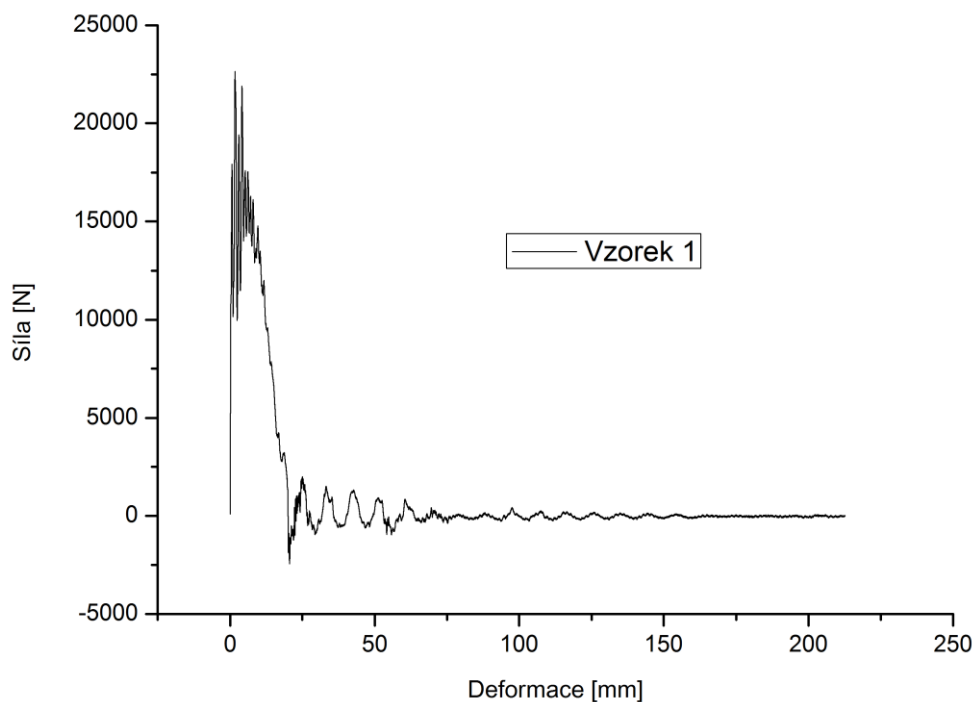
$$v(2) = 8,47 - \frac{1}{6,971} \cdot 173,296163 \cdot \left(\frac{1,634 - 1,633}{1000} \right) = 8,469975 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Výpočet deformace pro bod 2:

$$s(t) = \int_{t_0}^t v(t) \cdot dt$$

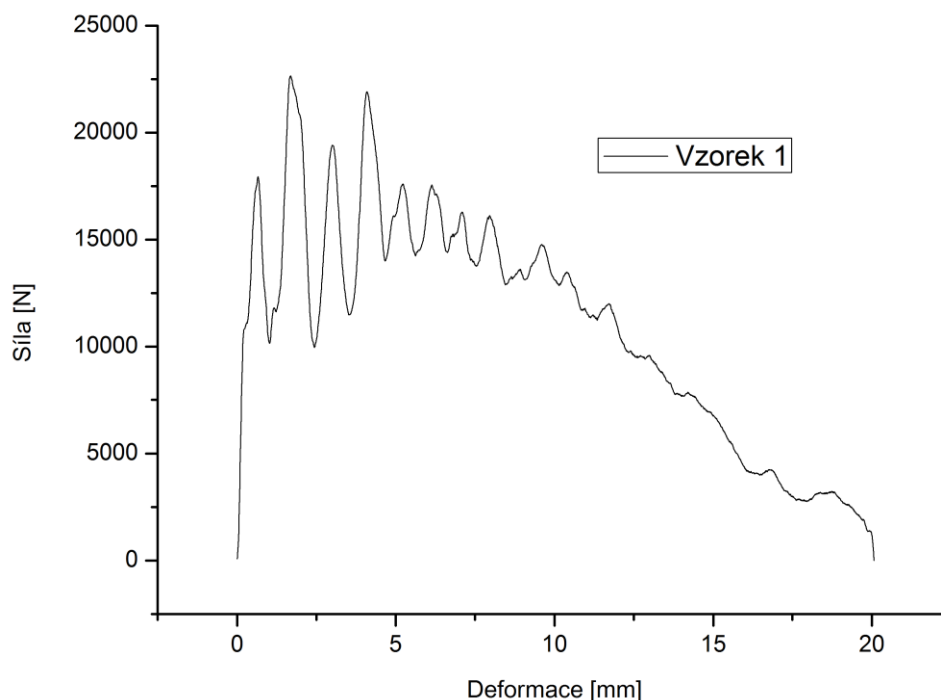
$$s(2) = \int_{t_0}^t v(2) \cdot dt = v(2) \cdot (t_2 - t_1) = 8,469975 \cdot (1,634 - 1,633) = 0,00847 \text{ [mm]}$$

Software padstroje tedy provedl správné výpočty. Po zjištění hodnoty deformace pro všech 63 903 bodů, je možné sestavit potřebný diagram závislosti síla-deformace (obrázek 3.18).



Obr. 3.18: Závislost síly na deformaci pro vzorek RT 1

Software padstroje rovněž automaticky vyhodnocuje velikost celkové práce vynaložené při zkoušce. Tato hodnota je ověřena pomocí softwaru OriginPro 8 SR0. Na obrázku 3.18 je vidět, že po počátečním nárůstu síla klesá, až se dostane do záporných hodnot. Pro zjištění práce se graf omezí pouze na hodnoty, než se síla dostane do záporných hodnot. U tohoto vzorku je tedy graf omezený na prvních 4103 bodů (obrázek 3.19).



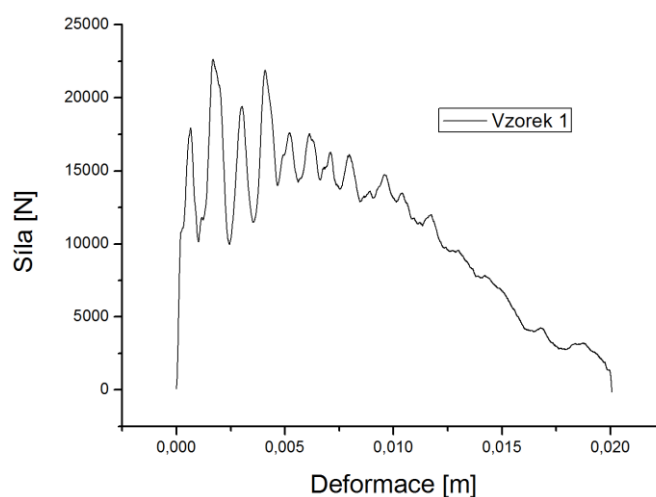
Obr. 3.19: Závislost síla-deformace vzorku RT 1 (omezený)

Porovnání velikosti práce

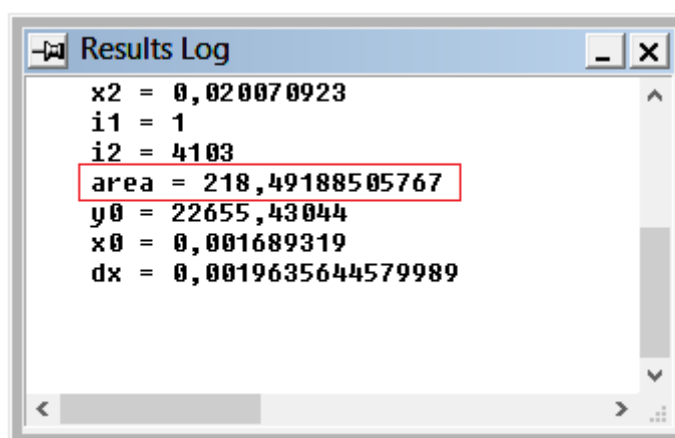
Discard	Manual	N. spec	Total Energy [J]
<input checked="" type="checkbox"/>		1	218.492
<input type="checkbox"/>		2	211.764
<input type="checkbox"/>		3	206.640
<input type="checkbox"/>		4	210.597
<input type="checkbox"/>		5	216.947

Obr. 3.20: Hodnoty práce ze softwaru padostroje CeastVIEW 6.01 (vyznačený porovnávaný vzorek 1)

Pro zjištění hodnoty práce v Jaulech ze softwaru OriginPro 8 bylo nutné sestavit závislost síla [N] – deformace [m] (obrázek 3.21). Po omezení na prvních 4103 bodů byla provedena integrace pro zjištění velikosti plochy pod křivkou a tedy výsledné práce. Výsledek je zobrazený na obrázku 3.22.

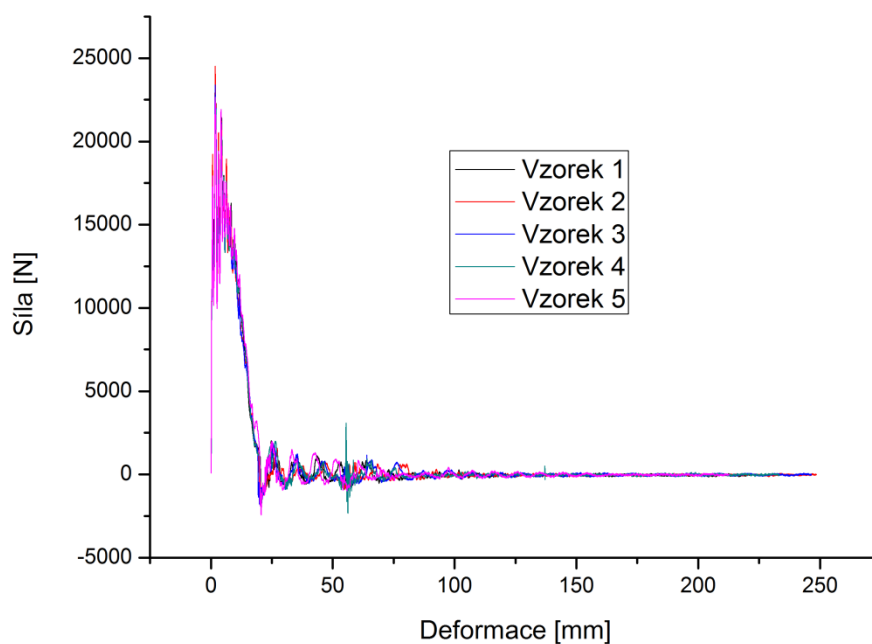


Obr. 3.21: Závislost síla [N] - deformace [m] vzorku RT 1

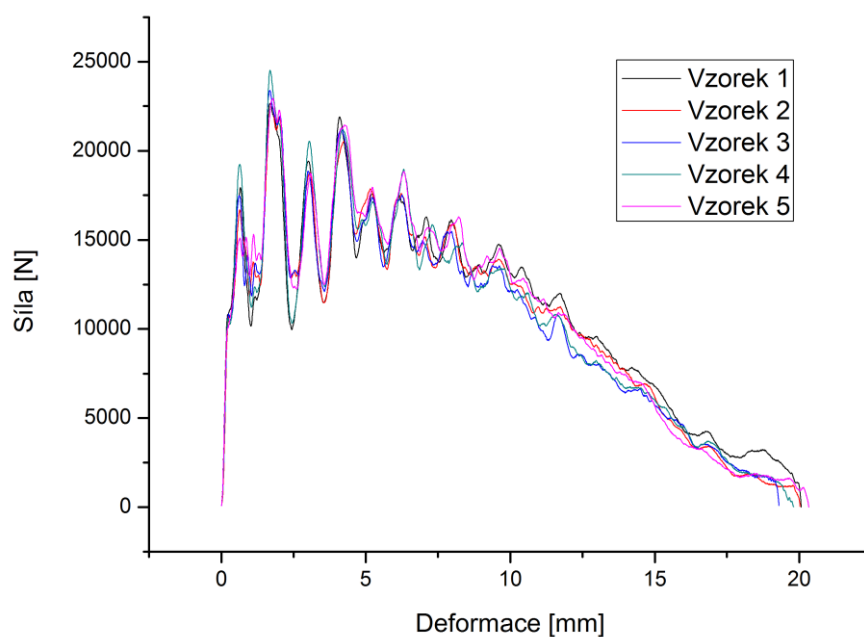


Obr. 3.22: Hodnota práce pro vzorek RT 1 ze softwaru OriginPro 8

Z výsledků (obrázky 3.20 a 3.22) je vidět, že software padostroje počítá správně, dále jsou tedy používány tyto hodnoty. Ověřené hodnoty ze softwaru OriginPro jsou uvedeny jako informativní.

