

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY TĚLESA RADIÁTORU

THE TECHNOLOGY OF HEATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

EVA KINTROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Eva Kintrová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie výroby tělesa radiátoru

v anglickém jazyce:

The technology of heater

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na výrobu tělesa – žebra radiátoru. Polotovarem je trubka, na kterou je použita technologie ohýbání. V práci by měl být navržen nový postup výroby tělesa radiátoru.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování aktuální literární studie se zaměřením na technologii ohýbání. Zhodnocení současné technologie výroby tělesa radiátoru s novou navrhovanou technologií. Vypracování postupu výroby tělesa radiátoru, provedení technologických výpočtů, technicko-ekonomické zhodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

- DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
- FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru 2307 Strojírenská technologie předkládá návrh na technologii výroby tělesa radiátory. Součástí práce je charakteristika technologie ohýbání a přípravků pro ohýbání trubek. Jsou zde navrženy možné varianty ohýbání a použití materiálů, výběr nejvhodnější varianty z praktického hlediska. Na základě výběru je provedeno zhodnocení současného stavu, navržení technologického postupu a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: tváření, trubka, tahová zkouška

ABSTRACT

Project elaborated within bachelor's study specialization 2307 Manufacturing Technology submitted project of Technology heater. There are the characteristics technology forming and bending jigs for forming tubes. Different solutions alternative forming and used materials, selection of an optimum option for practical use. The detailed description of the selected estimation present condition, nomination of technology process and economic estimation.

Keyword: metal forming, tube, tensile test

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KINTROVÁ, E. *Technologie výroby tělesa radiátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Marečková.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucí bakalářské práce.

V Brně dne 27.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaele Marečkové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ZADÁNÍ	
ABSTRAKT	
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	
PODĚKOVÁNÍ	
OBSAH.....	- 6 -
1. Úvod	- 12 -
2. Ohýbání	- 13 -
2.1. Technologie ohýbání	- 13 -
2.2. Ohýbání do tvaru V	- 14 -
2.3. Ohýbání do tvaru U	- 14 -
2.4. Stroje a technologie ohýbání	- 15 -
2.5. Technologie ohýbání trubek	- 16 -
2.5.1. Princip ohýbání trubek na trnu	- 16 -
2.5.2. Princip ohýbání tyčí.....	- 16 -
2.5.3. Tvarování trubek ohybem.....	- 18 -
2.5.3.1. Ohýbání bez zpevnění	- 18 -
2.5.3.2. Ohýbání se zpevněním.....	- 18 -
2.5.3.3. Ruční ohyb v přípravku	- 18 -
2.5.3.4. Ohyb navíjením	- 19 -
2.5.3.5. Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou	- 19 -
2.5.3.6. Ohyb s ohřevem.....	- 20 -
2.6. Deformace průřezu při ohýbání.....	- 20 -
3. Zhodnocení současného stavu.....	- 27 -
3.1. Technologické výpočty.....	- 33 -
3.2. Zjednodušené technologické postupy.....	- 37 -
4. Závěr	- 38 -
Seznam použité literatury	- 39 -
Seznam použitých zkratk a symbolů	- 40 -
Seznam příloh	- 41 -

1. Úvod

Tváření je působení sil na kovovou součást, kterou přetvářejí nebo jinak porušují. Při tváření se mění struktura materiálu. Tato změna ovlivňuje vlastnosti kovů (materiálů). Uvnitř materiálu dochází k tvárné nebo-li trvalé plastické deformaci.

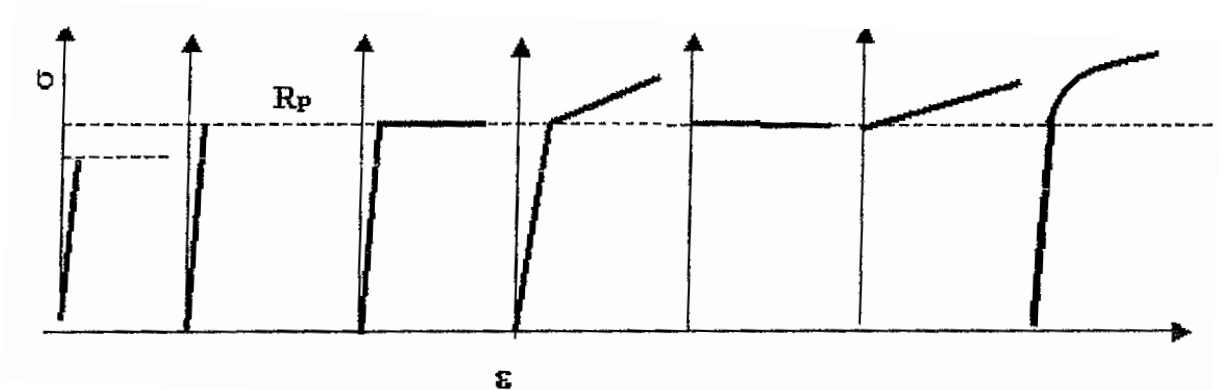
Tváření se dělí na tváření za tepla a tváření za studena. Do tváření za tepla patří, např.: kování, válcování předkovků, příčné klínové válcování a protlačování za tepla.

Do tváření za studena patří lisování, stříhání, ohýbání, zakružování, lemování, rovnání a v poslední řadě i tažení.

Cílem bakalářské práce je vypracování aktuální literární studie se zaměřením na technologii ohýbání. Zhodnocení současné technologie výroby tělesa radiátoru s novou navrhovanou technologií. Vypracování postupu výroby tělesa radiátoru, provedení technologických výpočtů, technicko-ekonomické zhodnocení a závěr.

2. Ohýbání

Ohýbání je pružně plastická deformace, která je způsobena momenty působících vnějších sil. Zasahuje poměrně malý objem polotovaru, v němž napětí a přetvoření mění velikost a směr. Vzniklé tvary jsou rozvinutelné. To se používá pro zjišťování rozvinuté délky a tím i velikosti polotovaru. Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány, zkracovány a roztahovány ve směru příčném. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují a v podélném a příčném směru se stlačují. Mezi zkrácenými a prodlouženými vrstvami - vlákny, je vrstva neutrální. Ohýbáním lze i rovnat zdeformovaný nebo jinak nevhodně tvářený plech (trubku). Při ohýbání tvoří plastická deformační zóna zpravidla jen velmi malou část objemu polotovaru. Poměr plochy povrchu polotovaru k jeho objemu, zůstává během procesu prakticky konstantní. Pružné deformace materiálu tvoří tak významnou část celkových deformací, že nemohou být zanedbány (viz. obr. 1). [6]



Obr. 1 - Průběh napětí při ohybu [4]

R_p - mez kluzu [MPa], σ - normálové napětí [MPa], ϵ - poměrné prodloužení [mm]

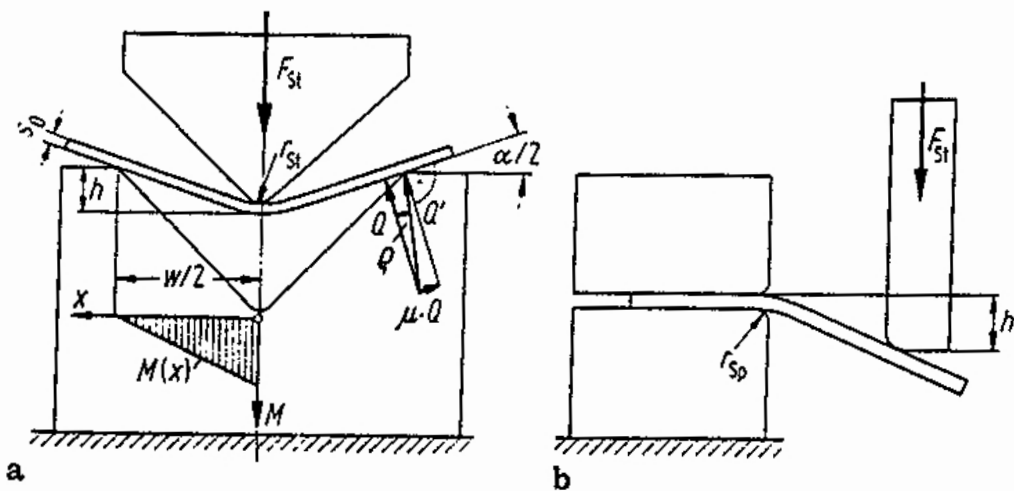
2.1. Technologie ohýbání

Technologie ohýbání se dělí na dva způsoby – na ohýbání volné a ohýbání v pevné ohýbačce (viz. obr. 3)

V obou případech se jedná o volné ohýbání, pokud vnitřní úhel ohybu je větší než rádius ohybníku, respektive ohýbací čelisti. Ve druhém případě se jedná o ohýbání na ohýbačkách. Ohýbání probíhá až na doraz, když ohybník sevře ohýbaný materiál k ohybnici. Působením ohýbací síly dochází ke vzniku ohýbacího momentu. Překročí-li vzniklé napětí v místě maximálního ohybového momentu mez kluzu, dochází ke vzniku trvalých deformací. Další zvyšování ohýbací síly způsobuje rozšiřování plastické deformace směrem k podporám. V místě ohybu vykazuje ohýbaný průřez tři pásma (obr. 2). Pásmo pružných deformací kolem neutrální osy, které je příčinou tzv. dopružování při odlehčení. Dále vnější pásmo trvalého prodloužení a vnitřní pásmo trvalého napěchování. U širokých pásů k deformaci průřezu nedochází, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. [6]



Obr. 2 - Tři pásma v místě ohybu [6]
 σ_k - napětí na mezi kluzu [MPa]



Obr. 3. - Příklad volného ohýbání [6]

2.2. Ohýbání do tvaru V

Průběh deformace je zřejmý z obr. 4. Začíná volným ohýbáním. Konečný tvar a míry ohybu odpovídají geometrii ohybníku a ohybnice. Záleží na tom, zda rádius ohybníku je stejný, menší či větší než rádius ohybnice a dále na poměru l_0/r . [6]



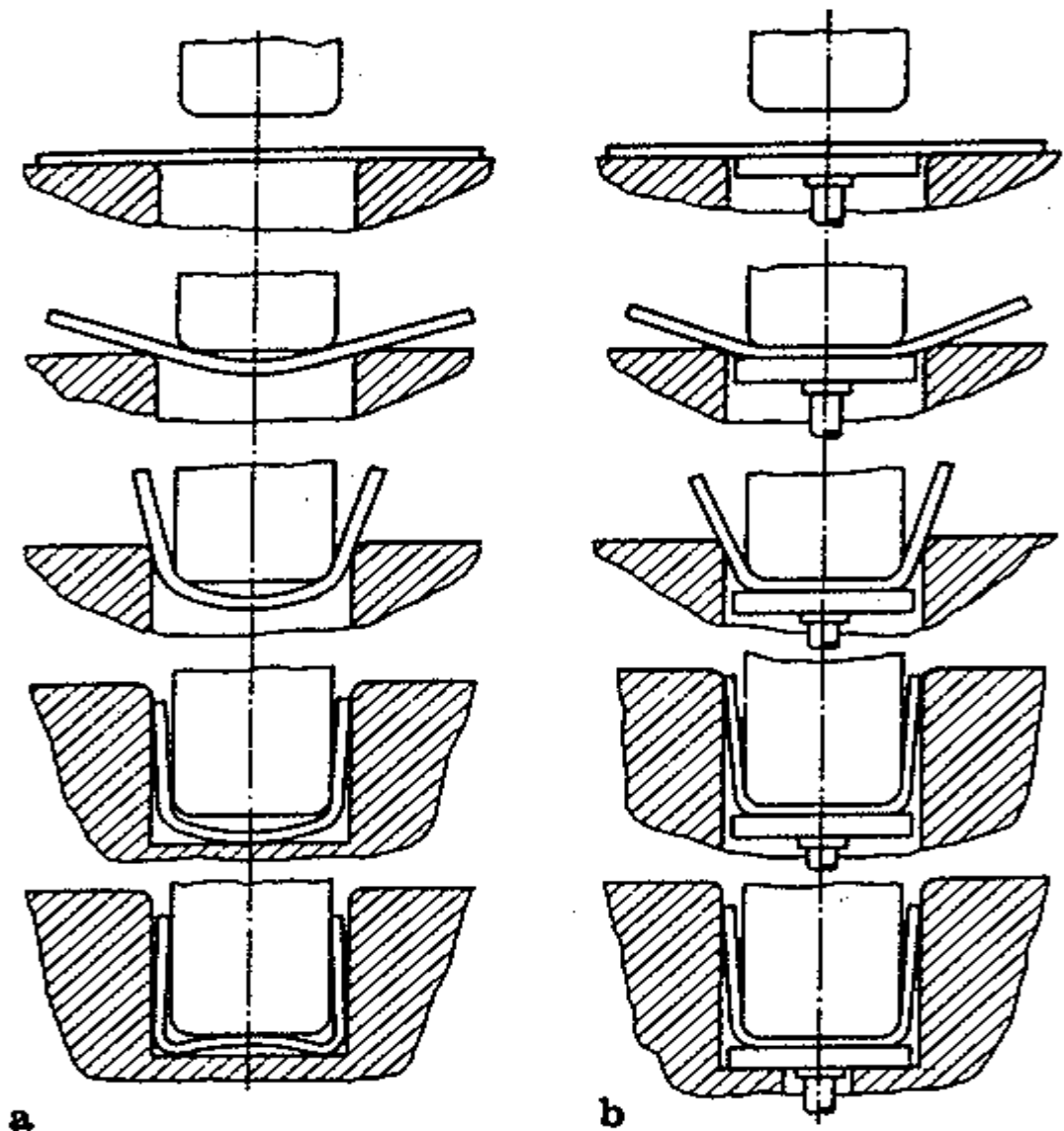
Obr. 4 - Průběh deformace při ohybu do tvaru V [6]
 l_0 - poměrná délka [mm], r - poloměr [mm], s - tloušťka plechu [mm]

2.3. Ohýbání do tvaru U

Rozlišuje se ohýbání bez přidržovače a s přidržovačem (viz obr.5). [6]

Při tomto druhu ohýbání vznikají následující problémy:

- deformace průřezu (viz obr. 4) [6]
- praskání materiálu.



