

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra mechanické technologie

Experimentální ověření vlivu změny různě sestavené průvlakové řady na
výsledné parametry taženého drátu

Experimental Verification of Influence of Drawing Die Line Setup to Final
Parameters of Drew Wire

Student:

Ondřej Kašpar

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Povýšil, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Kašpar**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Experimentální ověření vlivu změny různě sestavené průvlastkové řady na výsledné parametry taženého drátu
Experimental Verification of Influence of Drawing Die Line Setup to Final Parameters of Drew Wire

Zásady pro vypracování:

1. proveďte teoretický rozbor možných vlivů rozdílných deformačních řad na kvalitativní parametry tažení drátu
2. proveďte experimentální tažení drátu s různě navržených deformačních řad
3. vyhodnoťte sledované kvalitativní parametry na experimentálně vytažených drátech
4. vyhodnoťte nejvýhodnější variantu a získané přínosy

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B. *Tváření ocelí*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988, 520s. DT 669.14; 621.77(075.8)
- [2] DAVIS, J. R. *Metals Handbook, Vol. 14, Forming and Forging*, ASM Handbook, 1988, 978s., ISBN-13: 978-0871700209
- [3] MIELNIK, E. H. *Metalworking science and engineering*. 2.vyd. New York: McGraw-Hill, 1991, 976s., ISBN 0-07-041904-3

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Povýšil, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Bc. Marek Skala

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

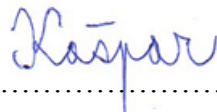
Kašpar

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě v zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Kašpar

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Podžďáří 323, Ruda nad Moravou 78963

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KAŠPAR, O. *Experimentální ověření vlivu změny různě sestavené průvlastkové řady na výsledné parametry taženého drátu : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 28 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Povýšil, Ph.D.

Účelem zpracování mé bakalářské práce bylo experimentálně ověřit vliv různě sestavené řady průvlastků na výsledné parametry tažených drátů. Úvodní teoretická část práce pojednává o základech teorie tažení drátů v průvlastcích, vlivu deformačních řad na výsledné vlastnosti drátů a o obecné charakteristice wolframového drátu. Experimentální část práce je zaměřena na tažení tří různých drátů v různě navržených deformačních řadách a na vyhodnocení kvalitativních parametrů těchto experimentálně vytažených drátů, což zahrnuje měření průměru drátů po délce a vyhodnocení mechanických vlastností pomocí zkoušky pevnosti v tahu. V závěru práce je uvedeno vyhodnocení dosažených výsledků, určení nejvýhodnější varianty a získané přínosy.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

KAŠPAR, O. *Experimental Verification of Influence of Drawing Die Line Setup to Final Parameters of Drew Wire : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 28 p. Thesis head: Ing. Jan Povýšil, Ph.D.

The purpose of processing my thesis was experimentally verify the influence of different compile a line of dies on the resulting parameters drawn wires. Introductory theoretical part of thesis deals about foundations of the theory of wire drawing in dies, influence of series of deformation on the resulting properties of wires and general characteristics of the tungsten wire. The experimental part of thesis is focused on drawing three different wires in various designs deformation lines and on the evaluation of qualitative parameters the experimental pulled wires, which involves measuring the diameter of the wire length and evaluation of mechanical properties by tensile strength tests. In conclusion of thesis is stated evaluation of achieved results, determining the most appropriate variant and the obtained benefits.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK	3
1. ÚVOD	5
2. O SPOLEČNOSTI OSRAM	6
3. TEORIE TAŽENÍ DRÁTU	7
3.1. Rozbor napjatosti během tažení.....	8
3.2. Rozbor deformace během tažení.....	10
4. PRŮVLAKY	12
4.1. Materiály průvleků.....	13
4.2. Opořežení průvleků.....	15
5. MAZIVA	16
6. VLIV DEFORMAČNÍCH ŘAD NA VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI DRÁTU	17
6.1. Charakteristika rovnoměrné deformační řady.....	17
6.2. Charakteristika klesající deformační řady.....	17
6.3. Charakteristika rostoucí a klesající deformační řady.....	18
6.4. Charakteristika rostoucí a rovnoměrné deformační řady.....	19
7. CHARAKTERISTIKA WOLFRAMOVÉHO DRÁTU	20
7.1. Wolfram.....	20
7.2. Wolframový drát a jeho výroba pro světelný průmysl.....	21
8. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
8.1. Popis experimentu.....	24
8.2. Popis zkoušky pevnosti v tahu.....	24
8.3. Měření průměru.....	25
9. ZÁVĚR, DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	26
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28
11. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	29
12. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	30

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK

Značka	Popis	Jednotka
A	tažnost	[%]
C_p	index způsobilosti procesu	[-]
C_{pk}	index způsobilosti procesu	[-]
D_F	konečný průměr drátu	[mm]
D_o	vstupní průměr drátu	[mm]
F	tahová síla	[N]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[-]
L_0	počáteční délka drátu	[mm]
L_n	délka drátu	[mm]
L_1	délka drátu	[mm]
L_2	délka drátu	[mm]
N	vertikální složka tahové síly	[N]
Q	příčná síla	[N]
Q	poměrný plošný úběr	[%]
Q_{abs}	absolutní plošný úběr	[mm ²]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
S_0	počáteční průřez drátu	[mm ²]
S_1	průřez drátu	[mm ²]
S_2	průřez drátu	[mm ²]
S_n	průřez drátu	[mm ²]
dS_e	deformace ve směru hlavních os elementárních elips	[%]
$d\varepsilon_l$	poměrná deformace ve směru prodlužování elementární částice	[%]
$d\varepsilon_r$	poměrná deformace částice v radiálním směru	[%]
$d\varepsilon_t$	poměrná deformace v obvodovém (tečném směru)	[%]
d_0	vstupní průměr drátu	[mm]
d_1	výstupní průměr drátu	[mm]
d_1	kalibrační průměr	[mm]
d_2	průměr jádra	[mm]
d_3	průměr objímky	[mm]
e_l	skutečná deformace	[-]
h_2	výška jádra	[mm]
h_3	výška objímky	[mm]
l	délka kuželovité části průvlaku	[mm]
l_d	délka pracovní části průvlaku	[mm]
l_1	délka vstupní části průvlaku	[mm]
l_2	délka tažné části průvlaku	[mm]
l_3	délka výstupní části průvlaku	[mm]
2α	tažný úhel	[°]
α	úhel průvlaku (tažný úhel)	[°]
v_0	rychlost drátu	[m/s]
v_1	rychlost drátu	[m/s]
v_2	rychlost drátu	[m/s]
v_n	rychlost drátu	[m/s]
2β	úhel vstupní části jádra	[°]
2γ	úhel výstupní části jádra	[°]
Δl	absolutní prodloužení	[mm]
ε_l	poměrné prodloužení	[%]

λ	součinitel prodloužení	$[-]$
μ	koeficient tření	$[-]$
ρ	třecí úhel	$[\text{°}]$
σ	střední tlakové napětí	$[\text{MPa}]$
σ_l	podélná složka tahového napětí	$[\text{MPa}]$
σ_t	tangenciální složka tahového napětí	$[\text{MPa}]$
σ_r	radiální složka tahového napětí	$[\text{MPa}]$
τ	smykové napětí	$[\text{MPa}]$

1. ÚVOD

Současný strojírenský průmysl vyrábí mnoho produktů, s kterými se naše dosavadní společnost setkává poměrně často, jedním z nich jsou například dráty. Část mé bakalářské práce je úzce spjata s wolframovými dráty, které jsou kvůli svým specifickým vlastnostem vkomponovávány do žárovek a tvoří jejich nezbytnou součást. Protože tyto drátky jsou velmi malé, technologie jejich výroby musí být správně navržena. Strojírenská technologie má již po dlouhou dobu rozšířenou škálu oborů se svým specifickým zaměřením, jedním z nich je technologie výroby drátů tažením.

Tažení drátu je velmi běžnou tvářecí technologií a spadá do kategorie objemového tváření za studena, kdy vstupní materiál projde kuželovitým průvlakem. Při tomto pochodu se materiál prodlouží ve směru tahové síly a z důvodu zákona zachování objemu se příčný průřez zmenší, výrazně se zlepší i povrchové a mechanické vlastnosti. Jedním z velice důležitých kritérií je vhodně navržená průvlaková řada, která má markantní vliv na výsledné vlastnosti taženého drátu.

V této bakalářské práci ověřuji, jak se promítne různě sestavená řada průvlaků na výsledné parametry taženého drátu. V počátečních krocích mé bakalářské práce se zaměřuji na teoretické základy tažení drátů pomocí průvlaků, rozbořím vlivu různě navržených deformačních řad na výsledné vlastnosti tažených drátů a charakteristikou wolframového drátu.