Teplota měření: pokojová teplota (RT)

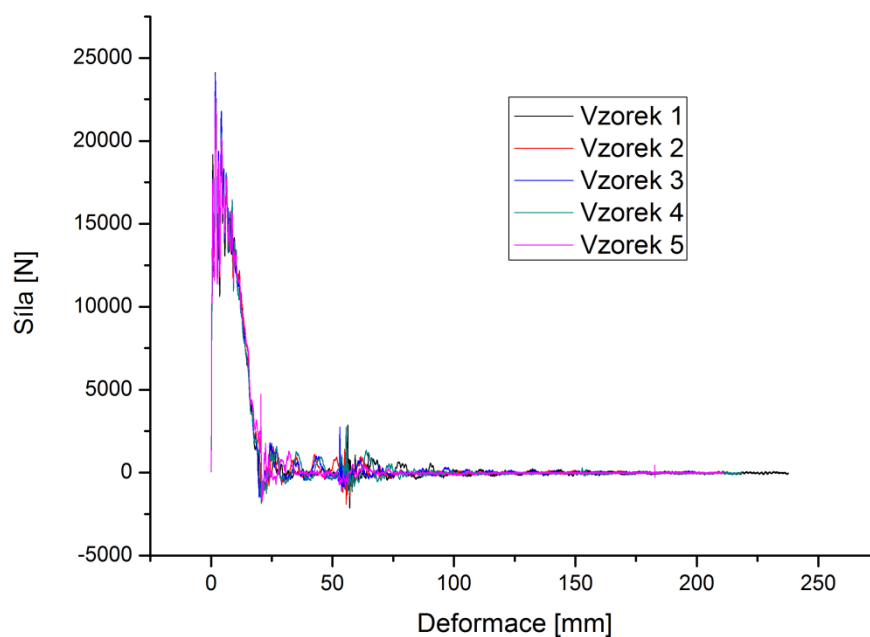
Obr. 3.23: Závislost síla-deformace pro pokojovou teplotu měření



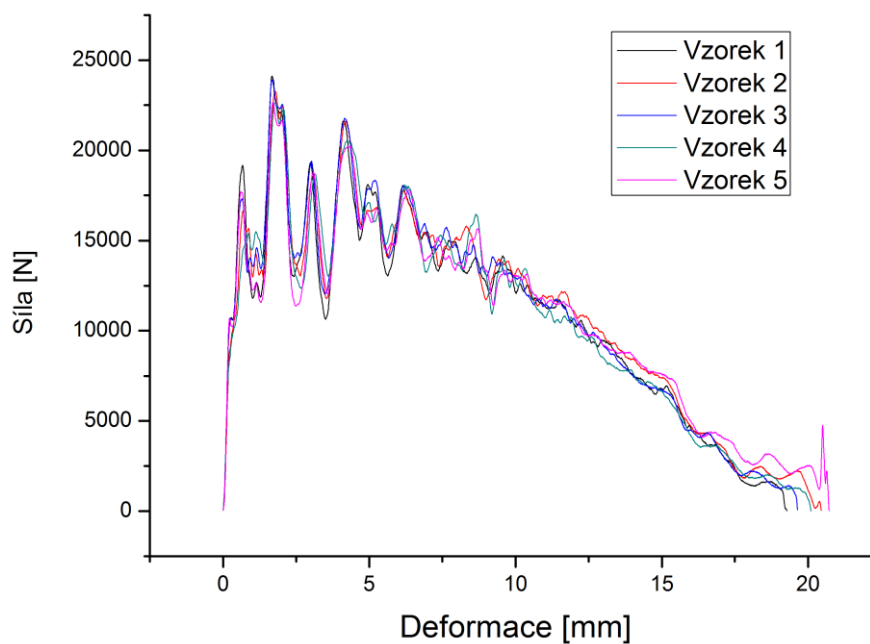
Obr. 3.24: Omezená závislost síla-deformace pro pokojovou teplotu

Tab. 7: Výsledky a porovnání měření pro teplotu RT

	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	218,492	218,492	22 655,430
2	211,764	211,764	22 679,773
3	206,640	206,640	23 389,766
4	210,597	210,599	24 518,799
5	216,947	216,948	22 931,313
Ø	212,888	212,889	23 235,016

Teplota měření: 0 °C

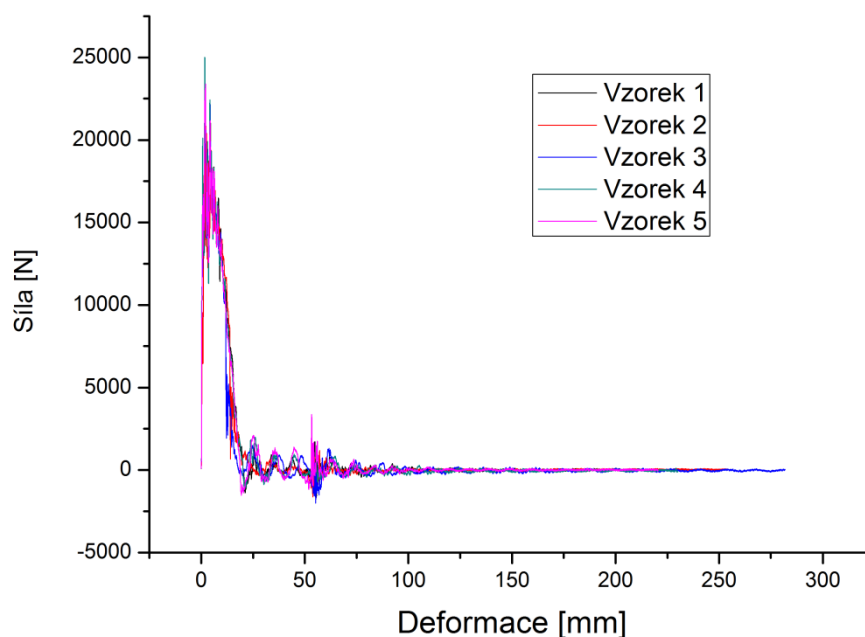
Obr. 3.25: Závislost síla-deformace pro teplotu měření 0 °C



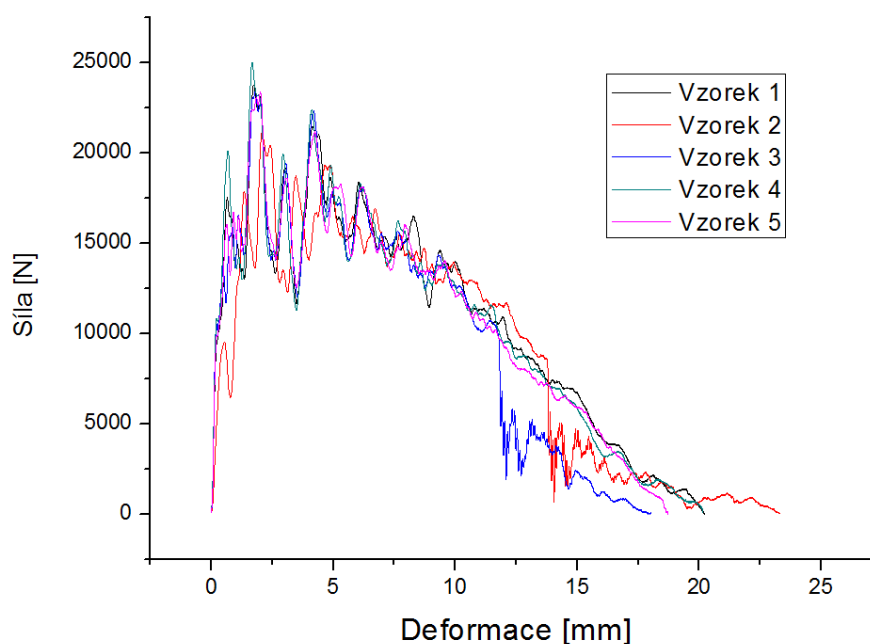
Obr. 3.26: Omezená závislost síla-deformace pro teplotu měření 0 °C

Tab. 8: Výsledky a porovnání měření pro teplotu 0 °C

	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	214,053	214,057	24 114,828
2	221,845	221,846	23 284,861
3	219,394	219,394	23 910,813
4	215,454	215,454	22 646,157
5	221,470	221,470	22 633,986
Ø	218,443	218,444	23 318,129

Teplota měření: -10 °C

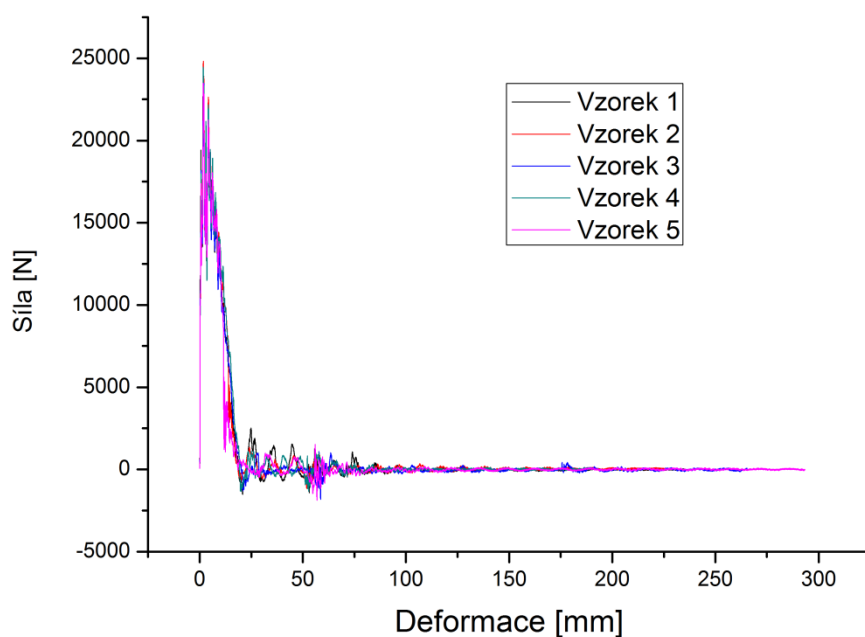
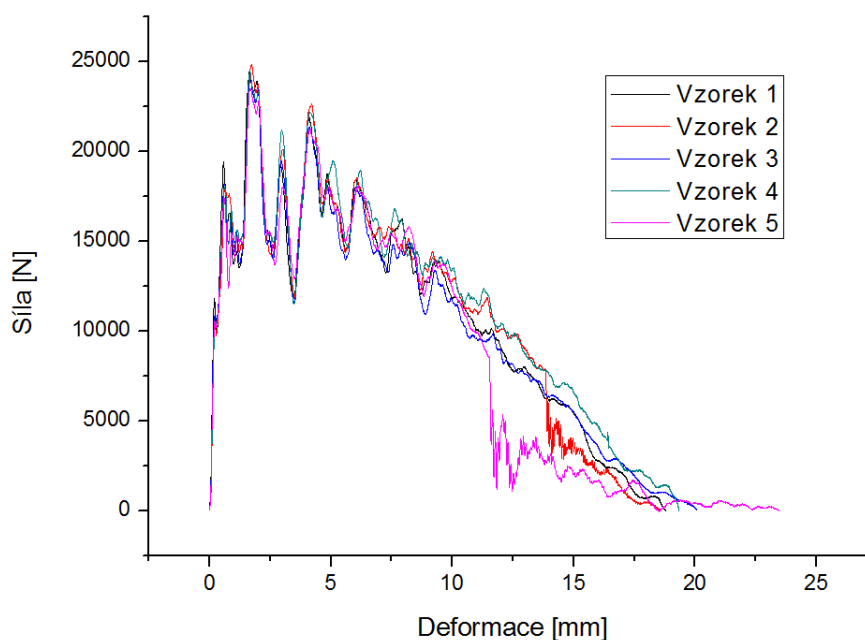
Obr. 3.27: Závislost síla-deformace pro teplotu měření -10 °C