Obr. 5 - Příklad ohýbání do tvaru U [6]

Vlivem zpevňování dochází při ohýbání ke zvětšování tahových napětí. Při nevhodné volbě poměru r/s potom dochází k praskání na vnější vrstvě. Na praskání má vliv rovněž stav ohýbaného materiálu (vyžíhaný má menší sklon k praskání). Dále je důležitá orientace vláken při ohybu. Větší sklon k praskání je při ohýbání kolmo na směr vláken. V důsledku částečného uvolnění pružných deformací dochází ke změně ohnutého tvaru - k odpružení. [6]

2.4. Stroje a technologie ohýbání

Ohýbat se dá volně nebo v pevném nástroji, na ohýbačkách, na lisech nebo válcích (průběžný způsob). Rozdělení jednotlivých technologií ohýbání je následující:

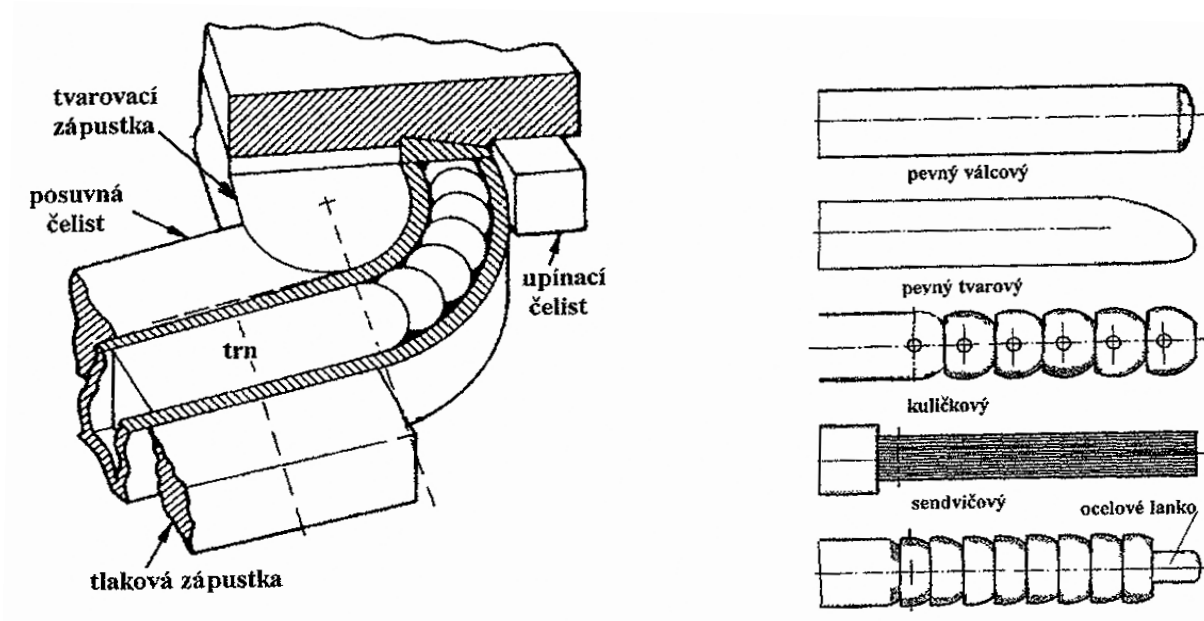
- a) nejběžnější způsob ohýbání je v ruční a na hydraulické ohýbačce
- b) ohýbání na klikových či excentrických lisech
- c) ohýbání ohraňováním na speciálních ohraňovacích lisech

- d) zakružováním v pevných nástrojích na lisech - výroba kruhového tvaru, obvykle se provádí na okraji plechu
- e) lemováním - obvykle se vyztužuje okraj výlisku nebo připravuje plech na vytvoření spoje
- f) zakružováním na zakružovačkách ručních či strojních
- g) profilování - k ohýbání pásu plechu (výroba trubek, profilů) se používají válcovací tratě. Na nich se místo ohybu plech posouvá za současného zvětšování zakřivení.
- h) ohýbání elastickým nástrojem - jedna polovina nástroje je klasický pevný nástroj a druhou polovinou je elastický nástroj. Je z gumy či polyuretanu zejména pro malé série výlisků. Tento nástroj se využívá z hlediska levnějších nákladů a univerzálního použití. Povrchová kvalita výlisků je lepší oproti pevným nástrojům. Naopak přetvárná práce je větší, protože její podstatná část se spotřebuje na deformaci pružné části nástroje. [6]

2.5. Technologie ohýbání trubek

2.5.1. Princip ohýbání trubek na trnu

Je způsob ohýbání, při kterém je trubka vedena upínací čelistí, je tvarování pomocí tvarovací zápustky, která se pohybuje po posuvné čelisti. Vnitřní část trubky je vyplněna trnem. Trny mohou být pevné válcové, pevné tvarové, kuličkové, sendvičové nebo ocelové lanko (viz obr. 6).



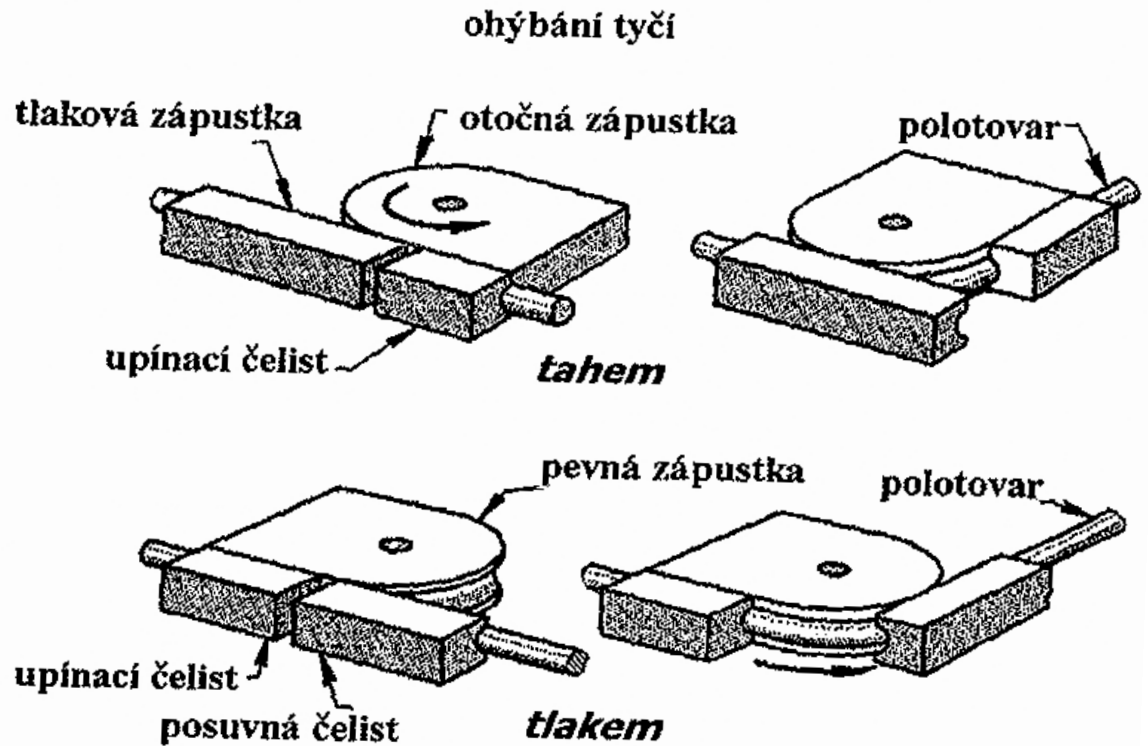
Obr. 6 - Princip ohýbání trubek na trnu [4]

2.5.2. Princip ohýbání tyčí

Ohýbání tyčí se provádí tahem nebo tlakem.

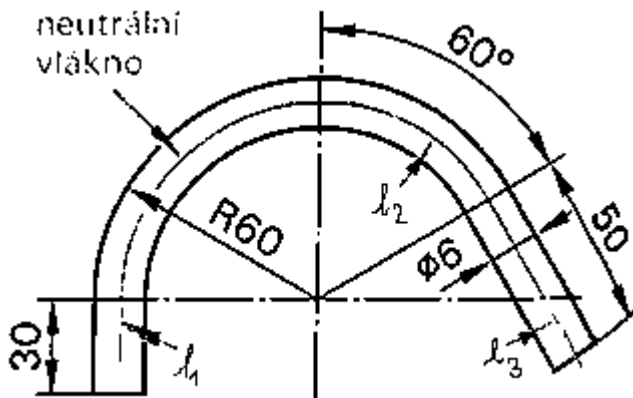
Ohýbání tyčí tahem je způsob, při kterém je tyč upnuta v upínací čelisti a přidržována tlakovou zápustkou. Ohyb tyče je prováděn pomocí otočné zápustky, po které se odvaluje tlaková zápustka.

Ohýbání tyčí tlakem probíhá tak, že tyč je upnuta v upínací a posuvné čelisti. Ta je přitlačována a odvalována po pevné záпустce (viz obr. 7).



Obr. 7 - Příklad ohýbání tyčí [4]

Mezi technologie ohýbání patří rovněž rovnání. Je nutné u plechů skladovaných ve svitcích, deformované manipulací, předchozím zpracováním, atp. Plechy jsou rovnány válcováním. Jednotlivé kusy z měkkého materiálu se dají rovnat mezi plochými čelistmi v rovnacím nástroji. Základním předpokladem úspěšného vyrovnání je, že pružně plastická deformace při rovnací operaci musí být větší než největší nechtěné zakřivení. Tvrdé materiály mívají na rovnací čelisti jehlicovité výstupky. Napřímená délka ohnutého dílu odpovídá přibližně délce neutrálního vlákna (vrstvy). Délka L neutrálního vlákna se u velkých poloměrů ohýbání skládá z jednotlivých dílčích délek l_1, l_2, l_3, \dots (obr. 8). V místě oblouku dochází ke zkrácení délky neutrální osy. [5]



Obr. 8 - Určení délky neutrálního vlákna [5]

Výpočet délky neutrálního vlákna tyče s kruhovým průřezem [5]:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 \text{ [mm]} \quad (1)$$

l_1, l_3 - délka neutrálního vlákna v rovné části trubky

l_2 - délka neutrálního vlákna v ohnuté části trubky

$$l_2 = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ} \text{ [mm]} \quad (2)$$

d - průměr trubky, α - úhel ohnutí trubky

2.5.3. Tvarování trubek ohybem

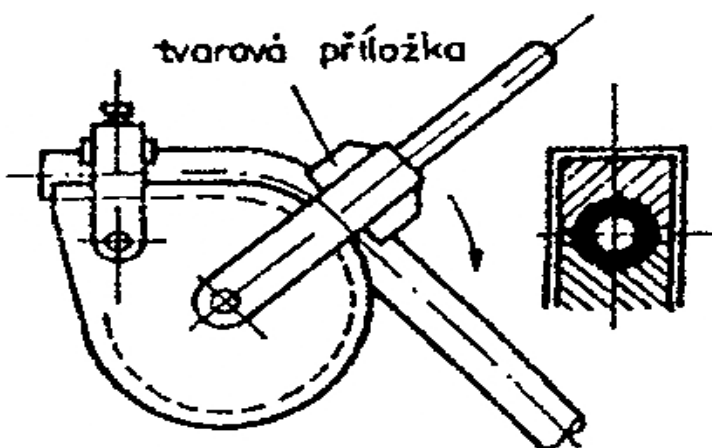
2.5.3.1. Ohýbání bez zpevnění

Roste-li, po dosažení mezního pružného stavu (meze kluzu) v krajních vláknech, dál ohybový moment, proniká plastická oblast pod povrch nosníku a v průřezu se vytvoří dvě oblasti - pružná a plastická. [4]