Experimentální část je zaměřena na tažení tří různých typů drátů, pro které byly zpracovány vždy dva různé návrhy deformačních řad. Po tažení různými variantami deformačních řad bylo provedeno na tažených drátech vyhodnocení kvalitativních parametrů, což zahrnovalo vyhodnocení mechanických vlastností pomocí zkoušky pevnosti v tahu a měření průměru drátu po délce. Finálním krokem mé práce bylo zjistit, jaká byla mezi navrženými deformačními řadami z hlediska výsledných parametrů ta nejuvhodnější a jakých získaných přínosů bylo těmito experimenty dosaženo. Přesné výsledky porovnání všech sledovaných kvalitativních parametrů jsou uvedeny v technické zprávě bakalářské práce.

2. O SPOLEČNOSTI OSRAM

Rozhodl jsem se vás seznámit se společností, kde mi bylo poskytnuto vyhodnocování mého experimentu a kde jsem pochytil mnoho nových informací z průmyslové praxe.

OSRAM je nadnárodní společnost, která zaměstnává přes 41 000 lidí po celém světě a dodává zboží zákazníkům ve sto padesáti zemích světa. Pojmenování společnosti OSRAM vzniklo v Německu podle dvou základních prvků osmia a wolframu, které byly v počátku vzniku firmy používány jako osvětlovací vlákna. V roce 1906 byla zaznamenána první ochranná značka společnosti, která již od počátku až k současnosti nese ve svém znaku žárovku. Roku 1910 OSRAM zaměnil Edisonovo uhlíkové vlákno za více trvanlivé kovové vlákno, kdy zmiňované vlákno přineslo nový vývojový pokrok a úspěch u zákazníků. V roce 1919 tři výrobci žárovek spojili svoji výrobu pod jednotnou značkou OSRAM. Schéma značky společnosti – **Obr.1.** [1]

Roku 1919 začal také rozkvět společnosti v Čechách, když pražská filiálka prodávala žárovky vyrobené u nás i v Berlíně. Za tři roky později si v Česku OSRAM otevřel první továrnu a zanedlouho se otevřely sklady v Ostravě a v Brně. V Československu byly ale po válce kapacity OSRAMU zestátněny a staly se součástí národního podniku TESLA. Nové zastoupení v České republice se datuje od roku 1994, kdy se sem vrátila i výroba a od roku 2000 ji zastupuje OSRAM Bruntál s.r.o. [1]



Obr. 1. – Znak společnosti OSRAM [1]

3. TEORIE TAŽENÍ DRÁTU

Tváření drátu tažením se uskutečňuje v kuželovitém průvlaku a je charakteristické plastickou deformací, která vzniká, když drát je v kontaktu s průvlakem. Během tažení dochází k redukcí plochy příčného průřezu a prodloužení drátu vlivem hlavního tahového napětí, současně se zvyšuje tvrdost, pevnost, mez pružnosti a průtažnosti, snižují se plastické vlastnosti a také se zlepšuje jakost povrchu. Abychom dosáhli dostatečně velké plastické deformace, musí působit přijatelně velký radiální tlak, který napomáhá k snížení příčného průřezu v kuželovité části průvlaku. Při průchodu drátu průvlakem tahové a tlakové síly vytváří deformační práci a třecí síly ohřívají materiál, protože působí proti směru hlavního tahového napětí. Při tažení nechceme, aby došlo k trhání, nebo úplnému přetržení drátu, musíme tedy dodržet zákon zachování objemu drátu: [2]

$$S_0 \cdot L_0 = S_1 \cdot L_1 = S_2 \cdot L_2 = S_n \cdot L_n \quad (1)[2]$$

i

$$S_0 \cdot v_0 = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S_n \cdot v_n \quad (1)[2]$$

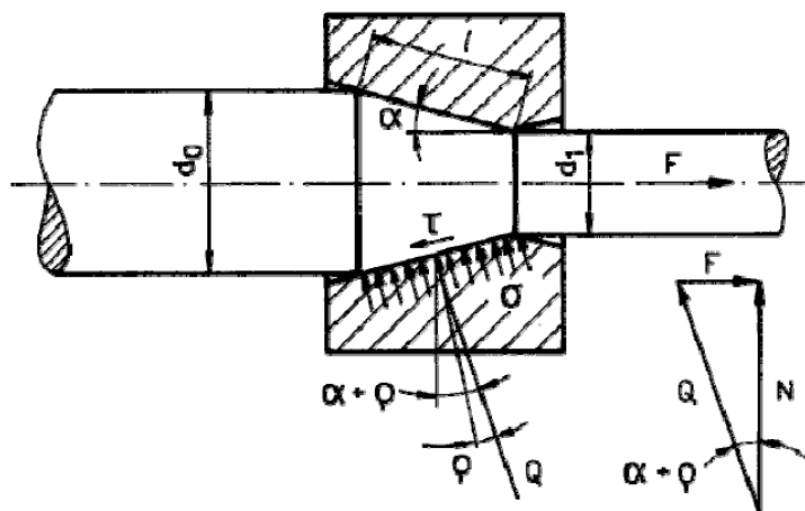
kde S_0, S_1, S_2, S_n značí průřezy drátu

v_0, v_1, v_2, v_n značí rychlosti drátu

L_0, L_1, L_2, L_n značí délky drátu.

Během tažení vzniká plastická deformace vlivem kuželovité části průvlaku s tažným úhlem 2α – **Obr. 2**, který je nejčastěji od 10° do 20° . Působením vnější tahové síly F je vyvolána v pásmu deformace příčná síla Q , která účinkuje na povrchu kuželovité části průvlaku o délce l . Mezi povrchem drátu a částí průvlaku vzniká podstatně značné tření, které produkuje teplo a vzniká tepelné ovlivnění drátu i průvlaku. Při kvalitním mazání koeficient tření dosahuje hodnot pod $0,005$ ($\rho < 3^\circ$) a vypočítá se: [2]

$$\mu = \operatorname{tg}(\rho) \quad [-] \quad (3)[2]$$



Obr. 2. – Rozložení sil při procesu tažení [2]

Základní rovnice pro tahovou sílu:

$$F = Q \cdot \sin (\alpha + \rho) \quad [N] \quad (4)[2]$$

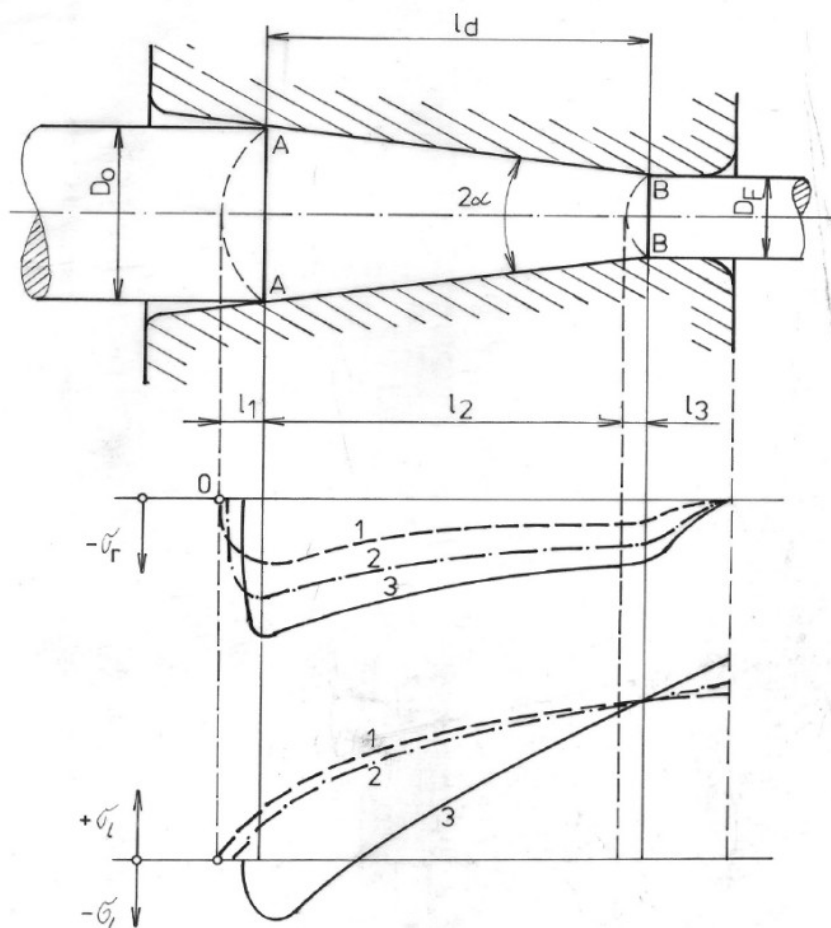
$$F = N \cdot \operatorname{tg} (\alpha + \rho) \quad [N] \quad (5)[2]$$

- kde:
- 2α tažný úhel
 - σ střední tlakové napětí
 - τ smykové napětí
 - d_0 vstupní průměr
 - d_1 výstupní průměr
 - F tahová síla
 - Q příčná síla
 - ρ třecí úhel

3.1. Rozbor napjatosti během tažení

Při působení tahové síly vzniká v pásmu deformace průvlastku seskupení tlakových a tahových napětí. Můžeme si představit, že v každém bodě pásma deformace nalezneme elementární krychličku trojosé napjatosti, která je definována třemi druhy napětí. Mezi tato napětí patří tlakové napětí, které působí po obvodu drátu a má nejnížší hodnotu, radiální tlakové napětí a tahové napětí, které je z uvedených napětí to nejvyšší.

