

Optimalizace ohýbání trubek za tepla

Lenka Pelikánová

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka PELIKÁNOVÁ**
Osobní číslo: **T09095**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Optimalizace ohýbání trubek za tepla**

Zásady pro vypracování:

1. Hodnoťte teorii a technologii tváření
2. Volte materiály pro ohýbání trubek
3. Řešte technologii ohýbání trubek za tepla
4. Hodnoťte ekonomickou efektivnost řešení

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ČABELKA, Jozef. **Mechanická technológia**. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo SAV v Bratislave, 1967. 1036 s.
2. PTÁČEK, Luděk. **Nauka a materiálu I**. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2001. 515 s. ISBN 80-7204-193-2
3. HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan. **Strojírenská technologie 1 – 1.díl: Nauka o materiálu**. 3. vyd. Praha: Scientia, 2002. 267 s. ISBN 80-7183-262-6
4. FOREJT, Milan. **Teorie tváření**. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2004. 168 s. ISBN 80-214-2764-7
5. NOVOTNÝ, Karel. **Tvářecí nástroje**. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 13. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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 právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně dne 5. dubna 2012


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

¹⁾ Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu ohybu trubek za tepla. Tato práce má dvě části. První část je teoretická, kde bude popsána teorie a technologií tváření, výběr vhodného materiálu a technologií ohýbání trubek za tepla. Druhá část je praktická, kde bude řešen samotný technologický postup výroby ohybu za tepla se zkouškami, které jsou s tím spojeny a ekonomickým hodnocením.

Klíčová slova: Tváření, ohýbání trubek

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on production of hot forming bends from pipes. This work has two parts. The first part is theoretical, where I will introduce you with the theory and forming technologies, selection of suitable material and technology of bending pipes by hot forming. The second part is practical, where I will deal with the actual production process of hot forming bends and their testings, which are connected therewith and economic evaluation.

Keywords: Forming, tube bending

Děkuji tímto panu prof. Ing. Lukovicsovi CSc. za důležité informace, cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Poděkování patří také panu Ing. Placatkovi za odbornou pomoc, konzultace, rady, připomínky, poskytnuté podklady a v neposlední řadě za drahocenný čas.

Děkuji všem svým blízkým za jejich velkou trpělivost, morální podporu a důvěru.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 21.5.2012

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE A TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	12
1.1 TERMINOLOGIE.....	12
1.1.1 Pružná a plastická deformace kovových těles	12
1.1.2 Změna mechanických vlastností	13
1.1.3 Tvářitelnost kovů a slitin.....	13
1.1.4 Podmínky plasticity	13
1.2 ZÁKONY TVÁŘENÍ.....	14
1.2.1 Zákon stálosti objemu	14
1.2.2 Zákon stálosti potenciální energie.....	14
1.2.3 Zákon nejmenšího odporu	14
1.2.4 Zákon maximálních smykových napětí.....	14
1.2.5 Zákon odpružení po trvalé změně	14
1.2.6 Zákon přídavných napětí	15
1.2.7 Zákon podobnosti	15
1.2.8 Zákon tření	15
1.3 METODY ŘEŠENÍ TVÁŘECÍCH PROCESŮ	15
1.3.1 Analytické metody řešení tvářecích procesů	16
1.3.2 Experimentálně analytické metody	16
2 TVÁŘENÍ KOVŮ	18
2.1 ROZDĚLNÍ TECHNOLOGIÍ PRO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ.....	18
2.1.1 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty.....	18
2.1.2 Rozdělení tvářecích procesů podle tepelného efektu	21
2.1.3 Rozdělení tvářecích procesů podle stupně deformace	21
2.1.4 Rozdělení tvářecích procesů podle působení vnějších sil	21
3 VHODNÉ POUŽITÍ MATERIÁLU PRO OHÝBÁNÍ	22
3.1 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ PO TVÁŘENÍ ZA TEPLA.....	22
3.1.1 Materiály skupin 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7	22
3.1.2 Materiály skupin 8.1, 8.2 a 8.3	23
3.1.3 Tepelné zpracování materiálu skupiny 10 po tvářeni za tepla	23
4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ TRUBEK ZA TEPLA	25
4.1 VÝBĚR METODY OHÝBÁNÍ ZA TEPLA	27
4.2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ.....	28
5 OHÝBÁNÍ LASEREM	30

5.1	LASEROVÉ TVÁŘENÍ A JEHO VYUŽITÍ	30
5.2	VÝHODY TECHNOLOGIE LASEROVÉHO TVÁŘENÍ	30
5.3	TVÁŘENÍ TRUBEK POMOCÍ LASERU	31
5.4	SHRnutí APLIKACE LASEROVÉHO TVÁŘENÍ	32
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
6	STANOVENÍ CÍLE PRÁCE.....	34
6.1	OHÝBÁNÍ MATERIÁLU	34
6.1.1	Experimentální měření a jeho výsledky	35
6.1.2	Shrnutí experimentálního měření	41
6.2	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	41
6.2.1	Základní materiál.....	42
6.3	OHÝBACÍ PARAMETRY PROCESU A NASTAVENÍ OHÝBÁNÍ	43
6.3.1	Rozměrová a vizuální kontrola před ohýbáním	44
6.3.2	Tepelné zpracování	46
6.3.3	Rozměrová a vizuální kontrola po ohýbání	47
6.3.4	Měření tvrdosti	49
6.3.5	Nedestruktivní zkoušení MT a UT	50
6.4	MECHANICKÉ ZKOUŠKY PROVEDENY V LABORATOŘÍCH.....	51
7	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	59
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Vzhledem k tomu, že je snaha vyrábět co nejlevněji, volí se nejvhodnější technologie pro výrobu. Ohýbání trubek patří v dnešní době k nezanedbatelným technologickým procesům. Svým charakterem patří ohýbání do tvářecí technologie a čím dál častěji, je nahrazováno méně efektivním a mnohem dražším procesem svařování.

Velmi často se vyrábí ohyby tam, kde se používá předpřipravených polotovarů. Jedním z nich jsou trubky, které se dělí dle způsobu výroby na švové (svařované) a bezešvé (hladké) dále podle tloušťky stěny na tenkostěnné a tlustostěnné. Trubka jako konstrukční materiál je především výhodná tam, kde je namáhána krutem, protože oproti jiným válcovaným profilům má při stejné hmotnosti největší průřezový modul v krutu. Trubka je i vhodná při namáhání ohybem nebo vzpěrem. Trubky se používají jako konstrukční materiál a pro výrobu potrubí.

Ohýbané trubky jsou nedílnou součástí průmyslu, dalo by se říct, že snad ve všech průmyslových odvětvích, které si člověk zrovna vybaví. Využívají se v průmyslu energetickém, chemickém, leteckém, potravinářském, automobilovém, bývají součástí nejrůznějších zařízení.

K ohýbání trubek se používají různé nástroje, které svým tvarem a rozměrem musí být přizpůsobeny rozměru ohýbané trubky. Pro ohýbání trubek se využívá dvou metod. Ohýbání trubek se převážně provádí za studena, vedou k tomu především ekonomické důvody. Doba nutná pro ohýbání je zpravidla kratší než ohýbání za tepla. Do celkového času je nutno započítat i dobu přípravy spojenou s ohřevem, plněním, atd. Režijní náklady spojené s ohýbáním za tepla jsou zpravidla vyšší. Je to dáno především značnou spotřebou tepelné energie. Druhou metodou je ohýbání trubek za tepla. Využívá se především při ohýbání trubek z méně houževnatých materiálů. Za studena by došlo k praskání. Ke stejným poruchám by došlo i u materiálu houževnatých při malých poloměrech ohybu, překročili-li deformace tažnost materiálu, z něhož je trubka vyrobena. Dalším závažným důvodem, pro který je nutno volit ohýbání za tepla je potřeba velkých sil a tím i velmi rozměrných a silně dimenzovaných strojů.

Trubkový ohyb a rovné potrubí bude použito pro výstavbu nového bloku v Elektrárně Ledvice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE A TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Při tváření je materiál účinkem vnějších zatížení uveden do plastického stavu, ve kterém se mění svůj tvar i vlastnosti, a je přetvořen do konečné podoby výrobku bez porušení jeho soudržnosti.

Cílem teorie tváření je matematický popis tvářecího děje na základě obecných principů teorie plasticity aplikovaných na skutečné nevratné tvářecí procesy. Teorie tváření uplatňuje fyzikální, fyzikálně chemické, mechanické a termodynamické zákony při řešení přechodu tělesa z pružného do plastického stavu a při plastickém přetvoření materiálu za zjednodušených předpokladů a okrajových podmínek.

V první řadě teorie tváření souvisí s určením velikosti tvářecích sil a přetvárných prací, což umožňuje volbu tvářecího stroje a v prvním přiblížení i dimenzování nástrojů. Tvářený materiál je charakterizován přirozeným přetvárným odporem, jenž zahrnuje všechny vlivy procesu tváření za konkrétních podmínek.

Tvářecí procesy probíhají za obecných termodynamických podmínek. Modelování a matematický popis při termodynamických vlastností tvářených kovů.

Při plastickém přetvoření nelze působíště vnějších sil posouvat ani překládat či nahradit účinkem jejich výslednice. Tato skutečnost má velký význam při rozboru napjatosti a přetvoření, protože k plastickému přetvoření zpravidla nedochází v celém objemu tělesa, ale pouze v lokálních místech, v tzv. tvářených objemech. Pro nerovnoměrné přetvoření celého objemu je třeba stanovit sílu vhodně rozložit do potřebných míst tvářeného tělesa nebo volit postupné přetvoření v lokálních místech a směrech. [1]

1.1 Terminologie

1.1.1 Pružná a plastická deformace kovových těles

Teorie tváření je rozvíjena především pro kovy a jejich slitiny. Změnu tvaru kovového tělesa způsobenou vnějšími silami nazýváme deformací. Každou trvalou plastickou deformaci předchází deformace pružná – elastická.

Pojem deformace je používán v teorii velmi malých rozměrových změn v pružné a v pružně plastické oblasti při zkoumání mezních stavů monokrystalů a polykrystalů. Pro označení

dílčích a součtových hodnot velkých plastických deformací při tváření polykrystalických kovů používáme pojmu přetvoření.

V průběhu přetvoření může dojít i k nežádoucímu porušení spojitosti kovu vznikem trhlin nebo celkovou destrukcí tvářeného tělesa. Každému porušení předchází vždy nestabilní lokální plastické deformace. Porušení křehkým lomem předchází pouze pružné a mikroplastické deformace, porušení tvárným lomem předchází deformace makroplastické. [1]

1.1.2 Změna mechanických vlastností

Zpevňování kovových materiálů při tváření za studena má zásadní vliv na jeho mechanické vlastnosti. Pevnost v tahu i mez kluzu se s rostoucím přetvořením zvyšuje, zatímco tažnost klesá. [1]

1.1.3 Tvářitelnost kovů a slitin

Tvářitelnost kovů a slitin je schopnost trvale měnit tvar bez porušení tvářeného tělesa v konkrétních technologických podmínkách (vlastnosti materiálu, nástroje, prostředí, teploty a mechanického zatížení), které umožňují vyrobít součást s požadovanými rozměry a vlastnostmi, a je tedy ovlivněna deformačním odporem.

Základní potřebnou vlastností tvářeného materiálu je plasticita, která je definována velikostí plastického přetvoření do porušení tělesa v daných termomechanických podmínkách, tj. teploty, napjatosti a rychlosti smykové deformace – rychlosti přetvoření. [1]

1.1.4 Podmínky plasticity

Těleso se svými mechanickými vlastnostmi přechází z pružného do plastického stavu za zcela konkrétních podmínek stavu napjatosti, teploty a rychlosti zatěžování. Hranici tohoto přechodu nazýváme podmínkou plasticity.

K přetvoření dochází buď v rovinách s největší koncentrací potenciální energie nebo v rovinách maximálních smykových napětí. Z pracovních diagramů tahových a tlakových zkoušek rovněž plyne, že k přechodu do plastické oblasti dochází po dosažení kritického napětí na mezi kluzu. [1]

1.2 Zákony tváření

Tvářecí procesy se řídí řadou zákonitostí, které jsou pro rozbor technologií nezbytným základem. [1], [3]

1.2.1 Zákon stálosti objemu

Je jedním ze základních zákonů volného tvářecího děje, kdy velká nehomogenní přetvoření v hlavních směrech jsou definována hodnotami skutečnými. Objem tělesa před přetvořením je roven objemu tělesa po přetvoření. [1], [3]

1.2.2 Zákon stálosti potenciální energie

Velikost měrné potenciální energie, potřebné na trvalou změnu tvaru tělesa, je konstantní hodnotou nezávislou na schématu napjatosti. [1], [3]

1.2.3 Zákon nejmenšího odporu

Je definován takto: ze všech možných směrů pohybu bodů tvářeného tělesa se každý bod bude pohybovat ve směru nejmenšího odporu. [1], [3]

1.2.4 Zákon maximálních smykových napětí

Plastické přetvoření kovového tělesa nastane tehdy, když maximální smykové napětí dosáhne mezní hodnoty, která je závislá na druhu a stavu kovu a na podmínkách přetvoření. Maximální smykové napětí působí v rovinách skloněných pod úhlem 45° ke směrům hlavních napětí. V průběhu procesu tváření dochází buď ke zpevnění (za studena a za polohřevu) nebo dochází i k zpevnění (za tepla). [1], [3]

1.2.5 Zákon odpružení po trvalé změně

Plastické přetvoření předchází pružná deformace charakterizována až do meze úměrnosti podle Hookova zákona modelem pružnosti v tahu jako konstantou úměrnosti. Celkové přetvoření je vždy součtem elastické a plastické složky. [1], [3]

1.2.6 Zákon přídavných napětí

U skutečných tvářecích pochodů nastává stav místních nerovnoměrných napjatostí a v důsledku toho i nerovnoměrných přetvoření, která jsou způsobena:

- složitým tvarem tvářeného tělesa a nástroje,
- třením mezi povrchem tvářeného kovu a nástroji,
- nerovnoměrným rozložením teplot uvnitř tvářeného tělesa,
- chemickou nestejnoroostí,
- neizotropními mechanickými vlastnostmi tvářeného kovu.

V důsledku působení všech uvedených vlivů vznikají v tvářeném tělese napětí, které se vzájemně vyrovnávají a vzhledem k vnějším podmínkách rovnováhy nemohou být zahrnuta do schématu napjatosti tělesa. Tato napětí označujeme jako přídavná a jsou trvalým jevem při tvářecích pochodech. Přídavná napětí vytváří pnutí uvnitř tělesa, která snižuje chemickou odolnost tvářeného kovu, zhoršuje jeho další tvárnost, mohou způsobit dodatečná přetvoření například nežádoucím zborcením ploch a tvarů. Na odstranění nebo ke snížení vnitřních pnutí používáme jednak žíhání na odstranění pnutí, dále vyvolání napětí opačného smyslu. [1], [3]

1.2.7 Zákon podobnosti

Dvě tvářená tělesa, o různých rozměrech jsou podobná budou-li splňovat podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti. [1], [3]

1.2.8 Zákon tření

Vnější tření mezi tvářeným materiálem a nástroji je průvodním jevem všech tvářecích pochodů. Tření je definováno jako odpor proti relativnímu pohybu dvou stýkajících se těles. [1], [3]

1.3 Metody řešení tvářecích procesů

Teorie tváření se zabývá čtyřmi základními úlohami, které se řeší analyticky nebo experimentálně analyticky a různou přesností výsledků. Většina tvářecích procesů probíhá půso-

bením nástrojů, kde pohyblivé části působí na tvářené těleso svou tvářecí silou. Úlohy, které je potřeba řešit:

- 1) Stanovení tvářecí síly a přetvárné práce.
- 2) Určení velikosti a průběhu zatížení (napjatosti) tvářecích nástrojů.
- 3) Rozbor přetvoření a stanovení nejvýhodnějších tvarů a rozměrů tělesa.
- 4) Kritické podmínky přetvoření – porušení tvářených těles. [1]

1.3.1 Analytické metody řešení tvářecích procesů

- 1) Metoda rovinných řezů – tato analytická metoda je nejpoužívanější, jedná se o metodu výpočtu deformačních odporů a tvářecích sil řešením přibližných diferenciálních rovnic rovnováhy.
- 2) Metoda rovnováhy prací (energetická) – vychází ze zákona o zachování energie
- 3) Metoda charakteristik – kluzových čar – je založena na sestrojení sítě (polí) kluzových čar jako pravoúhlých trajektorií maximálních smykových napětí a na využití jejich vlastností při řešení rovinných a osově symetrických úloh.
- 4) Metoda horní meze – metoda nám nahrazuje pole kluzových čar polem přímkových úseků, které tvoří tuhé trojúhelníkové bloky. Princip metody horní meze spočívá v tom, že součet okamžitých výkonů vnitřních sil je roven výkonu tvářecí síly.
- 5) Metoda konečných prvků – teoretické úlohy tvářecích procesů v uzavřeném tvaru je možné jen ve velmi jednoduchých případech z hlediska geometrie, zatížení i materiálových charakteristik. Skutečné, reálné jevy v praxi jsou podstatně složitější a pokud je lze matematicky popsat, můžeme je řešit numericky. [1]

1.3.2 Experimentálně analytické metody

- 1) Metoda přetvárného odporu – vychází ze zkoumání procesu přetvoření po malých etapách tak, aby byl monotónní a zároveň pro velmi malé přetvoření platí Lévy-Misesovy rovnice.
- 2) Metody zviditelnění plastického toku – přesný matematický popis rozložení napětí a přetvoření v tvářeném tělese není možný, protože konkrétní procesy tváření pro-

bíhají v podmínkách nerovnoměrných přetvoření. Zjistit napjatost uvnitř tvářeného tělesa není prakticky možné.