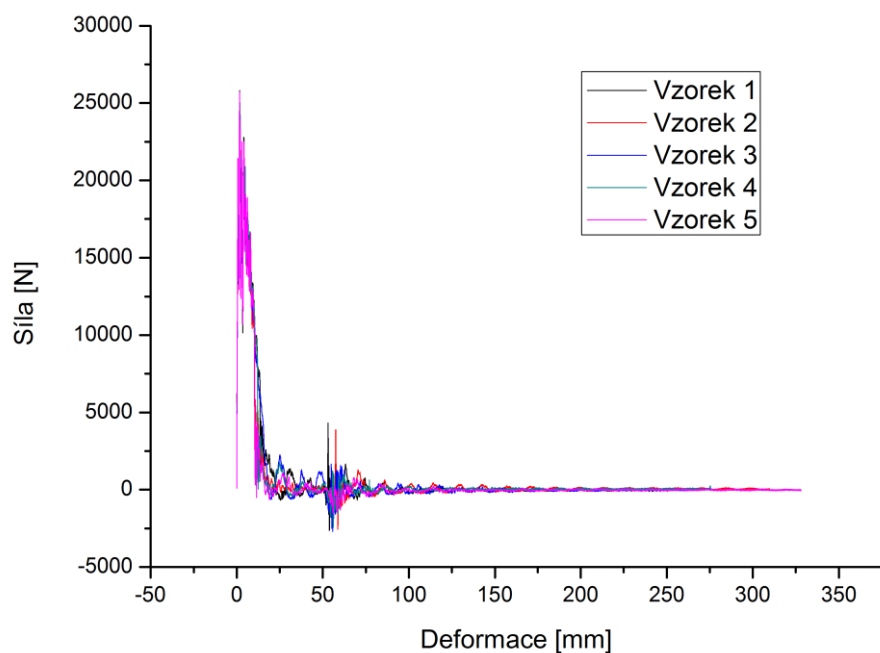
Obr. 3.28: Omezená závislost síla-deformace pro teplotu měření -10 °C

Tab. 9: Výsledky měření pro teplotu -10 °C

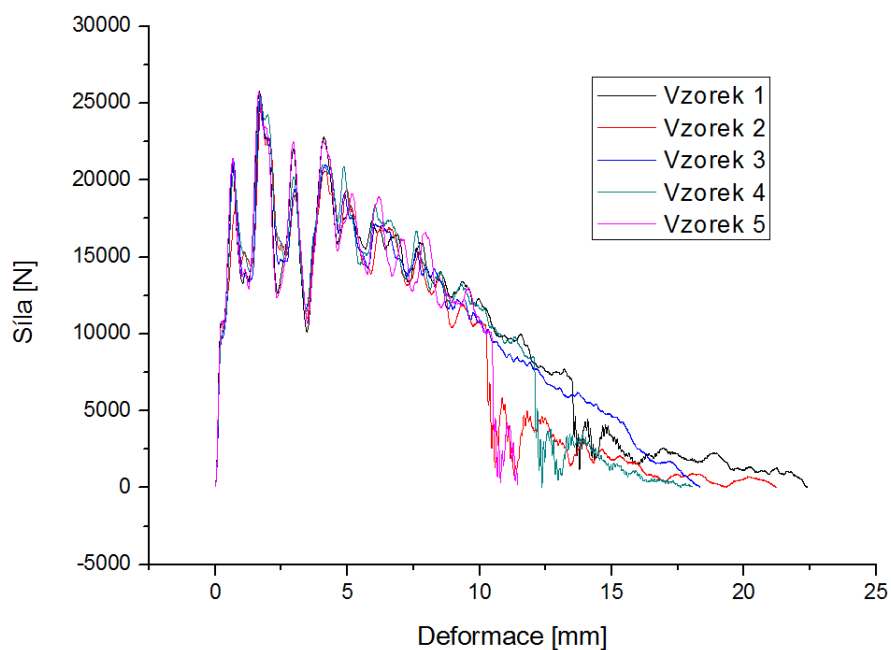
	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	218,932	218,936	23 761,280
2	205,104	205,113	21 185,601
3	190,630	190,650	23 393,823
4	216,085	216,085	25 004,492
5	221,185	211,192	23 381,651
Ø	208,387	208,395	23 345,369

Teplota měření: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Obr. 3.29: Závislost síla-deformace pro teplotu měření $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Obr. 3.30: Omezená závislost síla-deformace pro teplotu měření $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Tab. 10: Výsledky měření pro teplotu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	208,457	208,464	24 405,200
2	209,597	209,605	24 819,604
3	205,578	205,586	23 961,237
4	223,492	223,693	24 472,432
5	188,598	190,185	23 486,557
Ø	207,184	207,507	24 229,006

Teplota měření: -30 °C

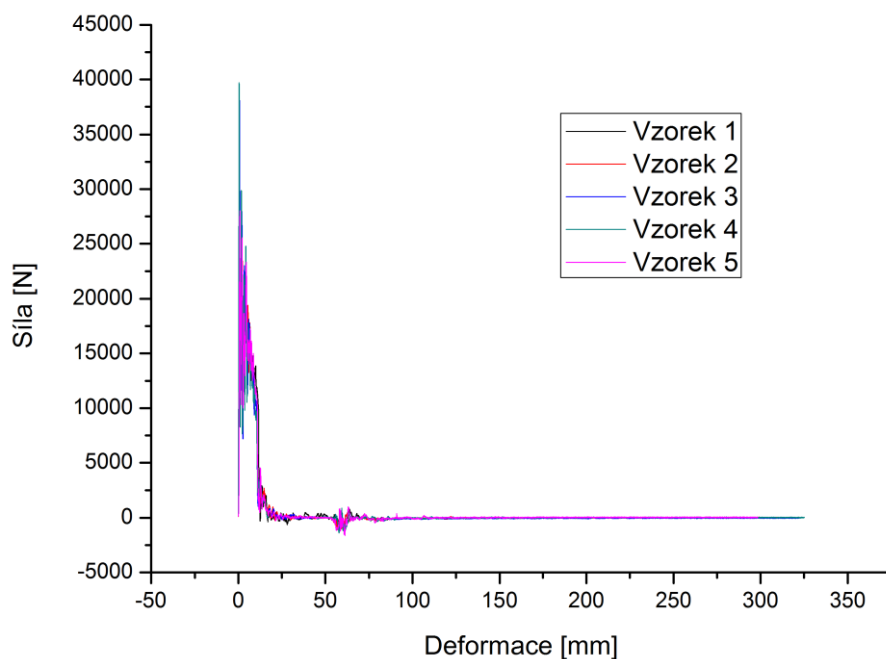
Obr. 3.31: Závislost síla-deformace pro teplotu měření -30 °C



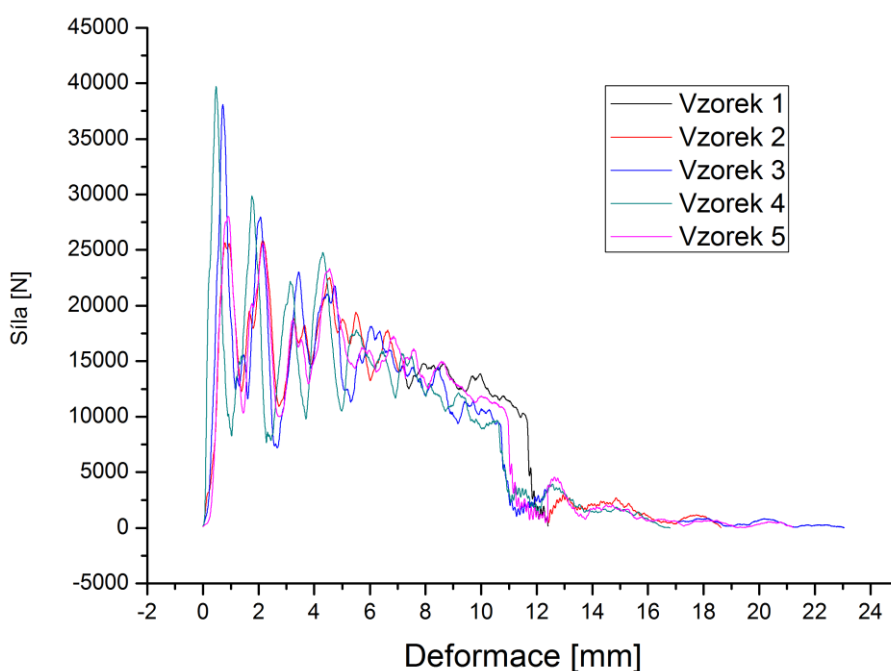
Obr. 3.32: Omezená závislost síla-deformace pro teplotu měření -30 °C

Tab. 11: Výsledky měření pro teplotu -30 °C

	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	206,222	206,228	25 811,275
2	173,999	174,825	24 864,232
3	197,745	197,753	25 422,953
4	180,755	188,845	25 410,781
5	163,964	163,964	25 720,280
Ø	184,537	186,323	25 445,904

Teplota měření: -40 °C

Obr. 3.33: Závislost síla-deformace pro teplotu měření -40 °C



Obr. 3.34: Omezená závislost síla-deformace pro teplotu měření -40 °C

Tab. 12: Výsledky měření pro teplotu -40 °C

	Práce – padostroj [J]	Práce – Origin [J]	Maximální síla [N]
1	176,582	176,582	28 027,032
2	181,782	181,784	25 819,839
3	174,810	176,238	38 079,948
4	173,904	173,934	39 713,801
5	178,536	178,434	28 525,541
Ø	177,123	177,394	32 033,232

3.4. Měření na Charpyho kladivu

3.4.1. Charpyho kladivo

Druhé měření bylo provedeno na rázovém kladivu Charpy PSW 5 na katedře materiálu Technické Univerzity v Liberci. Kladivo je zobrazeno na obrázku 3.35. Postup měření spočívá v umístění ramena kladiva do horní polohy, vložení zkušebního vzorku a vynulování měřící stupnice. Měření je potom spuštěno pomocí dvou pák a po nárazu břitu kladiva na vzorek, dojde k zaregistrování absorbované energie na měřící stupnici. Velikost energie se odečte a zaznamená.



Obr. 3.35: Rázové kladivo Charpy PSW 5

3.4.2. Parametry měření na Charpyho kladivu

Tab. 13: Parametry měření na Charpyho kladivu

Energie dopadu E	30 kpm = 294,3 J
Hmotnost závaží m	18,75 kg
Délka ramena l	825 mm

3.4.3. Výsledky měření na Charpyho kladivu

Výsledky měření na Charpyho kladivu jsou uvedeny v tabulce 14. Pro každou teplotu bylo provedeno 5 měření, po kterých následovalo odečtení absorbované energie v Jaulech na stupnici a označení vzorku.