Působením tahového napětí se vstupní drát o průměru D_0 protlačí na konečný průměr D_F . Během tohoto procesu vznikají v celém objemu pásma deformace komplikované průběhy napětí. Podélné složky napětí σ_l jsou v určitých příčných řezech pásma deformace jednotvárné, ale charakter a velikost těchto složek napětí se mění kvůli různým průřezům pásma deformace. Na začátku působení pružných deformací, lze ještě počítat s homogenitou napjatosti s napětím σ_l , které odpovídá začínající pružné deformaci. Při vzniku plastické deformace tangenciální napětí $-\sigma_t$ působí na povrchové vrstvy, které jsou opožděné oproti vnitřním vrstvám. Zmíněné vnitřní vrstvy podléhají tahovým složkám $+\sigma_l$. V kterémkoliv příčném průřezu ve středu deformačního pásma se vyskytnou pouze podélné tahové složky $+\sigma_l$. Výstupní průřez deformačního pásma nevlastní pouze tahové složky $+\sigma_l$, ale jsou zde i maxima, které vykazují povrchová vlákna. Znárodnění průběhu podélných a radiálních napětí v pásmu deformace – **Obr. 3.** [2]

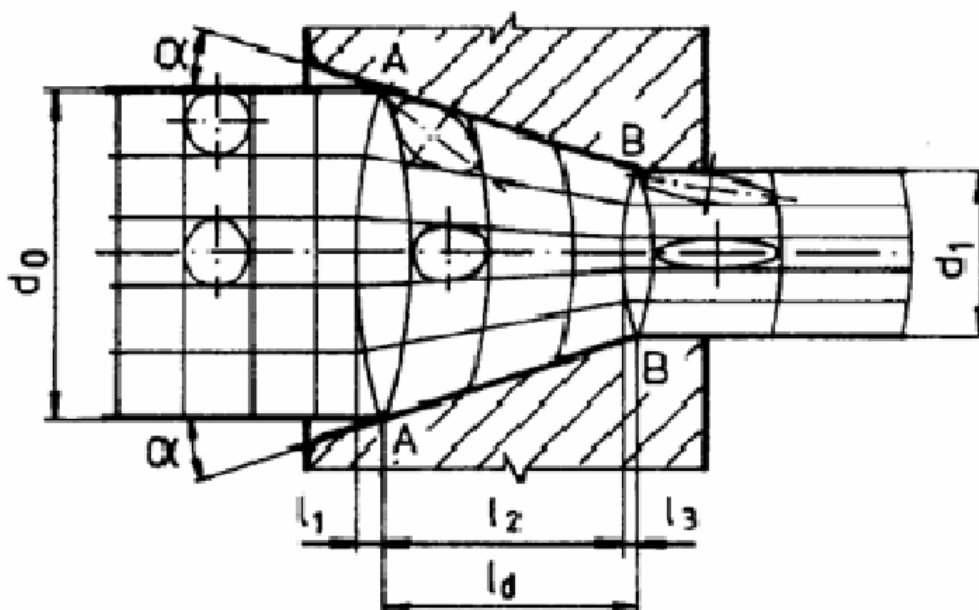


Obr. 3. - Průběh podélných a radiálních napětí v pásmu deformace [4]

3.2. Rozbor deformace během tažení

Deformace, která se vytváří během tažení, je velice složitý proces. Jestliže chceme provést vyhodnocení velikosti podélné deformace, můžeme to zjistit pomocí podélných osových řezů – **Obr. 4**. Elementární částice kovu jsou zde zobrazeny jako kružnice, které jsou umístěny ve čtvercové vazbě. Vlivem tažení tyto kružnice mění svůj tvar v elipsy a síťová vazba se ohýbá a šikmý své strany. Tyto jevy potvrzují, že jsou deformace v určitých částech průřezu nerovnoměrné, tudíž jde o nehomogenní podélné deformace. Kvůli nerovnoměrnostem deformací se budou měnit mechanické vlastnosti drátů, značné pevnost, mez kluzu a tvrdost. Hodnota deformační nerovnoměrnosti záleží na objemu součinitele tření a na stupni deformace. Deformační pásmo je možné klasifikovat třemi částmi: [2]

První část o délce l_1 tvoří procenta objemu materiálu, které zatím nevnikly do geometrického pásma deformace, vytváří souvislý přestup rychlosti deformace mezi průřezem, kdy nenastala deformace a průřezem, ve kterém je průřez drátu vystaven deformaci. Forma a objem této části je závislý na vnějším tření, na velikosti redukce, úhlu taženého drátu 2α a vstupních a výstupních průměrech d_0 a d_1 . Ve střední části l_2 probíhá snížení průřezu drátu. V konečné části délky l_3 se přestává redukovat průřez a v dílčích vlákních se vyrovnává rychlost deformace. [2]



Obr. 4 - Průběh deformace během tažení [2]

Pro deformaci ve směru hlavních os elementárních elips platí vztah:

$$dS_\varepsilon = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{d\varepsilon_l^2} + \sqrt{d\varepsilon_r^2} + \sqrt{d\varepsilon_t^2} \quad (6)[2]$$

kde $d\varepsilon_l$ - poměrná deformace ve směru prodloužování elementární částice

$d\varepsilon_r$ - poměrná deformace částice v radiálním směru

$d\varepsilon_t$ - poměrná deformace částice v obvodovém (tečném) směru

Tab. 1 – Vzorce pro výpočet deformací [2]

Skutečná deformace	$e_l = \ln \frac{S_0}{S_1}$	-	(7)
Absolutní prodloužení	$\Delta l = l_1 - l_0$	mm	(8)
Poměrné prodloužení	$\varepsilon_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100$	%	(9)
Součinitel prodloužení	$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{100}{100 - Q}$	-	(10)
Absolutní plošný úběr	$Q_{abs} = S_0 - S_1$	mm ²	(11)
Poměrný plošný úběr	$Q = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100$	%	(12)

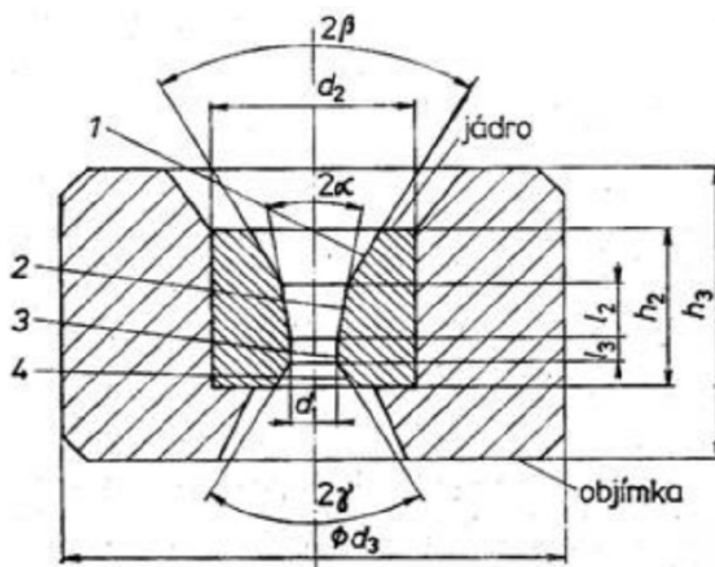
Tab. 2 – Vzorce pro výpočet rozměru drátu [2]

$S_0 = S_1 \cdot \frac{100}{100 - Q}$	$S_0 = S_1 \cdot \frac{100 - Q}{100}$	mm ²	(13)
$d_0 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{100}{100 - Q}}$	$d_0 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{100 - Q}{100}}$	mm	(14)
$l_0 = l_1 \cdot \frac{100 - Q}{100}$	$l_1 = l_0 \cdot \frac{100}{100 - Q}$	mm	(15)

4. PRŮVLAKY

Základní a nejpoužívanější nástroje pro technologii tažení drátů jsou průvlaky. Průvlaky jsou nepohyblivé a do velké míry namáhané na otěr. Jak bylo vysvětleno v předešlých kapitolách, v průvlaku vzniká plastická deformace způsobená tlakovým a tahovým napětím, redukuje se příčný průřez a dochází k prodloužení ve směru tahového napětí. Průvlaky patří mezi velice přesné nástroje a jsou navrženy tak, aby zaručily drátu požadovanou kvalitu povrchu, požadující mikrostrukturu a mechanické vlastnosti. Technologie jejich výroby je poněkud náročnější, protože se musí poměrně kvalitně opracovat a pro jejich výrobu jsou použity speciální materiály jako například diamant, nebo různé druhy slinutých karbidů. [3]

Geometrie průvleků vytváří konečné rozměry drátu a skládá se z kuželovitě částí, která je rozdělena na svá charakteristická pásma kuželů, kdy se tyto pásma od sebe odlišují vrcholovými úhly. Funkce jednotlivých kuželů je určena jejich názvem, úhel otevření u vstupního kuželu je mezi 45° až 60° , (vstupnímu kuželu se říká také mazací, protože umožňuje, rozložení maziva po drátu a souvisle vytváří přechod do pracovní části průvlatku). Deformaci drátu na konečné rozměry má na starosti tažný kužel a jeho úhel se pohybuje v rozmezí 10° až 12° . Kalibrační část je válcovitá, vytváří jemný povrch a určuje přesné rozměry taženého drátu. Posledním kuželem je výstupní, který brání poškození průvlatku při přetržení drátu, výstupu bez pasivních odporů a odpružení již deformovaného průřezu. Schematický popis průvlatku – Obr. 5. [4]



1 – vstupní kužel; 2 – tažný kužel; 3 – kalibrační válec; 4 – výstupní kužel

Obr. 5. – Schéma průvlatku [4]

4.1. Materiály průvlaků

Dostatečně kvalitní materiál průvlaků je jedním z nejdůležitějších faktorů pro výsledné vlastnosti taženého drátu. Prvotním materiálem používaným pro průvlaky byl kámen, kdy se v praxi neustále mezi odborníky s tímto názvem můžeme setkat. Nicméně, moderní materiály průvlaků jsou založeny na vyšších požadavcích, než co se čekalo od kamenného průvlaku.