- 3) Metoda zjišťování tvrdostí – podle Smirnova – Aljajeva je jednoznačná závislost mezi tvrdostí přetvořeného kovu a efektivním napětím, které není závislé na schématu napjatosti.
- 4) Makroskopické metody zkoumání plastických přetvoření – zviditelnění plastického přetvoření těles umožňuje celá řada makroskopických metod, z nichž jsou nejčastěji používané metody: přetvoření sítí, vrstvených modelů, dělených objemů, cizích těles a makrostruktury vláken.

Metoda přetvoření sítí – je založena na pozorování makroskopických přetvoření běžně okem rozlišitelných prvků typu čtverců, kosočtverců, kružnic a jejich kombinací. Technika nanášení sítí závisí na způsobu a především na teplotě tváření.

Metoda vrstvených modelů – vychází z použití modelových materiálů se stejnými mechanickými vlastnostmi. Uplatňují se zákony podobnosti.

Mikroskopické metody – především zkoumají změny, které se v důsledku přetvoření objeví v mikrostruktuře materiálu. [1]

2 TVÁŘENÍ KOVŮ

Tváření kovů patří k nejproduktivnějším oborům technologie. Dnes si již neumíme představit sériovou a hromadnou výrobu automobilů, letadel, elektrických strojů a přístrojů, bez součástí vyrobených tvářením. Je to metoda velmi produktivní, hospodárná a perspektivní. Výrobky jsou přesné, a tím vyměnitelné (požadavek moderní výroby). Jsou pevné a lehké. Využití materiálu je velmi hospodárné, s nejmenším odpadem. Při tvářením odpadá jen asi 5 až 10 % materiálu. Výkonnost strojního zařízení je velká. Výrobní pochody lze velmi dobře mechanizovat a automatizovat. Snižují se tak podstatně výrobní náklady. [2], [6]

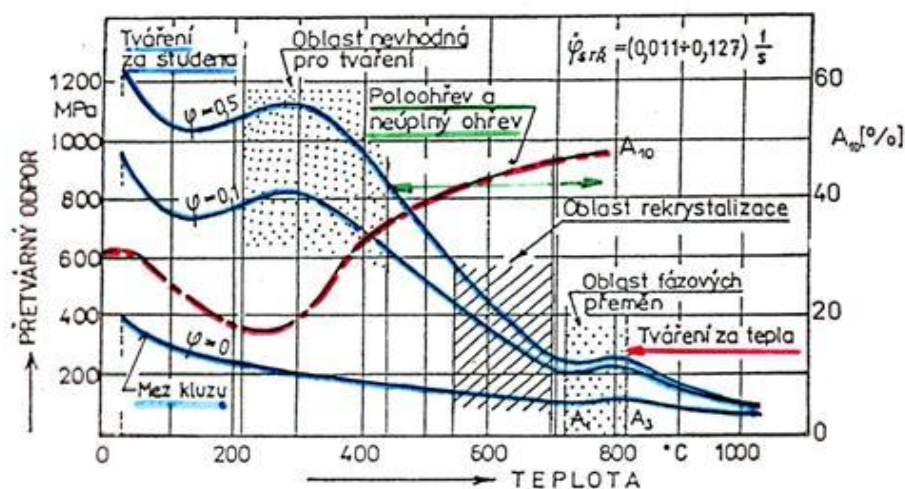
2.1 Rozdělení technologií pro zpracování kovů

Technologické tvářením procesy je možné rozdělit podle:

- Teploty
- Tepelného efektu
- Stupně dosažené deformace
- Podle působení vnějších sil

2.1.1 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty

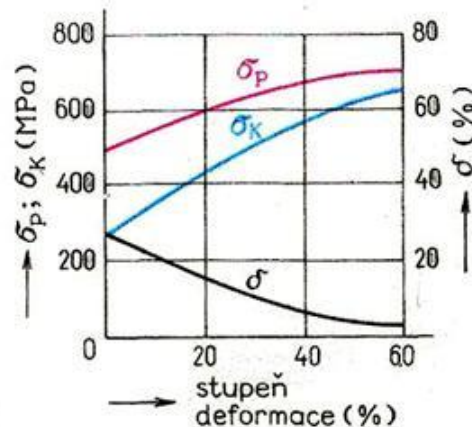
Při změně teploty se mění deformační odpor materiálu (oceli) proti tvářením. Se zvyšující se teplotou se zlepšují plastické vlastnosti kovů a jejich slitin.



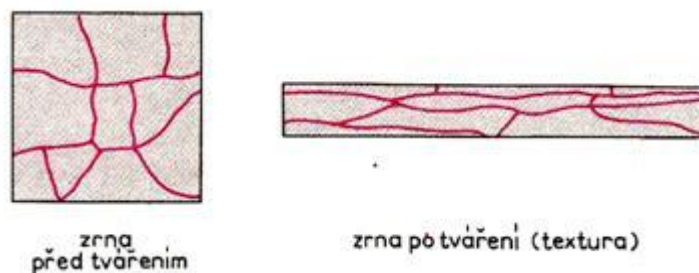
Obr. 1. Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [6]

Rozdělení tvářecích procesů podle teploty je vlastně rozdělení podle vztahu teploty tvářecího materiálu k teplotě rekrytalizace. Rekrytalizační teplota je tehdy, kdy dochází k regeneraci deformovaných zrn vzniklých tvářením za studena beze změny krystalové mřížky. Potom tedy rozdělení je na:

- Tvářením za studena – tvářením je pod rekrytalizační teplotou, kdy teplota tvářením je pod hodnotou 30% teploty tání tvářecího materiálu, dochází ke zpevnění materiálu. Zpevněním se zvyšují mechanické vlastnosti (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměru, kvality povrchu (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevnění a omezená tvárnost materiálu.



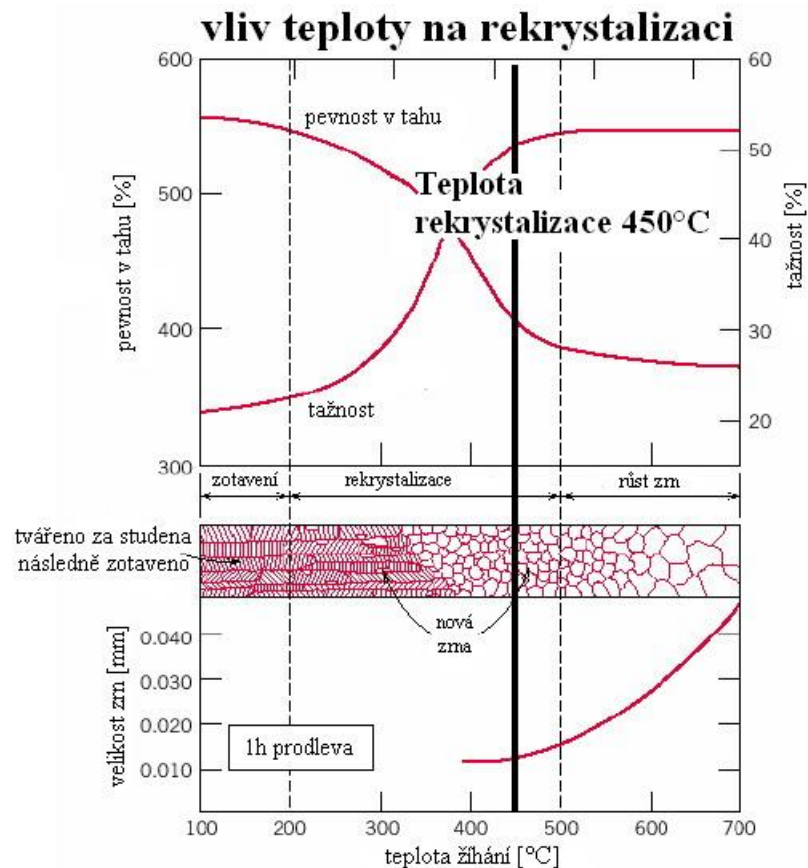
Obr. 2. Změna mechanických vlastností v závislosti na stupni deformace [6]



Obr. 3. Změna tvaru zrn v důsledku tvářením [6]

- Tvářením za tepla – probíhá nad rekrytalizační teplotou, zpevnění způsobené tvářením mizí již v průběhu tvářením nebo bezprostředně po něm. Teplota tvářením je nad

hodnotou 70% teploty tání daného materiálu. Materiál se nezpevňuje, ale povrch je nekvalitním vlivem okujení, navíc zrno hrubne, což způsobuje problémy u dalších technologických operací z hlediska kvality. Proces je nákladný, zdlouhavý, ale dochází však k odstranění trhlin, bublin, atd.



Obr. 4. Rekrytalizační teplota [6]

- Tváření za poloohřevu – představuje kompromis mezi tvářením za studena a za tepla. Důvodem je zlepšení přetvárných vlastností oproti tváření za studena, zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností, přesnosti a jakosti povrchu. Horní teploty jsou omezeny oxidací povrchu. [6], [4], [11]

2.1.2 Rozdělení tvářecích procesů podle tepelného efektu

Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Tvářecí procesy dělíme podle toho, kam se odvede vzniklé teplo. Izotermické tváření, adiabatické tváření, polytropické tváření. [6]

2.1.3 Rozdělení tvářecích procesů podle stupně deformace

Kritériem je stupeň deformace při určité teplotě a rychlosti deformace bez nebezpečí vzniku trhlin na povrchu materiálu. Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. [6]

2.1.4 Rozdělení tvářecích procesů podle působení vnějších sil

Tváření kovů můžeme dělit na:

- Tváření objemové – deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů.
- Tváření plošné – převládá deformace ve dvou směrech a patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod. [6], [11]

3 VHODNÉ POUŽITÍ MATERIÁLU PRO OHÝBÁNÍ

Při výběru materiálu se posuzuje vhodnost a vlastnosti daného materiálu a volí se ten materiál, který se nejlépe hodí pro určitou oblast použití. O každém materiálu musí být známo chemické složení a mechanické vlastnosti, teplotu a způsob ohřevu.

K výrobě ohybů bývá využito předpřipravených polotovarů. Jedním z nich jsou trubky, které jsou používány, jak ve strojírenství, tak i ve stavitelství. Jedná se o duté polotovary nejčastěji kruhového průřezu, ale mohou být i jiné. Trubky dělíme na tenkostěnné a tlustostěnné, dále dle způsobu výroby na švové (svařované) a bezešvé (hladké). Tloušťka materiálu pro ohýbání nebo tváření nesmí být menší než požaduje výpočet. Trubky mohou být vyrobeny dle normy ČSN, EN, ASTM, DIN. [2], [4]

3.1 Tepelné zpracování po tváření za tepla

3.1.1 Materiály skupin 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7

Na ohýbání jsou vhodné materiály s dobrou tvárností. Materiály s nižší tvárností se dají ohýbat jen s větším poloměrem ohybu. Na ohýbání za tepla jsou vhodné materiály skupin 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7 podle CR ISO 15608:2000 např. jsou to materiály nízkouhlíkových, uhlíkových, nízkolegovaných, vysokolegovaných a ze speciálních ocelí P91 a dalších.

Po tváření za tepla, včetně indukčního ohýbání, musí být součásti tepelně zpracované v souladu s materiálovou specifikací pro zabezpečení, aby byly splněny vlastnosti požadované materiálovou normou nebo jinou příslušnou specifikací. Zvláštní pozornost je třeba věnovat materiálům navrženým pro práci při zvýšených teplotách nebo teplotách pod nulou nebo při jiných zvláštních podmínkách.

- 1) Jestliže tváření za tepla u materiálů skupin 1, 2, 3, 5 do 2 % Cr a skupina 7 bylo započato a ukončeno v rozsahu teplot stanovených v materiálové specifikaci.
 - normalizačně žíhané oceli nemusí být znovu normalizovány;
 - zušlechtnuté oceli vyžadují popouštění pouze za předpokladu, že byly z teploty tváření rychle ochlazeny ve vodě nebo na vzduchu.

- 2) Trubkové ohyby používají metodu diferenciálního indukčního ohřevu (indukční ohyb) smí být podrobeny tepelnému zpracování během ohýbání za použití kalení vodou nebo vzduchem.
- 3) Uhlíkové a uhlíkovo-manganové oceli tvářené pomocí indukčního ohýbacího procesu s kalením ve vodě nebo na vzduchu mohou být vhodně v ohnutém stavu pro používání v podmínkách nevyžadujících vysokou vrubovou houževnatost a tvárnost. Takové ohyby smí být dodávány bez tepelného zpracování po ohýbání za předpokladu, že tvrdost oblouku nepřekročí 285 HV.
- 4) Tepelné zpracování vysoko legovaných feritických materiálů by mělo následovat co možná nejdříve po ohýbání, aby se minimalizovalo riziko praskání vyvolané vodíkem. [8], [7]

3.1.2 Materiály skupin 8.1, 8.2 a 8.3

Austenitické oceli, které byly rychle zchlazeny během tvářecího postupu z teploty nad teplotou rozpouštěcího žíhání s použitím vody nebo vzduchu, nebudou vyžadovat tepelné zpracování po tváření. Stabilizačně žíhané austenitické oceli tvářené nad teplotou rozpouštěcího žíhání musí být podrobeny po tváření stabilizačnímu tepelnému zpracování. Stabilizačně žíhané austenitické oceli, tvářené v rozsahu stabilizačních teplot, nebudou vyžadovat následné zpracování. [8], [7]

3.1.3 Tepelné zpracování materiálu skupiny 10 po tváření za tepla

Po tváření za tepla musí být součásti tvářeny v souladu s materiálovými specifikacemi. [8], [7]

Tepelné zpracování musí být provedeno v souladu s tabulkou 7.3.2.-1

Tabulka 7.2.2-1 – Tepelné zpracování trubek po tváření za studena

Skupiny materiálů podle CR ISO 15608:2000	Střední poloměr ohybu trubky r_m	Vnější průměr trubky d_o	Tepelné zpracování
1.1, 1.2, 1.3 2.1, 2.2 ^b	$r_m \leq 1,3 d_o$	všechny průměry	ano
3 ^b 4 ^a 5.1, 5.2 ^a , 5.3 ^a , 5.4 ^a 6 ^a 7 8	$1,3 d_o < r_m < 2,5 d_o$	$d_o \leq 142 \text{ mm}$	ne
9 10, 11		$d_o > 142 \text{ mm}$	ano ^c
	$2,5 d_o \leq r_m$	všechny průměry	ne

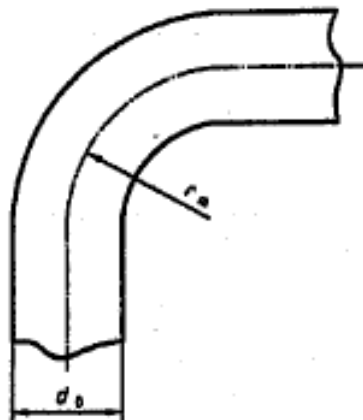
POZNÁMKA d_o a r_m viz obrázek 7.2.2-1.

^a Je požadováno speciální tepelné zpracování v souladu s materiálovými normami, pokud minimální konstrukční teplota je pod -10 °C.

^b Pokud není tepelné zpracování, jsou požadovány kvalifikační zkoušky k prokázání, že vlastnosti materiálu nejsou nepříznivě ovlivněny.

^c Není požadováno pro materiály skupin 8.1, 8.2.

Tab. 1. Tepelné zpracování trubek po tváření za studena[8]



Obr. 5. Trubkový ohyb [8]

U svařovaných trubek je třeba nastavit svar do oblasti neutrálních vláken, aby byl pokud možno bez napětí. [9]

4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ TRUBEK ZA TEPLA

Za tepla se trubka ohýbá buď s náplní nebo prázdná. Ohyby můžeme mít hladké nebo záhybové. Při ohýbání hladkých ohybů musí být prověřeno, zda trubka není vadná, tím je myšleno - trhliny, rýhy, poškození povrchu a má-li zaručenou jakost. Trubka je vyplněna pískem, který musí být dokonale suchý, protože kdyby se použil mokřý písek, tak by z vody v trubce při ohřevu vznikla vodní páry. Tlak páry by mohl vyrazit zátku a mohlo by dojít ke zranění. Pro ohýbání musí být čistý křemičitý písek bez hlína a vápence. Nejvíce je používán písek říční, kde je nejlepší zrnění 2 až 3 mm. Trubky pískem se plní strojově nebo ručně.

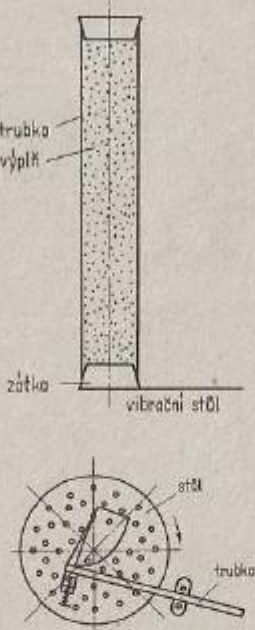
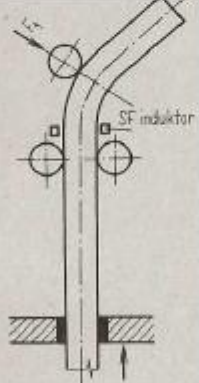
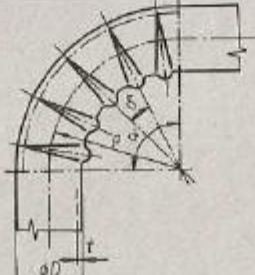
Před vlastním ohýbáním se nejprve vyznačí křížkem střed ohybu a udělá se první ryska. Od této rysky je nanesena vlevo délka poloměru zakřivení a je udělána druhá ryska. Pro lepší kontrolu se tato vzdálenost rozdělí na polovinu a vyznačí se třetí ryska. Tato vzdálenost, která se rovná polovině poloměru zakřivení, je nanesena od první rysky vpravo a udělána čtvrtá ryska. Tím se celý oblouk ohybu rozdělí na tři stejné díly, z nichž dva jsou vlevo a jeden vpravo od první rysky. Trubky musí být mezi označenými místy stejnoměrně ohřáty a při ohýbání se musí dbát na to, aby byl ohyb stejnoměrný a přesný. Rysky na trubce musí být vyznačeny po celém obvodu nejlépe mastnou křídou. Křída se nespálí a při ohřívání zůstávají na obvodě bílé proužky, podle nichž se ohýbá a nahřívá. U trubek normálních jakostí je možno trubku místně chladit vodou za koncovými ryskami. Chlazení vodou nesmí být však použito při ohýbání trubek z legovaných ocelí.