2.5.3.2. Ohýbání se zpevněním

Při ohýbání tyčí a pásů za studena dochází v důsledku plastického přetvoření ke zpevňování kovu a proto i tečné napětí σ_t vzrůstá. Největší přetvoření a zpevnění nastává v krajních vláknech na povrchu, kde $\sigma_t = \sigma_p$. Protože křivky zpevnění, jsou především funkcí logaritmických přetvoření, lze je velice obtížně aplikovat na ohyb. Tento problém lze odstranit tak, že se stanoví základní závislost přímo mezi potřebným ohybovým momentem a zakřivením nebo úhlem ohybu α . Největší moment je možné přibližně stanovit ze vztahu nebo po dosažení střední hodnoty přirozeného přetvárného odporu. [1]

2.5.3.3. Ruční ohyb v přípravku

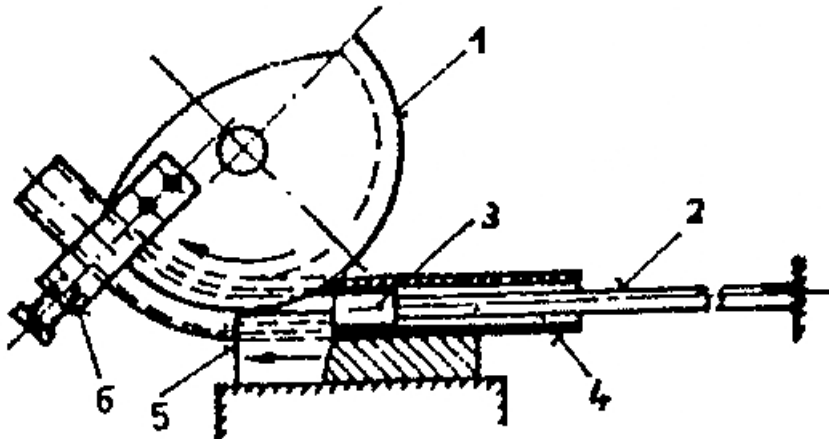


Tento druh ohýbání se používá u tenkostěnných trubek do průměru $D < 20 \text{ mm}$ a $R_{min} \geq 2,5 D$. Na obr. 9 je znázorněno schéma přípravku pro ruční ohýbání v jedné příložce s kladkou s odpovídajícím profilem pro trubku. Trubky se v převážné míře stabilizují „hydraulickou“ kapalinou. [2]

Obr. 9 - Přípravek pro ruční ohýbání [2]

2.5.3.4. Ohyb navíjením

Ohyb navíjením se realizuje natáčením segmentového kotouče (1), ke kterému je trubka (4) uchycena upínkou (6). Trubka je dotlačena do drážky kotouče lištou (5), která má rovněž odpovídající profilovou drážku. Lišta je pevná nebo pohyblivá. Při ohybu trubek navíjením se kvalita ohybu zlepší užitím trnů (3) v podobě hustě vlnuté pružiny, silonových nebo ohebných vložek s tvarem kulových segmentů (viz obr. 10). Ohyb s navíjením pro průměry trubek $D = (12 - 80) \text{ mm}$ se realizuje na strojních ohýbačkách. Kalibrační trn sahá až do místa ohybu, kde působí též dotlačovací profilová kladka. Pro ohyb trubky do $D < 50 \text{ mm}$ je průměr trnu menší o $(0,5 - 0,6) \text{ mm}$, výhodné jsou hydraulicky ovládané ohýbačky s programovým řízením. [2]



Obr. 10 - Vizualizace ohybu navíjením [2]

1 - segmentový kotouč, 2 - nosná tyč, 3 - trn, 4 - trubka, 5 - lišta, 6 - upínka

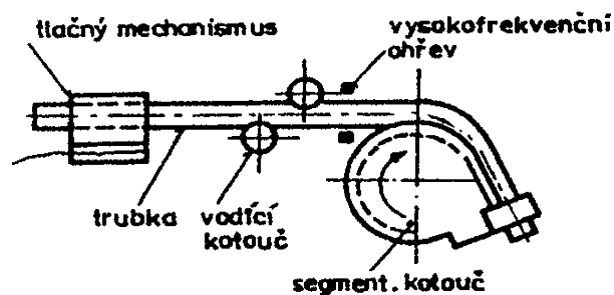
Výpočet poloměru potřebného ke konstrukci ohýbacího segmentu

$$R_r = \frac{\left(R_{kon} + \frac{D}{2}\right) \cdot n}{1 + m \left(R_{kon} + \frac{D}{2}\right)} - \frac{D}{2} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

R_r - poloměr ohybu trubky, dokud působí ohýbací síly a momenty, R_{kon} - poloměr ohybu trubky po odpružení, D - průměr ohýbaného materiálu, m, n - součinitel pro výpočet zpětného odpružení

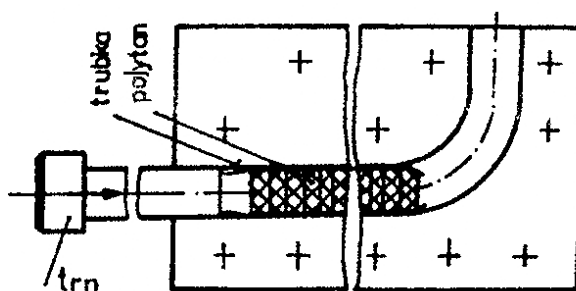
2.5.3.5. Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou

Při konvenčním ohýbání trubek na $R/D = (1,7 - 1,5)$ dochází ke značnému ztenčení tloušťky stěny na vnějším poloměru, který činí kolem 25 %. Uvedený nedostatek kompenzují technologie ohybu za současného tlaku bez ohřevu nebo s ohřevem trubky. Nejlepších výsledků se dosáhne ohybem kombinovaným s tlakem a vysokofrekvenčním ohřevem v úzce vymezené oblasti trubky (viz obr. 11). [2]



Obr. 11 - Kombinace tlaku a ohřevu při ohýbání [2]

Jiný způsob ohýbání krátkých tenkostěnných trubek na velmi ostrý ohyb je protlačováním za studena do dělené zápusťky s využitím polytanové výplně ve formě kroužku. Konec trubky je zčásti uzavřen. Trn působí pouze na polytan, který se rozpěchuje. V důsledku třecích sil je trubka polytanem „nesena“ ve směru pohybu trnu a její průřez je zatěžován tlakovým napětím. Dochází k napěchování stěny, čímž je v ohnisku deformace kompenzováno její ztenčování. Vznik zvlnění na vnitřním poloměru je potlačen vysokým tlakem polytanu (viz obr. 12). Dle literatury [2] platí: pro trubku $s/D = 0,052$ a $R/D = 1,5$ a z toho vyplývá, že dojde ke zvětšení tloušťky stěny o (4 - 30)%.



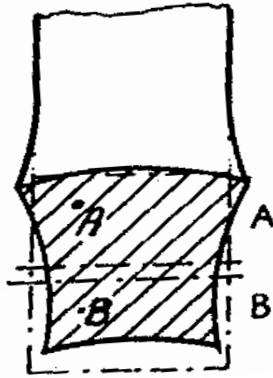
Obr. 12 - Využití polytanové výplně při ohýbání trubky [2]

2.5.3.6. Ohyb s ohřevem

Je určitým východiskem pro případy, kdy ohyb za studena nepřináší žádné výsledky. Ohřev se provádí kyslíko-acetylenovým plamenem v místě ohybu s větším nahřátím vnitřní strany poloměru. Ohyb se provádí v přípravku, který je vlastně šablonou daného tvaru ohnutého dílce. Dutina trubky se plní suchým sklářským pískem. Výhodou této metody je menší ohýbací síla a menší hodnoty odpružení. Nevýhodou jsou vyšší náklady (ohřev, čištění, tepelné zpracování), nižší produktivita práce, horší kvalita povrchu, náročnější příprava trubky pro ohyb s ohřevem. [2]

2.6. Deformace průřezu při ohýbání

Při ohýbání silných profilů nebo trubek dochází k protažení vnějších a stlačením vnitřních vláken, a tedy ke změně průřezu (viz obr. 13). [5]



Obr. 13 - Deformace průřezu při ohybu [5]

Minimální poloměr ohybu - je nejmenší vnitřní poloměr ohybu, při kterém se materiál ještě neporuší. Tento poloměr ohybu limituje podmínka, aby tahové napětí na vnější straně ohýbaného materiálu nepřekročilo napětí na mezi pevnosti v tahu R_m . [4]

$$\varepsilon_{1\text{Cobra}} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \frac{(R_1 + t) \cdot \alpha - \left(R_1 + \frac{t}{2}\right) \cdot \alpha}{\left(R_1 + \frac{t}{2}\right) \cdot \alpha} = \frac{t}{2R_1 + t} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

l - celková délka, l_0 - konečná délka, R_2 , R_1 - poloměr ohybu, t - tloušťka trubky, α - úhel ohybu, ρ_n - hustota materiálu

Maximální poloměr ohybu - je poloměr, při němž v krajních vláknech dojde právě k trvalému, nevratnému přetvoření. [1]

$$R_{1\text{maxCobra}} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

t - tloušťka trubky, E - modul pružnosti v tahu, σ_k - napětí na mezi kluzu

Stanovení poloměru ohýbací čelisti r_1 a úhlu ohnutí α_1 na ohýbačce - poloměr ohýbací čelisti r_1 závisí na poloměru r_2 součásti, tloušťce s a koeficientu zpětného odpružení k_R (viz tab. 1). [5]

Tab. 1 - Příklad koeficientů zpětného odpružení k_R [-] [5]

Tabulka 1: Koeficienty zpětného pružení k_R							
Materiál ohýbaného dílu	poměr $r_2 : s$						
	1	1,6	2,5	4	6,3	10	16
	koeficient zpětného pružení k_R						
S235JRG1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96
X10CrNi18-8	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89	0,84
CuZn33	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,89
CuNi18Zn20	-	-	-	0,97	0,96	0,95	0,92
EN AW-Al99,0	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97
EN AW-AlCu4Mg1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96
EN AW-AlSi1MgMn	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90

Poloměr ohýbací čelisti je dán vztahem [5]:

$$r_1 = k_R \cdot (r_2 + 0,5 \cdot t) - 0,5 \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

kde:

k_R - koeficient zpětného odpružení [-], t - tloušťka materiálu [mm], r_1 - poloměr ohýbací čelisti [mm], r_2 - poloměr součásti [mm]

Zvětšený úhel ohnutí α_1 se stanoví rovněž s použitím koeficientu zpětného odpružení k_R [5]:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{k_R} \quad [^\circ] \quad (7)$$

Odpružení při ohýbání - v oblasti ohybu je obecně pružně - plastický stav deformace, kdy proti trvalým deformacím vnějších vrstev působí ohybovým momentem pružně deformované vnitřní vrstvy. Tento jev se vyskytuje i v případě trvalých deformací všech vrstev materiálu o tloušťce s , protože pro každou plastickou deformaci platí zákon pružného odlehčení. Po ukončení ohybu, kdy nepůsobí síly zatěžování, popsany jev vyvolá změnu křivosti, resp. úhlu ohybu o tzv. úhel odpružení. Na celkovém odpružení se podílí také nerovnoměrnost rozložení deformací způsobená nehomogenní strukturou reálného materiálu v deformovaných vrstvách. [6]

Výpočet zpětného odpružení:

$$R_{kon} = \frac{1}{\frac{n}{R_r \frac{D}{2}} - m} - \frac{D}{2} \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

R_r - poloměr ohybu trubky, dokud působí ohýbací síly a momenty, R_{kon} - poloměr ohybu trubky po odpružení, D - průměr ohýbaného materiálu, m , n - součinitel pro výpočet zpětného odpružení

Úhel zpětného odpružení:

$$\alpha_r = \alpha_{kon} \frac{R_{kon}}{R_r} \Rightarrow \alpha_{kon} \left(\frac{R_{kon}}{R_r} - 1 \right) \quad [^\circ] \quad (9)$$

α_r - úhel na, který je trubka ohnuta před odpružením, α_{kon} - konečný úhel ohybu, R_r - poloměr ohybu trubky, dokud působí ohýbací síly a momenty, R_{kon} - poloměr ohybu trubky po odpružení

Plocha zplošťující síly:

$$f_v = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D - 2t)^2}{4} \right] \quad [\text{mm}^2] \quad (10)$$

D - průměr trubky, t - tloušťka stěny trubky, f_v - plocha zplošťující síly

Nejsou-li dodrženy technologické zásady pro ohýbání, zejména na poměr s/D a R_{min} , dochází ke vzniku *výraznějších defektů*, např.:

- značné ztenčení stěny trubky v oblasti vnějšího průměru ohybu, případně vznik trhlin,
- značné zploštění kruhového průřezu,
- zvlnění stěny v oblasti vnitřního poloměru ohybu,
- nedosažení požadovaného zaoblení (změna poloměru či úhlu ohybu trubky).