Velice ekonomicky vhodným materiálem pro průvlaky je cementovaný karbid wolframu – **Obr. 6**, u kterého můžeme pozorovat širší uplatnění než například u diamantových průvlaků. Karbidy obsahující 8% Co jsou oproti karbidům z méně procentním obsahem Co značně výhodnější pro vyšší úběry materiálů bez závad, opotřebovávají se ale rychleji. Jedna z velkých výhod průvlaku z tvrdokovu je, že pokud jej nijak razantně nepoškodíme, nebo nějakým způsobem nezničíme, můžeme jeho rozměry přetvořit k tomu, aby byl více přizpůsobený vyšším rozměrům drátů. [5]

Diamantové průvlaky se vyrábějí buď z (přírodních) monokrystalických diamantů – **Obr. 7**, nebo ze (syntetických) polykrystalických diamantů – **Obr. 8**. Tyto průvlaky se řadí mezi nejpřesnější nástroje, které v souvislosti s taženou slitinou mohou překonat 10 až 100 krát průvlaky zhotovené z cementovaného karbidu wolframu. I když se diamantové průvlaky řadí mezi nejdražší, tak je jejich cena stále uspokojivá vzhledem k vysokým nákladům za jeden kus. Používají se pro tažení malých drátů s vysokým požadavkem na kvalitu povrchu a na rozměrovou přesnost, například u tažení žhavicích vláken z wolframu. Tažnice z diamantového jádra jsou prakticky nezničitelné, použití je ale omezené kvůli velikosti dostupných diamantů, protože u diamantů větších rozměrů je cena velmi vysoká. [5]

Jedním z dalších materiálů pro průvlaky je nástrojová ocel. Životnost průvlaků vyrobených z nástrojové oceli je okolo 2000 kilogramů drátu, zatímco tvrdokovové průvlaky mohou dosáhnout až 200 krát vyšších hodnot. Průvlaky zhotovené z nástrojové oceli by měly být pro použití redukce pod 20% blízko maximální tvrdosti 62 až 64 HRC. Když chceme průřez redukovat ještě podstatně více, měla by být z důvodu možnosti poškození tvrdost snížena k 58 až 60 HRC, přestože stupeň opotřebení se zvýší. Bez zřetele na uspořádání nebo množství taženého kovu se kvůli lepším vlastnostem doporučují průvlaky zhotovené ze slinutých karbidů (tvrdokovů), nebo diamantové. [3][5]



Obr. 6. – *Průvlak z tvrdokovu* [7]



Obr. 7. – *Jádro MKD průvlaku* [7]

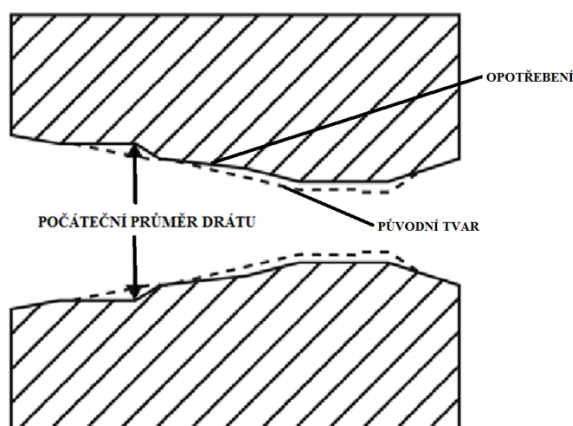


Obr. 8. – *PKD průvlaky* [7]

4.2. Opotřebení průvleků

Opotřebení tažného nástroje je jev, který se v procesu tažení vyskytuje stále. Jednou ze zásad jak zjistit opotřebení průvlatku je přírůstek průměru drátu na konci tažení. Průvlak se všeobecně považuje za opotřeбенý, když je průměr otvoru průvlatku příliš velký a to tak, že drát tažený tímto průvlatkem už nespĺňuje žádané toleranční rozmezí a z tohoto důvodu se musí opravit. Maximální opotřebení průvlatků vzniká ve vstupní zóně průvlatku, kdy drát přichází k prvnímu kontaktu s průvlatkem, tvoří se tam hlubší kruhový kráter označovaný v praxi jako takový kroužek opotřebení – **Obr. 9**. Pokud ihned po zjištění tohoto problému průvlak přešetíme a nějakým vhodným způsobem opravíme, můžeme jeho životnost zvýšit až o 200 %, kdybychom tak neučinili, opotřebení se značně urychlí a dojde ke zničení průvlatku. Při vývinu tohoto kroužku může dojít k vyboulení, které velmi omezuje přístup maziva do potřebných částí průvlatku a pochopitelně zvyšuje jeho opotřebení. Úzké pásmo průvlatku je vystaveno cyklickému zatížení a případným podpovrchovým selháním způsobeným únavou. Tohle dění nastává, když plocha drátu v průvlatku osciluje z důvodu vibrací drátu a nestálostem rozměrů. [6]

Z praktické stránky je životnost průvlatku měřena jako délka taženého drátu za jednotku vzrůstu v průměru, obecně (0,0254 mm). Celkově klouzání taženého drátu proti pracujícím částem průvlatků způsobuje jeho opotřebení. Opotřebení je tedy závislé na vlastnosti drátu a následně na jeho délce procházející skrz průvlak. Dalšími faktory, kterými ovlivňujeme opotřebení průvlatku je teplota drátu, rychlost tažení a tvrdost materiálu průvlatku. Všeobecně je poškození průvlatku způsobeno velkými redukcemi, nedostatečným mazáním, nebo použitím nevhodného materiálu, který je značně křehký a tvrdý v závislosti na množství použité rychlosti a redukce. Z celkového pohledu, materiály vyznačující se vysokým bodem tavení a mezi kluzu jsou více odolné vůči opotřebení. [6]



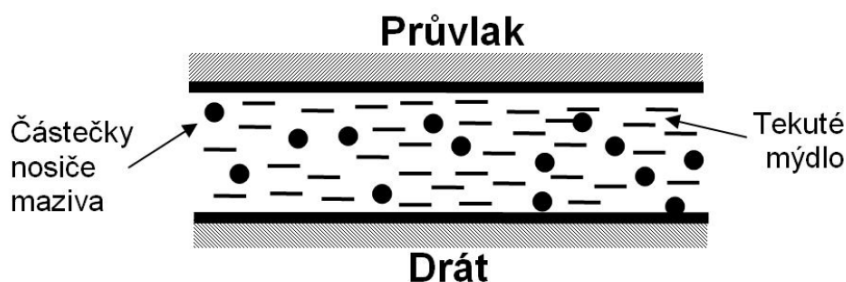
Obr. 9. – Opotřebení tvořené kroužkováním [6]

5. MAZIVA

Nejen v technologii tažení drátů, ale i v mnoha jiných případech je mazání zcela primární záležitostí. Mezi průvlakem a taženým drátem dochází ke vzniku tření a pochopitelnému nárůstu teplot, dochází k tepelnému ovlivnění jak drátu, tak průvlatku. Kvalitním mazáním chceme snížit součinitel tření a odvádět teplo z průvlatku, proto se volí taková maziva, aby zajistila v procesu co nejmenší tření a nejnižší opotřebení průvlatků. Pokud je mazivo špatně zvoleno, může dojít ke změně vlastností drátů a k razantnímu opotřebení průvlatků, což je velice neekonomický a nákladný proces.