Ohýbá-li se oblouk s úhlem 45° nebo menší, je naneseno od středu ohybu na obě strany jen vzdálenost jedné poloviny poloměru zakřivení. Na trubce tak máme jen tři rysky.

Ohřev se provádí po celém obvodu na teplotu, při které je trubka světločervená. Trubka musí být stejnoměrně ohřátá. Ohřívá se zpravidla v plynových nebo elektrických a moderně indukčním ohřevem. Trubky menších průměrů lze ohřát eventuálně plamenem.

Záhybové ohýbání se provádí buď s pískovou náplní nebo bez ní. Záhybové ohyby se ohřívají zásadně acetyléno-kyslíkovým plamenem. Ohřívá se místně, tj. každý záhyb se ohřívá samostatně. Záhybová kolena jsou většinou vyrobena z trubek větších průměrů nejčastěji od DN 200 a výše. Poloměr zakřivení u ohýbání se záhyby bývá stejný jako při hladkém ohýbání, tzn. že nejmenší poloměr ohybu je roven trojnásobku průměru potrubí. [10], [5]

Způsob ohybu za tepla je uveden na obrázku 6.

Technologie za tepla	Provedení nástroje	Technologický popis
<p>Trubky plněné pískem</p>		<p>Je sníženo nebezpečí vybočení trubky. Tuhost trubky závisí na intenzitě spěchování náplně. Minimální poloměr ohybu D.</p> <p>$R = 0,165D^2/t$ $D = (22 \text{ až } 372) \text{ mm}$</p>
<p>Ohyb trubky tlakem se středofrekvenčním ohřevem</p>		<p>$R \geq 3D$ $D = (108 \text{ až } 325) \text{ mm}$</p>
<p>Ohyb záhybový</p>		<p>Trubka po ohřevu na tvářecí teplotu vybočí, čímž se v úzkém pásmu kolem místa ohřevu vytvoří počátek záhybu. Proti vybočení se používá svěrek. Nevýhodou je snížený profil trubky a vysoké vnitřní odpory způsobené záhyby.</p> <p>$R \geq 6D$ $D = (108 \text{ až } 625) \text{ mm}$</p>

Obr. 6. Technologie ohýbání trubek za tepla [10]

4.1 Výběr metody ohýbání za tepla

Dle požadavku zákazníka je možno dodávat samostatné ohyby nebo jejich sestavy s dalšími komponenty. Pro ohýbání za tepla byla použita technologie metody indukčního ohřevu. Konkrétní technologie je zvolena podle rozměrů a materiálového složení použité trubky. V současné době firma disponuje třemi indukčními ohýbacími stroji:

- EOS 630 určeno pro ohyby do průměru 630 mm
- PB 1000 určeno pro ohyby do průměru 1020 mm
- PB 850 – pro ohyby do 850 mm a tloušťkou stěny až do 105 mm

Stroj	Vnější průměr trubek		Tloušťka stěny		Poloměr ohybu R(mm)		Max. úhel
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
PB 1000	273	1020	6,3	100	600	5100	180
PB 850 Special	44	850	5	105	200	4500	180
EOS 630	108	630	4,5	50	450	3000	180

Tab. 2. Indukční ohýbání trubek [12]



Obr. 7. Indukční ohýbačka PB 850 Special [12]



Obr. 8. Ohýbací stroj [12]

Indukční ohýbání umožňuje výrobu přesných ohybů s nízkými tolerancemi. Výrobu lze provést ze všech typů materiálů. Po celou dobu se firma nepřetržitě věnuje inovaci použitých technologií a výrobních postupů, které směřují k optimalizaci procesu ohýbání. Získané zkušenosti umožňuje nabídnout zákazníkovi vždy optimální řešení.

Hodnoty, kterými je výroba ohybů limitována:

- Vnější průměr trubky od průměru 44 do 1020 mm
- Maximální síla stěny je do 105 mm
- Maximální hmotnost do 12,5 t (nosnost jeřábu) [12]

4.2 Tepelné zpracování

V závislosti na použitém materiálu a výrobním postupu je u ohybů třeba použít tepelné zpracování, aby měl výsledný výrobek požadované mechanické vlastnosti. Tepelné zpracování se provádí v jedné plynové a čtyřech elektrických žíhacích pecích s následujícími parametry:

- Maximální rozměry výrobku: 8 x 4 x 2 m
- Maximální teplota: 1100 °C
- Vícebodové měření teploty v prostoru
- Možnosti snímání povrchové teploty výrobku
- Pořizování záznamu z průběhu tepelného zpracování

- Pravidelné provádění kontrol, kalibrovaná měřidla a snímače

Průběh tepelného zpracování se sleduje a zaznamenává pomocí snímacích prvků umístěných přímo na výrobcích. Z každé dávky tepelného zpracování je odebrán zkušební vzorek, jehož destruktivní zkoušky dokládají dosažených požadovaných hodnot. Po tepelném zpracování v peci je zajišťováno podle typu výrobku a materiálu řízené chladnutí na vzduchu nebo rychlé ochlazení ve vodní lázni. Tepelné zpracování je prováděno pomocí moderního zařízení od společnosti Weldotherm a Heatmasters. [12]



Obr. 9. Žíhací pec [12]

5 OHÝBÁNÍ LASEREM

5.1 Laserové tváření a jeho využití

V současné době je aplikace laserového tváření jako například ohýbání trubek a profilů. V této metodě velmi záleží na zkušenostech pracovníka. Předmětem výzkumu v oblasti laserového tváření je soustředěno na mechanismy tváření, prognostikované napětí, plánování a navrhování drah laserového paprsku pro dosažení požadovaného tvaru. Laserové tváření je technologie procházející ze světa laboratoří do průmyslové praxe. Laserové tváření je metoda kontrolovaného, bezdotykového tváření materiálů v tuhém stavu prostřednictvím lokálního ohřevu laserovým paprskem. Hlavním principem je trvalá změna tvaru materiálu v tuhém stavu, která je vyvolána tepelným rozpínáním a tepelnými napětími. Deformace materiálu vzrůstá přírůstkově počtem přechodu laserového paprsku. [14], [16]

5.2 Výhody technologie laserového tváření

Laserové tváření má v porovnání s ostatními technologiemi tepelného tváření množství výhod:

- Přírůstkový vznik konečného tvaru (počtem přechodu laserového paprsku se úhel deformace zvyšuje).
- Bezkontaktní technologie (laserové tváření je možné realizovat bez kontaktu s obrobkem, což je výhodné pro tváření v nedostupných místech jako jsou uzavřené komory, do kterých je možné přivést laserovým paprsek soustavou zrcátek nebo optickým kabelem, v chemicky agresivním prostředí).
- Přesně definovaná energie (energii je možné přesně kontrolovat pomocí parametrů: ohniskový průměr, výkon laseru, počet přechodů laserového paprsku).
- Možnost vysokého stupně automatizace je možné realizovat při zabezpečení pracovního prostoru ochrannou kabinou, při zabezpečení přesného polohování a manipulačního systému, např. robotickým systémem.
- Možnost přesného polohování

- Flexibilita (laser použitý při laserovém tváření je možné využít při změnách parametrů i na operace laserového svařování, povrchové úpravy).
- Rychlost (laserové tváření je produktivnější než plamenové tváření).
- Výhody tváření rozměrných součástek (v porovnání s klasickými způsoby tváření, laserové tváření umožňuje výhodně tvářit rozměrné součástky, pro které jsou v případě mechanických způsobů tváření nutné rozměrné tvářecí nástroje).
- Technologie tváření materiálu bez jevu dopružování, ke kterému dochází po klasických mechanických metodách ohýbání a je příčinou tvarových odchylek.
- Opakovatelnost procesu. [13], [14]

5.3 Tváření trubek pomocí laseru

Laserové tváření je významné pro průmysl spojující se s vysokými náklady pro tvarovací nástroje např. prototyping. Dalšími typickými oblastmi aplikace laserového tváření je letecký průmysl, kosmický průmysl, automobilový průmysl, elektroprůmysl. V oblasti ohýbání trubek vzniklo množství metod. Kontrolou energie lze zachovat kruhový průřez trubky, přičemž se nemění vnější průměr stěny trubky, viz ohnuté trubky na Obr.10, vlevo - se změnou kruhového průřezu trubky na čtvercový a trojúhelníkový, vpravo – ohýbání trubky bez změny kruhového průřezu.



Obr. 10. Laserové tváření trubek [13]

Na trubkách je možné vytvářet vnější a vnitřní prstence mechanismem BM - Mechanismus vydutí (buckling mechanism - BM) a mechanismem TGM – Mechanismus teplotního gradientu. [13], [16]

5.4 Shrnutí aplikace laserového tváření

V současnosti je laserové tváření technologií, která přichází ze světa laboratoří do průmyslového využití. Existují dvě oblasti, ve kterých je laserové tváření průmyslově využíváno a to v lodním průmyslu, kde se rozměrné pláty výhodně tváří využitím laseru (Courtesy of BAE SYSTEMS, Velká Británie a NKK, Japonsko) a v elektronickém průmyslu, kde se laserové tváření využívá v přizpůsobování a regulování – v mikro-tváření (firma PHILIPS, Holandsko). [15], [16]

PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je:

Teoretická část by měla čtenáři přiblížit teorii a technologii tváření, vhodné použití materiálu a technologii ohýbání trubek za tepla. Dále by měla seznámit s laserovým ohýbáním a jeho využitím.

V praktické části bude řešen technologický postup ohýbání trubek za tepla na konkrétním příkladu a jako malý experiment bude provedeno ohýbání plechu a změříme jeho odpružení.

Hlavním cílem praktické části je ohnout trubku na požadovaný ohyb, kde se zvolí vhodný a správný technologický postup. Nejprve se určí vstupní materiál tudíž trubka, z které se ohyb provede, pak ohýbací stroj a všechny potřebné zkoušky s tím spojeny, aby ohyb byl pro konkrétní použití vyhovující.

6.1 Ohýbání materiálu

Pro ohýbání jsou vybrány tři různé druhy materiálů plechů, nejprve se připraví nástroj pro různé stupně, které se budou ohýbat a pak na hydraulickém lisu bude provedeno samotné ohnutí, kde dojde k lehkému uvolnění dílu a změří odpružení.

Velikost odpružení závisí na vlastnostech materiálu, které jsou funkcí jeho chemického složení, struktury (tepelného zpracování), ale také teplotě zejména na:

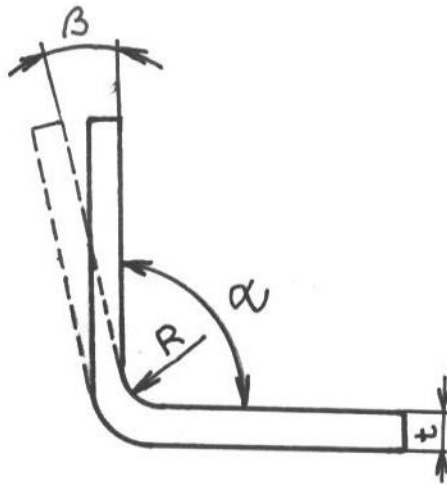
- Modul pružnosti E
- Poissonově konstantě ν
- Mezi kluzu σ_k
- Charakteristice zpevnování (vyjádřené např. modulem zpevnění D)

Dále na rozměrech materiálu, poloměru zakřivení. Skutečném napětíovém a deformačním stavu při ohýbání.

Úhlová změna je definovaná jako úhlový rozdíl mezi součásti a nástrojem po odlehčení tvářecí síly. Je způsobena ohybovým momentem, vyvolaným rozdílem napětí ve směru tloušťky plechu během ohýbání přes poloměr ohybu. Představuje základní typ odpružení a má za následek zvětšení ohýbaného poloměru. [17]

Odpružení bývá definováno jako β a jeho výpočet:

$$\text{tg}\beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \dots \dots \dots \text{do tvaru "V"}$$



Obr. 11 Odpružení [17]

6.1.1 Experimentální měření a jeho výsledky

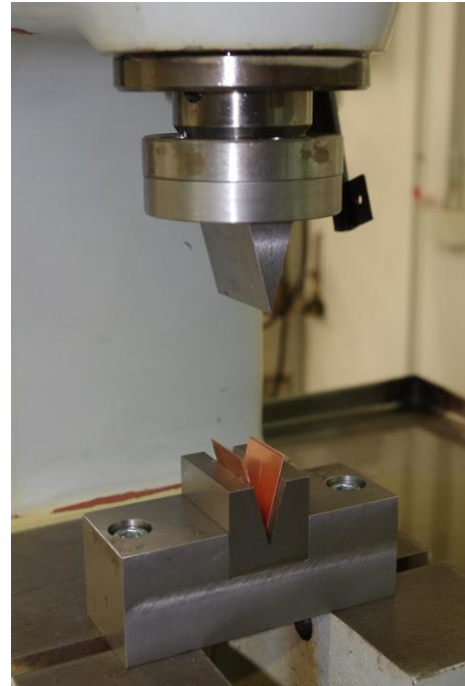
Výpočet podle uvedených teoretických vztahů ověříme v konkrétním případě experimentálně.

Výpočet velikosti odpružení: Při ohýbání polotovaru má materiál po odlehčení snahu vrátit se do původního tvaru a to o úhel odpružení β .

Stroj, který je použit při ohýbání plechu nazýváme hydraulický lis, je viděn na obrázku 12 a detail ohybu na obrázku 13. Nejprve se připraví nástroj, pomocí kterého se materiál ohne. Bude provedeno ohnutí třech různých materiálů - slitinu Al, slitinu Cu a ocel 11353, na požadované stupně (30°, 45°, 60°, 90°, 120°) a materiál bude změřen na třech místech každého vzorku a nástroje (začátek, střed, konec) pomocí úhlooměru. Od každého materiálu a stupně je 5 vzorků, tyto hodnoty budou zapsány do tabulky 3, 4, 5.



Obr. 12 Hydraulický lis



Obr. 13 Detail ohybu

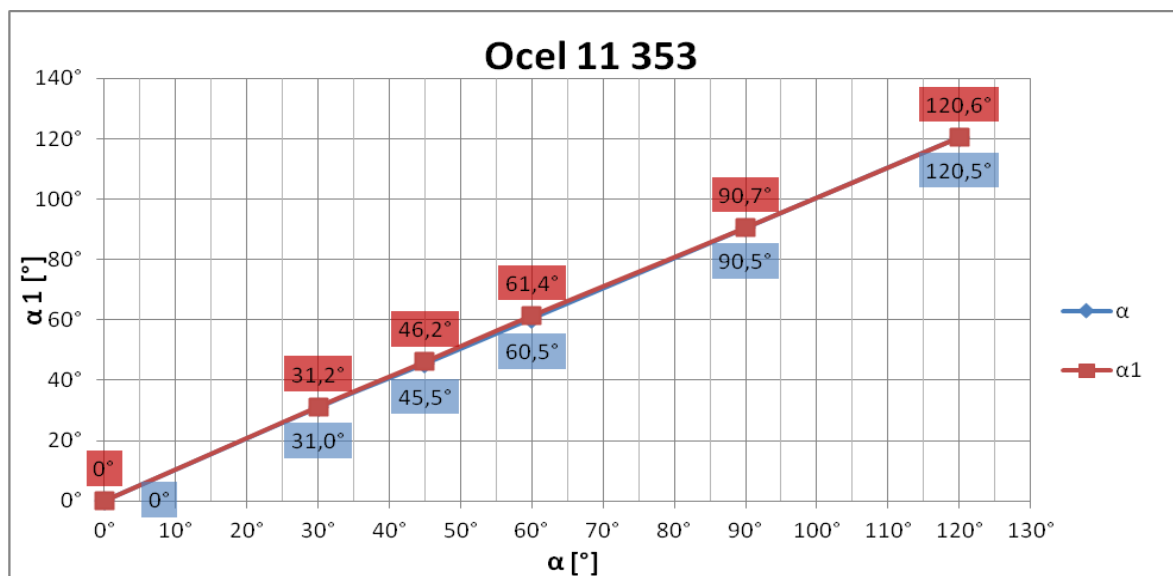
V grafech je viděno na obrázku 14 závislost úhlu ohybu α , α_1 pro ocel 11353, na obrázku 15 závislost úhlu ohybu α , α_1 pro všechny druhy materiálu - Hliník ČSN 424206 (AIS-Cu₂SiMg), Měď ČSN 423005 (Cu_{99,5}), ocel 11353 a na obrázku 16 závislost odpružení β pro všechny materiály.

Na obrázku 16 je znázorněno odpružení β a tam se vidí, že nejmenší odpružení má ocel a největší odpružení měď.