Optimální technologie ohybu trubek vyžaduje dodržení podmínky: $s/D \geq 0,1$ a $R_{min}/D \geq 3$, kde s je výchozí tloušťka trubky, D vnější průměr ohýbané trubky, R_{min} - minimální poloměr ohybu, který se stanoví výpočtem na základě empirických vztahů kde $R_{min} = f(K, D, \Delta s)$. [2]

Poloměr ohybu:

$$\rho = \frac{R}{D} \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

ρ - poloměr ohybu, R - poloměr trubky, D - průměr trubky

Zmenšení tloušťky stěny:

$$t_v = \frac{t \cdot R}{R + \frac{1}{2} \cdot (D - t)} \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

t_v - tloušťka, na kterou se trubka po ohnutí zmenší, t - tloušťka stěny trubky před ohnutím, R - poloměr trubky, D - průměr trubky

Druhy výplní při ohýbání trubek

Vznik výše uvedených defektů lze do jisté míry potlačit použitím vhodných výplní, které stabilizují kruhový průřez poloměru. „Plnidla“ bývají tuhá, tekutá, mechanická, elastická a sypká. Bez plnidla lze ohýbat ocelové trubky s průměrem $D < 8$ mm a $R/D \geq 6$ a duralové trubky s $D < 12$ mm a $R/D \geq 4$. Pro ohyb krátkých trubek s větším průměrem jsou vhodná tuhá resp. lehce tavitelná plnidla, např. kalafuna, dusičnan vápenatý, ledek draselný, technická močovina. Jejich nevýhodou je křehkost plnidla a výhodou je snadný výplach horkou vodou (70 až 80)° C. Pro všechny průměry trubek, které se ohýbají ručně je vhodná kapalina v podobě hydraulické směsi (oleje AMG - 10). K plnění je zapotřebí jednocelové zařízení, konce trubek jsou opatřeny šroubením, apod. Tlak kapaliny bývá 25 až 40 MPa. Výhodou je snadné odstranění kapaliny z trubky. Mechanické výplně se používají v podobě husté pružiny, silonových nebo kovových ohebných vložek, které mají tvar kulových segmentů. V zahraničí se používá k ohýbání trubek s poloměrem zaoblení trubky menším než udává DIN 2605, plnidlo na bázi lehkotavitelné slitiny o složení kadmium, vizmut, hutnické měkké olovo, čistý cín. Bod tavení slitiny je 80° C. Slitina se opět roztaví v teplé vodě cca 90° C. Plnidlo lze opakovaně používat. Trubky z oceli, hliníku a barevných kovů se bezproblémově ohýbají ve snadno zhotovitelných přípravcích. Metoda je vhodná v malosériové výrobě. Trubka po ohnutí není poškozena zevnitř ani na vnějším povrchu. [2]

Vliv vybraných prvků na podmínky tváření

Podmínky tváření jsou významně ovlivněny vlastnostmi oceli v intervalu tvářecích teplot, a ty závisí na chemickém složení a strukturním stavu oceli, jakož i na výskytu fází v základní struktuře.

Nejvyšší tvařitelností se vyznačují čisté kovy (čisté hranice zrn a skluzové roviny, malý počet překážek pro pohyb dislokací). Pro kovy s kubickou plošně centrovanou mřížkou je příznačný monotonní vzestup plastických vlastností v závislosti na teplotě s maximem u horní tvářecí teploty. U kovů s jiným druhem mřížky je nutno počítat s náchylností ke křehkosti za nižších teplot.

Pokud se jedná o slitiny s jednofázovou strukturou (tuhé roztoky s neomezenou rozpustností), pak pro jejich vlastnosti je rozhodující ovlivnění mřížky základního kovu přísadovým prvkem. Jakékoliv narušení mřížky základního kovu vede ke snížení plastických vlastností tuhého roztoku. Porušení je tím větší, čím více se přísadový prvek liší od základního kovu ve velikosti atomového poloměru, v druhu mřížky, ve vlastnostech, a čím menší je rozpustnost přísadového prvku za nižších teplot.

Výrazně ovlivňují vlastnosti tuhého roztoku především intersticiální prvky C, N, B, O a substituční prvky s podstatně větším atomovým poloměrem, než má základní kov. Plastické vlastnosti vysokolegovaných tuhých roztoků jsou v intervalu tvářecích teplot nízké, avšak bez výskytu pásem zvýšené křehkosti.

Za určitých podmínek se narušuje strukturní stabilita základní strukturní složky, což vede ke vzniku vícefázové struktury. Pro oceli připadá nejčastěji v úvahu tváření v podmínkách koexistence austenitu a feritu, popř. austenitu a cementitu. U podeutektoidních uhlíkových ocelí vzniká dvoufázová struktura v oblasti fázových přeměn $\alpha \rightarrow \gamma$, kdežto u legovaných ocelí vzniká za vysokých teplot, kdy výskyt feritu způsobují karbidotvorné prvky (Cr, W, Si, Mo, Al, Ti a další). Vzhledem k tomu, že obě fáze se v této teplotní oblasti vyznačují rozdílnými mechanickými vlastnostmi a difúzní schopností, nutno při jejich společném výskytu počítat vesměs se sníženou tvařitelností.

Ve slitinách s heterogenní strukturou se objevují různé chemické sloučeniny, intermetalické fáze a eutektika, jejichž vlastnosti a způsob výskytu ovlivňují rozhodujícím způsobem podmínky tváření za tepla. Mohou totiž blokovat skluzové mechanismy plastické deformace uvnitř i na hranicích zrn, anebo, v případě nízkotajících sloučenin a eutektik, snižovat kohezivní pevnost a zvyšovat náchylnost ke křehkému lomu za tepla.

Podmínky tváření za tepla ovlivňuje dále i průběh uzdravovacích pochodů, především pak rekrytalizace. Kinetiku těchto pochodů zpomalují prvky s vysokou teplotou tání (Cr, Mo, Mn) a prvky, které snižují energii vrstevné chyby zrn, subzrn, skluzových rovin, zejména pokud se vylučují při plastické deformaci za tepla. Jedná se např. o karbidy, nitridy, karbonitridy Cr, Ti, Zr, V a hlavně Nb. Naopak, příznivý vliv na kinetiku uzdravovacích pochodů má jemné zrno a feritická struktura.

- **uhlík** - rozmezí obsahu uhlíku v běžných ocelích, které se podrobují tváření, je 0,04 až 1,2 %. Nejvyšší tvařitelností se vyznačují uhlíkové oceli s obsahem kolem 0,20 % C. Při vyšším obsahu uhlíku se tvařitelnost zhoršuje vlivem stoupající náchylnosti k přehřátí, při nižším obsahu hrozí nebezpečí v podobě vyššího obsahu kyslíku v oceli, což se projevuje zvýšenou křehkostí za tepla. Přirozený deformační odpor uhlíkových ocelí se snižuje se stoupajícím obsahem uhlíku, přičemž tento pokles je za nižších teplot méně výrazný.
- **mangan** - oceli s obsahem 2 až 3 % Mn se vyznačují nejvyšší tvařitelností, neboť vazbou síry na mangan vzniká MnS s vyšší teplotou tání (1600° C) než FeS (1199° C) a s příznivějším způsobem výskytu (globule uvnitř zrn proti síťové na hranicích zrn),. Při vyšším obsahu Mn stoupá náchylnost ke vzniku tepelných napětí (snížená tepelná vodivost) a k přehřátí.
- **křemík** - pokud je rozpuštěn v tuhém roztoku (0,2 až 0,7 %), tvařitelnost téměř neovlivňuje. Při obsahu vyšším než 2 % (oceli pro elektrotechniku) vzniká dvoufázová struktura s velmi nízkou tvařitelností. Pokud obsah křemíku překročí 3 %, převládá již feritická struktura se značnou náchylností k růstu zrna, sníženým deformačním odporem, zvýšenou tvařitelností, větším šířením, celistvější vrstvou okují a nižším součinitelem deformačního napětí. Při tváření za studena zvyšuje křemík náchylnost ke křehnutí.
- **chróm** - patří k feritotvorným prvkům. V oblasti tvářecích teplot se oceli v závislosti na obsahu Cr vyskytují v austenitickém stavu (do 11 % Cr), ve dvoufázovém stavu $\alpha + \gamma$ (11 až 17% Cr) a ve feritickém stavu (nad 17 % Cr). Charakteristickou zvláštností feritických ocelí s vysokým obsahem chrómu je silná náklonnost k růstu zrna. Chróm snižuje tvařitelnost a tepelnou vodivost oceli, zvyšuje deformační odpor. Při nevhodném způsobu ohřevu a ochlazování podporuje vznik tepelných napětí.
- **nikl** - na tvařitelnost a deformační odpor má téměř zanedbatelný vliv. Následkem velké afinity k síře vzniká nízkotající NiS (teplota tání 797° C) a nízkotající eutektikum (teplota tání 645° C); obě se vylučují po hranicích zrna a způsobují lámavost za červeného žáru.
- **molybden** - jeho přísadou se vždy ztěžují podmínky tváření ocelí za tepla, neboť jako silně feritotvorný prvek podporuje tvorbu heterogenních struktur, které se vyznačují sníženou tvařitelností. V oblasti tvářecích teplot snižuje výrazně rekrytalizační schopnost a tvařitelnost, zvyšuje deformační odpor, což se vysvětluje sníženou pohyblivostí atomů molybdenu a sníženou samodifúzí železa. K zvlášť výraznému poklesu tvařitelnosti dochází při obsahu nad 2 % Mo. Velká afinita molybdenu k síře (srovnatelná s niklem) vede ke vzniku MoS₂ s teplotou tání 1185° C. Nízkotající sulfidická eutektika se vylučují v podobě síťové po hranicích zrn, takže při tváření, zejména velkých výkovků a trubek, na jejichž plastické vlastnosti v jádře se kladou vysoké požadavky, se mohou objevit vnitřní trhliny.
- **wolfram** - silně karbidotvorný prvek. Při dostatečně vysokém obsahu uhlíku vznikají poměrně stabilní karbidy, které se v intervalu tvářecích teplot nemohou zcela rozpustit. Tam se také zpomaluje rozvoj skluzových mechanismů, což spolu s omezenou rekrytalizační schopností vyúsťuje ve snížení tvařitelnosti a zvýšení deformačního odporu.

- **měď** - do běžného obsahu, tj. do 0,2 %, nebyl vliv mědi na tvařitelnost oceli za tepla a za studena prokázán. Při zvýšeném obsahu mědi se může objevit lámavost za bílého žáru, způsobená vyredukováním mědi pod vrstvu okují, což má za následek porušení soudržnosti hranic zrn při tváření. Tato vada se objevuje v ocelích se zvýšeným obsahem uhlíku při ohřevu v oxidační atmosféře na teplotu vyšší než 1100° C. Nepříznivý vliv mědi může být potlačen přísadou niklu nebo molybdenu. Podobně jako měď působí i cín a olovo; zvláště nepříznivé je jejich současné působení.
- **síra** - malá rozpustnost síry v železe vede k tomu, že se v oceli vyskytuje v podobě FeS a MnS, popř. i sulfidů dalších přísadových prvků. Sulfidy a jejich eutektika s nízkou teplotou tání, vytvářejí síťoví po hranicích zrn a vyvolávají lámavost za červeného žáru. Méně nebezpečné jsou sulfidy a eutektika s vysokou teplotou tání, které se vylučují v podobě globulí v základní struktuře. U běžných ocelí je pro odstranění lámavosti nezbytné dosáhnout poměru Mn/S $\geq 2,5$, kdy se síra váže na mangan. Vzhledem k tomu, že lámavost podporuje i obsah kyslíku v oceli, zvláště nepříznivý vliv na tvařitelnost má síra spolu s mědí.
- **fosfor** - pokud se v intervalu tvářecích teplot vyskytuje v tuhém roztoku s železem, nemá podstatný vliv na tvařitelnost. Při tváření za studena snižuje při obsahu nad 0,04 % tvařitelnost (lámavost za modrého žáru).
- **kyslík** - přebytečný kyslík v oceli (důsledek neúplné dezoxidace) podporuje vznik oxidů, které mají sice vysokou teplotu tání, ale v oceli jsou vesměs vázány v podobě komplexních sloučenin, jejichž teplota tání je natolik nízká, že může být jednou z hlavních příčin lámavosti za červeného žáru. Vazbou kyslíku na prvky s vysokou kyslíkovou afinitou (Al, Ti, Zr, Ce a další) vzniknou oxidy s vysokou teplotou tání, což se projeví podstatným zlepšením tvařitelnosti.
- **vodík** - tvařitelnost sice bezprostředně neovlivňuje, ale je jednou z příčin charakteristických vnitřních trhlin - vloček - které se objevují až po ochlazení některých vývalků a výkovků z výšeuhlíkových a legovaných ocelí.
- **dusík** - s železem vytváří nitridy, které jsou do určitého obsahu rozpustné v železe. Tvařitelnost za studena se od určitého obsahu dusíku snižuje následkem intenzivního zpevňování. Tvařitelnost za tepla zůstává při obvyklém obsahu dusíku (0,002 až 0,015 %), neovlivněna, při zvýšeném obsahu (nad 0,03 %) se zhoršuje (lámavost za červeného žáru).
- **kovy vzácných zemin** - v poslední době se při výrobě oceli rozšířilo použití kovů vzácných zemin (Ce, Zr, La, aj.), které se i v malém množství vyznačují zvýšenou afinitou ke kyslíku a síře, tedy k těm prvkům, které výrazně zhoršují tvařitelnost oceli. Příklad kovy vzácných zemin se zvyšuje účinek dezoxidace, ale především se snižuje obsah síry a mnohem snadněji se mění tvar sulfidů a způsob jejich vyloučení, což ve svém souhrnu zvyšuje tvařitelnost oceli. Snižování anizotropie mechanických vlastností jednosměrně válcovaných plechů a pásů se dosahuje např. přísadou zirkonu. [3]

3. Zhodnocení současného stavu

V současné době se ve firmě ISAN Radiátory, s. r. o. ohýbají dva druhy trubek a to z materiálu nízkolegované, neuklidněné oceli třídy 11 343.0. Z \varnothing 18 x 1,5 mm je vyráběn radiátor typu Koro a z \varnothing 26 x 1,2 mm je vyráběn radiátor typu Cobra (viz příloha 1 a 2). Již zmíněné trubky se ohýbají na ohýbacím CNC stroji BLM NCS832 (příloha č. 3).