Mazací soustava

Mazací soustava je samozřejmě tvořena mazivem, ale také nosičem maziva, což jsou například pevné částice fosforečnanů a vápna, boraxu, sulfátů, silikátů atd. Mazivem je zde mýdlo v tekutém stavu, kdy nosiče maziva zvyšují stabilitu mýdla a snaží se zabránit jeho úniku z průvlatku. Během procesu tažení je zřejmé, že průvlak a drát jsou od sebe odděleny mazivem – **Obr. 10.** [2]



Obr. 10. – Mazací soustava při tažení průvlakem [2]

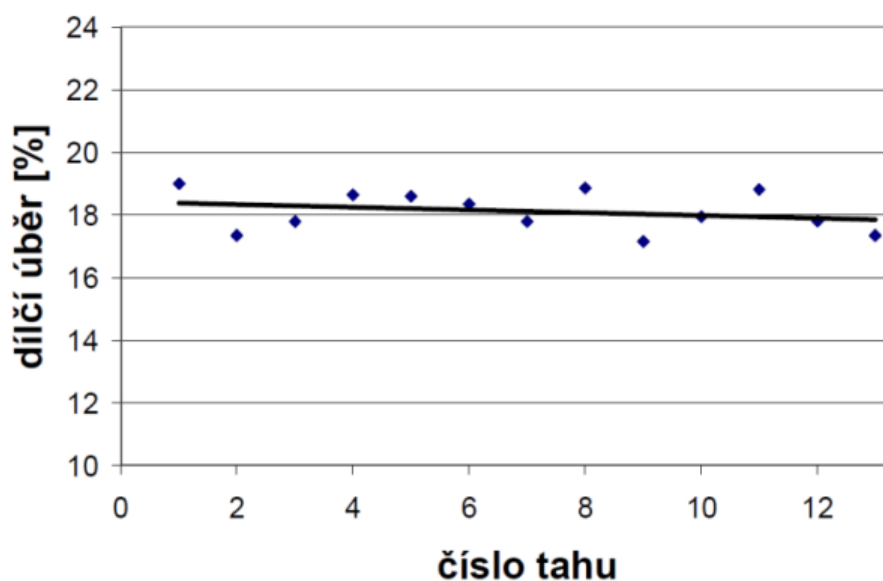
V tažení za mokra se maziva volí buď kapalného, nebo olejového charakteru. Kvůli svým specifickým vlastnostem je od nich požadováno, aby byly podstatně výkonné pro účel chlazení. Z hlediska praxe je tažení za mokra typické pro tažení ocelových drátů a neželezných kovů méně než 0,5 – 1 mm v průměru. [5]

U procesu tažení za sucha dráty zhotovené z vysokopevnostních materiálů mohou být pokryty kovem, například menší vrstva mědi může být nanесena na povrch drátu, která působí jako mazivo pevného charakteru. Složení konverzních povlaků na tyči se může skládat z oxalátů nebo ze sulfátů, které jsou pak pokryty mýdlem jako mazivem. Jako další maziva se používají polymery, jsou velmi pevné a používají se například pro tažení titanu. [5]

6. VLIV DEFORMAČNÍCH ŘAD NA VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI DRÁTU

6.1. Charakteristika rovnoměrné deformační řady

Pro tento typ deformační řady – **Obr. 11** je typické, že velikosti jednotlivých úběrů jsou v rozmezí (17 – 24%) a často je používáme, když chceme táhnout na menší počet tahů z velké části z válcovaného drátu a při úplné deformaci do 90%. Deformace zrn v taženém materiálu u tohoto typu průvlakové řady je pravidelná a závislá na velikosti úběru. K znatelně lepšímu uložení destiček cementitu v ose tažení a k lepšímu deformování materiálu dojde, když bude úběr stále menší. Menší úběry podporují menší deformaci a podporují také lepší uložení destiček cementitu do osy tažení. Tyhle aspekty se ovšem projevují na výsledných mechanických vlastnostech drátu na konci tažení. Když použijeme větší dílčí úběry, výsledný efekt je opačný, takže destruktivního charakteru na strukturu drátu. Vyhovující použití větších dílčích úběrů je při tažení předtahových drátů, kdy je požadován vyšší destruktivní účinek na počáteční zrno. [7]

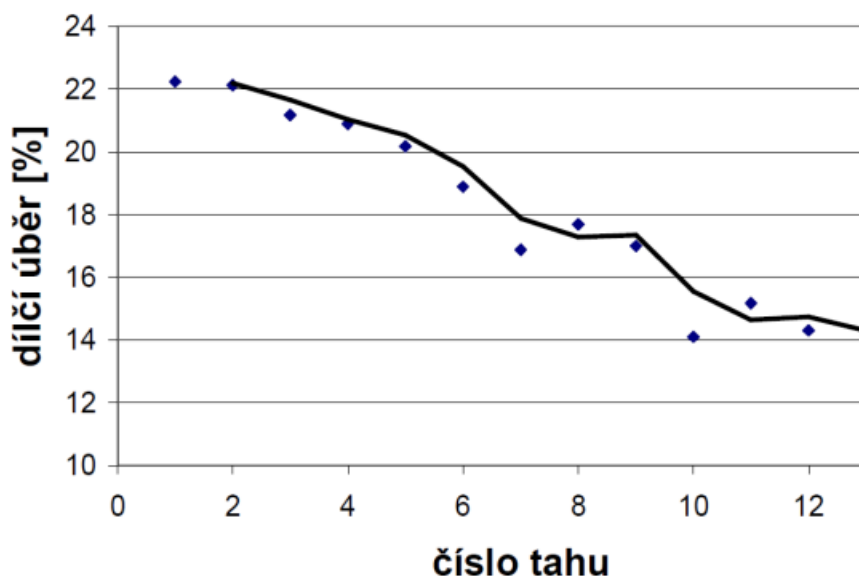


Obr. 11 – Rovnoměrná deformační řada [7]

6.2. Charakteristika klesající deformační řady

Specifická vlastnost této deformační řady – **Obr. 12** je snížení dílčích úběrů se zvyšující se celkovou deformací. Nejběžněji se pro počáteční tah volí úběr v rozsahu (17 až 21 %), následující tahy jsou většinou lineárního charakteru s dílčími úběry v rozmezí od (19 - 24%). V nadcházejících etapách dochází k po sobě jdoucímu redukování dílčích

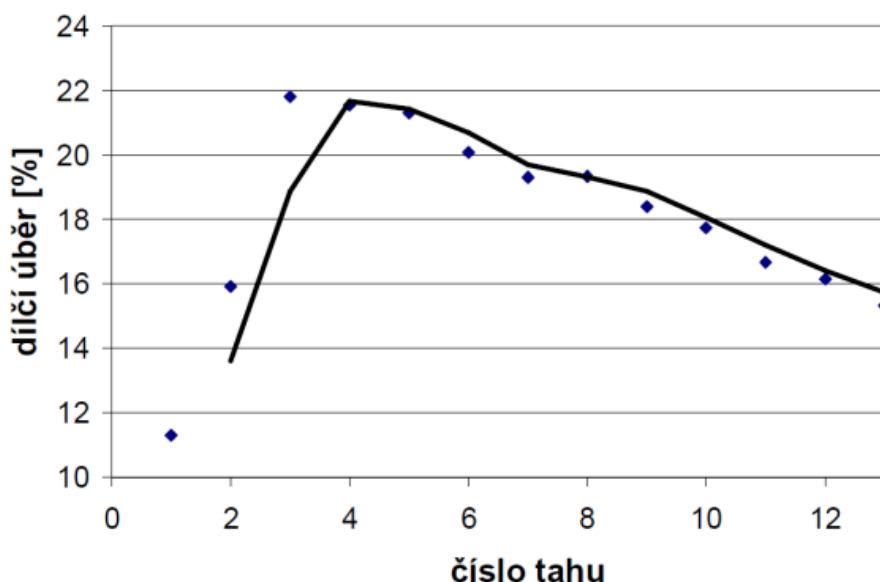
úběrů se zvyšujícím se celkovým úběrem. Tohle redukování podporuje, aby při snižování příčného průřezu drátu byly použity nevelké dílčí deformace, celkově snížení dílčích úběrů zohledňuje snižující se plasticitu taženého materiálu. Lamely cementitu mohou být poškozeny při počátečních tažení, kdy mohou i prskat a to v důsledku, když použijeme vyšší dílčí úběry. Tyto jevy mají ve finální podobě nepříznivý vliv na snížení námi vyžadovaných mechanických vlastností tažených drátů, jako je například pokles tažnosti, meze kluzu apod. [7]



Obr. 12 – Klesající deformační řada [7]