Ocel 11 353

Stupně [°]	Počet měření	Nástroj				Ohýbaný materiál					Odpružení β [°]
		α -začátek [°]	α -střed [°]	α -konec [°]	průměr α [°]	$\alpha 1$ -začátek [°]	$\alpha 1$ -střed [°]	$\alpha 1$ -konec [°]	průměr $\alpha 1$ [°]	Aritmetický průměr $\alpha 1$ [°]	
30°	1	31,00	31,00	31,00	31,00	32,00	31,50	31,40	31,63	31,23	-0,63
	2					31,00	31,20	31,20	31,13		-0,13
	3					31,00	30,80	31,00	30,93		0,07
	4					31,00	31,20	32,00	31,40		-0,40
	5					31,00	30,90	31,30	31,07		-0,07
45°	6	45,50	45,50	45,50	45,50	46,00	47,00	46,50	46,50	46,19	-1,00
	7					45,50	45,00	45,90	45,47		0,03
	8					46,00	46,20	46,20	46,13		-0,63
	9					46,00	46,50	47,00	46,50		-1,00
	10					46,30	46,30	46,50	46,37		-0,87
60°	11	60,50	60,50	60,50	60,50	62,00	61,50	61,00	61,50	61,43	-1,00
	12					62,50	61,50	61,00	61,67		-1,17
	13					61,50	61,00	62,00	61,50		-1,00
	14					61,50	61,00	61,50	61,33		-0,83
	15					61,00	61,00	61,50	61,17		-0,67
90°	16	90,50	90,50	90,50	90,50	90,00	90,50	91,00	90,50	90,67	0,00
	17					91,00	91,00	90,50	90,83		-0,33
	18					91,00	90,50	90,50	90,67		-0,17
	19					90,50	90,50	90,00	90,33		0,17
	20					91,00	91,00	91,00	91,00		-0,50
120°	21	120,50	120,50	120,50	120,50	121,00	121,00	121,50	121,17	120,62	-0,67
	22					120,00	120,00	120,00	120,00		0,50
	23					120,50	120,50	120,50	120,50		0,00
	24					121,00	121,00	120,90	120,97		-0,47
	25					120,20	121,00	120,20	120,47		0,03

Tab. 3 Výsledky měření – ocel 11 353



Obr. 14 Graf závislosti úhlu ohybu – ocel 11 353

Měď ČSN 423005 (Cu99,5)

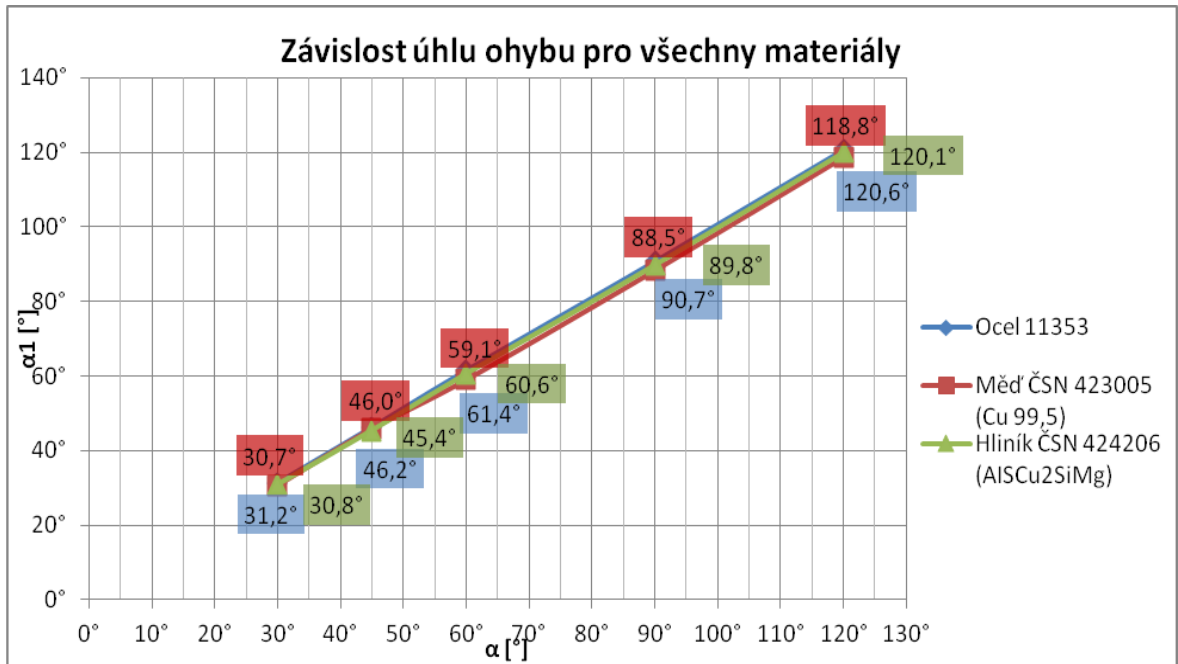
Stupně [°]	Počet měření	Nástroj				Ohýbaný materiál					Odpružení β [°]
		α -začátek [°]	α -střed [°]	α -konec [°]	průměr α [°]	α 1-začátek [°]	α 1-střed [°]	α 1-konec [°]	průměr α 1 [°]	Aritmetický průměr α 1 [°]	
30°	1	31,00	31,00	31,00	31,00	30,50	30,00	30,00	30,17	30,70	0,83
	2					32,00	32,00	32,00	32,00		-1,00
	3					29,50	30,50	30,50	30,17		0,83
	4					30,50	31,50	31,00	31,00		0,00
	5					30,50	29,90	30,10	30,17		0,83
45°	6	45,50	45,50	45,50	45,50	45,00	45,00	45,00	45,00	45,97	0,50
	7					47,00	46,50	46,50	46,67		-1,17
	8					47,00	46,50	46,50	46,67		-1,17
	9					46,50	46,50	47,00	46,67		-1,17
	10					45,50	44,50	44,50	44,83		0,67
60°	11	60,50	60,50	60,50	60,50	60,00	59,50	58,00	59,17	59,13	1,33
	12					59,50	59,50	58,50	59,17		1,33
	13					59,50	59,50	60,00	59,67		0,83
	14					58,90	60,00	58,00	58,97		1,53
	15					59,00	58,00	59,00	58,67		1,83
90°	16	90,50	90,50	90,50	90,50	88,00	88,50	88,00	88,17	88,47	2,33
	17					88,00	89,00	89,00	88,67		1,83
	18					89,50	88,00	88,50	88,67		1,83
	19					88,50	89,00	88,00	88,50		2,00
	20					88,00	88,00	89,00	88,33		2,17
120°	21	120,50	120,50	120,50	120,50	119,00	119,50	119,50	119,33	118,83	1,17
	22					119,00	120,00	119,50	119,50		1,00
	23					119,00	118,50	118,50	118,67		1,83
	24					118,00	118,50	118,00	118,17		2,33
	25					118,00	118,50	119,00	118,50		2,00

Tab. 4 Výsledky měření - Měď ČSN 423005 (Cu99,5)

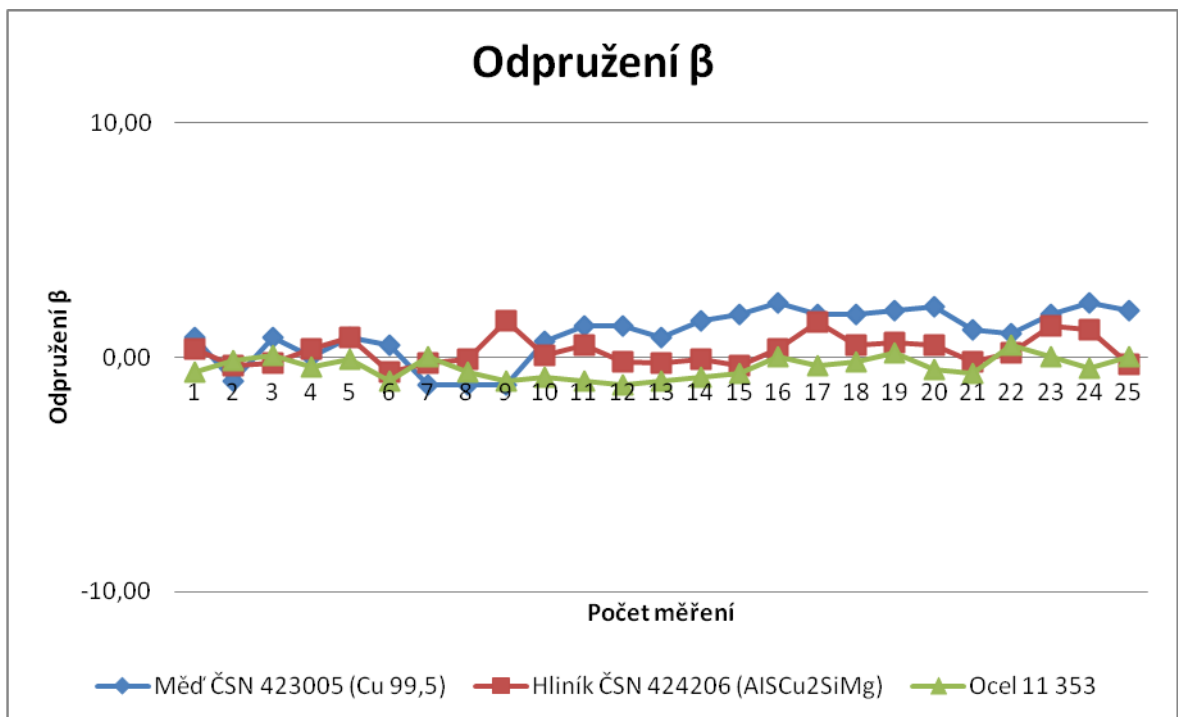
Hliník ČSN 424206 (AISCu2SiMg)

Stupně [°]	Počet měření	Nástroj				Ohýbaný materiál					Odpružení β [°]
		α -začátek [°]	α -střed [°]	α -konec [°]	průměr α [°]	α 1-začátek [°]	α 1-střed [°]	α 1-konec [°]	průměr α 1 [°]	Aritmetický průměr α 1 [°]	
30°	1	31,00	31,00	31,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,67	30,81	0,33
	2					31,50	31,50	31,00	31,33		-0,33
	3					31,50	31,00	31,20	31,23		-0,23
	4					30,90	31,00	30,00	30,63		0,37
	5					30,00	30,00	30,50	30,17		0,83
45°	6	45,50	45,50	45,50	45,50	45,90	46,50	46,00	46,13	45,37	-0,63
	7					45,50	45,80	46,00	45,77		-0,27
	8					45,30	45,50	45,90	45,57		-0,07
	9					44,00	43,90	44,00	43,97		1,53
	10					45,50	45,20	45,50	45,40		0,10
60°	11	60,50	60,50	60,50	60,50	60,00	59,50	60,50	60,00	60,58	0,50
	12					61,00	60,00	61,00	60,67		-0,17
	13					60,90	60,90	60,50	60,77		-0,27
	14					60,20	60,80	60,80	60,60		-0,10
	15					61,20	60,90	60,50	60,87		-0,37
90°	16	90,50	90,50	90,50	90,50	90,50	90,00	90,00	90,17	89,81	0,33
	17					89,00	89,00	89,00	89,00		1,50
	18					90,50	89,50	90,00	90,00		0,50
	19					89,90	89,90	89,90	89,90		0,60
	20					90,00	90,00	90,00	90,00		0,50
120°	21	120,50	120,50	120,50	120,50	120,00	121,00	121,00	120,67	120,06	-0,17
	22					120,00	120,50	120,50	120,33		0,17
	23					119,50	119,00	119,00	119,17		1,33
	24					119,00	119,50	119,50	119,33		1,17
	25					120,50	121,00	120,90	120,80		-0,30

Tab. 5 Výsledky měření - Hliník ČSN 424206 (AISCu2SiMg)



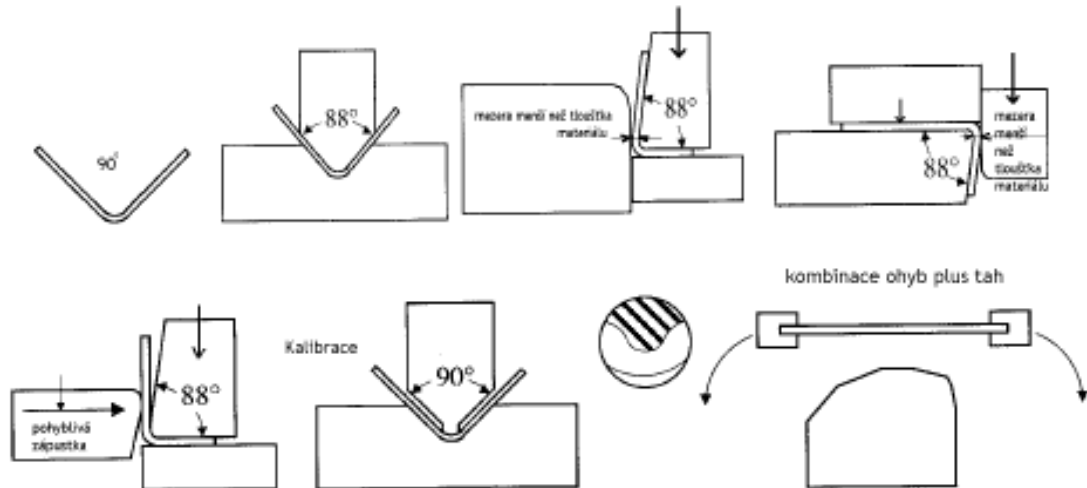
Obr. 15 Graf závislosti úhlu ohybu – pro všechny materiály



Obr. 16 Graf závislosti odpružení β

6.1.2 Shrnutí experimentálního měření

Aby se předešlo chybám při ohýbání, je třeba nejdříve popřemýšlet o chování materiálu, co se týče tvárnosti, tloušťky, tvaru a úhlu ohybu. Odpružení lze omezit, případně úplně vyloučit úpravami geometrie nebo konstrukce nástrojů, jak můžeme vidět na obrázku 17.



Obr. 17 Metody eliminace odpružení [17]

6.2 Technologický postup

Zadání ohybu: Bude vyroben ohyb 90° $R = 850$ mm z materiálu 16Mo3, o vnitřním průměru 550 mm, tloušťce stěny 25 mm.

Na začátku budou zvoleny parametry, podle kterých se bude postupovat:

Vstupní materiál:

Trubka bezešvá z materiálu 16Mo3 s vnitřním průměrem 550 x 25 mm dle normy ČSN EN 10 216-2:2002 + A2:2007

Typ ohýbání:

Ohýbání za tepla (indukční ohřev) dle normy ČSN EN 12 952 5:2003, Příloha A.4.1

Ohýbací zařízení:

Ohýbací stroj s indukčním ohřevem, teplotní čtečkou a regulací - typ COJAFEX PB 850

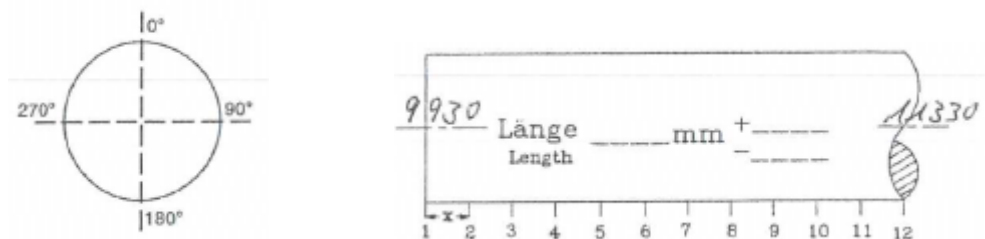
Parametry pro ohýbání:	rádus ohybu 850 mm, úhel ohybu 90°, poměr ohybu $r_b/d_0 = 1.42$, průměrná ohýbací teplota 930°C (max. 920°C v zóně napětí, max. 940°C v zóně poklesu, rychlost ohýbání = 10 mm/min.
Tepelné zpracování:	normalizace (920°C/50 min, vzduch)

6.2.1 Základní materiál

Pro samotný ohyb byla použita trubka bezešvá o vnitřním průměru 550 mm (tolerance min. 550mm a max. 561mm) a min. tloušťce stěny 25 mm (tolerance tl. stěny min. 25 mm a max. 32 mm) materiál 16Mo3 dle ČSN EN 10 216-2:2002 + A2:2007, tavba č. 192805, trubka č. 15, od výrobce Vallourec & Mannesmann Tubes Deutschland GmbH – certifikát dle EN 10204 3.2 – viz. Příloha P I

Minimální tolerance musí být dodržena z důvodu zeslabení stěny při ohýbání. Z tohoto důvodu bylo provedeno měření tl. stěny, zda trubka s touto tl. stěny je vyhovující.

Kontrola tl. stěny je provedena na čtyřech místech po obvodu trubky - 0°, 90°, 180°, 270°, jak je vidět na obrázku č.18 a provede se kontrola vnějšího průměru trubky, zda je vyhovující ovalita.



Obr. 18. Rovina měření

	Tloušťka stěny (mm)				Vnitřní průměr (mm)		Výsledek
	Min: 25,0 mm Max: 32,0 mm				Min: 550 mm Max: 561 mm		
Rovina	0°	90°	180°	270°	0°- 180°	90°- 270°	OK
Měření 1	28,0	28,0	29,0	28,1	555,8	555,2	OK
Měření 2	29,7	29,1	27,8	29,0	555,5	551,8	OK

Tab. 6. Měření rozměru trubky

6.3 Ohýbací parametry procesu a nastavení ohýbání

Ohýbání je nastaveno dle výrobního výkresu – Příloha PII. Výroba a technologický postup je proveden následovně. Při postupu se určí seznam NDT zkoušek.

Číslo operace	Popis
10	Vstupní kontrola
20	Kontrola tloušťky stěny ultrazvuk
30	Kontrola rozměrů a značení
40	Kontrola průběhu ohýbání
50	Kontrola po ohnutí
60	Kontrola tloušťky stěny ultrazvukem po ohnutí
70	Kontrola rozměrů a značení
80	Kontrola tepelného zpracování a tvrdosti
90	Kontrola plochy el. magnet. metodou
100	Kontrola ultrazvukem
110	Kontrola tloušťky stěny ultrazvukem

Tab. 7. Seznam NDT zkoušek

6.3.1 Rozměrová a vizuální kontrola před ohýbáním

Číslo operace - 10 Vstupní kontrola

Provede se vstupní kontrola dle ČSN EN 12952-5 na materiálu 16Mo3. Vstupní kontrola se skládá z vizuální kontroly povrchu, kontrola rozměrů, kontrola souladu dokumentace se značením. Narýsuje se rastr na povrch trubky ve čtyřech liniích po 90° v délce rozvinu ohybu (L3 = 1463 mm) a označí se důlčik v bodech (po 146 mm).