Tab. 14: Výsledky měření na Charpyho kladivu

Teplota měření	-40 °C	-30 °C	-20 °C	-10 °C	0 °C	RT
Číslo vzorku	[J]	[J]	[J]	[J]	[J]	[J]
1	156	178	203	212	197	190
2	144	179	186	204	219	194
3	160	182	205	188	197	194
4	152	185	189	197	217	194
5	145	184	202	196	213	188
Ø	151	182	197	199	209	192

4. Vyhodnocení

Porovnání výsledků z padostroje a z Charpyho kladiva

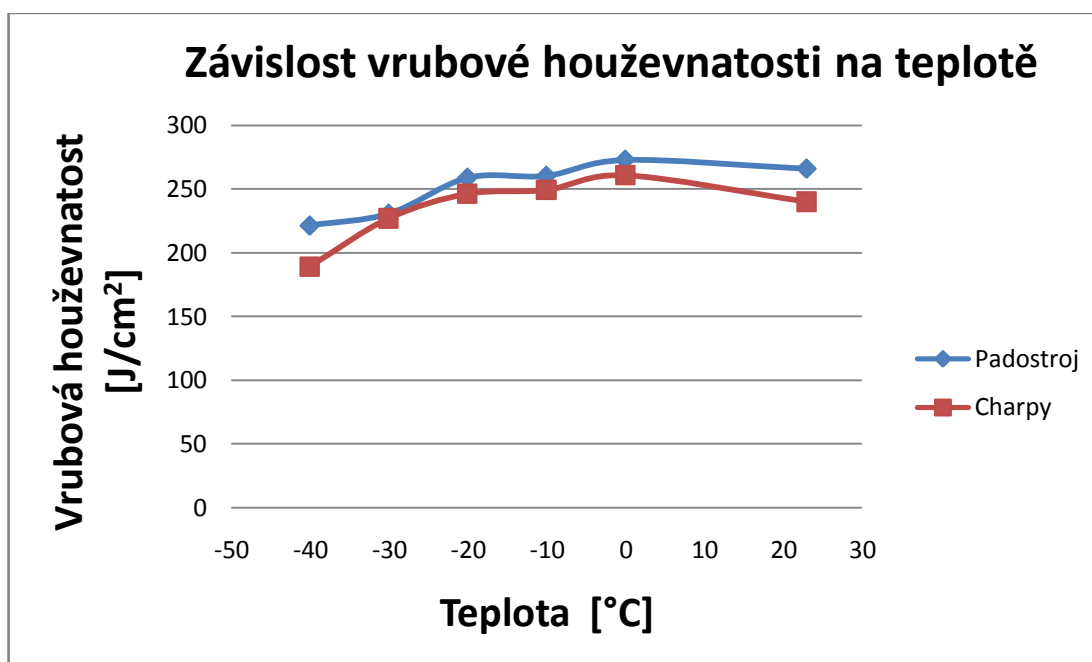
Rázové vlastnosti materiálu bývají uváděny ve formě velikosti hodnoty vrubové houževnatosti. Ta se jednoduše získá přepočtem ze získané nárazové práce, resp. absorbované energie podělením průřezem zkušebního tělesa v místě vrubu, jak je uvedeno v kapitole 2.2.3. V tomto případě se jedná o průřez 0,8 x 1 cm. V tabulce 15 je uvedeno porovnání hodnot nárazové práce z padostroje a absorbované energie z Charpyho kladiva. V tabulce 16 jsou pak tyto hodnoty přepočtené na vrubovou houževnatost. Vztahy mezi jednotlivými hodnotami jsou stejné, pro vyhodnocení jsou dále uvažovány hodnoty z tabulky 16. Na obrázku 4.1 jsou vypočítané výsledky znázorněny v grafické podobě.

Tab. 15: Porovnání výsledků na padostroji a Charpyho kladivu

Teplota	Padostroj	Charpy
[°C]	[J]	[J]
RT	212,888	192
0	218,443	209
-10	208,387	199
-20	207,184	197
-30	184,537	182
-40	177,123	151

Tab. 16: Porovnání vypočítaných vrubových houževnatostí

Teplota	Padostroj	Charpy	Rozdíl
[°C]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[%]
RT	266,1	240,0	9,8
0	273,1	260,8	4,5
-10	260,5	249,3	4,3
-20	259,0	246,3	4,9
-30	230,7	227,0	1,6
-40	221,4	189,3	14,5



Obr. 4.1: Závislost vrubové houževnatosti na teplotě měření

Již při prvním pohledu na výsledný graf porovnání obou měření na obrázku 4.1 je vidět, že naměřené hodnoty se ne při všech teplotách shodují. Norma ČSN EN ISO 14556, která předepisuje zkoušku rázem v ohybu metodou Charpy v instrumentovaném provedení uvádí, že instrumentovaný způsob a neinstrumentovaný způsob (číselník) této zkoušky měří podobné, ale různé veličiny. Z tohoto důvodu pak lze očekávat rozdíl obou hodnot. Nicméně tento rozdíl by neměl být výrazný. Při teplotách 0 °C, -10 °C, -20 °C a -30 °C je rozdíl menší než 5 procent, při zbylých měřeních je blízko hodnoty 10 procent (RT), nebo ji výrazně překračuje (-40 °C).

Z měření na padostroji vyplývá, že u zvolené zkoumané oceli ČSN 41 1373 nejprve při ochlazení z pokojové teploty na 0 °C dochází ke zvýšení hodnoty vrubové houževnatosti, při dalším ochlazení pak nastává stálý pokles této hodnoty. Výsledky Charpyho zkoušky potvrzují počáteční růst při ochlazení na 0 °C, stejně jako následný pokles při všech dalších měřeních teplotách.

Z výsledků je tedy zřejmé, že obě metody vykazují shodný průběh závislosti vrubové houževnatosti na teplotě u tohoto materiálu. V čem se měření liší, jsou pouze číselné hodnoty vrubové houževnatosti s tím, že tento rozdíl je největší u pokojové teploty a při teplotě -40 °C. Při bližším pohledu na výsledky zároveň můžeme konstatovat, že v rozmezí teplot -10 °C a -20 °C se projevují jen nepatrné změny, zatímco při teplotě -40 °C nastává poměrně výrazný pokles vrubové houževnatosti.

V kapitole 2.4 je uvedeno, že při zkoušení materiálu za nízkých teplot dochází k poklesu vrubové houževnatosti. Tento fakt je potvrzen s tím, že zmíněný pokles se projevuje od teploty -10 °C. Při teplotě 0 °C nejprve nastává nárůst této hodnoty.

Velikost vrubové houževnatosti, zjišťované u téže oceli, ve stejném stavu, při zkouškách provedených ze stejných zkušebních polotovarů, závisí na mnoha okolnostech. Ty souvisí s výrobou a úpravou zkušebních vzorků, s provedením vlastní zkoušky, s nastavenými parametry zkoušky a také se seřízením zkušebního stroje.

Všechny vyrobené vzorky pro tato měření byly zhotoveny stejným způsobem, takže tento vliv se asi mohl projevit jen nepatrně. Dosažení zkušebních teplot vzorků bylo rovněž totožné, a tedy normou ČSN ISO 148-1 předepsaná tolerance teploty měření ± 2 °C byla dodržena. Padostroj i Charpyho kladivo jsou přístroje zkaližované a tudíž by měly podávat spolehlivé výsledky. Rozdíl mezi oběma měřeními tak může být do jisté míry způsoben odlišnou energií dopadu. Zatímco u padostroje je to 250 J, u Charpyho kladiva je to 294,3 J.

Pokud vezmeme v úvahu zmíněný rozdíl energií dopadu spolu s uvedeným faktem, že obě metody neměří stejné, ale podobné veličiny, dal se asi částečný rozdíl výsledků obou metod opravdu předpokládat.

Analýza rozptylu vypočítaných hodnot

Z vypočítaných hodnot vrubové houževnatosti můžeme určit, zda na její velikost má teplota statisticky významný vliv pomocí analýzy rozptylu (ANOVA z anglického ANalysis Of Variance). Tento výpočet byl proveden pro obě měření v programu Microsoft Excel na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Výsledkem jsou dvě tabulky – faktor (tabulka 17, resp. 19) a ANOVA (tabulka 18, resp. 20).

Tab. 17: Tabulka faktor pro výsledky z padostroje

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
-40 °C	5	1107,0	221,4	15,5
-30 °C	5	1153,4	230,7	466,1
-20 °C	5	1294,9	259,0	245,3
-10 °C	5	1302,4	260,5	197,0
0 °C	5	1365,3	273,1	19,5
RT	5	1330,6	266,1	36,5

Tab. 18: Tabulka ANOVA pro výsledky z padostroje

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F _{krit}
Mezi výběry	10769,2	5	2153,8	13,2	3,09E-06	2,6
Všechny výběry	3919,7	24	163,3			
Celkem	14688,9	29				

Při vyhodnocení analýzy rozptylu je nejprve nutné stanovit hypotézu a poté, na základě výsledků výpočtů rozhodnout, zda hypotéza platí. V tomto případě je hypotéza následující: H_0 – hodnoty teploty nemají na hodnoty vrubové houževnatosti žádný vliv; H_1 – negace H_0 . Hodnota F z tabulky 18 vyjadřuje testové kritérium $T=13,2$. Hodnota F_{krit} rozděluje číselnou řadu na obor přijetí $\langle 0; 2,6 \rangle$ a na kritický obor $(2,6; +\infty)$. Testové kritérium leží v tomto případě v intervalu kritického oboru, tzn., že hypotéza H_0 je zamítnuta. Výsledkem tedy je, že na hodnoty vrubové houževnatosti naměřené na padostroji má zkušební teplota statisticky významný vliv.

Tab. 19: Tabulka faktor pro výsledky z Charpyho kladiva

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
-40 °C	5	946,3	189,3	74,7
-30 °C	5	1135,0	227,0	14,5
-20 °C	5	1231,3	246,3	121,1
-10 °C	5	1246,3	249,3	127,8
0 °C	5	1303,8	260,8	182,5
RT	5	1200,0	240,0	12,5

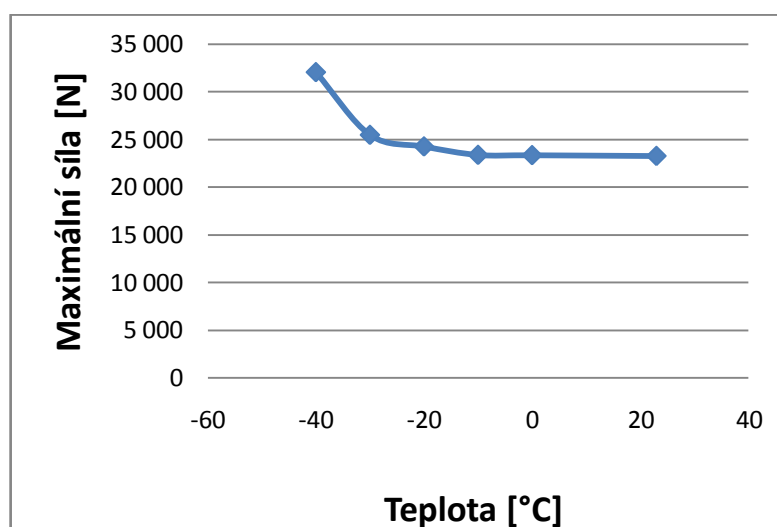
Tab. 20: Tabulka ANOVA pro výsledky z Charpyho kladiva

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F _{krit}
Mezi výběry	15868,5	5	3173,7	35,7	2,33E-10	2,6
Všechny výběry	2132,5	24	88,85			
Celkem	18001,0	29				

U výsledků získaných z Charpyho kladiva platí stejné hypotézy jako u padostroje. Testovým kritériem je zde $T=35,7$, intervaly oboru přijetí a kritického oboru jsou totožné. Stejně jako v předchozím případě leží testové kritérium v intervalu kritického oboru a opět se tedy potvrzuje, že hodnoty teploty mají vliv na velikost vrubové houževnatosti.