6.3. Charakteristika rostoucí a klesající deformační řady

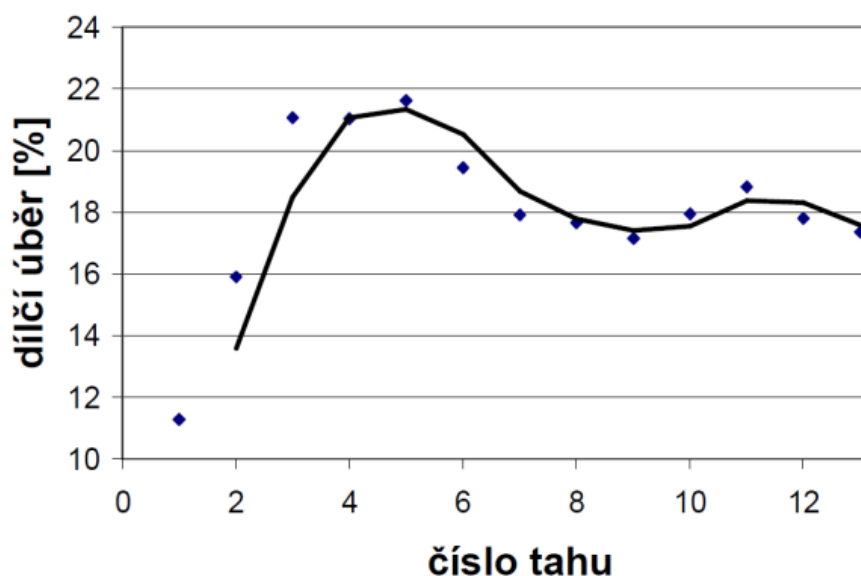
Zmíněnou deformační řadu – Obr. 13 charakterizujeme po sobě narůstajícím obsahem dílčích úběrů o určitém udržení na maximální hodnotě a následným redukováním úběrů. Na začátku dojde ve struktuře taženého drátu ke směřování zrn lamel cementitu do směru osy tažení, kde je potřebné aplikovat menší dílčí úběry. Pro první tah se doporučuje zařadit úběry v rozsahu 8 až 12 %, pro následující dva tahy se doporučuje rozmezí 20 až 23%. Tyto úběry můžeme užít, vyjdeme-li z předpokladu, že jsou mechanické vlastnosti drátu postupně zvýšeny se zvyšujícím se dílčím úběrem a dosáhnou maxim v místě 80 až 90 % celkového úběru. Z těchto důvodů finální průběh této deformační řady odpovídá smyslu řady klesající. [7]



Obr. 13 – Rostoucí a klesající deformační řada [7]

6.4. Charakteristika rostoucí a rovnoměrné deformační řady

U této deformační řady se setkáváme s kombinací dvou druhů řad. Začátky tažení se praktikují s menšími úběry, abychom zaručili prevenci poškození a vyhovující směr lamel. V dalších pasážích se úběry zvyšují, dále následuje setrvání na maximu, poté jde o pravidla, která platí u rovnoměrně navržené deformační řady. Pro konečný průměr drátu neboli pro posední tah není zpravidla doporučeno použití menších dílčích úběrů než je 14 %, kvůli dosažení dostatečného vydrezování a umrtvení konečného drátu. Tím je dosažena větší přesnost a kvalita povrchu. Schéma deformační řady – **Obr. 14**. [7]



Obr. 14 – Rostoucí a rovnoměrná deformační řada [7]

7. CHARAKTERISTIKA WOLFRAMOVÉHO DRÁTU

7.1. Wolfram

Čistý wolfram je velice obtížně tavitelný kov, který dominuje nejvyšším bodem tavení mezi všemi kovovými prvky, jeho barva je stříbřitě bílá nebo šedá. Unikátní vlastnosti mu umožňují hlavní použití v produkci žhavicích vláken, i když velký objem produkce je vytvořen ze slitin wolframu a molybdenu.

Jedinečnou vlastností wolframu je, že dosahuje při nejvyšších teplotách zanedbatelně malého tlaku par. Další významnou vlastností je velká pevnost v tahu, kterou má za zvýšených i běžných teplot. Značná nevýhoda wolframu je sklon ke zkřehnutí způsobený rekrytalizací. Když drát zhotovený z čistého wolframu zahřejeme na 1300°C, rekrytalizace způsobí celkové rozrušení jednotnosti zrn a vlákno se rozpadne. [8][10]

Tab. 3 – Fyzikální vlastnosti wolframu [10]

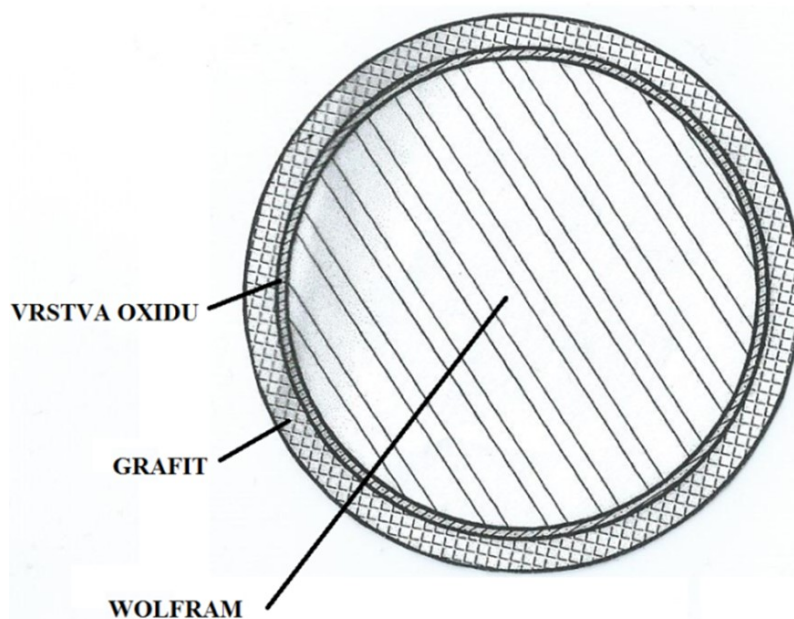
Veličina	Hodnota
Relativní atomová hmotnost	183,84 (1) amu
Teplota varu	5 555°C, 5828 K, 10031°F
Teplota tání	3422°C, 3695 K, 6191 °F
Hustota	19,25 g · cm ⁻³
Hustota při teplotě tání	17,6 g /cm ⁻³
Tvrdost	7,5
Měrný elektrický odpor při 20°C	0,056 až 0,083 μΩ*cm
Teplotní součinitel elektrického odporu	0,045 až 0,0051 K ⁻¹
Poissonova konstanta	0,284
Pevnost v tahu při 1000°C (1832°F)	50,000 -až 75,000 psi
Pevnost v tahu při 500°C (932°F)	75,000 - 194,000 psi

7.2. Wolframový drát a jeho výroba pro světelný průmysl

Výrobu wolframu práškovou metalurgií lze definovat tak, že se wolfram vyloučí z kyseliny wolframové v hydroxidových pecích při teplotách okolo 900°C na čistý prášek, který se pak přidáním přijatelného pojiva slinuje na menší části a ty se následně spékají pod proudem tisíců ampér pod napětím 10 až 50 V v atmosféře čistého vodíku. Vyrobené tyče mohou být zpracovány pouze vytepáváním pomocí rotačních kováren s vyhovujícím mezižiháním. Z průvleků zhotovených například z cementovaného karbidu wolframu se dá wolframový drát táhnout z průměru 3 mm. Přibližně od 0,3 mm až 10μm se dá táhnout diamantovým průvlekem. Dráty menších průměrů než je 10μm jsou produkovány elektrolyticky nebo leptáním. [8]

Tažený drát

Společnost OSRAM produkuje značné množství drátů s různými vlastnostmi, jedním z nich je tažený (černý) drát, který má oxidační povrchovou vrstvu s grafitovým obalem – **Obr. 15.** Dráty tohoto typu jsou vesměs vhodné pro opakované tažení a několik dalších operací, kde zmíněný grafitový obal není rušivý, nebo je vrstva grafitu odstraněna dalším opracováním. Jejich užití nalezneme například pro spirály, kde vrstva grafitu nijak neomezuje primární funkce žárovky. Pro řadu aplikací výrobku není tažený drát vhodný. Pro splnění tohoto požadavku společnost OSRAM nabízí speciální dráty, jako například čištěné, broušené, žíhané a leštěné dráty. [9]



Obr. 15 – Průřez wolframovým drátem

Čištěný drát

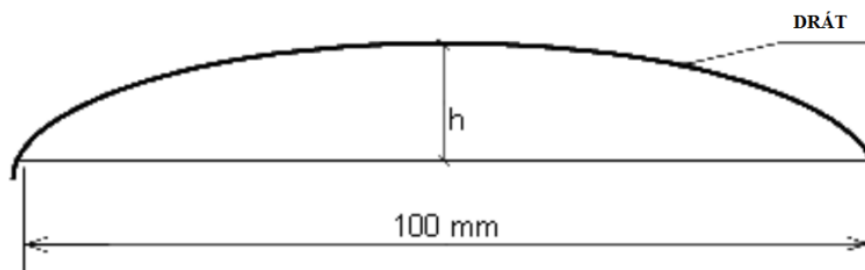
Čištěný (lesklý) drát se používá tam, kde povrchová vrstva tvořená z grafitu je nežádoucí. Dráty podstupují elektrolytické čištění, nebo se grafitový obal společně s oxidem žihají. Metoda čištění je důležitý faktor z toho důvodu, že po ní wolfram vykazuje různé stupně lesku (matně šedé až vysoce lesklé). [9]

Dráty vhodné pro halogenovou technologii:

Tyto dráty zastupují použití pro halogenovou technologii a používají se například pro halogenové lampy, zářivky atd. Na tento druh drátu je brán velký ohled a přísná kontrola. Co se týká vzniku trhlin, na základě rekrystalizačního žihání je jejich vhodnost posuzována. [9]