Č.trubky: Tube No.:	15	Č.tavby: Melting No.:	192805	Materiál.:	16Mo3								
Průměr: Diameter.:	ID 550	Tloušťka stěny: Wall thickness:	25	Délka: Lenght:	10360 mm								
Kontrola záměny materiálu: Material identity test:	Zkušební zařízení č.: Test app. No.:		Alloy analyzer XT260SE S/N747	Výsledek: Result	A OK								
	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13			
WF													
01													
02	28,2	28,6	28,0	28,2	27,9	28,3	28,5	28,8	29,8	29,4			
03													
04	29,6	29,3	29,2	29,2	28,6	28,8	28,5	28,3	29,4	28,4			
05													
06	30,0	29,6	30,1	29,1	29,6	29,4	29,2	28,7	28,4	28,1			
07													
08	29,0	27,4	27,7	28,2	28,3	28,1	29,5	29,0	29,8	29,3			

Průměr:		A	B	
Diameter:	Di:	551,0	553,2	
	Di:	553,0	554,3	
	Oval:	0,364	0,200	

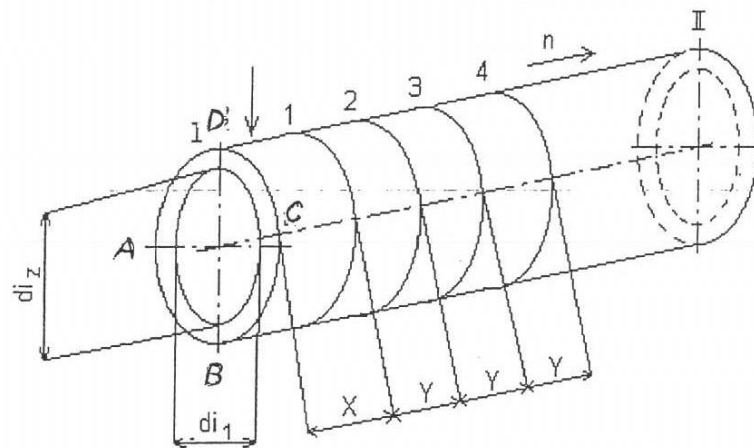
Tab. 8. Vstupní kontrola trubek

Číslo operace - 20 Kontrola tloušťky stěny ultrazvuk

Kontrola tloušťky stěny ultrazvukem v označených bodech, určí a označí se tažné vlákno.

Číslo operace - 30 Kontrola rozměrů a značení

Provede se měření průměru trubky a tloušťky stěny, dále je prověřena ovalita trubky dle obrázku č. 19. v označených bodech. Záznam je zapsán do tabulky 9. V ose $X = 1050$ mm, $Y = 146$ mm, $n = 10$.



Obr. 19. Měření průměru a tloušťky stěny

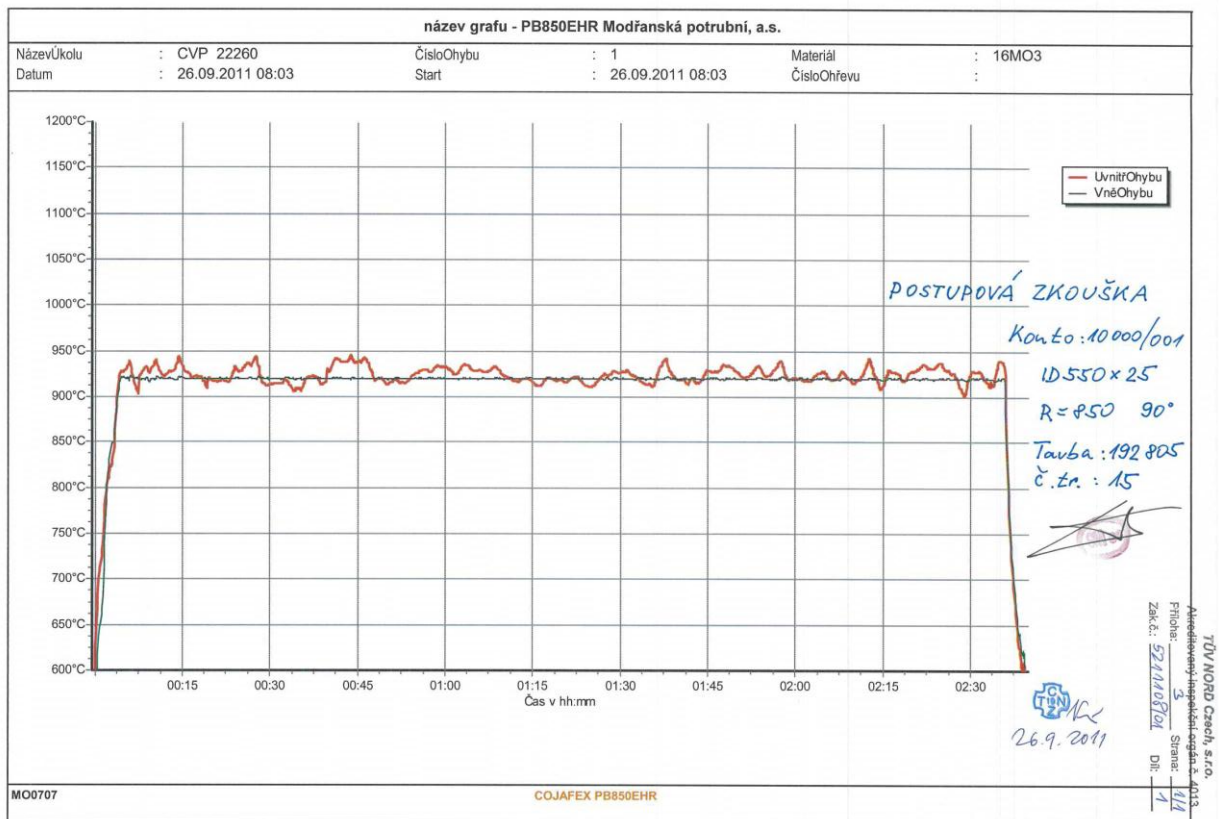
Měřicí místo	Tloušťka stěny				Ovalita 100x [%] $\frac{D_{\max} - D_{\min}}{D}$		
	A	B	C	D	A-C	B-D	[%]
1	29,6	29,6	28,4	28,5	610	609,5	0,08
2	30,2	29,1	27,9	28,0	610,5	609,5	0,17
3	30,0	28,8	27,9	28,2	610,5	609	0,25
4	30,0	29,1	28,1	29,0	610,5	609	0,25
5	30,2	29,1	27,6	28,0	611	609,5	0,25
6	30,0	28,9	27,9	28,0	611	609,5	0,25
7	30,4	29,0	27,9	28,3	611	609,5	0,25
8	30,2	29,0	28,0	28,6	611	609,5	0,25
9	29,6	28,8	28,2	28,4	611	609,5	0,25
10	29,7	28,9	28,1	28,8	611	610	0,17
11	30,1	28,8	28,3	28,6	611	610	0,17

Tab. 9. Záznam měření průměru a tl. stěny

6.3.2 Tepelné zpracování

Číslo operace - 40 Kontrola průběhu ohýbání

Proces ohýbání je proveden dle přílohy A.4.1 dle normy ČSN EN 12 952 5:2003. Indukčně je ohnuta trubka o vnitřním průměru 550 x 25, R= 850, 90° dle výkresu Příloha P II. Tvářecí teplota dle TN-T 609 -850 – 1000°C (nastavíme na 920°C). Rychlost ohýbání 10 mm/min. Induktor bez vodního zchlazování. Kontrola průběhu ohýbání a teploty, kontrola rychlosti deformace můžeme vidět na obr. č. 20.



Obr. 20. Grafický záznam průběhu teplot

6.3.3 Rozměrová a vizuální kontrola po ohýbání

Číslo operace - 50 Kontrola po ohnutí

Vizuální kontrola a kontrola úhlu ohybu. Na pásové pile je provedeno odříznutí ohybu bez ramene a konce trubky ponechány bez úkosu.

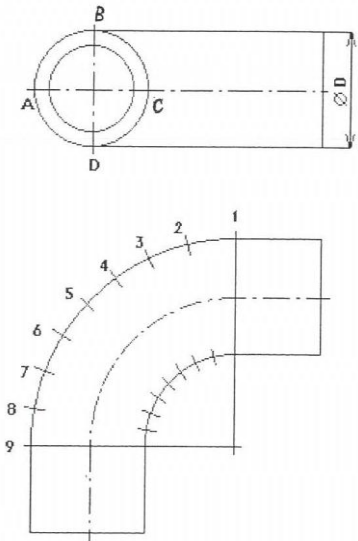
Číslo operace - 60 Kontrola tloušťky stěny ultrazvukem po ohnutí

Kontrola tloušťky stěny ohybu je provedena pomocí ultrazvuku v označených bodech a je vystaven záznam – tab.7

Číslo operace - 70 Kontrola rozměrů a značení po ohnutí

V tomto bodě je provedena kontrola ovality v označených bodech a je zapsána do tabulky 10.

Měřicí místo	Tloušťka stěny				Ovalita 100x [%]		
	A	B	C	D	A-C	B-D	[%]
1	28,7	30,0	34,7	30,2	612	617,5	0,92
2	25,6	30,9	43,9	30,3	603	620	2,83
3	25,0	30,6	45,4	30,1	599,5	621,5	3,67
4	24,9	30,1	45,5	30,0	599	621	3,67
5	25,1	30,5	44,3	29,8	599	621	3,67
6	25,7	30,3	45,0	31,0	600,5	621	3,42
7	25,5	29,7	44,2	29,8	60,2	618	2,67
8	25,2	29,6	44,7	30,1	603	616,5	2,25
9	24,2	30,0	44,9	30,1	604,5	614,5	1,67
10	24,5	29,4	44,7	30,2	607,5	611,5	0,67
11	28,5	29,5	33,7	29,4	610	607,5	0,42



Tab. 10. Záznam – rozměrová kontrola ohybu

Při ohýbání může vzniknout zvlnění na vnitřní straně trubkového ohybu – viz. Obr.21. Aby tato zvlnění byla přijatelná, musí být splněny obě níže uvedené podmínky:

$$\text{Amplituda zvlnění } h_m = 0,5 (d_{02} + d_{04}) - d_{03} < 0,03 d_0$$

$$\text{Rozteč vlny } a > 12 h_m$$

Výpočet:

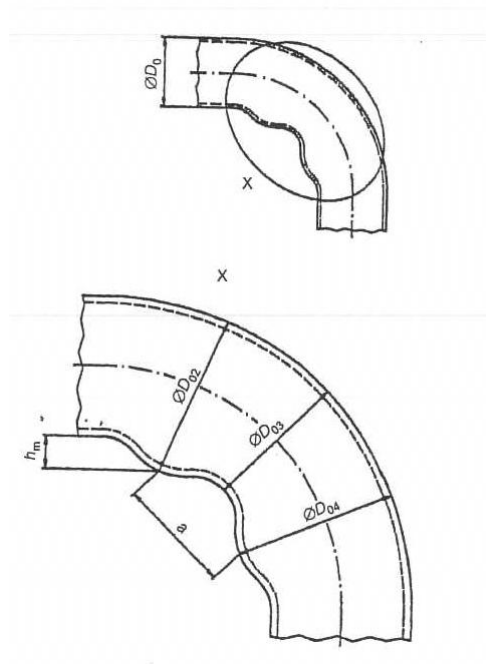
$$d_0 = 610 \qquad h_m = 0,5 \cdot (608 + 603) - 601 < 0,03 \cdot 610$$

$$d_{02} = 608 \qquad \underline{h_m = 4,5 < 18,3}$$

$$d_{03} = 601 \qquad a > 12 h_m$$

$$d_{04} = 603 \qquad \underline{a > 54}$$

$$a = 91$$



Obr. 21. Zvlnění na vnitřní straně trubkového ohybu

$d_0, d_{02}, d_{03}, d_{04}, \dots$ atd. = skutečný vnější průměr trubky v poloze měření.

6.3.4 Měření tvrdosti

Po tepelném zpracování musí být provedeno měření tvrdosti na povrchu v zóně napětí a zóně poklesu. Zkouška tvrdosti v tomto případě je provedena dle Vickerse. Tvrdost v zóně napětí je od HV 133 do HV 150, v zóně poklesu od HV 140 do HV153.

Číslo operace - 80 Kontrola tepelného zpracování a tvrdosti

Po tepelném zpracování dle předpisu je provedena kontrola tohoto zpracování a tvrdosti dle normy ČSN EN ISO 6507 -1,2,3,4. Je vystaven protokol s připojením diagramu tepelného zpracování – příloha P III.

6.3.5 Nedestruktivní zkoušení MT a UT

MT a UT zkouška musí být provedena a v průběhu zkoušení nesmí být registrovány a nalezeny žádné vady.

Číslo operace - 90 Kontrola plochy elektromagnetickou metodou

Po tepelném zpracování dle předpisu STG 1350 – viz. Příloha P IV je zkontrolován povrch trubky, zda je vhodný pro provedení zkoušky elektromagnetickou metodou. V tomto případě se musí trubka tryskat na vnějším povrchu, aby byl docílen hladký povrch trubky (nesmí vykazovat žádné okuje). Povrch je vyhovující, ale pokud by ještě vykazoval menší nerovnosti, musel by se přebrousit na vnější ploše ohybu v délce rozvinu. Trhliny jsou nepřijatelné, elektromagnetickou zkoušku provedeme dle ČSN EN ISO 10246-12, stupeň přípustnosti M1. Provede se záznam - viz. Příloha P V.

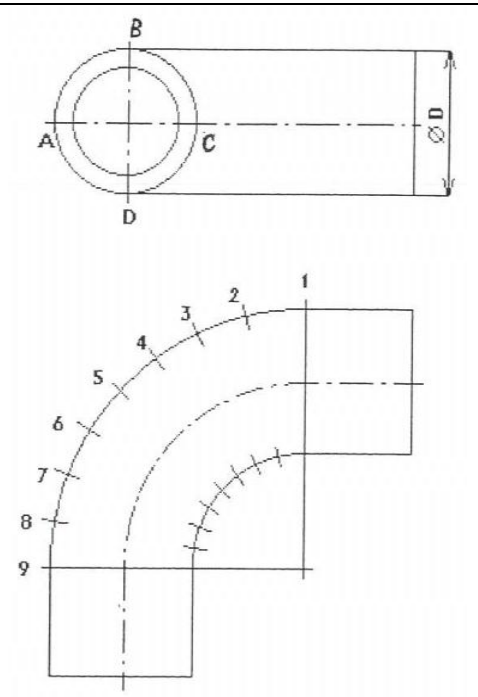
Číslo operace - 100 Kontrola ultrazvukem

Kontroly ultrazvukem na příčné i podílné trhliny v partii tažené strany ohybu (min.90°). UT se provádí na základě normy EN10246-6,7 třída U2, podtřída C. Provede se záznam – viz. Příloha P VI.

Číslo operace - 110 Kontrola tloušťky stěny ultrazvukem po tryskání

Po tryskání je nutné provést kontrolu tloušťku stěny pomocí ultrazvuku v označených bodech na ohybu, aby bylo zjištěno, zda daná tl. stěny je vyhovující pro ohyb a je proveden záznam v tabulce 11.

Měřicí místo	Tloušťka stěny			
	A	B	C	D
1	28,4	29,7	34,5	30,0
2	25,2	30,7	43,6	30,0
3	24,7	30,3	45,0	29,7
4	24,7	30,0	45,2	29,7
5	24,7	30,3	44,0	29,6
6	25,3	30,0	44,7	30,6
7	25,3	29,4	44,0	29,5
8	25,0	29,4	44,4	29,7
9	23,9	29,7	44,5	29,7
10	24,1	29,1	44,5	29,7
11	28,2	29,2	33,5	29,0



The technical drawing consists of two parts. The top part is a cross-section of a cylinder with a central hole. The outer diameter is labeled as $\varnothing D$. Four points are marked on the outer circumference: A (left), B (top), C (right), and D (bottom). The bottom part is a longitudinal section of the cylinder, showing the internal hole. It features a curved line representing the inner surface, with 9 measurement points labeled 1 through 9 along its arc.