Závislost maximální síly na teplotě

V normě ČSN EN ISO 14556 je rovněž uvedeno, že při instrumentované metodě měření v případě zkušebního tělesa s V-vrubem leží nominální nárazová síla pro všechny typy ocelí v rozmezí od 10 kN do 40 kN. Z měření na padostrojích potom můžeme vyhodnotit závislost maximální síly na teplotě. Z grafu na obrázku 4.2 je vidět, že hodnota maximální síly je při ochlazování z pokojové teploty nejprve relativně konstantní (resp. nepatrně stoupá), největším skokem je potom výrazný nárůst při teplotě $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 4.2: Závislost maximální síly na teplotě při měření na padostrojích

5. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout přípravek pro měření rázových vlastností na padostroji Instron CEAST 9350 a funkčnost přípravku ověřit při reálném měření na zvoleném materiálu ČSN 41 1373. Na základě získaných výsledků pak vyhodnotit, zda je navržený způsob měření vhodný pro měření vrubové houževnatosti. Práce je rozdělena na dvě hlavní části – teoretickou a experimentální.

V teoretické části jsou nejprve popsány nejpoužívanější mechanické zkoušky pro hodnocení vlastností kovů. Představeny jsou metody destruktivní i nedestruktivní. Zkouška rázem a její různé varianty jsou probrány nejpodrobněji. Poslední úsek teoretické části je věnován zkoumání vlivu teploty na mechanické vlastnosti kovů.

V experimentální části byl nejprve představen padostroj Instron CEAST 9350. Následně je proveden konstrukční návrh přípravku pro testy vrubové houževnatosti. Zhotovená výkresová dokumentace nutná pro výrobu přípravku je součástí příloh DP. Vlastní výroba přípravku byla zajištěna externí firmou na základě podkladů vypracovaných v DP. Pro ověření deklarovaných mechanických hodnot testovaného materiálu ČSN 41 1373 byla provedena statická zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 a výsledky měření potvrzující jakost materiálu jsou uvedeny v předkládané práci.

Samotné měření závislosti vrubové houževnatosti na teplotě při použití padostroje Instron CEAST 9350 proběhlo v dílnách katedry strojírenské technologie TU v Liberci. V práci je představena příprava, průběh i vyhodnocení provedeného experimentu při použití tohoto zařízení. Vzhledem k tomu, že v průběhu celého experimentu se nevyskytly žádné problémy vyplývající z konstrukčního návrhu přípravku, lze tuto část DP považovat za úspěšně zvládnutou. Dalším dílčím cílem DP bylo porovnání výsledků měření vrubové houževnatosti na strojích umožňujících instrumentovanou formu měření (padostroj Instron) a neinstrumentovanou formu (Charpyho kladivo). Srovnávací měření na Charpyho kladivu bylo realizováno v laboratořích katedry materiálu TU v Liberci. Získány tak byly dvě sady výsledků, díky kterým pak bylo možné vyhodnotit, zda navržený systém měření pomocí přípravku na padostroji podává spolehlivé výsledky.

Ideálním výsledkem by bylo, kdyby naměřené hodnoty z obou typů měření byly stejné, případně jen relativně málo rozdílné. Toho bylo dosaženo u 4 z 6 teplot měření (0 °C, -10 °C, -20 °C, -30 °C), kdy rozdíl nedosahoval ani 5%, zatímco při teplotě pokojové je rozdíl 9,8% a při teplotě -40 °C dokonce 14,5%. Průběh závislosti vrubové houževnatosti na teplotě vyšel z obou měření stejný a zároveň byl potvrzený předpoklad uvedený v teoretické části o poklesu hodnot vrubové houževnatosti za nízkých teplot.

Zjištěním a vyhodnocením závislosti vrubové houževnatosti na teplotě pro oba způsoby měření tak byla splněna další část experimentu. Zbývá tedy rozhodnout, zda použitý systém měření pomocí padostroje s navrženým přípravkem je vhodný pro zjišťování rázových vlastností materiálu. Když vezmeme v potaz v předchozí kapitole zmíněný fakt, že hodnoty mezi instrumentovanou a neinstrumentovanou metodou měření se budou nepatrně lišit a skutečnost, že obě měření vykazují stejný průběh závislosti, domnívám se, že padostroj Instron CEAST 9350 a navržený způsob měření je k zjišťování vhodný.

Pro přesnější ověření, zda obě metody měření jsou stejné, by možná bylo výhodnější netestovat jednotlivé teploty, ale provést měření zaměřující se na vyloučení jednotlivých okolních podmínek. Znamenalo by to například realizovat měření při jedné teplotě se snahou použít co nejvíce homogenní materiál pro oba způsoby. Docíleno by toho bylo při řezání vzorků z výchozího polotovaru, kdy první vzorek by byl použit na padostroj, druhý na Charpyho kladivo, třetí zase na padostroj atd. Dále by možná bylo vhodné nastavit parametry měření (energii dopadu) pro oba stroje stejnou. V neposlední řadě by také bylo možné zkontrolovat obě měřicí zařízení, ať už by se jednalo například o tření stroje nebo jejich kalibraci.

Seznam použité literatury

- [1] PTÁČEK L. A KOLEKTIV: Nauka o materiálu I. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o, 2003. ISBN 80-7204-283-1
- [2] WALLA V.: Zkoušení ocelí a ostatních kovů, Práce – vydavatelstvo ROH, 1952
- [3] ZEDNÍK V.: Zkoušení kovů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957
- [4] JAREŠ V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie. Praha: ACADEMIA nakladatelství Československé akademie věd, 1966
- [5] VELES, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov, ALFA Bratislava, 1989
- [6] ČSN ISO 148-1 Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda
- [7] ČSN EN ISO 14556 Ocel – Zkouška rázem v ohybu na kyvadlovém kladivu tyčí Charpy s V-Vrubem – Instrumentovaná zkušební metoda
- [8] Informační brožura Instron CEAST 9300 Series. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.instron.com/~media/literature-library/products/2010/02/ceast-9300-series.pdf?la=en>
- [9] ČSN EN ISO 148-2 – Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 2: Ověřování zkušebních strojů
- [10] Přehled vlastností oceli s235. [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Zkušební protokol z tahové zkoušky
- Příloha č. 2: Výrobní výkres sloupku
- Příloha č. 3: Výrobní výkres vyměnitelné vložky
- Příloha č. 4: Výrobní výkres příčné vzpěry
- Příloha č. 5: Výkres sestavy přípravku
- Příloha č. 6: Výrobní výkres hlavy břítu
- Příloha č. 7: Výrobní výkres závitové tyče
- Příloha č. 8: Výkres sestavy břítu
- Příloha č. 9: Výrobní výkres zkušebního vzorku

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1 VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : ČSN 41 1373

Norma: : ČSN EN ISO 6892-1

Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

Rozměr vzorku: : průměr 10 mm

Vypracoval: : Bc. Pavel Jirků

Datum zkoušky: : 27.4. 2015

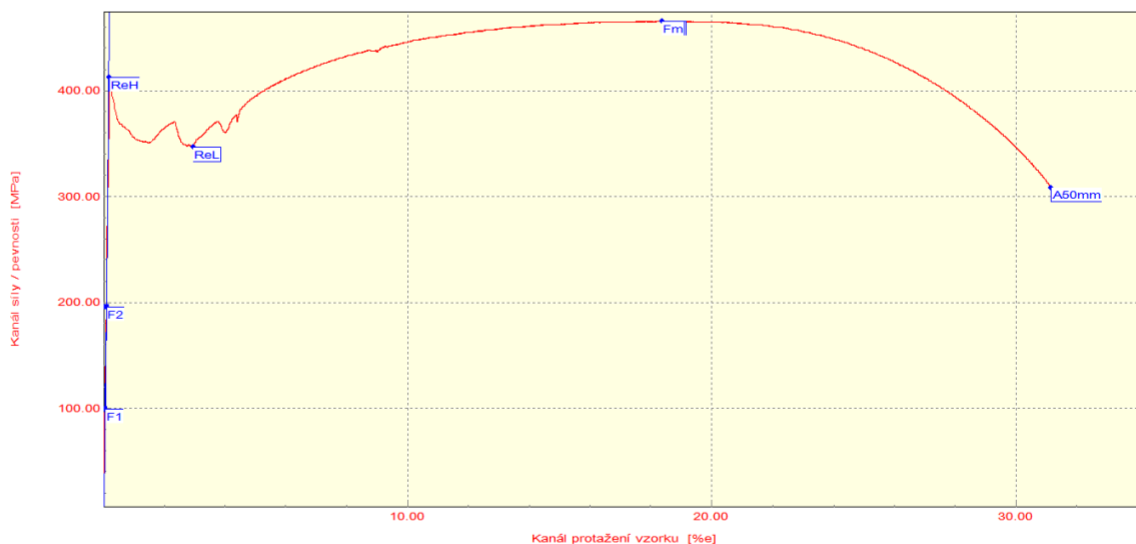
Směr odebrání vzorku :

Podmínky měření : teplota RT, L0=50mm, KAF 100 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	ReH MPa	ReL MPa	Rm MPa	Ag %	A50mm %
1	412.8	346.3	466	18.15	31.02
2	389.4	331.6	445	18.62	32.26
3	380.3	332.9	446	18.87	31.23
4	414.4	347.7	467	17.79	30.41
5	391.0	332.9	447	19.00	32.92

Statistika	ReH MPa	ReL MPa	Rm MPa	Ag %	A50mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	397.6	338.3	454	18.49	31.57
Směrodatná odchylka	15.2	8.0	11	0.51	1.01