Při výrobě obou typů radiátorů, tj. Koro a Kobra, z první série materiálu dodané stávajícím dodavatelem, se v místech ohybu ojediněle vyskytovaly vady zjistitelné vizuální kontrolou, tj. praskliny (viz. obr. 14). Dále byly radiátory vyráběny z další dodávky materiálu od stejného dodavatele, ale při ohybu trubek bylo zřejmé, že je dodaný materiál jiný. V místě ohybu se objevily praskliny i puchýře. (viz. obr. 15).



Obr. 14 - Praskliny po ohnutí materiálu

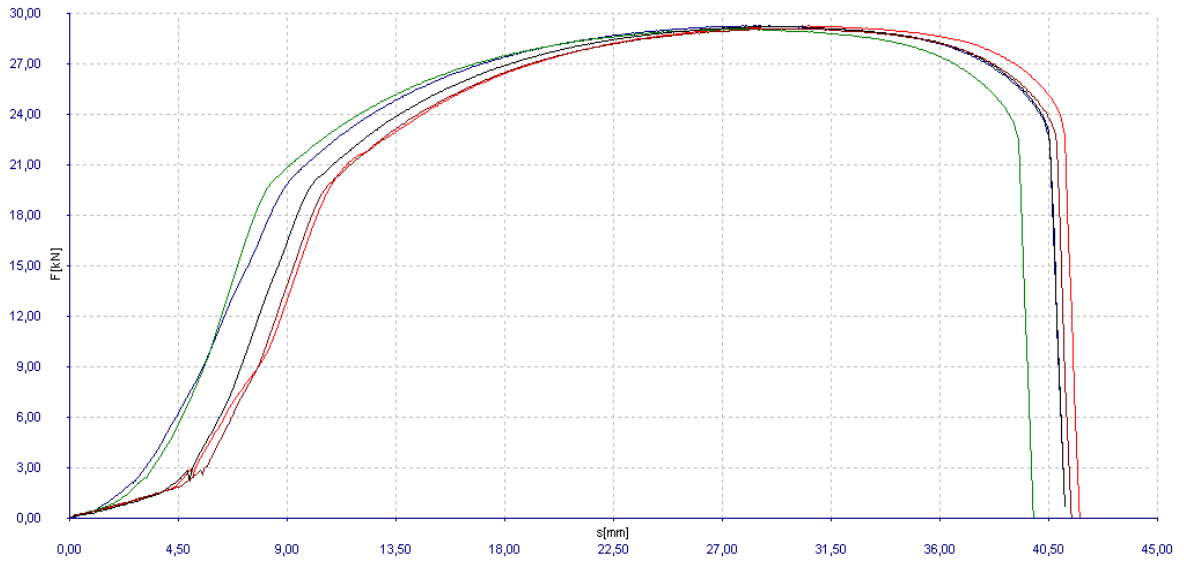


Obr. 15 - Puchýře po ohnutí materiálu

Na základě této vizuální kontroly byla provedena trhací zkouška na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 /400kN/ (viz. příloha 4), pod vedením Ing. Kamila Podaného, PhD. Ke zkoušce byly použity vzorky trubek z první i druhé série dodaného materiálu o \varnothing 18 x 1,5 mm (obr. 16, 17, 18, 19) a \varnothing 26 x 1,2 mm (obr. 20 a 21).



Obr. 16 - Vzorek před zkouškou na tahovém hydraulickém stroji \varnothing 18 x 1,5 mm (původní dodaný materiál)



Graf 1 - Průběh tahové zkoušky u 1. série dodaného materiálu - \varnothing 18 x 1,5 mm

Tabulka 2: Naměřené hodnoty tahové zkoušky - \varnothing 18 x 1,5 mm:

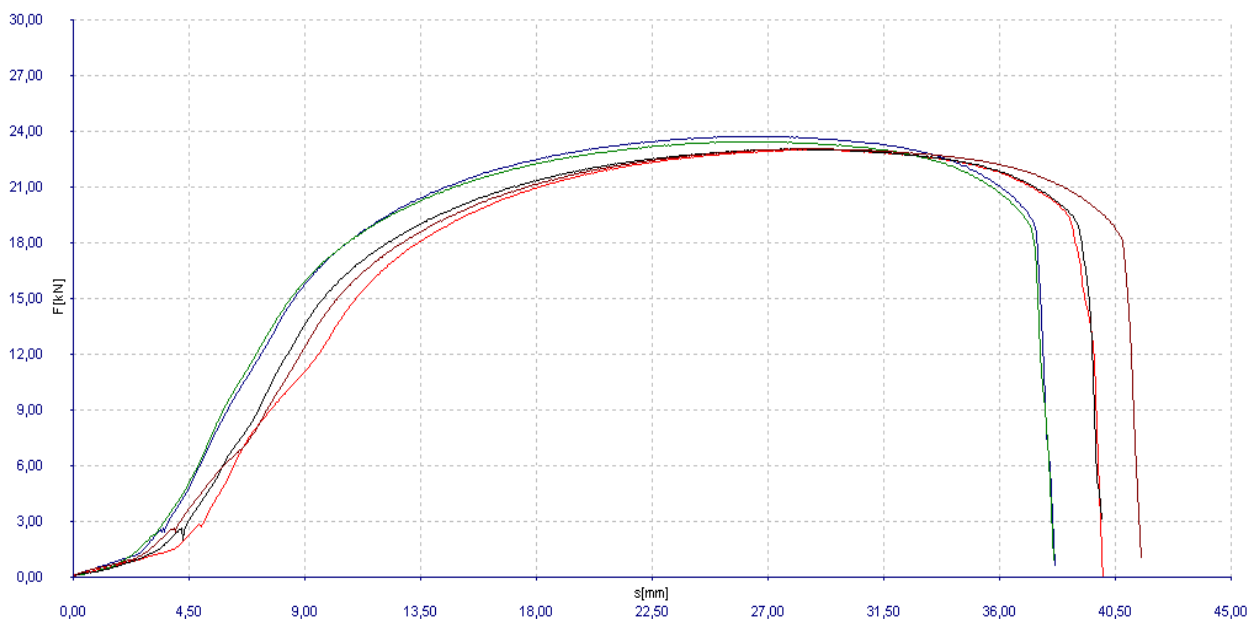
číslo zk.	a[m m]	D[m m]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	R_{p2} [MPa]	R_m [MPa]	A[%]	v_t [mm/m in]	T[s]	v_{t1} [M Pa/s]
1	1,5	18	77,754	29255,600	259,547	376,258	44	5,668	79,56	4,993
2	1,5	18	77,754	29264,801	262,088	376,377	46	7,523	80,04	5,016
3	1,5	18	77,754	29058,000	256,162	373,717	46	5,276	79,24	5,000
4	1,5	18	77,754	29218,000	259,182	375,775	46	6,217	79,24	5,007
5	1,5	18	77,754	29105,199	254,346	374,324	44	5,654	79,28	4,996



Obr. 17 - Vzorek po zkoušce na tahovém hydraulickém stroji \varnothing 18 x 1,5 mm (původní dodávaný materiál)



Obr. 18 - Vzorek před zkouškou na tahovém hydraulickém stroji \varnothing 18 x 1,5 mm (současný dodávaný materiál)



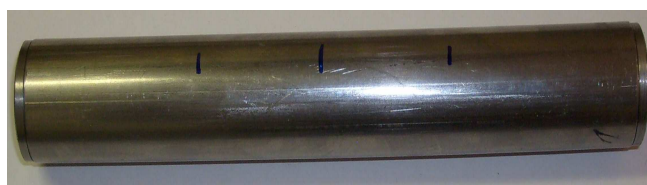
Graf 2 - Průběh tahové zkoušky u 2. série dodaného materiálu (současného)

Tabulka 3: Naměřené hodnoty tahové zkoušky - ϕ 18 x 1,5 mm:

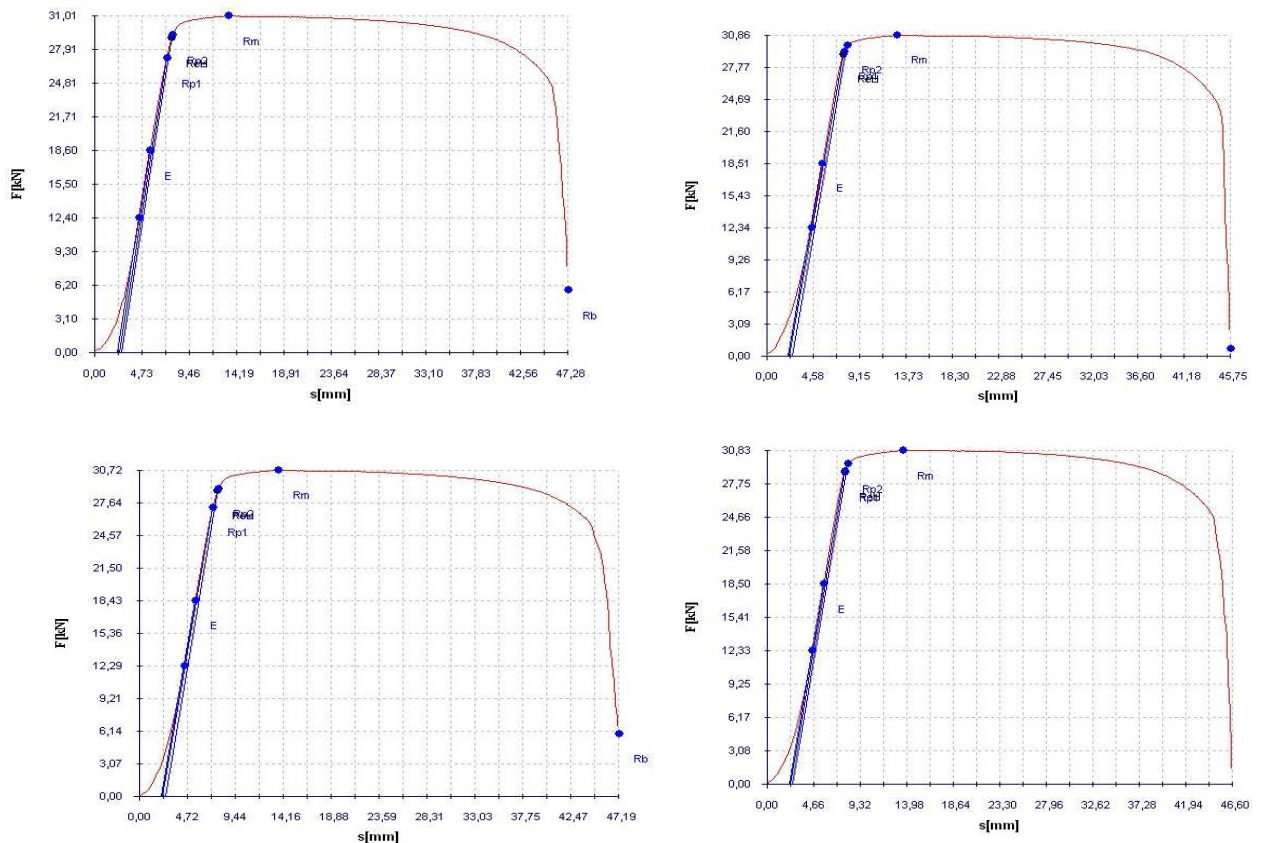
číslo zk.	a[m m]	D[m m]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	R_{p2} [MPa]	R_m [MPa]	A[%]	v_t [mm/m in]	T[s]	v_{t1} [M Pa/s]
6	1,5	18	77,754	23011,199	216,977	295,949	46	13,212	63,22	5,014
7	1,5	18	77,754	23744,801	211,534	305,384	44	10,048	65,44	5,011
8	1,5	18	77,754	23462,801	209,234	301,757	44	10,052	64,54	5,013
9	1,5	18	77,754	23039,600	199,316	296,314	44	9,348	63,24	5,001
10	1,5	18	77,754	23067,600	201,492	296,674	45	10,131	64,14	5,002