Tab. 11. Záznam – rozměrová kontrola ohybu po tryskání

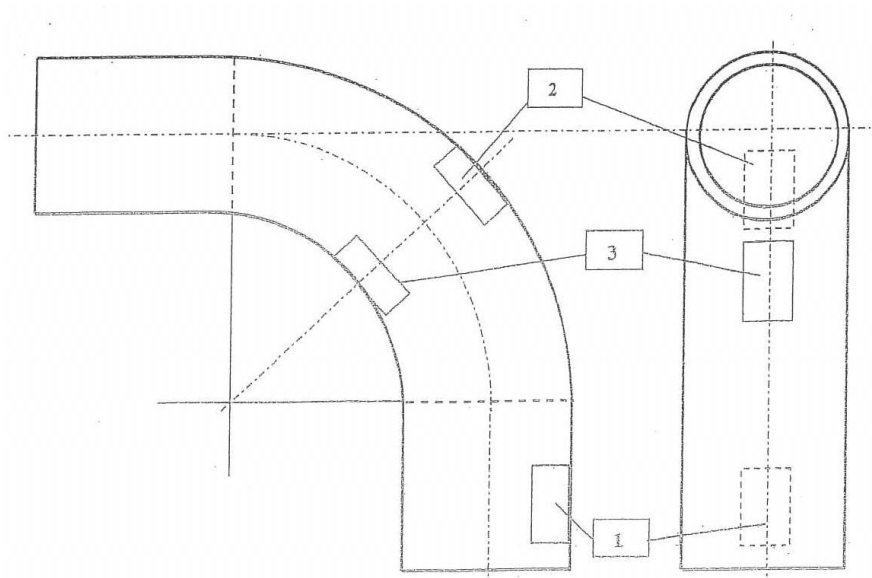
6.4 Mechanické zkoušky provedeny v laboratořích

Pokud jsou provedeny veškeré operace, které jsou výše uvedeny budou pracovníky skladu nařezány vzorky pro zkušební laboratoř, která provede požadované mechanické zkoušky podle normy EN 10952-5, A.4.4.5:

- 1) Zkoušku tahem v příčném směru – použit 1 vzorek
- 2) Zkouška tahem při teplotě 500° C v příčném směru - použit 1 vzorek
- 3) Zkouška rázem v ohybu v příčném směru - použity 3 vzorky

	Rovná část trubky	Vnější část ohybu	Vnitřní část ohybu
Zkoušku tahem v příčném směru při teplotě 20°C	Výsledek tab.10 Vzorek č.101	Výsledek tab.11 Vzorek č.102	Výsledek tab.12 Vzorek č.103
Zkouška tahem při teplotě 500° C v příčném směru	Výsledek tab.10 Vzorek č.201	Výsledek tab.11 Vzorek č.202	Výsledek tab.12 Vzorek č.203
Zkouška rázem v ohybu v příčném směru	Výsledek tab.10 Vzorek č.111 Vzorek č.112 Vzorek č.113	Výsledek tab.11 Vzorek č.211 Vzorek č.212 Vzorek č.213	Výsledek tab.12 Vzorek č.311 Vzorek č.312 Vzorek č.313

Tab. 12. Přehled zkušebních vzorků



----- Přechodové pásmo ohybu - označení

Obr. 22. Odběr vzorků ze zkušebního ohybu trubky

1- ohýbáním neovlivněný materiál trubky před tepelně zpracovaný s ohybem (základní materiál trubky); 2- vzorky ze středové části ohybu z vnější části ohybu; 3 – vzorky ze středové části ohybu z vnitřní části ohybu

Norma pro testování:		ČSN EN ISO 6892-1:2009 A					
Metoda:		Zkouška tahem					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Mez kluzu R_{eH} [MPa]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
101	10,01	50	315	296	457	35,6	67,2
Norma pro testování:		ČSN EN 10002-5					
Metoda:		Zkouška tahem při vysoké teplotě					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Teplota [°C]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
201	8,01	40	500	193	348	29,8	77,3
Norma pro testování:		ČSN ISO 148-1					
Metoda:		Zkouška rázem v ohybu – Charpyho zkouška					
Zařízení:		Charpyho stroj AMSLER RKP 300					
Vzorek č.	Testovací tyč	Počáteční potenciální energie [J]	Testovací teplota [°C]	Potenciální energie po zkoušce [J]			
111	KV ₂	300	20	76			
112	KV ₂	300	20	65			
113	KV ₂	300	20	71			

Tab. 13. Výsledek zkoušky – pro rovnou část trubky

Norma pro testování:		ČSN EN ISO 6892-1:2009 A					
Metoda:		Zkouška tahem					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Mez kluzu R_{eH} [MPa]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
102	10,00	50	314	302	460	32,20	60,1
Norma pro testování:		ČSN EN 10002-5					
Metoda:		Zkouška tahem při vysoké teplotě					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Teplota [°C]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
202	8,01	40	500	192	352	29,5	70,2
Norma pro testování:		ČSN ISO 148-1					
Metoda:		Zkouška rázem v ohybu – Charpyho zkouška					
Zařízení:		Charpyho stroj AMSLER RKP 300					
Vzorek č.	Testovací tyč	Počáteční potenciální energie [J]	Testovací teplota [°C]	Potenciální energie po zkoušce [J]			
211	KV ₂	300	20	59			
212	KV ₂	300	20	55			
213	KV ₂	300	20	56			

Tab. 14. Výsledek zkoušky – pro vnější část ohybu

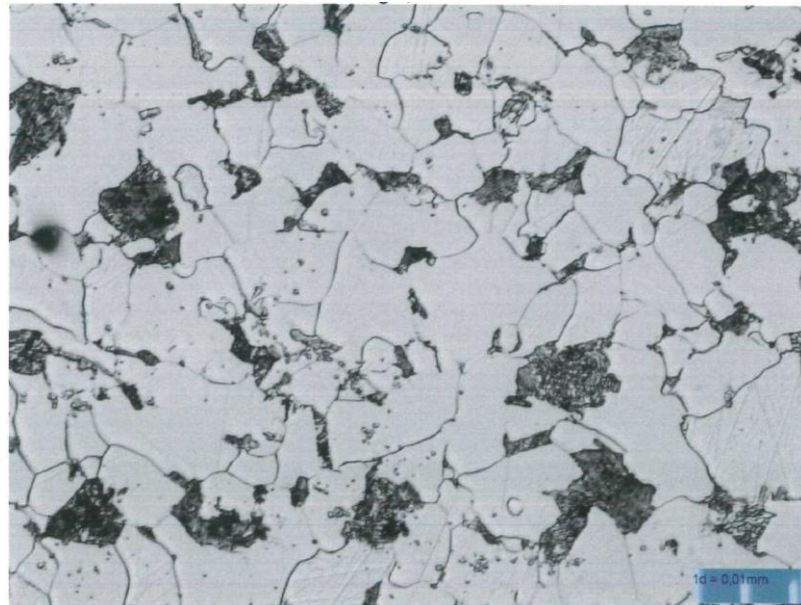
Norma pro testování:		ČSN EN ISO 6892-1:2009 A					
Metoda:		Zkouška tahem					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Mez kluzu R_{cH} [MPa]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
103	10,01	50	310	295	457	35,6	65,5
Norma pro testování:		ČSN EN 10002-5					
Metoda:		Zkouška tahem při vysoké teplotě					
Zařízení:		INSTRON 1196					
Vzorek č.	Rozměr \varnothing [mm]	Délka měřidla L_0 [mm]	Teplota [°C]	Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A5 [%]	Kontrakce (zúžení) Z [%]
203	8,01	40	500	185	345	30,5	74,1
Norma pro testování:		ČSN ISO 148-1					
Metoda:		Zkouška rázem v ohybu – Charpyho zkouška					
Zařízení:		Charpyho stroj AMSLER RKP 300					
Vzorek č.	Testovací tyč	Počáteční potenciální energie [J]	Testovací teplota [°C]	Potenciální energie po zkoušce [J]			
311	KV ₂	300	20	112			
312	KV ₂	300	20	66			
313	KV ₂	300	20	59			

Tab. 15. Výsledek zkoušky – pro vnitřní část ohybu

- 4) Zkouška mikrostruktury – bude provedeno pro 1 vzorek, v tabulce č. 16 je viděno na kterých místech trubky a ohybů byla mikrostruktura provedena. Na obrázky č. 23, 24, 25 je viděn záznam mikrostruktury materiálu. Zvětšení bylo provedeno 500x.

Test mikrostruktury pro tavbu trubky č. 192805		
Příprava vzorku	Mechanicky broušením a leštěním	
Leptání	Nital 5%	
Výsledek	1. Rovná část trubky Vzorek č.401 Obr.15	Ferit + Perlit (Obr.14)
	2. Vnější část ohybu Vzorek č.402 Obr.16	Ferit + Perlit (Obr.15) Žádné trhliny se nevyskytovaly na vzorku
	3. Vnitřní část ohybu Vzorek č.403 Obr.17	Ferit + Perlit (Obr.16)

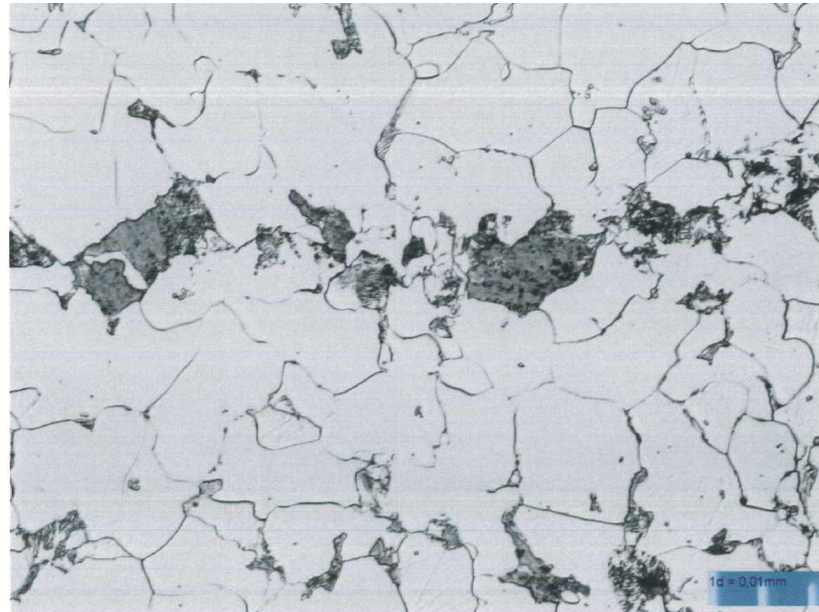
Tab. 16. Výsledek zkoušky - mikrostruktura



Obr. 23. Mikrostruktura pro rovnou část trubky, 500x



Obr. 24. Mikrostruktura pro vnější část ohybu, 500x



Obr. 25. Mikrostruktura pro vnitřní část ohybu, 500x

7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Ekonomické vyhodnocení je provedeno podle skutečných nákladů na výrobu 1 ks ohybu 90° R = 850 mm z materiálu 16Mo3, o vnitřním průměru 550 mm, tloušťce stěny 25 mm, při použití ohýbacího stroje s indukčním ohřevem - typ COJAFEX PB 850.

Pořizovací cena ohýbacího stroje - typ COJAFEX PB 850: 112 560 000,- Kč

Životnost stroje: 30 let

Průměrná cena odpisu a nákladů na 1 ohyb ID550x25: 6 432,- Kč

A/ Cena materiálu 10,36 m trubky ID550x25 materiál 16Mo3			423 992,- Kč
B/ Cena práce pro 1 ohybu			
Operace:	Popis činnosti	Čas (min.)	Cena v Kč/ks
10	Vstupní kontrola	20	286,- Kč
10	Rýsování ramene	15	195,- Kč
20	Kontrola síly stěny ultrazvukem a označení vlákná	30	384,- Kč
30	Kontrola rozměrů a značení	20	286,- Kč
40	Indukční ohýbání	210	6 432,- Kč
40	Kontrola ohýbacího diagramu po ohnutí	10	143,- Kč
50	Vizuální kontrola ohybu po ohnutí	40	572,- Kč
50	Odříznutí ramen pásovou pilou	73	633,- Kč
60	Kontrola síly stěny ultrazvukem po ohnutí	30	384,- Kč
70	Kontrola ovality ve vyznačených bodech	30	384,- Kč
80	Tepelné zpracování normalizace a popouštění	720	25 900,- Kč
80	Kontrola diagramu tepelného zpracování a měření tvrdosti	10	173,- Kč

Operace:	Popis činnosti	Čas (min.)	Cena v Kč/ks
90	Tryskání vnějšího a vnitřního povrchu	242	2 843,- Kč
90	Přebroušení povrchu pro elektromagnetickou zkoušku	15	130,- Kč
90	Magnetická zkouška povrchu	25	987,- Kč
100	Kontrola ohybu ultrazvukem	35	1 440,- Kč
110	Kontrola síly stěny ohybu ultrazvukem po tryskání	30	384,- Kč
	Odběr vzorků pro mechanické zkoušky	65	564,- Kč
	Vyhodnocení výsledků v laboratoři	4320 (3dny)	6 850,- Kč
	Sestavení kompletní dokumentace	1440 (1den)	5 860,- Kč
	Celkem výrobní náklady		54 830,- Kč
	Obchodní a správní režie firmy 10%		5 483,- Kč
	Čistý zisk 15%		9 046,- Kč
	Celkové náklady včetně materiálu – 1 ks ohybu		478 822,- Kč
	Prodejní cena bez materiálu – 1 ks ohybu		69 359,- Kč
	Prodejní cena včetně materiálu – 1 ks ohybu		493 351,- Kč

Tab. 17 Ekonomické hodnocení nákladů

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s postupem a celkovou výrobou ohybu za tepla.

Teoretická část této bakalářské práce je zaměřena na teorii a technologii tváření, tváření kovů, vhodného výběru materiálu a technologii ohýbání trubek za tepla. Okrajově bude čtenář seznámen i s novou technologií laserové tváření, která je méně známá.

Praktická část této bakalářské práce je zaměřena na technologický postup (postupovou práci), kde se na konkrétním případě provede ohnutí trubky za tepla. Jako výchozí materiál je zvolen trubka o vnitřním průměru 550 mm s tloušťkou stěny 25 mm a materiálu 16Mo3. Vzhledem k tomu, že pro zvolený ohyb musí být mít zařízení a vybavení, na kterém by se ohnutí trubky provedlo, byla zvolena firma, která je českým výrobcem potrubních ohybů. Výroba ohybu se provedla na nově zakoupeném CNC řízeném ohýbacím stroji PB 850 od holandské společnosti Cojafex, který nabízí možnosti ohybů pro trubky o maximálním průměru 850 mm a tloušťce stěny 105 mm. Ohyb byl použitý na výstavbu nového bloku v Elektrárně Ledvice. Dále jako malý experiment, bylo provedeno ohýbání plechu pomocí hydraulického listu, aby se zjistilo odpružení plechu.

Závěrečným bodem práce je ekonomické hodnocení výroby, ze kterého vyplývají celkové náklady na výrobu jednoho kusu ohybu včetně materiálu v celkové výši 478 822,-Kč a prodejní cena pro jeden kus ohybu činí 493 351,- Kč.

Při zhodnocení výše uvedených poznatků je volena technologie na základě rozměrů a materiálového složení použité trubky a na základě toho se vybere a zpracuje technologický postup pro ohýbání, aby byl pro dané použití vhodný.

Seznam použité literatury

- [1] FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2004. 168 s. ISBN 80-214-2764-7
- [2] HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan. Strojírenská technologie 1 - 1.díl: Nauka o materiálu. 3. vyd. Praha: Scientia, 2002. 267 s. ISBN 80-7183-262-6
- [3] ČABELKA, Jozef. Mechanická technológia. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo SAV v Bratislave, 1036 s.
- [4] PTÁČEK, Luděk. Nauka a materiálu I. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2001. 515 s. ISBN 80-7204-193-2
- [5] NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9
- [6] LENFELD, Petr [online]. TUL – Fakulta strojní v Liberci [cit 2011-11-25]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [7] PTÁČEK, Luděk. Nauka a materiálu II. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 1999. 515 s. ISBN 80-7204-130-4
- [8] ČSN EN 13480-4 Kovová průmyslová potrubí – část 4: Výroba a montáž. Praha: Český normalizační institut Praha, 2003, 40 s.
- [9] FRISCHHERZ, Adolf, SKOP, Paul. Technologie zpracování kovů 1: Základní poznatky. 5. vyd. Praha: SNTL, 2004. 268 s. ISBN 80-902655-5-3
- [10] ELFMARK J A KOL., Tváření kovů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1992. 528 s. ISBN 80-03-00651-1
- [11] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, J. Technologie tváření plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [12] Modřany Power [online], [cit 2012-01-31].
<http://www.modrany.cz/Dokumenty-ke-stazeni.html>
- [13] MUCHA, Z.: Modelowanie i ksperymentalne badania ksztaltowania laserowego

materialów konstrukcyjnych Wydawnictwo Politechniki Swiżtokrzyskiej w Kielcach 2004.

- [14] JISKRA, J.: Lasery a laserové technologie In: Speciální technologie a materiály, 1. vyd. ACADEMIA PRAHA, Praha, 1993, s. 158-174
- [15] VOLLERSTEN, F. - PRETORIUS, T.: Thermal bending, history and perspectives. In: First International Workshop on Thermal forming, Bias Verlag, Bremen, Německo, 2005, ISBN: 3-933762-16-2
- [16] ČERNOVOL, M. -POŠTA, J.: Použití laseru při renovaci součástí In: Celoštátna konferencia - Zváranie, rezanie a povrchové tepelné spracovanie elektrónovým lúčom a laserom, 1. vyd. Dom Techniky ČSVTS, Bratislava, 1986, s. 116- 134
- [17] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard [online]. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Úvod do tváření II. [cit 2012-05-15]. Dostupné z WWW: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/texty/uvod_tv2.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

P91		Speciální označení oceli ASTM A335 P91, EN X10CrMoVNb 9-1
Cr		Chemický prvek - chrom
HV		Tvrdost podle Vickerse
R	mm	Vnitřní poloměr ohybu
D	mm	Vnější průměr trubky
t	mm	Tloušťka materiálu
Min		Minimální
Max		Maximální
BM		Mechanismus vydutí
TGM		Mechanismus teplotního gradientu
r_b	mm	Poloměr ohybu trubky
d_0	mm	Vnější průměr trubky
NDT		Nedestruktivní testování (Nondestructive Testing)
L3	mm	Délka v rozvinutém ohybu
D_i	mm	Vnitřní průměr trubky
ID550	mm	Vnitřní průměr trubky
D_{MAX}	mm	Maximální vnější průměr dutého profilu s kruhovým průřezem, měřené ve stejné rovině
D_{MIN}	mm	Minimální vnější průměr dutého profilu s kruhovým průřezem, měřené ve stejné rovině
h_m	mm	Amplituda zvlnění
a	mm	Rozteč vlny
MT		Zkouška magnetickou metodou práškovou (Magnetic Particle Testing)
UT		Zkouška pomocí ultrazvuku (Ultrasonic Testing)