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

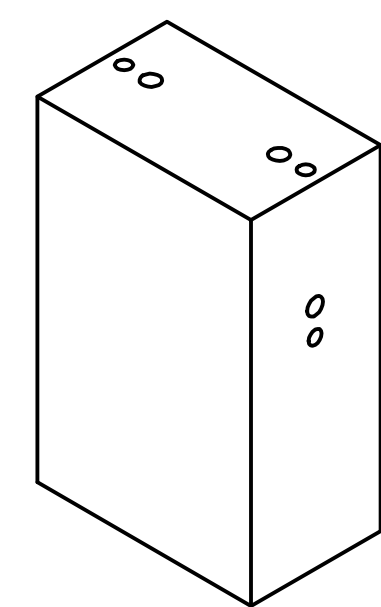
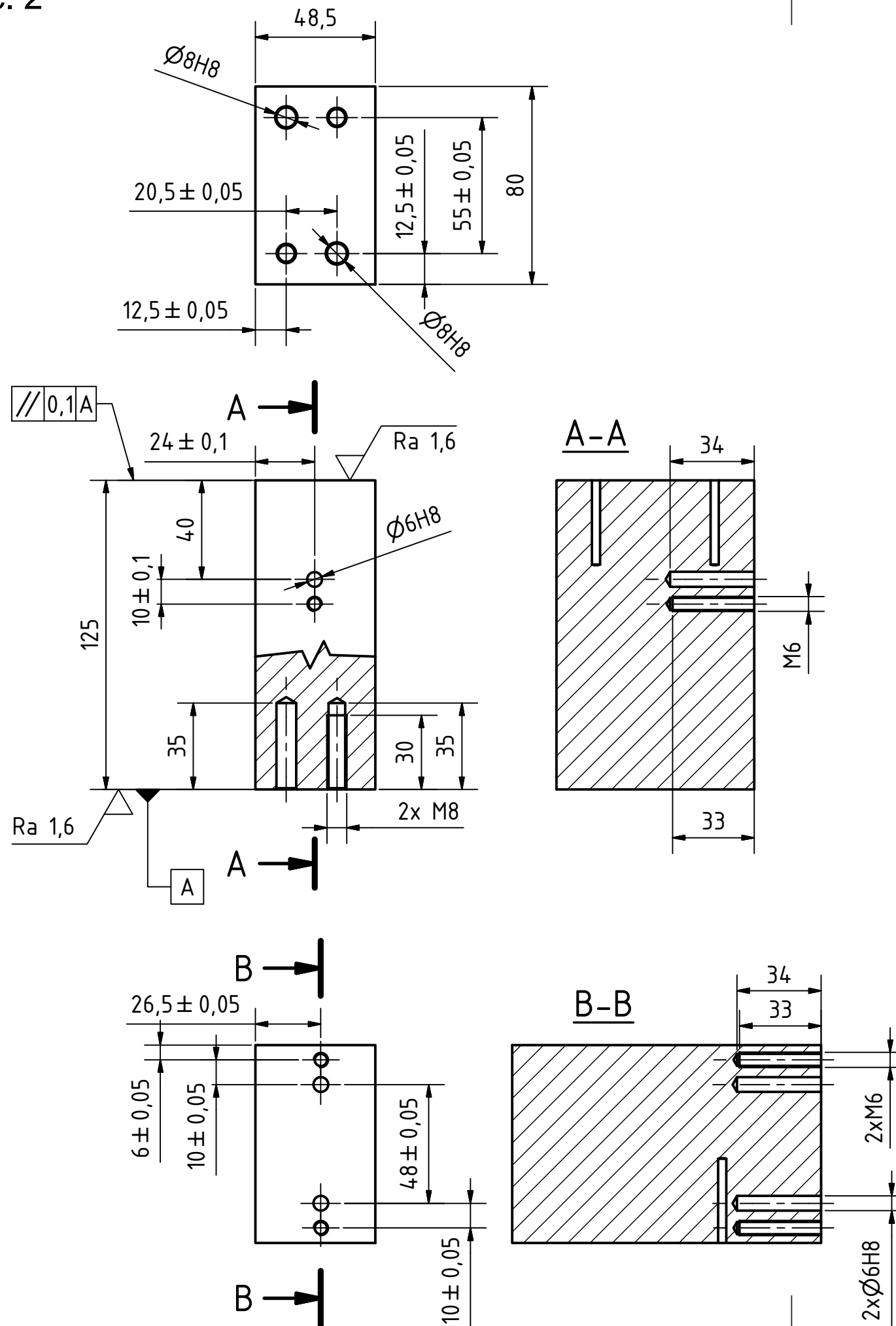
Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

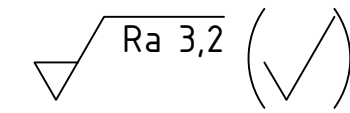
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Příloha č. 2

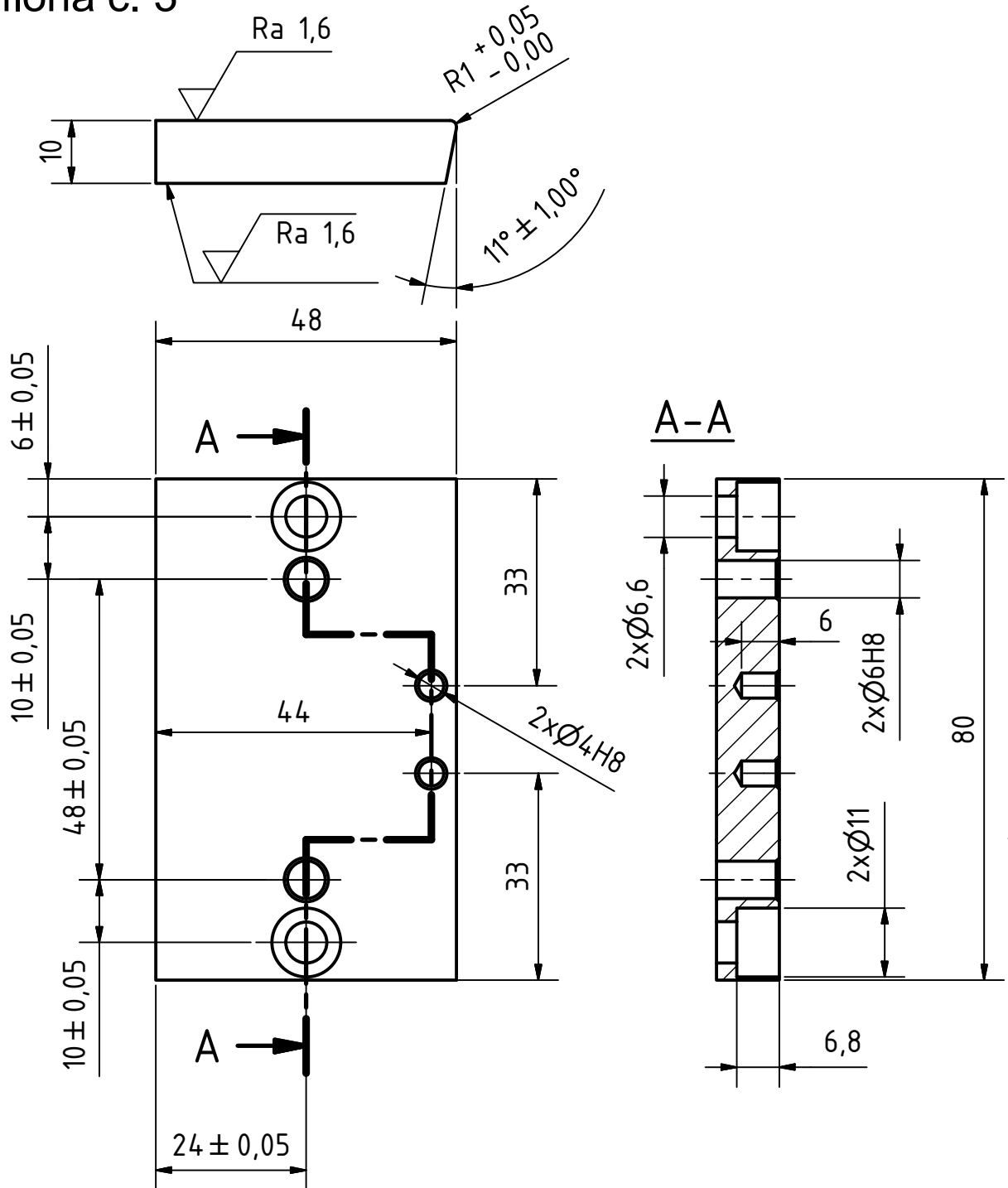


NEKÓTOVANÁ SRAŽENÍ 0,5x45°

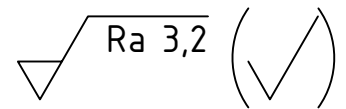


Rozm.-Polot.	PLO 50x90-130		ČSN 42 5522		PŘESNOST ISO 2768-mk	
	c)		Mater.	11 500	Tř. odp.	001
	b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg
	a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
Změna			Datum	Index	Podpisy	PROMÍTÁNÍ
Měřítko	Pozn.	Navrhl	TU v Liberci SLOUPEK			
1:2		Kreslil				
		Přezkoušel				
Č.seznamu		Technolog	Typ			
Č.sestavy		Normaliz.	Čís.výkresu			
Starý výkr.		Schválil	DP-01			
Nový výkr.		Datum	31.03.2015	List		

Příloha č. 3

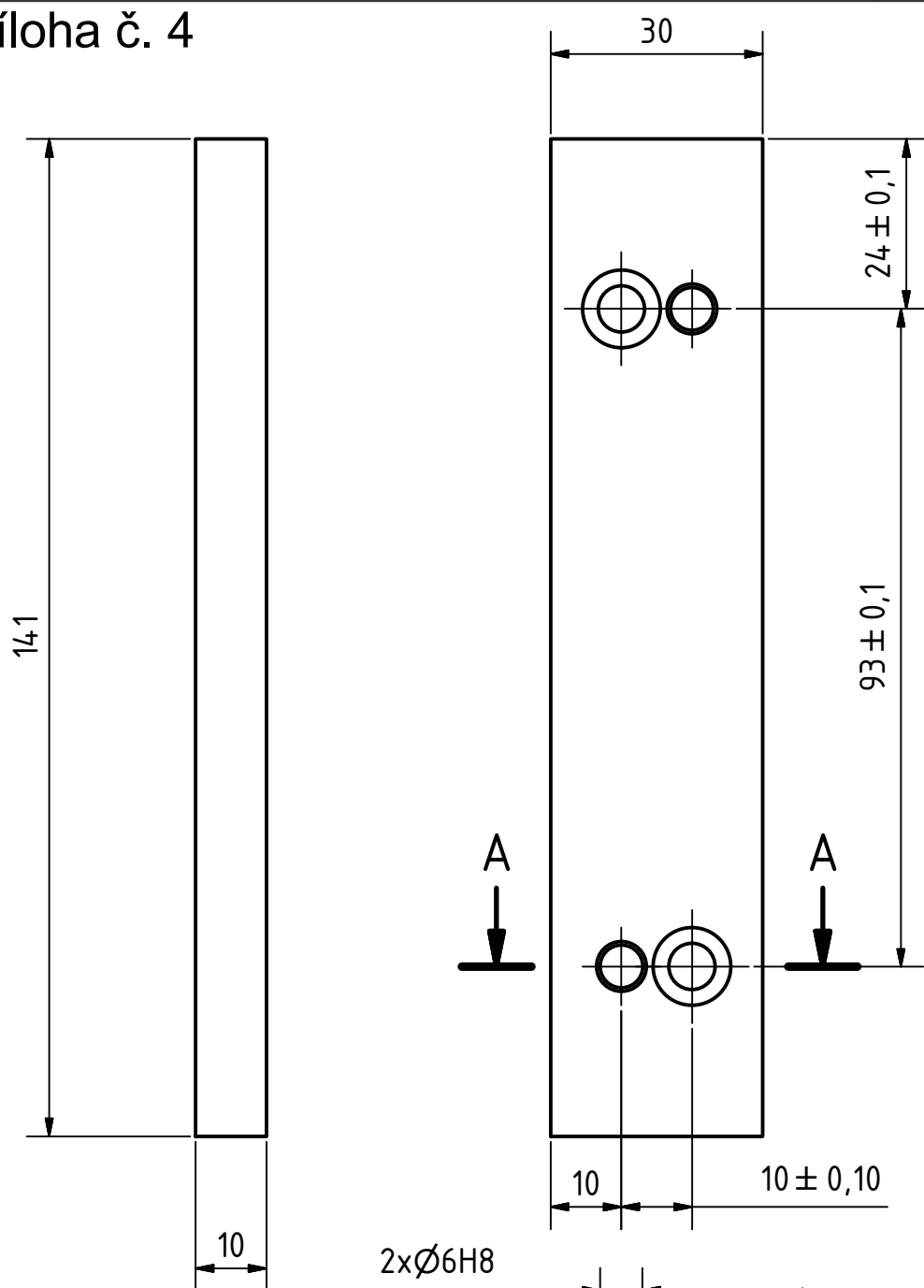


NEKÓTOVANÁ SRAŽENÍ 0,5x45°



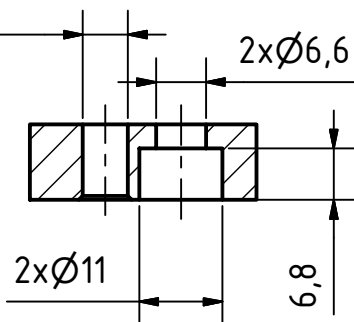
Rozm.-Polot.		PLO 50x10-85		ČSN 42 5522		PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 500	Tř. odp.	001
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg
		a)				TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
						PROMÍTÁNÍ	
Změna		Datum	Index				
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Podpisy	TU v Liberci VLOŽKA			
1:1		Kreslil	Jirků	Název			
		Přezkoušel		Typ			
Č.seznamu		Technolog		Čís.výkresu			
Č.sestavy		Normaliz.		DP-02			
Starý výkr.		Schválil		List			
Nový výkr.		Datum	31.03.2015				