Rovný drát

Abychom mohli určit drát za rovný, musíme jej zkontrolovat pomocí malého ověření, které zahrnuje zkoušení 100 mm část drátu, kdy výška oblouku h musí být nižší než 10 mm za podmínky, že průměr drátu je vyšší než 25 mg/200mm – **Obr. 16.** [9]



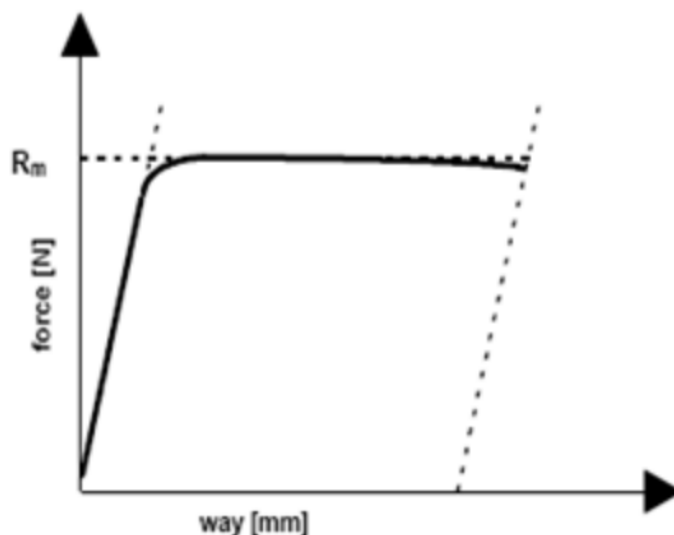
Obr. 16 – Zkouška vlnitosti drátu [9]

Měření štěpivosti wolframových drátů

Štěpy můžeme klasifikovat jako defekty, které se vyskytují na drátu podélně a mají rozdílné hloubky. Hloubky štěpů se rozlišují, buď je hloubka $>d/5$, $>d/10$, nebo $>d/50$ u speciálních aplikací. Kontrola štěpivosti se provádí za pomoci měřících sond vířivého proudu při citlivosti $(d/50)$. Celkově lze říci, že třídy štěpivosti udávají následné použití wolframových drátů. [9]

Tažnost a pevnost v tahu wolframových drátů:

Pevnost v tahu je jednou z nejdůležitějších vlastností wolframových drátů a zároveň určuje pozdější užití těchto drátů. Pevnost v tahu je definována jako maximální tahová síla v N ve vztahu k základnímu průměru drátu v $mg/200\text{ mm}$ – **Obr. 17**. Pevnost v tahu a tažnost se určuje pomocí tahových zkušebních strojů podle normy DIN. Zkouška pevnosti v tahu zahrnuje testování 100 mm drátu konstantní zatěžovací rychlostí 60 mm/min. [9]



Obr. 17 – Definice meze pevnosti v tahu [9]

Průměry wolframových drátů:

Průměr drátu na začátku i konci dávkovacího zařízení, například cívky je kontrolován. Konce drátu s menšími průměry zkrácené na délku 200 mm jsou váženy na přesných vahách a uvedeny v mg podle níže uvedené tabulky. [9]

Tab. 4 – Kontrola průměru [9]

Průměr [$mg/200mm$]	Ovalita [$mg/200mm$]
< 9,999	0,001
10,0 – 99,99	0,01
100,00 – 999,99	0,1
>1000	1

8. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

8.1. Obecný popis experimentu

Jak již vyplývá ze zadání mé bakalářské práce, tématem bylo experimentálně ověřit vliv různě sestavených průvlakových řad na výsledné parametry tažených drátů. V tomto experimentu byly zkoušeny tři různé druhy černých drátů, které se táhly různě navrženými deformačními řadami za účelem zjištění, jaký vliv mají tyto řady na kvalitativní parametry drátu. Pro každý drát byly navrženy vždy dvě varianty různých deformačních řad, lišily se buď počtem průvlaků v řadě, nebo zařazením dílčích úběrů v jednotlivých krocích tažení. U jednoho z testovaných drátů bylo nutno zvolit alternativní návrh řad z důvodu špatných finálních výsledků, kde přesné důvody a výsledky jsou uvedeny v technické zprávě bakalářské práce. [13]

Po tažení těchto tří různých drátů přes navržené řady následoval první experiment, kdy bylo ověřeno, jaký vliv má změna deformační řady na mechanické vlastnosti všech testovaných drátů. Tohle ověření bylo provedeno pomocí zkoušky pevnosti v tahu na speciálním trhacím stroji ZWICK ROELL Z 2.5, kde hlavním sledovaným parametrem byla mez pevnosti v tahu R_m a celková tažnost A . Výsledky prvního experimentu jsou mezi sebou porovnány a statisticky vyhodnoceny v technické zprávě. [13]

V druhém experimentu byl ověřen vliv různě sestavených deformačních řad na výslednou stabilitu průměru zkoušených drátů, kde hlavními sledovanými parametry byly indexy způsobilosti procesu C_p a C_{pk} . Výsledky měření průměru všech tří drátů jsou statisticky vyhodnoceny pomocí softwaru MINITAB a uvedeny v grafech (Process Capability) v technické zprávě. [13]

8.2. Popis zkoušky pevnosti v tahu

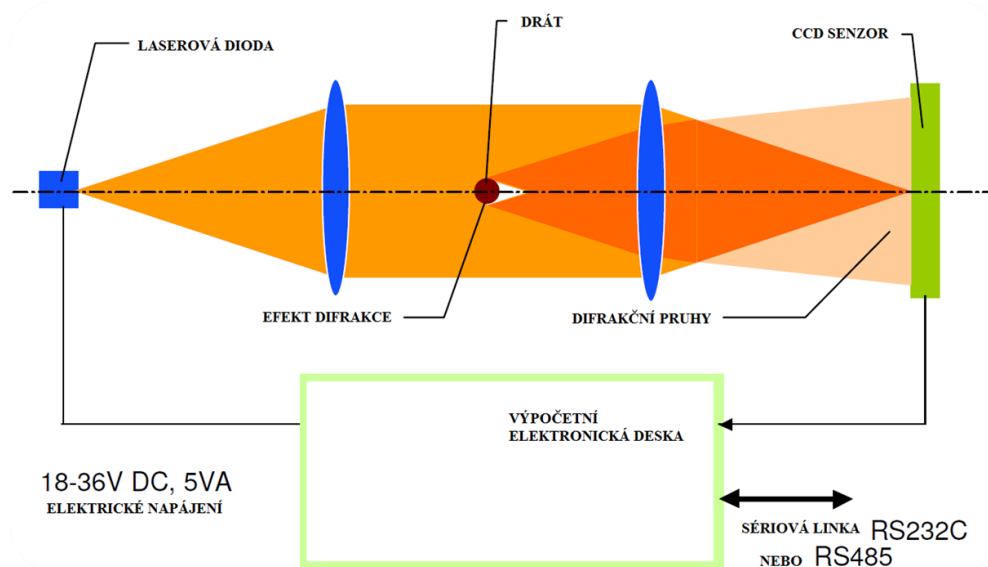
Po každém tažení přes různě sestavené deformační řady se provedla na vytažených drátech trhací zkouška podle ČSN 42 0310, která je nejběžnější statickou zkouškou pevnosti, jejíž pomocí byly vyhodnoceny sledované kvalitativní parametry všech testovaných drátů. Experiment se provedl tak, že každý zkoušený drát byl podroben tahové zkoušce s pětinasobným opakováním, kdy se mezi upínací čelisti trhacího stroje ZWICK/ROELL Z 2.5 – Obr. 18 upnul testovaný drát délky 100 mm a podstoupil tahovou zkoušku při zatěžovací rychlosti 60 mm/min. Výsledky tahových zkoušek byly zaznamenány do přetržení drátu (hlavní sledované hodnoty R_m a A). [13]



Obr. 18 – Trhací stroj ZWICK/ROELL Z 2.5 [11]

8.3. Měření průměru

Jedním z hlavních požadavků kladených na dráty od výrobce a od zákazníka je stabilní průměr. Měření průměru bylo provedeno Off-line na kontrolním pracovišti na převíjecím stroji dvouosým měřicím přístrojem CERZA, který kontroluje průměr drátu laserovým difrakčním snímačem, kdy průběh měření je možno sledovat online pomocí počítačového softwaru. Princip přístroje s laserem CERZA – **Obr. 19**. Podstatou tohoto měření bylo zjistit, jaký vliv má různě sestavená řada průvlaků na stabilitu průměru zkoušených drátů. [13]



Obr. 19 – Funkce CERZA laseru [12]

9. ZÁVĚR, DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Cílem zadání bakalářské práce bylo ověřit pomocí experimentu vliv změny různě sestavených průvlastkových řad na výsledné parametry tažených drátů. Do ověřovací zkoušky jsem zařadil tři různé typy drátů, pro které byly zpracovány vždy dva různé návrhy deformačních řad, kterými se dráty táhly za účelem zjištění, jaký vliv má různě sestavená řada průvlastků na kvalitativní parametry těchto drátů. Navržené řady se od sebe lišily buď různým počtem průvlastků, nebo zařazením jiných dílčích úběrů. [13]