Obr. 19 - Vzorek materiálu po zkoušce na tahovém hydraulickém stroji ϕ 18 x 1,5 mm (současný dodávaný materiál)



Obr. 20 - Vzorek materiálu před zkouškou na tahovém hydraulickém stroji ϕ 26 x 1,2 mm



Graf 3 – Průběh tahové zkoušky u materiálu

ø 26 x 1,2 mm

Tabulka 4: Naměřené hodnoty tahové zkoušky - ø 26 x 1,2 mm:

číslo zk.	a[m m]	D[m m]	S ₀ [mm ²]	F _m [N]	R _{p2} [MPa]	R _m [MPa]	A[%]	v _t [mm/min]	T[s]	v _{tl} [MPa/s]
1	1,2	26	93,494	31007,2	312,2339	331,6491	41,25	4,85477	78,18	4,98989
2	1,2	26	93,494	30856,8	319,6783	330,0404	40	5,13768	77,52	4,998674
3	1,2	26	93,494	30715,6	309,7183	328,5302	41,25	5,01296	77,42	4,996817
4	1,2	26	93,494	30828,4	316,5593	329,7367	41,25	5,16521	77,26	4,99892



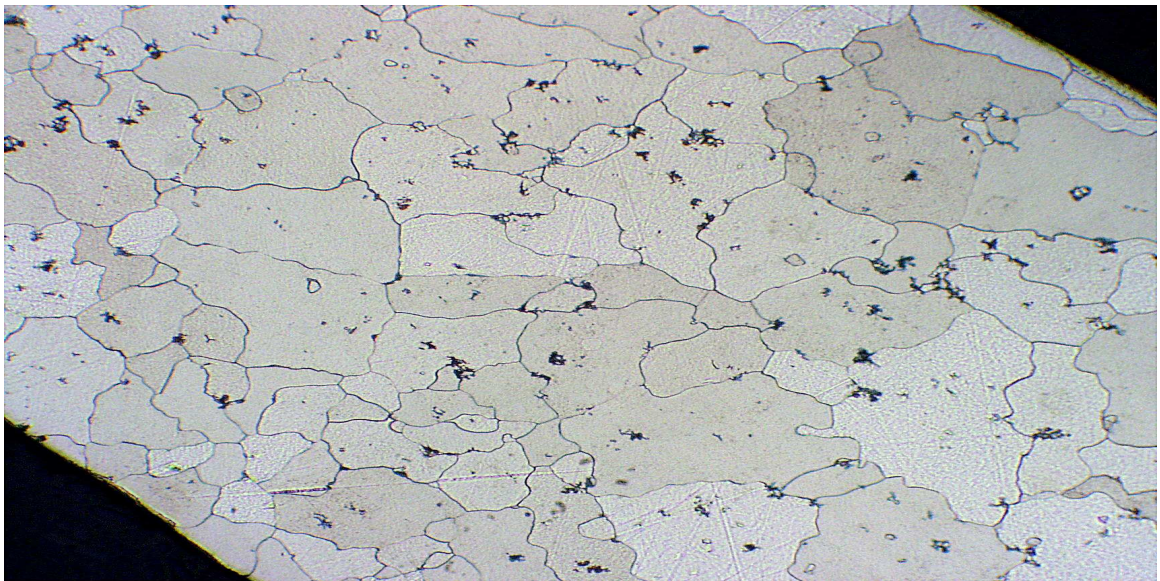
Obr. 21 – Vzorek materiálu po zkoušce na tahovém hydraulickém stroji ø 26 x 1,2 mm

Výsledky tahových zkoušek byly provedeny s následujícími závěry:

- 1) u první série vzorků s ø 18 x 1,5 mm se podle tahové zkoušky zjistilo, že materiál odpovídá předepsaným hodnotám. Pro tahovou zkoušku byl materiál na obou koncích zploštěn, pro snadnější upnutí kleštin tahového hydraulického stroje. Toto zploštění nemělo na průběh tahové zkoušky žádný vliv. Z důvodu vzniku prasklin na povrchu materiálu, po ohybu, byla na tomto materiálu provedena metalografická zkouška (viz obr. 22).

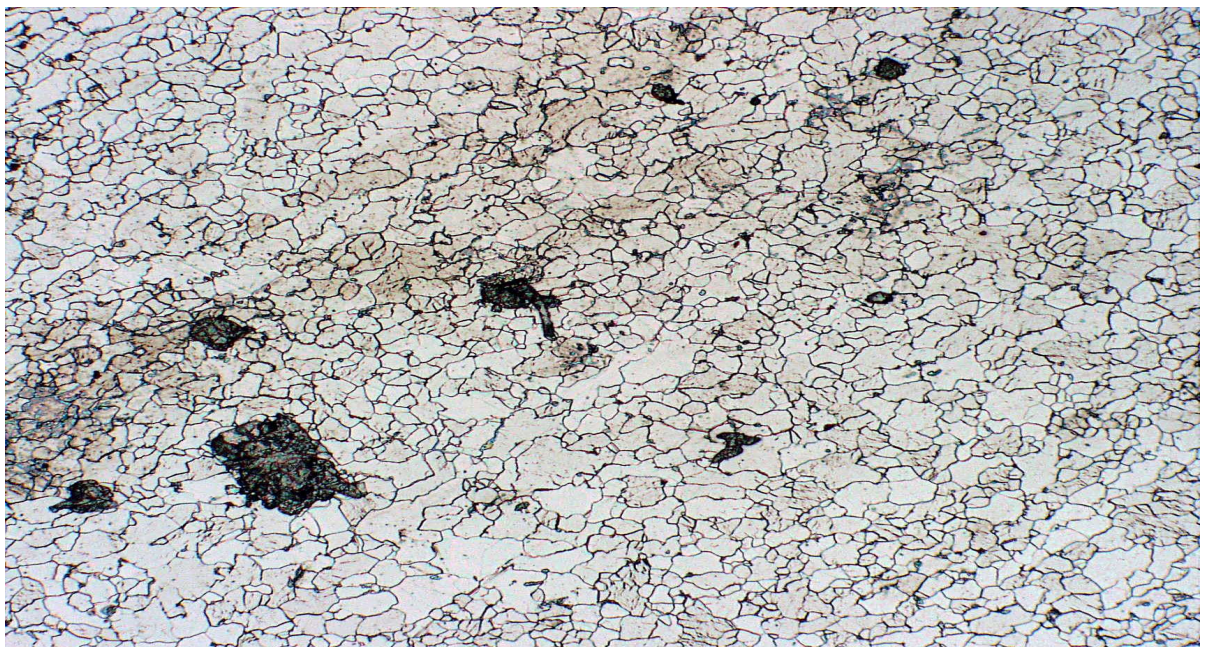
- 2) u druhé série vzorků s \varnothing 18 x 1,5 mm se na základě tahové zkoušky zjistilo, že materiál neodpovídá předepsaným hodnotám. Pro tahovou zkoušku byl materiál na obou koncích zploštěn, pro snadnější upnutí kleštin tahového hydraulického stroje. Zatěžovací hodnoty byly o 60 N nižší než u předchozího materiálu. Po přetržení materiálu se objevil křehký lom. Podle tohoto jevu byla doporučena metalografická zkouška, která měla prokázat důvod a skutečné složení dodávaného materiálu (viz obr. 23).
- 3) u série vzorků s \varnothing 26 x 1,2 mm se při tahové zkoušce zjistilo, že materiál odpovídá předepsaným hodnotám. U tohoto průměru, byla pro tahovou zkoušku zvolena zátka. Tato zátka byla použita z důvodu minimálního vlivu na průběh zkoušky. Při použití zploštění jako u předchozích vzorků, by byla tahová zkouška nepřesná a zkreslená. Ale z důvodu vzniku prasklin, po ohnutí, na povrchu materiálu, byla také doporučena metalografická zkouška (viz obr. 24).

Metalografické zkoušky:



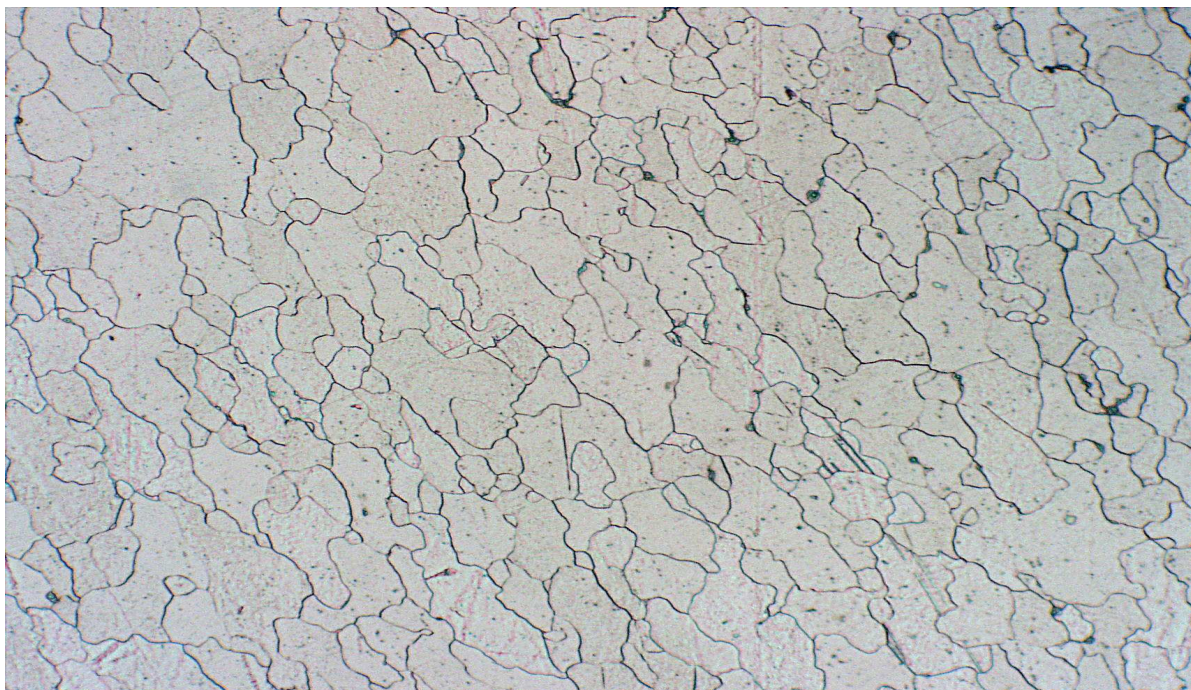
Obr. 22 - Metalografická zkouška \varnothing 18 x 1,5 mm (původní materiál)

Tento vzorek byl zvětšen 100krát; focení bylo provedeno na středu pláště trubky. Struktura vzorku je feritická s více nečistotami. Tyto nečistoty mohou ovlivňovat průběh ohýbání. A zároveň mohou způsobovat praskliny na povrchu materiálu.



Obr. 23 - Metalografická zkouška \varnothing 18 x 1,5 mm (současný materiál)

Tento vzorek byl zvětšen 200krát, focení bylo provedeno na středu pláště trubky. Z tohoto obrázku je zřejmé, že materiál obsahuje řadu nečistot s feritickou strukturou. Které ve výsledku zásadně ovlivňují průběh ohýbání materiálu. Je tedy důkazem toho proč vznikaly praskliny a následně i puchýře na povrchu materiálu.



Obr. 24 - Metalografická zkouška \varnothing 26 x 1,2 mm

Tento vzorek byl 200krát zvětšen, focení proběhlo na středu pláště trubky. Z obrázku je zřejmé, že se jedná o čistou feritickou strukturu bez dalších přísad a nečistot.

Všechny výše uvedené vzorky byly leptány 2 % nitalem a zality do pryskyřice. Metalografické zkoušky byly provedeny na Ústavu strojírenské technologie Vysokého učení technické, fakulty strojního inženýrství. Tyto zkoušky byly provedeny za účasti Ing. Michaely Marečkové a pí. Houdkové.

V současné době je využití CNC ohýbacího stroje BLM minimální. Objem výroby pro tento stroj činí kolem 100 ks/ rok (Koro + Cobra). Režijní náklady na tento stroj, v minulém roce, činily 108,96 Kč.