Příloha č. 4



2xØ6H8

A-A

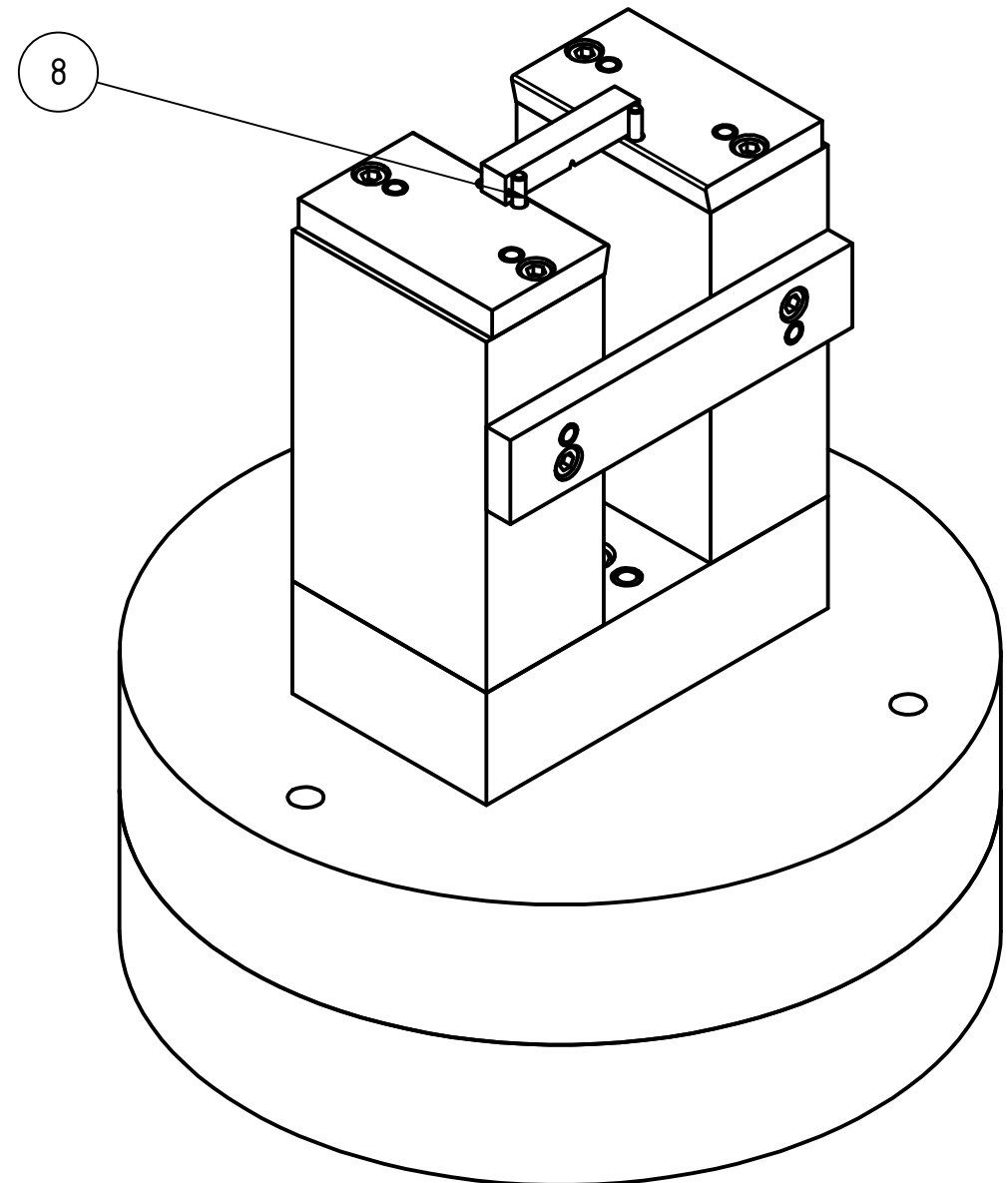
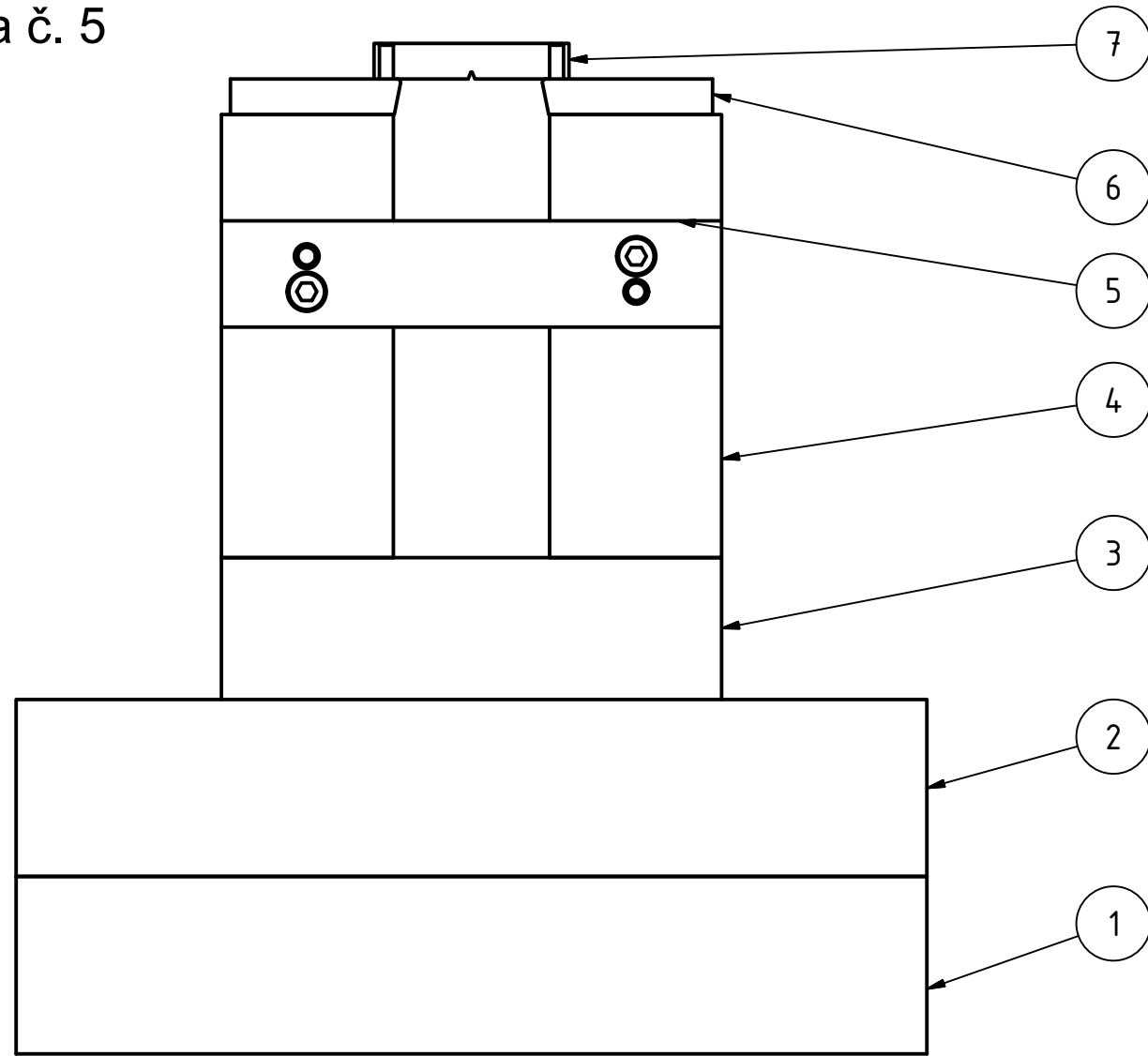


Ra 3,2

NEKÓTOVANÁ SRAŽENÍ 0,5x45°

Rozm.-Polot.	12x35-145	ČSN 42 5522				PŘESNOST ISO 2768-mk	
		c)		Mater.	11 500	Tř. odp.	001
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
Změna		Datum	Index	PROMÍTÁNÍ			
Měřítka	Pozn.	Navrhl	Podpisy				
1:1		Kreslil	Jirků				
Č.seznamu		Přezkoušel		Název			
Č.sestavy		Technolog		PŘÍČNÁ VZPĚRA			
Starý výkr.		Normaliz.		Typ			
Nový výkr.		Schválil		Čis.výkresu			
		Datum	31.03.2015	DP-03			
							List

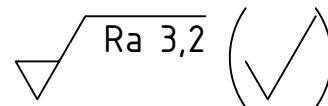
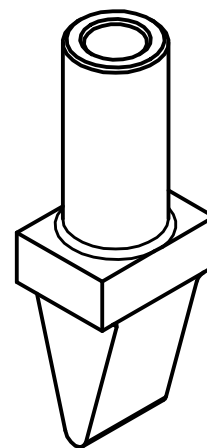
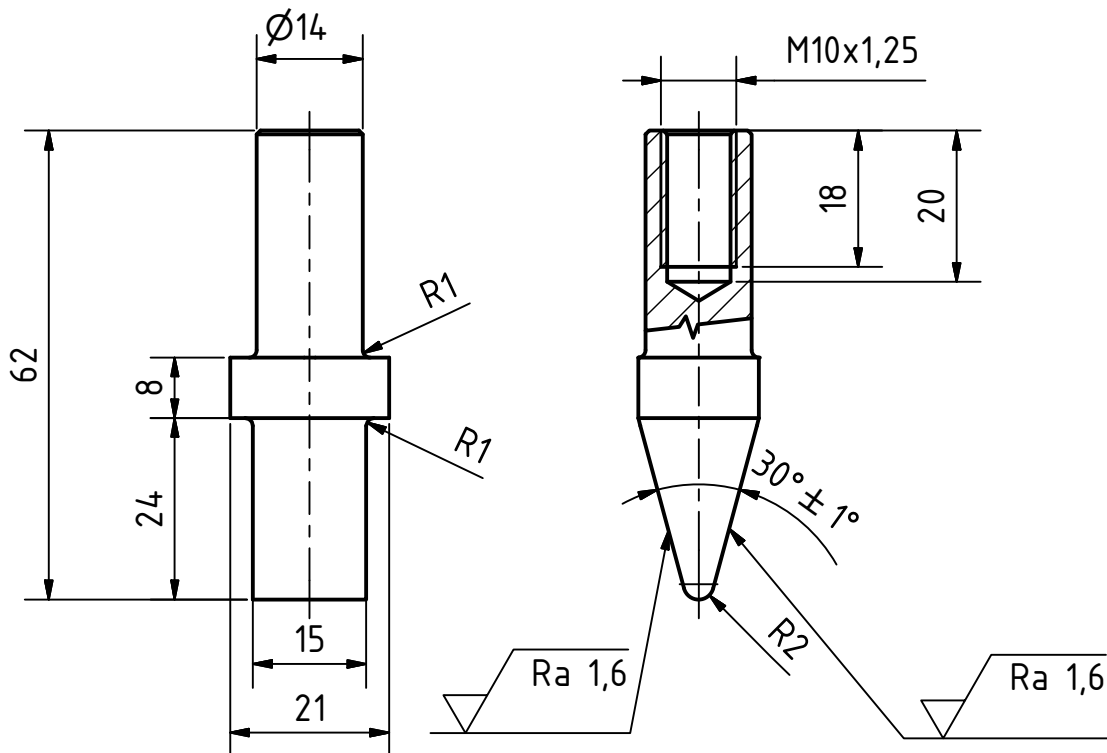
Příloha č. 5