Všechny zkoušené dráty, které byly taženy navrženými deformačními řadami, podstoupily zkoušku pevnosti v tahu s pětinasobným opakováním na stroji ZWICK ROELL Z 2.5 – **Obr. 18**, kvůli zjištění jaký vliv má změna deformační řady na výsledné mechanické vlastnosti drátů (sledované parametry R_m a A). Ze všech pěti opakování tahové zkoušky se provedlo statistické vyhodnocení, kde výsledky všech hodnot mechanických vlastností jsou zaznamenány v tabulkách a jejich porovnání je graficky znázorněno v technické zprávě bakalářské práce. [13]

Z výsledků mechanických vlastností vzorků drátů, které byly taženy odlišnými variantami deformačních řad se dokázalo, že při různém sestavení dílčích úběrů a při různém počtu průvlastků v deformační řadě se mění mechanické vlastnosti drátů a to nejvíce mez pevnosti v tahu R_m , smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ a tažnost A . Tímto ověřením jsem zjistil, že všechny zkoušené vzorky drátů, které byly taženy deformačními řadami tvořenými větším počtem průvlastků, nebo s rovnoměrněji navrženými dílčími deformacemi, měly ve finále nižší hodnoty meze pevnosti v tahu R_m , nižší hodnoty $R_{p0,2}$ a vyšší hodnoty celkové tažnosti A , kde přesné výsledky jsou uvedeny v technické zprávě bakalářské práce. [13]

Po vyhodnocení vlivu rozdílných deformačních řad na mechanické vlastnosti drátu následovalo další experimentální ověření a to měření průměru všech tažených drátů po délce, kdy je důležitým faktorem dodržení tolerančního rozmezí a aby byl u drátů zachován dostatečně shodný průměr. U každého vzorku drátu, který byl tažen různými variantami řad, bylo po měření provedeno statistické vyhodnocení výsledků pomocí počítačem řízeného programu MINITAB za účelem zjištění indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} , které všeobecně určují míru stability procesu. [13]

Výsledné hodnoty indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} ukázaly, že vzorky drátů, které se táhly variantami tvořenými větším počtem průvlaků nebo variantami s rovnoměrnějším navržením dílčích deformací ve výsledku vykazovaly lepší způsobilost procesu, kdy toto zjištění je velmi příznivé, protože stabilní průměr je jedním z hlavních vyžadovaných faktorů nejen od zákazníka, ale i od výrobce. Přesné výsledky jsou uvedeny v technické zprávě bakalářské práce. [13]

Z obou uvedených experimentálních ověření jsem vyhodnotil, že různě sestavená řada průvlaků měla vliv nejen na mechanické vlastnosti, ale i na zvýšení nebo snížení stability průměru po délce. Souhrnně lze konstatovat, že všechny zkoušené vzorky drátů, které byly taženy deformačními řadami, kde byly zařazeny vyšší dílčí úběry nebo když měl návrh řady nerovnoměrnou tendenci dílčích úběrů, vykazovaly zvýšené hodnoty pevnosti R_m a $R_{p0,2}$, pokles hodnot tažnosti A a podstatně horší výsledky hodnot indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} , což znamená zhoršení stability procesu. Přesné vyhodnocení a shrnutí dosažených výsledků je uvedeno v technické zprávě bakalářské práce. [13]

V současné době jsou nároky od zákazníků stále vyšší, musí se tedy neustále zlepšovat technologie výroby, která by měla být značně produktivní a ekonomicky výhodná vzhledem k nákladům na výrobu. Stabilní průměr a dobré mechanické vlastnosti wolframových drátů jsou nejvíce žádaným parametrem požadovaným od současných klientů.

Výsledky obou experimentů mě přiměly k názoru, že pro proces tažení wolframových drátů, kde chceme dodržet lepší stabilitu průměru po jejich délkách, je výhodnější vytvářet návrhy deformačních řad s rovnoměrnějším sestavením jednotlivých dílčích úběrů, nebo s vyšším počtem průvlaků. Bereme-li ohled na ekonomickou stránku variant s rovnoměrněji navrženými deformačními pochody, nedochází z důvodu nižších dílčích úběrů k tak velkému opotřebení a zahřívání průvlaku i drátu a nedochází také k vyšším nárokům na mazání. Snížení pevnosti a zvýšení tažnosti drátů tažených přes rovnoměrněji navržené varianty řad není tak podstatně velké, aby jejich konečná pevnost a tažnost byla nějakým razantním způsobem ovlivněna. Souhrnně je tento proces pro výrobu wolframových drátů ekonomičtější a výhodnější, dosáhneme stabilnějšího průměru bez nějakých podstatně vyšších nákladů. [13]

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] OSRAM. *Firemní profil* [online]. 2012 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.osram.cz/osram_cz/O_spolenosti/Spolenost/Firemn_profil/index.html>
- [2] FABÍK, Richard. *Tváření kovů* [online]. 1. vydání. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 333 s. [cit. 2013-05-02]. ISBN 978-80-248-2572-4. Dostupné z: <<http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf>>
- [3] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Technologie objemového tváření: Tažení drátů a profilů* [online]. 2012 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm>
- [4] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B. *Tváření oceli*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988, 520s. DT 669.14; 621.77(075.8)
- [5] DAVIS, J. R. *Metals Handbook, Vol. 14, Forming and Forging*, ASM Handbook, 1988, 978s., ISBN-13: 978-0871700209
- [6] ANTAAC. *Theory of wiredrawing* [online]. 2007 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <<http://www.antaac.org.mx/descargas/TheoryOfWiredrawing.pdf>>
- [7] FABÍK, Richard. *Vybrané kapitoly z tváření kovů: Tažení/Tváření kovů* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2008 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <<http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/633-Fabik-Vybrane-kapitoly-z-tvareni-kovu-kap-1-5.pdf>>
- [8] WEEBO TECHNOLOGY. *Elektronky: Výroba žhavicích vláken* [online]. 2005 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.edunet.souepl.cz/EZO/el_zhv.htm>
- [9] OSRAM. *Demand form for Tungsten wires* [online]. 2012 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.osram.cz/osram_cz/PRODUCT_CATALOG/Tungsten_wire/index.html>
- [10] WIKIPEDIE. *Wolfram* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Wolfram>>
- [11] ZWICK ROELL. *Zwicki Z2.5* [online]. 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3758>>
- [12] CERSA-MCI. *LDS users manual V4.8: Cerza LDS0650-2-H*. 2010.
- [13] KAŠPAR, Ondřej. *Technická zpráva: Experimentální ověření vlivu různě sestavené průvlakové řady na výsledné parametry taženého drátu*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013, 30s.

11. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Číslo	Popis	Strana	Zdroj
Obr. 1	<i>Znak společnosti OSRAM</i>	6	[1]
Obr. 2	<i>Rozložení sil při procesu tažení</i>	8	[2]
Obr. 3	<i>Průběh podélných a radiálních napětí v pásmu deformace</i>	9	[4]
Obr. 4	<i>Průběh deformace během tažení</i>	10	[2]
Obr. 5	<i>Schéma průvlatku</i>	12	[4]
Obr. 6	<i>Průvlatk z tvrdokovu</i>	14	[7]
Obr. 7	<i>Jádro průvlatku z MKD</i>	14	[7]
Obr. 8	<i>PKD průvlatky</i>	14	[7]
Obr. 9	<i>Opatřebení tvořené kroužkováním</i>	15	[6]
Obr. 10	<i>Mazací soustava při tažení průvlatkem</i>	16	[2]
Obr. 11	<i>Rovnoměrná deformační řada</i>	17	[7]
Obr. 12	<i>Klesající deformační řada</i>	18	[7]
Obr. 13	<i>Rostoucí a klesající deformační řada</i>	19	[7]
Obr. 14	<i>Rostoucí a rovnoměrná deformační řada</i>	19	[7]
Obr. 15	<i>Průřez wolframovým drátem</i>	21	[-]
Obr. 16	<i>Zkouška vlnitosti drátu</i>	22	[9]
Obr. 17	<i>Definice meze pevnosti v tahu</i>	23	[9]
Obr. 18	<i>Trhací stroj ZWICK/ROELL Z 2.5</i>	25	[11]
Obr. 19	<i>Funkce CERZA laseru</i>	25	[12]

12. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Číslo	Popis	Strana	Zdroj
Tab. 1	<i>Vzorce pro výpočet deformací</i>	11	[2]
Tab. 2	<i>Vzorce pro výpočet rozměru drátu</i>	11	[2]
Tab. 3	<i>Fyzikální vlastnosti wolframu</i>	20	[10]
Tab. 4	<i>Kontrola průměru</i>	23	[9]

Poděkování:

Na závěr věnuji mé poděkování panu Ing. Janu Povýšilovi, Ph.D. a panu Bc. Marku Skálovi za poskytnutí dobrých rad a cenných námětů, které ve výsledku pomohly k lepšímu zpracování mé bakalářské práce.

Moje poděkování zcela jistě patří i zaměstnancům společnosti OSRAM Bruntál, kteří byli velmi ochotni zprostředkovat jakoukoliv pomoc.

Ondřej Kašpar