3.1. Technologické výpočty

Výpočet délky polotovaru (viz rovnice 1,2)

$$L_{\text{Cobra}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 + l_{10} + l_{11} = 488 + 20,42 + 488 + 20,42 + 488 + 20,42 + 488 + 20,42 + 488 + 20,42 + 488 \cong 3030\text{mm}$$

$$l_{2\text{Cobra}} = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{\pi \cdot 13 \cdot 180^\circ}{360^\circ} = \frac{3,14 \cdot 13 \cdot 180^\circ}{360^\circ} = \frac{7347,6}{360} = 20,41\text{mm}$$

$$L_{\text{Koro}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 210 + 14,14 + 500 + 14,14 + 210 \cong 948\text{mm}$$

$$l_{2\text{Koro}} = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{\pi \cdot 9 \cdot 180^\circ}{360^\circ} = \frac{5089,38}{360^\circ} = 14,14\text{mm}$$

Poloměr potřebný pro konstrukci ohýbacího segmentu (viz rovnice 3)

$$R_{\text{rCobra}} =$$

$$\frac{\left(R_{\text{kon}} + \frac{D}{2}\right) \cdot n}{1 + m \left(R_{\text{kon}} + \frac{D}{2}\right)} - \frac{D}{2} = \frac{\left(119,8 + \frac{26}{2}\right) \cdot 0,9918}{1 + 0,000147 \left(119,8 + \frac{26}{2}\right)} - \frac{26}{2} = \frac{(119,8 + 13) \cdot 0,9918}{1 + 0,000147 \cdot (119,8 + 13)} - 13 =$$
$$= \frac{132,8 \cdot 0,9918}{1 + 0,000147 \cdot 132,8} - 13 = \frac{131,7}{1,0195} - 13 = 129,2 - 13 = 116,2\text{mm}$$

$$R_{\text{rKoro}} = \frac{\left(R_{\text{kon}} + \frac{D}{2}\right) \cdot n}{1 + m \left(R_{\text{kon}} + \frac{D}{2}\right)} - \frac{D}{2} = \frac{\left(119,2 + \frac{18}{2}\right) \cdot 0,9917}{1 + 0,00022 \left(119,2 + \frac{18}{2}\right)} - \frac{18}{2} = \frac{128,2 \cdot 0,9917}{1 + 0,00022 \cdot 128,2} - 9 =$$
$$= \frac{127,1}{1,028} - 9 = 123,6 - 9 = 114,6\text{mm}$$

Minimální poloměr ohybu (viz rovnice 4)

$$\begin{aligned}\varepsilon_{1\text{Cobra}} &= \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \\ &= \frac{(R_1+t)\alpha - \left(R_1 + \frac{t}{2}\right)\alpha}{\left(R_1 + \frac{t}{2}\right)\alpha} = \frac{t}{2R_1+t} = \frac{1,2}{2 \cdot 80 + 1,5} = \frac{1,2}{161,5} = 0,0074\text{mm}\end{aligned}$$

$$\varepsilon_{1\text{Koro}} =$$

$$\frac{l-l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \frac{(R_1+t)\alpha - \left(R_1 + \frac{t}{2}\right)\alpha}{\left(R_1 + \frac{t}{2}\right)\alpha} = \frac{t}{2 \cdot R_1 + t} = \frac{1,5}{2 \cdot 32 + 1,5} = \frac{1,5}{65,5} = 0,0229\text{mm}$$

Maximální poloměr ohybu (viz rovnice 5)

$$R_{1\text{maxCobra}} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1\right) = \frac{1,2}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^5}{200} - 1\right) = 0,6 \cdot \left(\frac{200000}{200} - 1\right) = 0,6 \cdot 1000 = 600\text{mm}$$

$$R_{1\text{maxKoro}} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1\right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^5}{200} - 1\right) = 0,75 \cdot \left(\frac{200000}{200} - 1\right) = 0,75 \cdot 1000 = 750\text{mm}$$

Poloměr ohýbací čelisti (viz rovnice 6)

$$\begin{aligned}r_{1\text{Cobra}} &= k_R \cdot (r_2 + 0,5 \cdot t) - 0,5 \cdot t = 0,9918 \cdot (80 + 0,5 \cdot 1,2) - 0,5 \cdot 1,2 = 0,9918 \cdot (80 + 0,6) - \\ &0,5 \cdot 1,2 = 0,9918 \cdot 80,6 - 0,6 = 79,9 - 0,6 = 79,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{1\text{Koro}} &= k_R \cdot (r_2 + 0,5 \cdot t) - 0,5 \cdot t = 0,9918 \cdot (32 + 0,5 \cdot 1,5) - 0,5 \cdot 1,5 = 0,9918 \cdot (32 + 0,75) - \\ &0,75 \\ &= 0,9918 \cdot 32,75 - 0,75 = 32,48 - 0,75 = 31,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Zvětšený úhel ohnutí (viz rovnice 7)

$$\alpha_{1\text{Cobra}} = \frac{\alpha_2}{k_R} = \frac{80}{0,9918} = 80,66\text{mm}$$

$$\alpha_{1Koro} = \frac{\alpha_2}{k_R} = \frac{32}{0,9918} = 32,26mm$$

Výpočet zpětného odpružení (viz rovnice 8)

$$R_{konCobra} = \frac{1}{\frac{n}{R_r} - m} - \frac{D}{2} = \frac{1}{\frac{0,9918}{116,2} - 0,000147} - \frac{26}{2} = \frac{1}{\frac{0,9918}{129,2} - 0,000147} - 13 =$$

$$= \frac{1}{0,007676 - 0,000147} - 13 = \frac{1}{0,007529} - 13 = 132,8 - 13 = 119,8mm$$

$$R_{konKoro} = \frac{1}{\frac{n}{R_r} + \frac{D}{2}} - m = \frac{1}{\frac{0,9917}{114,6 + \frac{18}{2}} - 0,00022} - \frac{18}{2} = \frac{1}{\frac{0,9917}{123,6} - 0,00022} - 9 =$$

$$= \frac{1}{0,00802 - 0,00022} - 9 = \frac{1}{0,0078} - 9 = 128,2 - 9 = 119,2mm$$

Úhel zpětného odpružení (viz rovnice 9)

$$\alpha_{rCobra} = \alpha_{kon} \cdot \frac{R_{kon}}{R_r} \Rightarrow \alpha_{kon} \left(\frac{R_{kon}}{R_r} - 1 \right) = 180^\circ \left(\frac{119,8}{116,2} - 1 \right) = 180^\circ \cdot (1,03 - 1) = 180 \cdot 0,03 =$$

$$= 5^\circ 24'$$

$$\alpha_{rKoro} = \alpha_{kon} \cdot \frac{R_{Kon}}{R_r} \Rightarrow \alpha_{Kon} \cdot \left(\frac{R_{Kon}}{R_r} - 1 \right) = 180^\circ \cdot \left(\frac{119,2}{114,6} - 1 \right) = 180^\circ \cdot (1,04 - 1) = 180^\circ \cdot 0,04 = 7^\circ 12'$$

Plocha zplošťující síly (viz rovnice 10)

$$f_{vCobra} = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D - 2t)^2}{4} \right] = \frac{\pi}{2} \cdot t(D - t) = \frac{\pi}{2} \cdot 0,12(2,6 - 0,12) = \frac{\pi}{2} \cdot 0,12 \cdot 2,48 =$$

$$\frac{\pi}{2} \cdot 0,2976 = 1,571 \cdot 0,2976 = 0,47cm^2$$

$$f_{vKoro} = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D-2t)^2}{4} \right] = \frac{\pi}{2} \cdot t(D-t) = \frac{\pi}{2} \cdot 0,15 \cdot (1,8 - 0,15) = \frac{\pi}{2} \cdot 0,15 \cdot 1,65 = \frac{\pi}{2} \cdot 0,2475 = 0,39 \text{ cm}^2$$

Poloměr ohybu (viz rovnice 11)

$$\rho_{Cobra} = \frac{R}{D} = \frac{13}{26} = 0,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{Koro} = \frac{R}{D} = \frac{9}{18} = 0,5 \text{ mm}$$

Zmenšení tloušťky stěny (viz rovnice 12)

$$t_{vCobra} = \frac{t \cdot R}{R + \frac{1}{2} \cdot (D-t)} = \frac{1,2 \cdot 80}{80 + \frac{1}{2} \cdot (26 - 1,2)} = \frac{96}{80 + \frac{1}{2} \cdot 24,8} = \frac{96}{80 + 12,4} = \frac{96}{92,4} = 1,03 \text{ mm}$$

$$t_{vKoro} = \frac{t \cdot R}{R + \frac{1}{2} \cdot (D-t)} = \frac{1,5 \cdot 32}{32 + \frac{1}{2} \cdot (18 - 1,5)} = \frac{48}{32 + \frac{1}{2} \cdot 16,5} = \frac{48}{32 + 8,25} = \frac{48}{40,25} = 1,19 \text{ mm}$$

3.2. Zjednodušené technologické postupy

Zjednodušený technologický postup pro radiátor typu KORO:

- 1) řezat profil 30 x 30 x 1,5
- 2) odjehlit
- 3) lisovat Apollo
- 4) odmastit
- 5) začistit profil
- 6) navařit nátrubek
- 7) zabrousit svar
- 8) řezat trubku 18 x 1,5
- 9) ohýbat (ohnout) trubku
- 10) odmastit
- 11) skládat profil + trubka
- 12) svařovat stehováním
- 13) vyrovnat, tlakovat
- 14) navěsit na dopravník
- 15) tryskat
- 16) odmastit + lakovat
- 17) odšroubovat zátky
- 18) svěsit z dopravníku
- 19) označit
- 20) zabalit + dodat příslušenství (příslušenství viz. Poznámka)
- 21) kontrolovat
- 22) expedovat

Zjednodušený technologický postup pro radiátor typu COBRA:

- 1) řezat trubku 26 x 1,2
- 2) odjehlit
- 3) ohýbat (ohnout) trubku
- 4) odmastit
- 5) navěsit na dopravník
- 6) tryskat
- 7) odmastit + lakovat
- 8) svěsit z dopravníku
- 9) stříhat stojan
- 10) ohnout (ohýbat) stojan
- 11) odmastit
- 12) navěsit na dopravník
- 13) tryskat
- 14) odmastit + lakovat
- 15) svěsit z dopravníku
- 16) montovat topný kabel
- 17) zabalit
- 18) zkontrolovat a odzkoušet funkci
- 19) expedovat

Pozn.: příslušenství k radiátoru Koro se skládá z: hmoždinky, PE sáčku, plastové krabičky blistru, šestihranné matice M5, vrutu 6x50, podložky, šroubu s válcovou hlavou M5x35, šroubu s válcovou hlavou M5x30, zátky plné G1/2", zátka odvzdušňovací G1/2".

4. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala ohýbáním trubek na těleso radiátoru typu Koro (\varnothing 18 x 1,5 mm) a Cobra (\varnothing 26 x 1,2 mm). Námětem pro toto téma byly vzniklé povrchové vady (praskliny, puchýře).

V této bakalářské práci je řešena problematika při ohýbání trubek o \varnothing 18 x 1,5 mm a \varnothing 26 x 1,2 mm. Byly také provedeny technologické výpočty a následné zhodnocení současného stavu.

Problémy se projevovaly prasklinami a puchýři, viditelné okem, na povrchu materiálu.

Na základě toho byly provedeny tahové zkoušky, které ukázaly, že do firmy ISAN Radiátory, s. r. o. je dodáván materiál s jiným složením. K provedení tahových zkoušek bylo použito 10 ks vzorků pro každý průměr materiálu.

Při tahové zkoušce materiálu \varnothing 18 x 1,5 mm z roku 2008 bylo zjištěno, že materiál má požadovanou pevnost v tahu, kterou dodavatel zajišťuje.

Při tahové zkoušce materiálu \varnothing 18 x 1,5 mm z roku 2009 bylo zjištěno. Že tento materiál nemá požadovanou pevnost v tahu. Na základě těchto výsledků tahových zkoušek byla navržena metalografická zkouška materiálu.

Tyto zkoušky prokázaly, že složení zásadně ovlivňuje průběh ohýbání trubek za studena, u materiálu dodávaného roku 2009. U materiálu z roku 2008 byla prokázána feritická struktura s nečistotami. Tyto nečistoty by mohly být zdrojem povrchových vad materiálu. Z tohoto důvodu doporučuji pro materiál o \varnothing 18 x 1,5 mm, materiál s tepelným zpracováním. Což znamená, že se jedná o nízkouhlíkovou konstrukční nelegovanou ocel 11 343.0. Nebo 11 343.2, která je taktéž nízkouhlíková konstrukční nelegovaná ocel, avšak s tepelným zpracováním žháním. Oba již zmíněné materiály, pro ohýbání trubek, mají doporučený obsah uhlíku do 0,17 %C. Při ohýbání této trubky je nutné provádět průběžnou kontrolu během ohýbání a složení materiálu. Aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám materiálu a problémům při dalším zpracování trubky.

U \varnothing 26 x 1,2 mm byla také provedena tahová zkouška se zátkami pro upnutí do čelistí tahového hydraulického stroje. Tato zkouška prokázala, že materiál odpovídá předepsaným normám. Z důvodu výskytu prasklin na povrchu materiálu byla provedena také metalografická zkouška.