KUSOVNÍK			
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	Kotouč	
2	1	Podstava	
3	1	Spodní deska	
4	2	Sloupek	Výkres DP-01
5	1	Příčná vzpěra	
6	2	Vložka	Výkres DP-02
7	1	Zkušební vzorek	Výkres DP-03
8	2	Zarážecí kolík	

Rozm.-Polot.		c)		Mater.	Tř. odp.		PŘESNOST ISO 2768-mK	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		a)						PROMÍTÁNÍ
Změna		Datum	Index	Podpisy		TU v Liberci PŘÍPRAVEK		
Měřítko	Pozn.	Navrhl			Název			
1:2		Kreslil	Jirků		Typ			
Č.seznamu		Přezkoušel			Čís.výkresu			
Č.sestavy		Technolog			DP-04			
Starý výkr.		Normaliz.						
Nový výkr.		Schválil						
		Datum	31.03.2015					

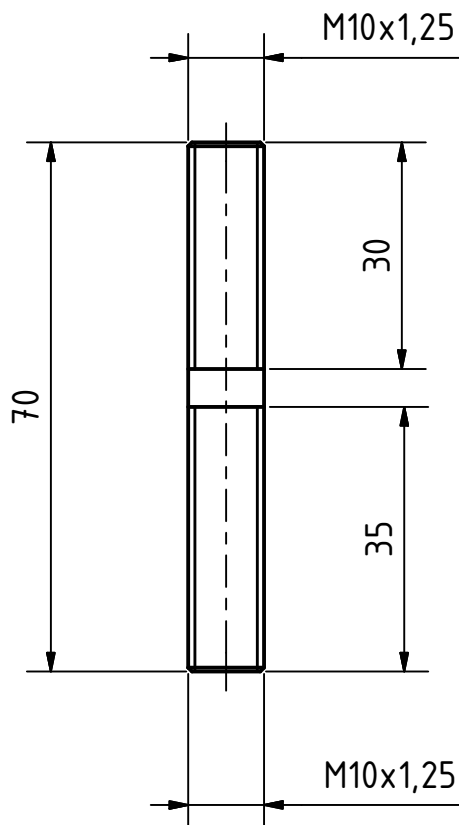
Příloha č. 6



NEKÓTOVANÁ SRAŽENÍ 0,5x45°

Rozm.-Polot.	4HR 25x25 - 65	ČSN 42 5520				PŘESNOST ISO 2768-mK			
		c)		Mater.	11 500	Tř. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ	
		a)		TU v Liberci					
Změna	Datum	Index	Podpisy						
Měřítko	Pozn.	Navrhl		Název	HLAVA BŘITU				
1:1		Kreslil	Jirků						
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-05				
Č.sestavy		Technolog							
Starý výkr.		Normaliz.		Čis.výkresu	List				
Nový výkr.		Schválil							
		Datum	31.03.2015						

Příloha č. 7



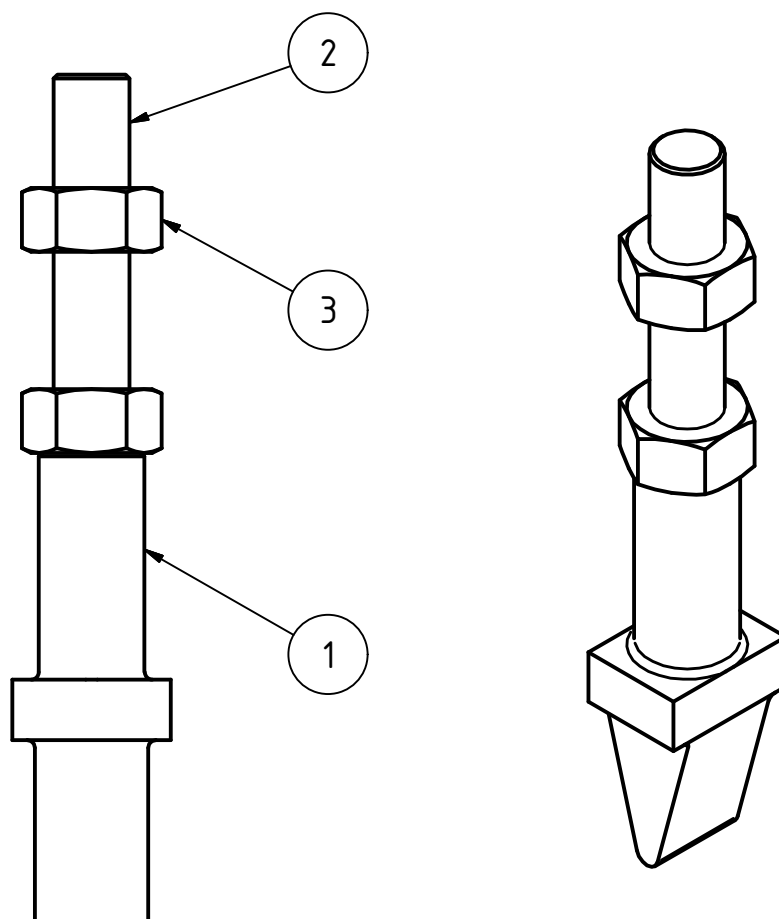
NEKÓTOVANÁ SRAŽENÍ 0,5x45°

Ra 3,2

Rozm.-Polot.	KR 20 - 70	ČSN 42 5510				PŘESNOST ISO 2768-mK			
		c)		Mater.	11 500	Tř. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ	
		a)		TU v Liberci ZÁVITOVÁ TYČ DP-06					
Změna	Datum	Index	Podpisy						
Měřítko	Pozn.	Navrhl							
1:1		Kreslil	Jirků						
Č.seznamu		Přezkoušel							
Č.sestavy		Technolog		Název					
Starý výkr.		Normaliz.		Typ					
Nový výkr.		Schválil		Čís.výkresu					
		Datum	31.03.2015						

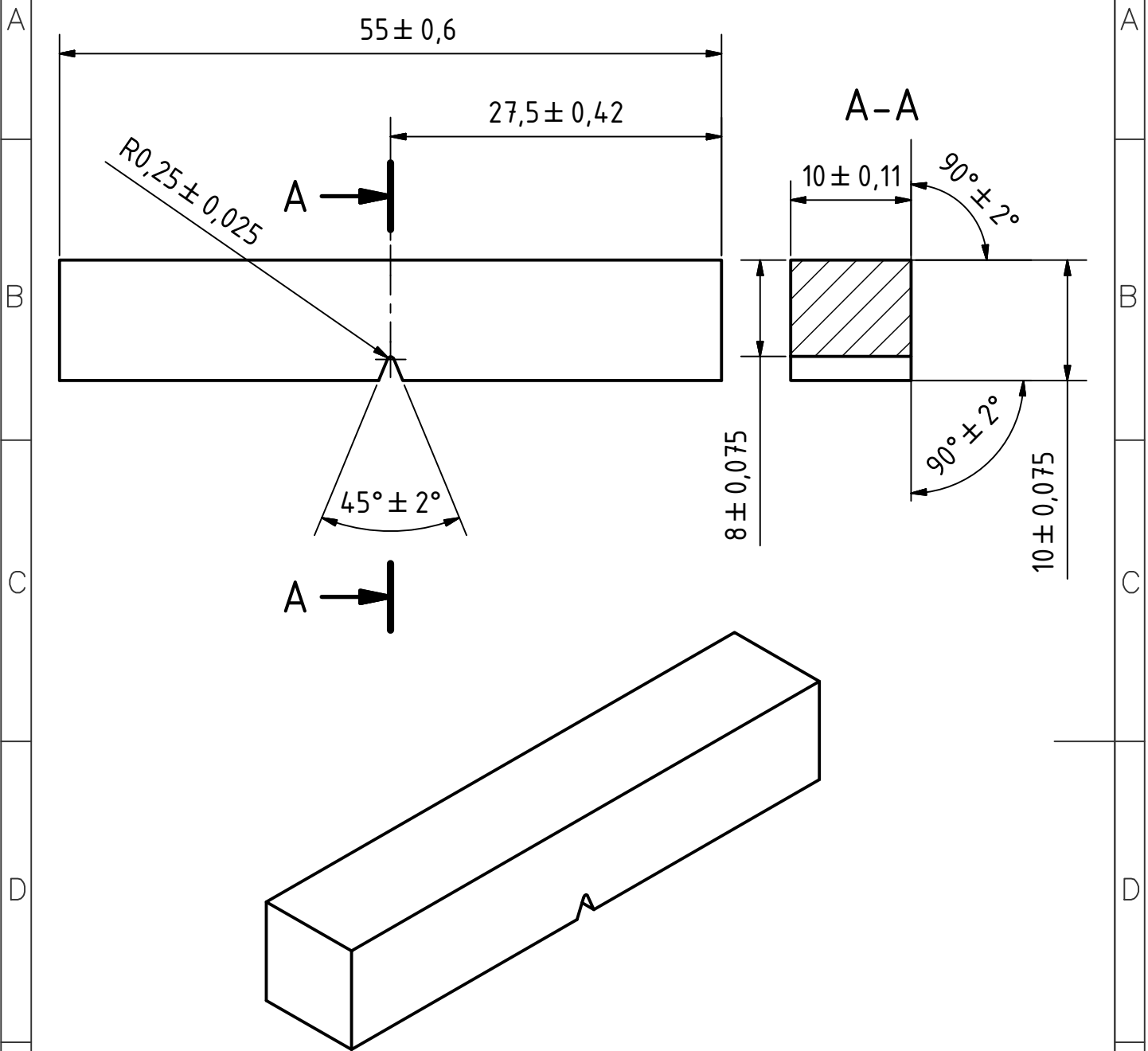
List

Příloha č. 8



KUSOVNÍK									
POZICE		KS		ČÍSLO SOUČÁSTI			POPIS		
1		1		Břit					
2		1		Závitová tyč					
3		2		Matice - M10 x 1,25					
Rozm.-Polot.							PŘESNOST ISO 2768-mk		
		c)		Mater.		Tř. odp.		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)		Č. hm.		kg Hr. hm.		kg PROMÍTÁNÍ	
		a)							
Změna		Datum		Index		Podpisy			
Měřítko 1:1		Pozn.		Navrhl		Kreslil Jirků			
Č.seznamu				Technolog				Typ	
Č.sestavy				Normaliz.				Čís.výkresu DP-07	
Starý výkr.				Schválil				List	
Nový výkr.				Datum		31.03.2015			

Příloha č. 9



Rozm.-Polot.	4HR 10x10	ČSN 42 5520				PŘESNOST ISO 2768-mK				
		c)		Mater.	11 373	Tř. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015		
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ		
		a)		TU v Liberci ZKUŠEBNÍ VZOREK Typ Čís.výkresu DP-08						
Změna		Datum	Index							Podpisy
Měřítko	Pozn.	Navrhl								Název
2:1		Kreslil	Jirků							
Č.seznamu		Přezkoušel								
Č.sestavy		Technolog		Typ						
Starý výkr.		Normaliz.		Čís.výkresu						
Nový výkr.		Schválil								
		Datum	31.03.2015						List	