Tato zkouška ukázala, že se jedná o čistě feritickou strukturu, která odpovídá materiálu 11 343.0. Pro ohýbání tohoto průměru doporučuji používat vnitřní trny. A to konkrétně trn kuličkový. Použití tohoto trnu by mělo zabránit dalším deformacím (vyboulením) při ohýbání a zároveň se tím i potlačí viditelné vizuální změny na povrchu materiálu. Zmiňovaný trn doporučuji z hlediska nízkých nákladů na výrobu a vysoké využitelnosti při ohýbání větších průměrů trubek ve firmě.

Na základě těchto mých doporučení by bylo možné použít zmiňované průměry trubek i pro chromovou povrchovou úpravu koupelňových radiátorů a elektrických sušáků.

Seznam použité literatury

- [1] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [2] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [3] SOMMER, Boris. *Technologie tváření kovů*. 2. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, 2003. 225 s. ISBN 80-248-0263-5.
- [4] BŘEZINA, Richard, PETRUŽELKA, Jiří. *Úvod do tváření II.* 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, 2002. 116 s. ISBN 80-248-0068-3.
- [5] FISCHER, Ulrich, et al. *Základy strojnictví*. Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Černá. 1. vyd. Praha : Europa-Sobotáles cz, s.r.o., 2004. 296 s. ISBN 80-86706-09-5.
- [6] NOVOTNÝ, Jiljí, et al. *Technologie I : slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy*. 2. vyd. Praha : ČVUT, 2001. 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
- [7] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření – plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [8] NOVOTNÝ, K. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
- [9] FOREJT, M. a PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [10] BOLJANOVIC, V. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [11] VÍTEK, Antonín Ing. . *Ohýbání trubek*. 1. vyd. Praha 2 : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 160 s. ISBN 04-211-66.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
B, D	Body, kde dochází ke změně průběhu plastické deformace	[-]
D	Průměr trubky	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_m	Zatěžující síla	[N]
K	Mez kluzu	[MPa]
k_R	Zpětné odpružení	[-]
L	Celková délka trubky před ohýbáním	[mm]
l_0	Poměrná délka	[mm]
l_1, l_2, l_3	Dílní délky pro výpočet celkové délky trubky před ohýbáním	[mm]
r	Poloměr	[mm]
r_1	Poloměr ohýbací čelisti	[mm]
R_{1max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{1min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
r_2	Poloměr součásti	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{min}	Minimální poloměr přípravku pro ruční ohýbání	[mm]
R_p	Mez kluzu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Mez 0,2 v tahu	[MPa]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s_0	Výchozí tloušťka materiálu	[mm]
t	Tloušťka stěny trubky	[mm]
T	Čas	[s]
v_t	Tažná rychlost	[mm.min ⁻¹]
v_{t1}	Zátěžová rychlost	[MPa.s ⁻¹]
α	Úhel ohybu	[°]
α, γ	Fázové přeměny	[-]
α_1	Zvětšený úhel ohnutí	[°]
ε	Poměrné prodloužení	[mm]
ε	Lineární přetvoření	[-]
ε_K	Poměrné přetvoření	[-]
σ	Napětí v tahu	[MPa]
σ_k	Okamžitá hodnota meze kluzu	[Nmm ⁻²]

Seznam příloh

Příloha č. 1: Radiátor typu Koro

Příloha č. 2: Radiátor typu Cobra

Příloha č. 3: Ohýbací stroj BLM NCS832

Příloha č. 4: Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Příloha č. 5: Materiálový list pro trubku \varnothing 18 x 1,5 mm

Příloha č. 6: Materiálový list pro trubku \varnothing 26 x 1,5 mm

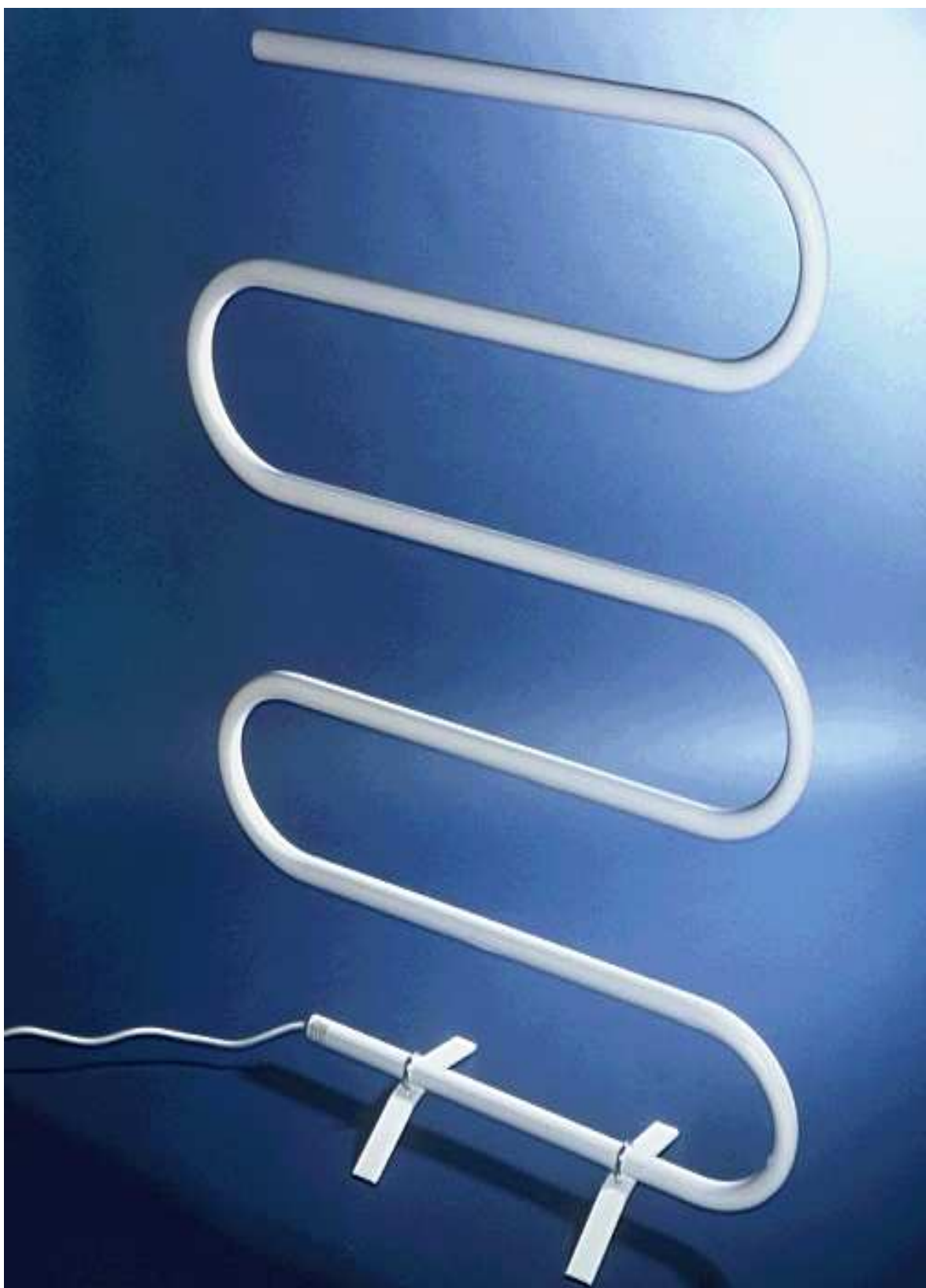
Příloha č. 1

Radiátor typu Koro



Příloha č. 2

Radiátor typu Cobra



Příloha č. 3

Ohýbací stroj BLM NCS832



Příloha č. 4

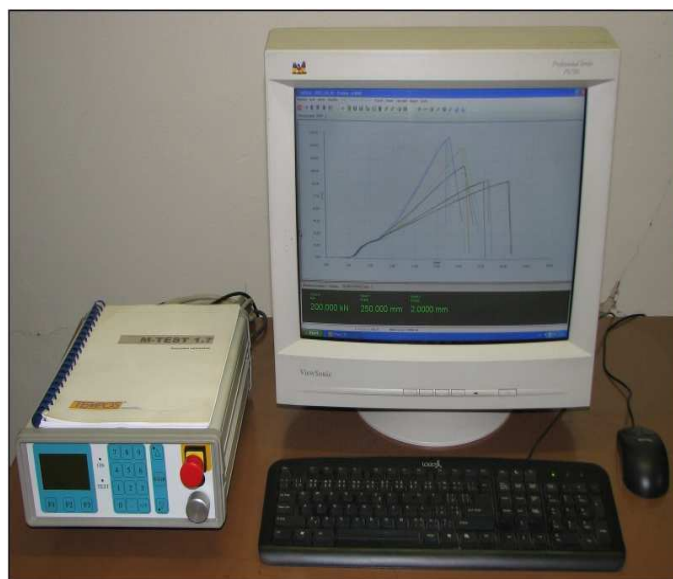
Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60. Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropské výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:


- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 , 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ - odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 , 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm

- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB - inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy. Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.




Řídicí jednotka EDC 60

Příloha č. 5

		MATERIÁLOVÝ LIST	Číslo kopie:
Číslo materiálu: 145 00026	Název materiálu: TRUBKA ϕ 18 x 1,5		
1. Znaky jakosti <i>ČSN 42 6714.3, jakost 11 343.1, technické dodací předpisy ČSN 42 0142.19, délka 6250 mm, nedestruktivní tlaková zkouška DIN 2394, jakost St 34-2 NBK, délka 6250 + 30 mm, nedestruktivní tlaková zkouška DIN 2394, jakost St 34-2 KB, délka 6250 + 30 mm, nedestruktivní tlaková zkouška 16. 12. 2004 BEROHA: DIN 2394, jakost St 34-2 WB, délka 6250 + 30 mm, nedestruktivní tlaková zkouška</i>		Kategorie: (Q) S	Měrná jednotka: m
Doplňující specifikace			
2. Průkaz jakosti			
<input type="checkbox"/> ANO	Atest	Doplňující údaje: -EN 10204-2.2 - osvědčení o provedení nedestruktivní tlakové zkoušky	
<input type="checkbox"/> ANO	Osvědčení o jakosti		
3. Technická dokumentace			
<input type="checkbox"/> NE	Výkresy	Doplňující údaje:	
<input type="checkbox"/> NE	Podniková norma		
4. Ochrana, balení a značení			
<input type="checkbox"/> ANO		Speciální požadavky: - konzervace olejem - nesmí obsahovat grafit - balení do svazků - označení materiálu visačkami: rozměr, norma, jakost	
5. Doprava			
<input type="checkbox"/> ANO	Vlastní		
<input type="checkbox"/> ANO	Jiná		
6. Přejímka materiálu			
Místo	<input type="text" value="AMTEX radiátory s.r.o."/>	Kritéria: - dle návodky pro přejímku materiálu	
Provádí	<input type="text" value="pracovník skladu"/>		
7. Hodnocení subdodavatelů a jiné požadavky			
<input type="checkbox"/> ANO	Hod. subdodavatelů	Doplňující údaje: —	
<input type="checkbox"/> NE	Jiné požadavky		

Příloha č. 6

		<h1>MATERIÁLOVÝ LIST</h1>	Číslo kopie:
Číslo materiálu: 145 00013	Název materiálu: <i>TRUBKA ø 26 x 1,2</i>		
1. Znaky jakosti		<i>DIN 2394, jakost St 34-2 BKM, délka 6000 + 30 mm,</i>	Kategorie: (Q) S
<i>nedestruktivní tlaková zkouška DIN 2394 jakost FORM 300 C, délka 6000 + 30 mm, nedestruktivní tlaková zkouška 27. 11. 2002</i>			Měrná jednotka: <i>m</i>
Doplňující specifikace			
2. Průkaz jakosti			
<input type="checkbox"/> ANO	Atest	Doplňující údaje:	
<input type="checkbox"/> ANO	Osvědčení o jakosti	<i>- EN 10204-2.2 - osvědčení o provedení nedestruktivní tlakové zkoušky</i>	
3. Technická dokumentace			
<input type="checkbox"/> NE	Výkresy	Doplňující údaje:	
<input type="checkbox"/> NE	Podniková norma		
4. Ochrana, balení a značení			
<input type="checkbox"/> ANO	Speciální požadavky:		
	<i>- konzervace olejem - nesmí obsahovat grafit - balení do svazků - označení materiálu visačkami: rozměr, norma, jakost</i>		
5. Doprava			
<input type="checkbox"/> ANO	Subdodavatel	Speciální požadavky:	
<input type="checkbox"/> ANO	Vlastní		
<input type="checkbox"/> ANO	Jiná		
6. Přejímka materiálu			
Místo Provádí	<i>UNIVA Blansko pracovník skladu</i>	Kritéria:	
7. Hodnocení subdodavatelů a jiné požadavky			
<input type="checkbox"/> ANO	Hod. subdodavatelů	Doplňující údaje:	
<input type="checkbox"/> NE	Jiné požadavky	—	