L_0	mm	Délka měřidla
R_{eH}	MPa	Mez kluzu horní
$R_{P0,2}$	MPa	Smlouvná mez kluzu
R_m	MPa	Mez pevnosti
A_5	[%]	Tažnost – poměrné prodloužení (krátká tyč)
Z	[%]	Koncentrace – poměrné zúžení průřezu v místě lomu
$^{\circ}C$		Stupeň Celsia – teplota
KV_2	J	Nárazová práce, pro vzorek V-vrubem
ID	mm	Vnitřní průměr trubky
β	[$^{\circ}$]	Úhel odpružení
E	MPa	Modul pružnosti v tahu
ν		Poissonova konstanta
σ_{κ}	MPa	Mez kluzu
α	[$^{\circ}$]	Vnitřní úhel ohybu
k		Součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_0/t , $k=0,5$ až $0,68$ z ČSN 227340
L_v	mm	Vzdálenost mezi opěrami ohybnice
R_e	MPa	Mez kluzu v tahu ohýbaného plechu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [6]	18
Obr. 2. Změna mechanických vlastností v závislosti na stupni deformace [6].....	19
Obr. 3. Změna tvaru zrn v důsledku tváření [6].....	19
Obr. 4. Rekrystalizační teplota [6].....	20
Obr. 5. Trubkový ohyb [8].....	24
Obr. 6. Technologie ohýbání trubek za tepla [10]	26
Obr. 7. Indukční ohýbačka PB 850 Special [12].....	27
Obr. 8. Ohýbací stroj [12]	28
Obr. 9. Žíhací pec [12].....	29
Obr. 10. Laserové tváření trubek [13].....	31
Obr. 11 Odpružení [17].....	35
Obr. 12 Hydraulický lis Obr. 13 Detail ohybu	36
Obr. 14 Graf závislosti úhlu ohybu – ocel 11 353	37
Obr. 15 Graf závislosti úhlu ohybu – pro všechny materiály.....	40
Obr. 16 Graf závislosti odpružení β	40
Obr. 17 Metody eliminace odpružení [17].....	41
Obr. 18. Rovina měření.....	42
Obr. 19. Měření průměru a tloušťky stěny.....	45
Obr. 20. Grafický záznam průběhu teplot.....	47
Obr. 21. Zvlnění na vnitřní straně trubkového ohybu.....	49
Obr. 22. Odběr vzorků ze zkušebního ohybu trubky	52
Obr. 23. Mikrostruktura pro rovnou část trubky, 500x.....	57
Obr. 24. Mikrostruktura pro vnější část ohybu, 500x	57
Obr. 25. Mikrostruktura pro vnitřní část ohybu, 500x	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Tepelné zpracování trubek po tváření za studena[8]	24
Tab. 2. Indukční ohýbání trubek [12]	27
Tab. 3 Výsledky měření – ocel 11 353	37
Tab. 4 Výsledky měření - Měď ČSN 423005 (Cu99,5).....	38
Tab. 5 Výsledky měření - Hliník ČSN 424206 (AISCu2SiMg)	39
Tab. 6. Měření rozměru trubky	43
Tab. 7. Seznam NDT zkoušek	43
Tab. 8. Vstupní kontrola trubek	44
Tab. 9. Záznam měření průměru a tl. stěny	46
Tab. 10. Záznam – rozměrová kontrola ohybu	48
Tab. 11. Záznam – rozměrová kontrola ohybu po tryskání	51
Tab. 12. Přehled zkušebních vzorků	52
Tab. 13. Výsledek zkoušky – pro rovnou část trubky.....	53
Tab. 14. Výsledek zkoušky – pro vnější část ohybu	54
Tab. 15. Výsledek zkoušky – pro vnitřní část ohybu	55
Tab. 16. Výsledek zkoušky - mikrostruktura.....	56
Tab. 17 Ekonomické hodnocení nákladů.....	60

SEZNAM PŘÍLOH

- P I CERTIFIKÁT ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU**
- P II VÝROBNÍ VÝKRES**
- P III PROTOKOL O TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ**
- P IV PŘEDPIS PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ**
- P V PROTOKOL O MAGNETICKÉ ZKOUŠCE**
- P VI PROTOKOL O ULTRAZVUKOVÉ ZKOUŠCE**
- P VII CD DISK OBSAHUJÍCÍ – BAKALÁŘSKOU PRÁCI**

PŘÍLOHA P I: CERTIFIKÁT ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004
		No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 1 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010

TÜV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 4/16

Zak.č.: 5211109/01 Díl: 1

(A01) V&M DEUTSCHLAND GmbH	(A08.1) V&M-Order-No. / N° de Cde V&M/ 84044288 V&M-Auftrags-Nr.
	(A08.2) Suborder / Suborder / Unterauftrag DD2892
(A06.1) Customer / Client / Kunde MODRANSKA POTRUBNI KOMORANSKA 326/63 CZ-14314 PRAHA 4 - MODRANY	
(A06.2) Orderer / Emetteur / Besteller MODRANSKA POTRUBNI / KOMORANSKA 326/63	(A07.2) Order-No. / N° de Cde / Bestell-Nr. NO09000107 Date / Date / Datum 04.03.2009
(B01, B02, B04) Description of the product Description du produit Erzeugnisbeschreibung	HOT FINISHED SEAMLESS STEEL TUBES ENDS PLAIN, SQUARED TO TUBE AXIS INSIDE AND OUTSIDE SHOTBLASTED OR GROUND IN MILL'S CHOICE INSIDE AND OUTSIDE DEPTH OF ROUGHNESS RA MAX. 25 MY INSIDE AND OUTSIDE WITHOUT RUST PROTECTION TUBES LOOSE ITEM NO RAA1167 V & M FRANCE NO/ITEM DD2892/18 TUBES SANS SOUDURE FINIS A CHAUD EXTREMITES LISSES, COUPEES D'EQUERRE GRENAILLES OU MEULES AU CHOIX DE L'USINE INTER - EXTER RUGOSITE RA MAX. 25 MY INTER - EXTER SANS PROTECTION DE SURFACE INTER - EXTER TUBES EN VRAC ITEM-NO RAA1167 V & M FRANCE NO/POSTE DD2892/18 NAHTLOSE STAHLROHRE, WARMGEFERTIGT ENDEN GLATT, SENKRECHT ZUR ROHRACHSE ABGESCHNITTEN INNEN UND AUSSEN GESTRAHLT MIT STAHLKIES ODER GESCHLIFFEN IN WERKSWAHL INNEN UND AUSSEN RAUHTIEFE RA MAX. 25 MY INNEN UND AUSSEN OHNE ROSTSCHUTZ ROHRE LOSE ITEM NO. RAA1167 V & M FRANCE-NR./POS. DD2892/18 EN 10216-2:2002 + A2:2007 - TEST CATEGORY 2 SPEC. LEDVICE 660MWE OB 12 NO 20601-VD-TDP-T,2009/02/05 V&M COMMENTS 2009-02/PTV-OH, REV. 0, 2009/02/09 16MQ3 THE WORKS OPERATE A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ACCORDING TO ANNEX I, SECTION 4.3 OF THE PRESSURE EQUIPMENT DIRECTIVE (PED) 97/23/EC. (TUEV NORD CERTIFICATE 07-202-1410-WP-1135/08/001) LES USINES APPLIQUENT UN SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE CONFORME A L'ANNEXE I, PARAGRAPHE 4.3 DE LA DIRECTIVE EQUIPEMENTS SOUS PRESSION (DESP) 97/23/EC. (TUEV NORD CERTIFICAT 07-202-1410-WP-1135/08/001)

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 <hr/> No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 2 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
--	---	--

TÜV NORD Czech, s.r.o.
Akreditovaný inspekční orgán č. 4013
Příloha: 1 Strana: 3/16
Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1

	DAS WERK WENDET EIN QUALITAETSMANAGEMENTSYSTEM NACH DRUCKGERAETE-RICHTLINIE (DRL) 97/23/EG, ANNEX I, ABSCHNITT 4.3 AN. (TUEV NORD ZERTIFIKAT 07-202-1410-WP-1135/08/001)
--	---

(A10) Inspection by / Inspection par / Abnahme durch TUEV

(B03) US-TEST ACC. TO SEP 1919/06.77 FOR LAMINATIONS: SATISFACTORY US-TEST ACC. TO SEP 1915/09.94: SATISFACTORY DETERMINATION OF ACTUAL VALUES AT THE PIPE ENDS WITH RECORD: WALL THICKNESS AT 4 POINTS 90 DEGREES SPACED. OUTSIDE RESP. INSIDE DIAMETER (AS PER ORDER) AT 2 POINTS 90 DEGREES SPACED. US-TEST ACC. TO SEP 1918/01.92 FOR TRANSVERSE DEFECTS: SATISFACTORY CONTROLE US SELON SEP 1919/06.77 SUR DOUBLURES: SATISFAISANT CONTROLE US SELON SEP 1915/09.94: SATISFAISANT DETERMINATION DES VALEURS ACTUELLES SUR LES EXTREMITES DES TUBES AVEC RAPPORT; L'EPAISSEUR SUR 4 POINTS DEPLACE A 90 DEGRES; DIAMETRE EXTER. RESP. INTER. (SELON COMMANDE) SUR 2 POINTS DEPLACE A 90 DEGRES CONTROLE US SUR DEFAUTS TRANSVERSAUX SELON SEP 1918/01.92: SATISFAISANT US-PRUEFUNG NACH SEP 1919/06.77 AUF DOPPELUNGEN: BESTANDEN US-PRUEFUNG NACH SEP 1915/09.94: BESTANDEN ISTMASSERMITTLUNG AN DEN ROHRENDEN MIT DOKUMENTATION: WANDDICKE JEWEILS AN 4 PUNKTEN UM 90 GRAD VERSETZT. AUSSEN- BZW. INNENDURCHMESSER (JE NACH BESTELLMASS) JEWEILS AN 2 PUNKTEN UM 90 GRAD VERSETZT. US-PRUEFUNG NACH SEP 1918/01.92 AUF QUERFEHLER: BESTANDEN

(A13) V&M Item Poste Position	(A09) Cust. Item Poste Position	(B14) Item text Texte du poste Positionstext	(B09) Dimensions Dimensions Abmessung	(B10) Single length Long. indiv. Einzellänge
18		LEDVICE	I.D. 550 MM X MINWL. 25 MM WALLTHICKNESS TOLERANCE +28,000 /- 0,000 % INSIDE DIAMETER TOLERANCE + 2,000 /- 0,000 % D.I. 550 MM X MDEP. 25 MM TOLERANCE SUR L'EPAISSEUR +28,000 /- 0,000 % TOLERANCE SUR DIAMETRE INTERIEUR + 2,000 /- 0,000 % I.D. 550 MM X MDWD. 25 MM WANDDICKENTOLERANZ +28,000 /-	IN RANDOM MILL LENGTH 9330 - 11330 MM LONGUEUR DE FABRICATION 9330 - 11330 MM HL 9330 - 11330 MM

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallorec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 3 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
--	--	--

TUV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 6/16

Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1

(A13) V&M Item Poste Position	(A09) Cust. Item Poste Position	(B14) Item text Texte du poste Positionstext	(B09) Dimensions Dimensions Abmessung	(B10) Single length Long. indiv. Einzellänge
			0,000 % INNENDURCHMESSERTOLERANZ + 2,000 /- 0,000 %	

(A13) V&M Item Poste Position	(A09) Cust. Item Poste Position	(B08) Quantity Nombre Stück	(B11) Total length Long. totale Gesamtlänge m	(B13) Weight Poids Gewicht kg
18		17	177,27	72.960

(C71)

HEAT CHEMICAL ANALYSIS / ANALYSE CHIMIQUE COULEE / CHEMISCHE ANALYSE

(B07.1) Heat Coulée Schmelze	(B15) Process Procédé Erschmelz.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Cu %	Cr %	Ni %	Mo %
min	-	0.120	-	0.40	-	-	-	-	-	-	0.250
max	-	0.200	0.350	0.90	0.025	0.0200	0.040	0.200	0.300	0.300	0.350
192602	Electro (EAF)	0.180	0.250	0.68	0.006	0.0040	0.011	0.120	0.090	0.070	0.290
192789	Electro (EAF)	0.180	0.210	0.66	0.010	0.0040	0.014	0.100	0.080	0.060	0.290
192805	Electro (EAF)	0.180	0.220	0.68	0.009	0.0100	0.014	0.050	0.120	0.050	0.280

(B07.1) Heat Coulée Schmelze	Sn %										
min	-										
max	0.0200										
192602	0.0080										
192789	0.0100										
192805	0.0050										

Heats fully killed
Acier Calmé
Beruhigter Stahl

(C72)

PRODUCT CHEMICAL ANALYSIS / ANALYSE CHIMIQUE PRODUIT / PRODUKT CHEMISCHE ANALYSE

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 4 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
--	---	--

TÜV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 4/16

Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1

(C72)

PRODUCT CHEMICAL ANALYSIS / ANALYSE CHIMIQUE PRODUIT / PRODUKT CHEMISCHE ANALYSE

(B07.1)	(C00.1)	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Mo
Heat	Test Piece	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coulée	Eprouvette										
Schmelze	Prüfstück										
min		0.120	-	0.40	-	-	-	-	-	-	0.250
max		0.200	0.350	0.90	0.025	0.0200	0.040	0.200	0.300	0.300	0.350
192602	6012	0.190	0.251	0.67	0.005	0.0031	0.010	0.125	0.093	0.072	0.295
192789	6016	0.192	0.217	0.65	0.009	0.0026	0.013	0.101	0.076	0.064	0.294
192805	6014	0.181	0.221	0.65	0.007	0.0073	0.012	0.052	0.109	0.050	0.284

(B07.1)	(C00.1)	Sn								
Heat	Test Piece	%								
Coulée	Eprouvette									
Schmelze	Prüfstück									
min		-								
max		0.0200								
192602	6012	0.0070								
192789	6016	0.0090								
192805	6014	0.0030								

CHECK ANALYSIS ON 1 TUBE PER HEAT
 ANALYSE DE CONTROLE SUR UN TUBE PAR COULEE
 KONTROLLANALYSE AN EINEM ROHR JE SCHMELZE

TENSILE TEST RESULTS / RESULTATS D'ESSAI DE TRACTION / ERGEBNISSE DES ZUGVERSUCHS

Type / Type / Form (C10.1)	ROUND TEST SPECIMEN / EPROUVETTE A SECTION CIRCULAIRE / RUNDPROBE
Test temperature / Température d'essai / Prüftemperatur (C03)	ROOM TEMPERATURE / TEMPERATURE AMBIANTE / RAUMTEMPERATUR
Direction / Orientation / Richtung (C02)	transverse / transversal / quer

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger RATHER Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLÖUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004
		No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 5 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010

TÜV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 8/16

Zak.č.: 5211108101 Díl: 1

TENSILE TEST RESULTS / RESULTATS D'ESSAI DE TRACTION / ERGEBNISSE DES ZUGVERSUCHS

(B07.1)	(C00.1)	(C10)	(C11)	(C12)	(C13)	(C14.1)						
Heat Coulée Schmelze	Test Piece Eprouvette Prüfstück	Diameter Diamètre Durchmesser	YS LimElast Streckgr.	TS Résist. Zugfest.	Elong. Allong. Dehnung	Ratio Rapport Verhältn.						
		mm	ReH MPa	R _m MPa	5.85√S ₀ %	R/R _m -						
min		-	270	450	20.0	-						
max		-	-	600	-	-						
192602	6012	12.00	318	478	30.5	0.67						
192602	6013	12.00	359	479	29.5	0.75						
192789	6016	12.00	355	493	29.5	0.72						
192789	6017	12.00	329	489	29.5	0.67						
192805	6014	12.00	327	483	30.0	0.68						
192805	6015	12.00	351	481	30.0	0.73						

IMPACT TEST ON CHARPY-V TRANSVERSE SPECIMENS
 ESSAI DE RESILIENCE CHARPY-V TRAVERS
 KERBSCHLAGBIEGEVERSUCH AN CHARPY-V-QUERPROBEN

IMPACT TEST RESULTS / RESULTATS D'ESSAI DE RESILIENCE / ERGEBNISSE DES KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHS

Type / Type / Form (C40)	Charpy-V / Charpy-V / Charpy-V
Test temperature / Température d'essai / Prüftemperatur (C03)	ROOM TEMPERATURE / TEMPERATURE AMBIANTE / RAUMTEMPERATUR
Direction / Orientation / Richtung (C02)	transverse / transversal / quer

(B07.1)	(C00.1)	(C41)	(C42.1)	(C42.1)	(C42.1)	(C43.3)						
Heat Coulée Schmelze	Test Piece Eprouvette Prüfstück		Impact1 E1 Arbeit1	Impact2 E2 Arbeit2	Impact3 E3 Arbeit3	Mean Moyen Mittelw.						
		qcm	J	J	J	J						
min		-	19.0	19.0	19.0	27.0						
max		-	-	-	-	-						
192602	6012	0.800	83,0	91,0	83,0	85,6						
192602	6013	0.800	86,0	73,0	100	86,3						
192789	6016	0.800	98,0	59,0	67,0	74,6						
192789	6017	0.800	82,0	86,0	85,0	84,3						
192805	6014	0.800	60,0	58,0	64,0	60,6						
192805	6015	0.800	60,0	62,0	72,0	64,6						

(DS4)

OTHER TESTS ON PIPE / AUTRES ESSAIS SUR TUBE / SONSTIGE PRUEFUNGEN

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rrather Kreuzweg 105 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 6 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
---	---	--

TÜV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 9/16

Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1

(D54)

OTHER TESTS ON PIPE / AUTRES ESSAIS SUR TUBE / SONSTIGE PRUEFUNGEN

Test Nature d'essai Prüfung	Conditions Conditions Prüfbedingungen	Test rate Ampleur du contrôle Prüfumfang	Result Résultat Ergebnis
HEAT TREATMENT TRAITEMENT THERMIQUE WAERMEBEHANDLUNG	NORMALIZED NORMALISEE NORMALISIERT	5 MIN 930 DEGREES C AIR 5 MIN 930 DEGRES C A L' AIR 5 MIN 930 GRAD C LUFT	
HYDROSTATIC TEST ESSAI HYDRAULIQUE INNENDRUCKVERSUCH MIT WASSER	70 BAR (1BAR=100KPA), HOLDING TIME 10 SEC. 70 BAR (1BAR=100KPA), DUREE DE MAINTIEN DE 10 SEC. 70 BAR (1BAR=100KPA), HALTEZEIT 10 SEC	EACH PIPE /TUBE TOUTE TUBE JE ROHR	NO LEAKAGE PASSE BESTANDEN
RING TENSILE TEST ESSAI DE TRACTION ANNULAIRE RINGZUGVERSUCH			SATISFACTORY SATISFAISANT BESTANDEN
APPEARANCE AND DIMENSIONS (D01) ASPECT ET DIMENSIONS (D01) OBERFLAECHEBESCHAFFEN- HEIT UND MASSE (D01)		EACH PIPE/ TUBE TOUTE TUBE JE ROHR	SATISFACTORY SATISFAISANT BESTANDEN
MATERIAL IDENTIFICATION TEST ESSAI ANTI MELANGE VERWECHSLUNGSPRUEFUNG	SPECTROGRAPHIC ANALYSIS ANALYSE SPECTRALE SPECTRAL-ANALYSE	EACH PIPE /TUBE TOUTE TUBE JE ROHR	SATISFACTORY SATISFAISANT BESTANDEN
ULTRASONIC TESTING CONTROLE US ULTRASCHALLPRUEFUNG	FOR LONGITUDINAL DEFECTS ACC. TO EN 10246-7: 2005, ACCEPTANCE CLAUSE U2, SUB-CLASS C POUR DEFAUTS LONGITUDINAUX SELON EN 10246-7:2005, CRITERE D'ACCEPATION U2, SOUS-CLASS C AUF LAENGSGFEHLER NACH EN 10246-7: 2005, ZULAESSIGKEITSKLAUSEL U2,UNTERKLASSE C	EACH PIPE TOUTE TUBE JE ROHR	SATISFACTORY SATISFAISANT BESTANDEN

HEAT ANALYSIS / PRODUCT ANALYSIS / TENSILE TEST /
IMPACT TEST: SATISFACTORY
ANALYSE DE COULEE / ANALYSE DE PRODUIT / ESSAI DE
TRACTION / ESSAI DE RESILIENCE: SATISFAISANT
SCHMELZANALYSE / PRODUKTANALYSE/ ZUGVERSUCH /
KERBSCHLAGBIEGEVERSUCH: BESTANDEN

(A04, B06)

MARKING, IDENTIFICATION / MARQUAGE, IDENTIFICATION / KENNZEICHNUNG, IDENTIFIZIEREN

18 PAINT STENCILED ON BOTH SIDES TERMS OF DELIVERY EN 10216-2 16M03

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 7 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
--	---	--

TÜVNORD Czech, s.r.o.



Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

Příloha: 1 Strana: 10/16

Zak.č.: 5211108101 Díl: 1

(A04, B06)

MARKING, IDENTIFICATION / MARQUAGE, IDENTIFICATION / KENNZEICHNUNG, IDENTIFIZIEREN

	 550 X 25 TUBE/PIPE LENGTH MM WA INSPECTOR'S SIGN ITEM NO RAA1167 PROJECT NR 20601 DIE STAMPED ON ONE SIDE MANUFACTURER'S MARK 550 X 25 16M03 HEAT-NO. TUBE-NO. WA
18	 AU POCHOIR AUX DEUX EXTREMITES NORME D'EXECUTION/SPEC. EN 10216-2 16M03 550 X 25 LONGUEUR TUBE MM WA MARQUE DE RECEPTION ITEM NO RAA1167 PROJECT NR 20601 POINCONNE A UNE EXTREM. LOGO USINE 550 X 25 16M03 NO DE COULEE NO DU TUBE WA
18	 BEIDSEITIG SCHABLONIERT LIEFERBED./SPEZIFIKATION EN 10216-2 16M03 550 X 25 ROHREINZELLAENGE MM WA ZEICHEN DES ABNEHMERS ITEM-NO. RAA1167 PROJECT NR 20601 EINSEITIG STAHLGESTEMPELT HERSTELLERZEICHEN 550 X 25 16M03 SCHMELZEN-NR. ROHR-NR. WA

Enclosures / Annexes / Anlagen

TALLY LIST SEE APPENDIX REPORT OF DIAMETER AND WALL THICKNESS SEE ENCLOSURE LISTE DES TUBES: VOIR ANNEXE CONTROLE DIMENSIONNEL ET D'EPAISSEUR: VOIR ANNEXE ROHRLISTE SIEHE ANLAGE ABMESSUNGS- UND WANDDICKENPRUEFUNG SIEHE ANLAGE
--

(Z01)

The supplied products are in compliance with the requirements of the order
 Les produits livrés sont conformes aux stipulations de la commande
 Die gelieferten Erzeugnisse stimmen mit den Anforderungen des Auftrages überein

(A05, Z02, Z03, Z04)

Date / Date / Datum	09.10.2010	
Validated by	Inspection Representative	Third Party Representative
Validé par	Agent Réceptionnaire	Organisme réceptionnaire
Bestätigt durch	Abnahmebeauftragter	Beauftragter Fremdadnehmer
	GERMES 	
☎	+49(0)2119603545	
☎	+49(0)2119602213	
@	CERTIFICATES-RA- PILGER@VMTUBES.DE	
Stamp / Cachet / Stempel		

Die Urzeugnisse wurden entsprechend den angegebenen
 Prüfungsanlagen abgenommen. Das vom TÜV Rheinland
 ausgestellte Abnahmeprüfzeugnis 3.2 wird nachgereicht.
 The products have been inspected according to the
 mentioned specifications. The issued certificate 3.2
 prepared by the TÜV Rheinland is hereby forwarded.
 Regionalbereich Rhein-Ruhr
T. C. K. Z. 2010
 TÜV Rheinland
 Inspektionsstelle
 TÜV Rheinland
 Inspektionsstelle
 TÜV Rheinland
 Inspektionsstelle

Indication in parentheses correspond to attributes according to EN 10168

Les indications entre parenthèses correspondent aux repères selon EN 10168

Die Bezeichnungen in Klammern entsprechen den Kennnummern gemäss EN 10168

This testimonial and certification respectively may neither be modified nor used for other products. Offences are regarded as falsification of documents and will be subject to criminal prosecution.

V&M DEUTSCHLAND GmbH (A01) Werk Rath-Pilger Rather Kreuzweg 106 40472 Düsseldorf	 VALLOUREC & MANNESMANN TUBES Vallourec Group	INSPECTION CERTIFICATE (A02) CERTIFICAT DE RECEPTION ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.2 EN 10204:2004 <hr/> No. / N° / Nr. : 80652RP10 (A03) Page/Page/Seite: 8 / 8 Date/Date/Datum: 09.10.2010
--	---	--

TÜV NORD Czech, s.r.o.

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013

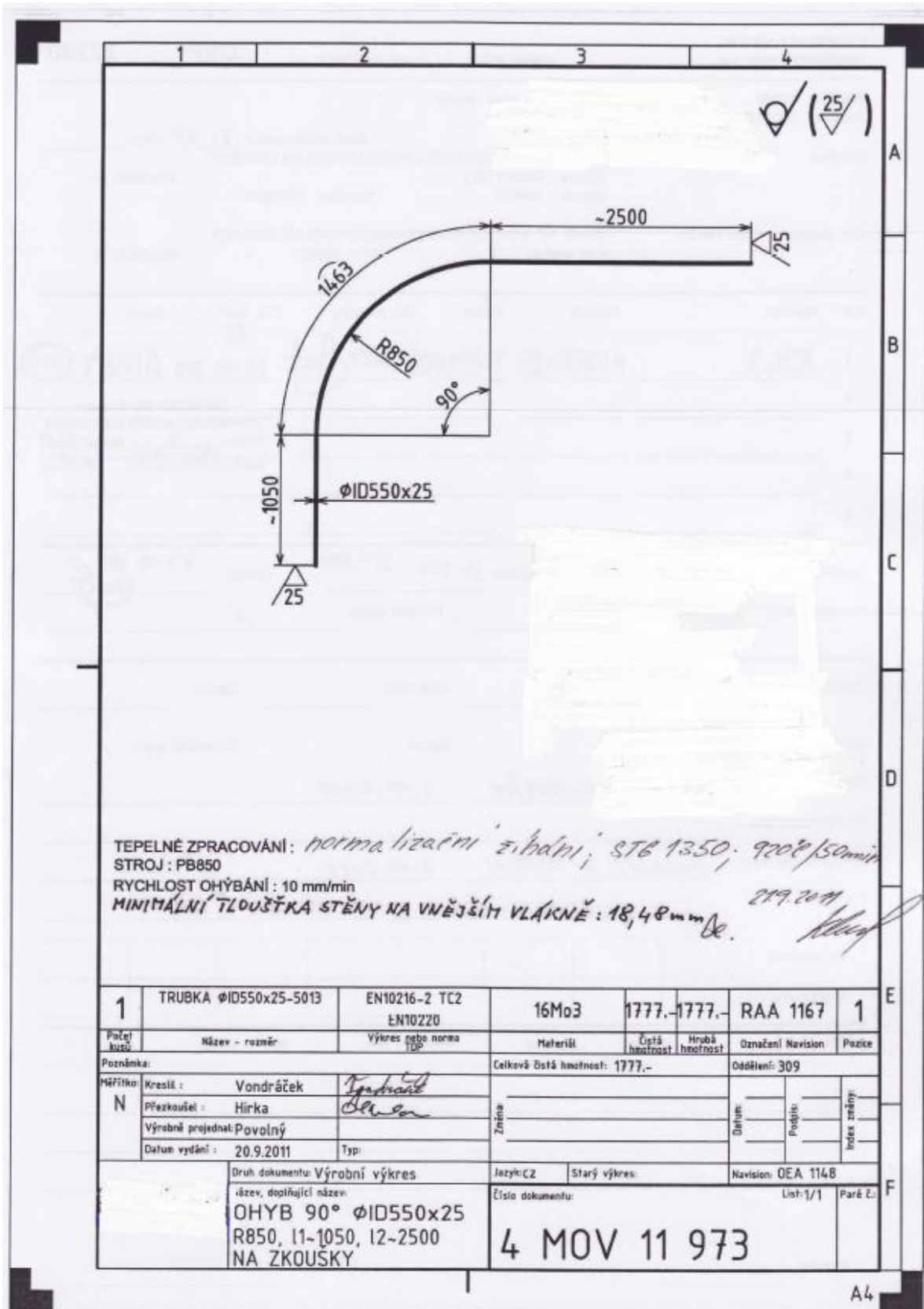
Příloha: 1 Strana: 11/16

Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1


Ce certificat, ou cette attestation ne doit être ni modifié ni appliqué pour d'autres produits. Tous changements ou application pour d'autres produits seront considérés comme falsification de documents et fraude et seront sujet à la juridiction pénale.

Dieses Zeugnis bzw. diese Bescheinigung darf weder verändert noch für andere Erzeugnisse verwendet werden. Zuwiderhandlungen werden als Urkundenfälschung und Betrug strafrechtlich verfolgt.

PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ VÝKRES



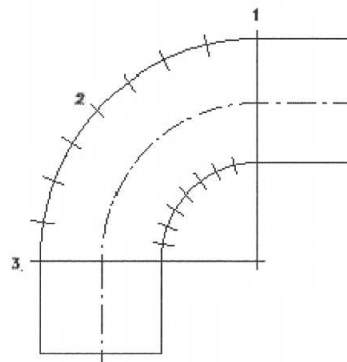
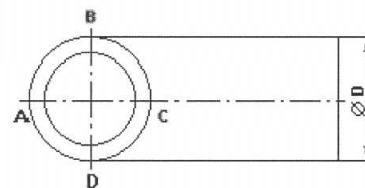
PŘÍLOHA P III: PROTOKOL O TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ


		Protokol o tepelném zpracování -ohyb Works certificate concerning heat treatment - bend			CVP 22260	
		Č./No. : 970 /29/2011			KKS: Znač. odběratele / Customer's marking:	
Zakázka/Order:	10000/001		POST.ZKOUŠKA		Výkres – axon. / Drawing – axon.:	3
Položka /Position:	OEA1148-01		Množství/ Quantity: Ks/pcs 1		Výkres – výr. / Drawing – prod.:	4MOV11973
Název výrobku/ Product:	OHYB/BEND 90° ID550x25				strana Page	z of 3
Diagram č. / Diagram No.:	D - 154	Pec. / Furnace.:	E.V.320		Material:	16Mo3
Druh tepelného zpracování Type of heat treatment	Normalizační žíhání Normalizing	Popouštění Tempering	Žíhání na odstranění pnutí Stressrelief annealing	Tepelné zpracování austen. ohybů Heat treatment of austen. tube bend	Tepelné zpracování dle zvl. předpisu Heat treatment – spec.prescription	
Předpis tepelného zpracování Heat treatment prescription	STG1350			TÜV NORD Czech, s.r.o. Akreditovaný inspekční orgán č. 4013 Příloha: 4 Strana: 113 Zak.č.: 521108/01 Díl: 1		
Ohřev v peci - místní Furnace – local annealing	Pec/furnace					
Tepnota a prodleva Annealing temperature and holding time	920°C/50'					
Způsob chlazení Type of cooling	<input type="checkbox"/> V peci Furnace cooling	<input checked="" type="checkbox"/> Na vzduchu Stationary air	<input type="checkbox"/> V zábalu Delayed	<input type="checkbox"/> Ofukování Pressure air	<input type="checkbox"/> Do vody Water	
Zdroj tepla Heat source	<input type="checkbox"/> Plyn Gas		<input checked="" type="checkbox"/> Elektro Electric		<input type="checkbox"/> El. odpor Res. heat	

* Rychlost posuvu záznamu / Shift speed of record 20 mm / hod

Měření tvrdosti / Hardness testing

Měřicí místo Measuring point	Tvrdost / Hardness [HV]			
	A	B	C	D
1	133	141	145	150
2	140	143	146	150
3	149	142	140	151
4	150	149	153	159
Poznámky/Remarks				
VYHOVUJE				



Kontrolor Inspector	Evžen Pirner
Datum Date	3/10/2011 

MODŘANY

power

Záznam tepelného zpracování / Heat treatment record

Zakázka č. 10000/001
 Job No.
 KKS Post. Zkoušky-ohyby

Č.výkresu výt. 4MOV11973 , 4MOV11974
 Drawing prod.No
 Č.výkresu Ax. 3,4
 Drawing Ax.No

TUV NORD Czech, s.r.o.
 Akreditovaný inspekční orgán č. 4013
 Příloha: 4 Strana: 2/3
 Zak.č.: 521110 P101 Díl: 1


- V elektrické peci 1000 kW
Electric furnace 1000 kW
- V elektrické peci 320 kW
Electric furnace 320 kW
- V elektrické peci 90 kW
Electric furnace 90 kW
- V elektrické peci 80 kW
Electric furnace 80 kW
- V plynové peci
Gas furnace
- Zpracování místní el.odporem
PWHT Resistance heating
- Zpracování místní el.indukční
PWHT Induction heating

Rozsahy stupnic záznamu

- PWHT Induction heating
- Podélná – čas 20mm/hodinu
Recording speed 20mm/hour
- Příčná – teplota 1200 °C = 100 mm
Temperature 1200°C=100 mm

Identifikace záznamu

Record identification

Číslo záznamu	D - 154
Record No.	
Datum záznamu	29/9/2011
Date	
Číslo zařízení (zapisovače)	95080060
Recording device No.	
Razítko a podpis kontroly	
Checking	
Číslo předpisu (WPS)	STG 1350
PWHT No.	
Materiál (kombinace)	16Mo3
Material.	
Rozměr (důležitý)	ID 550x25
Dimension	
Ohyb	90°

Bend

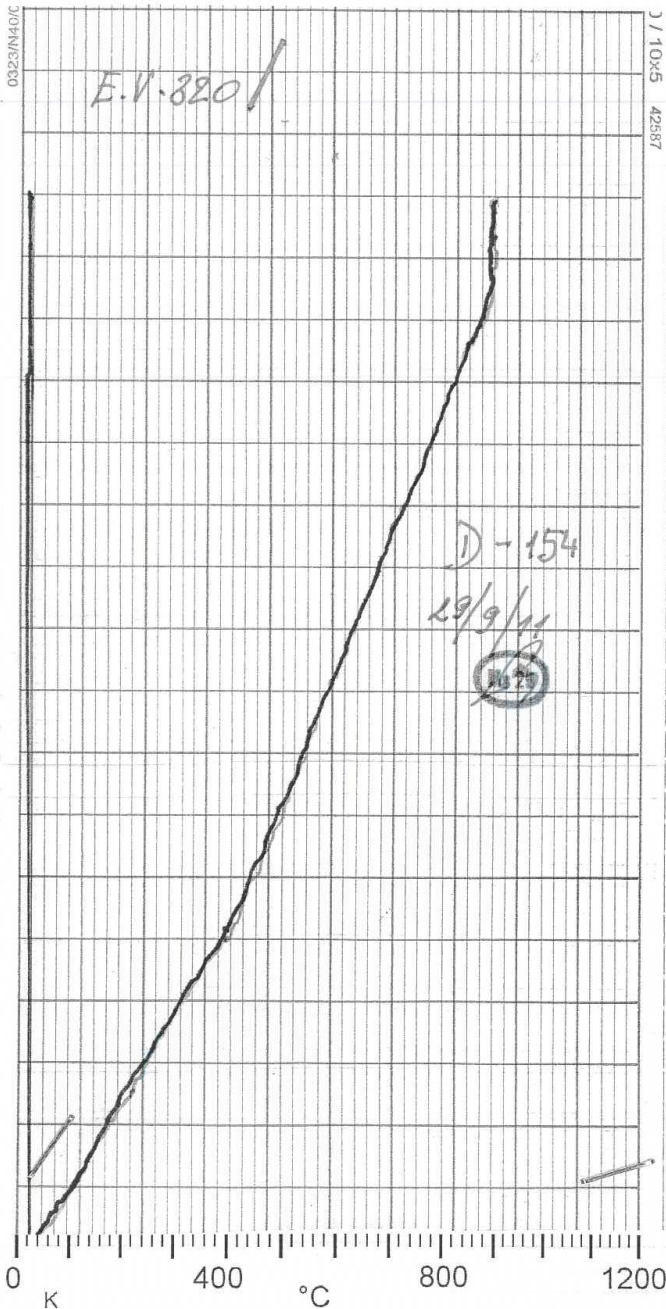
Důležité hodnoty ze zápisu

Record important values

Teplota výdrž °C Temperature	920°C
Čas výdrž /min. Holding time/min.	50'
Ochlazování Cooling	Na vzduchu

Vsázka/Charge(CVP):

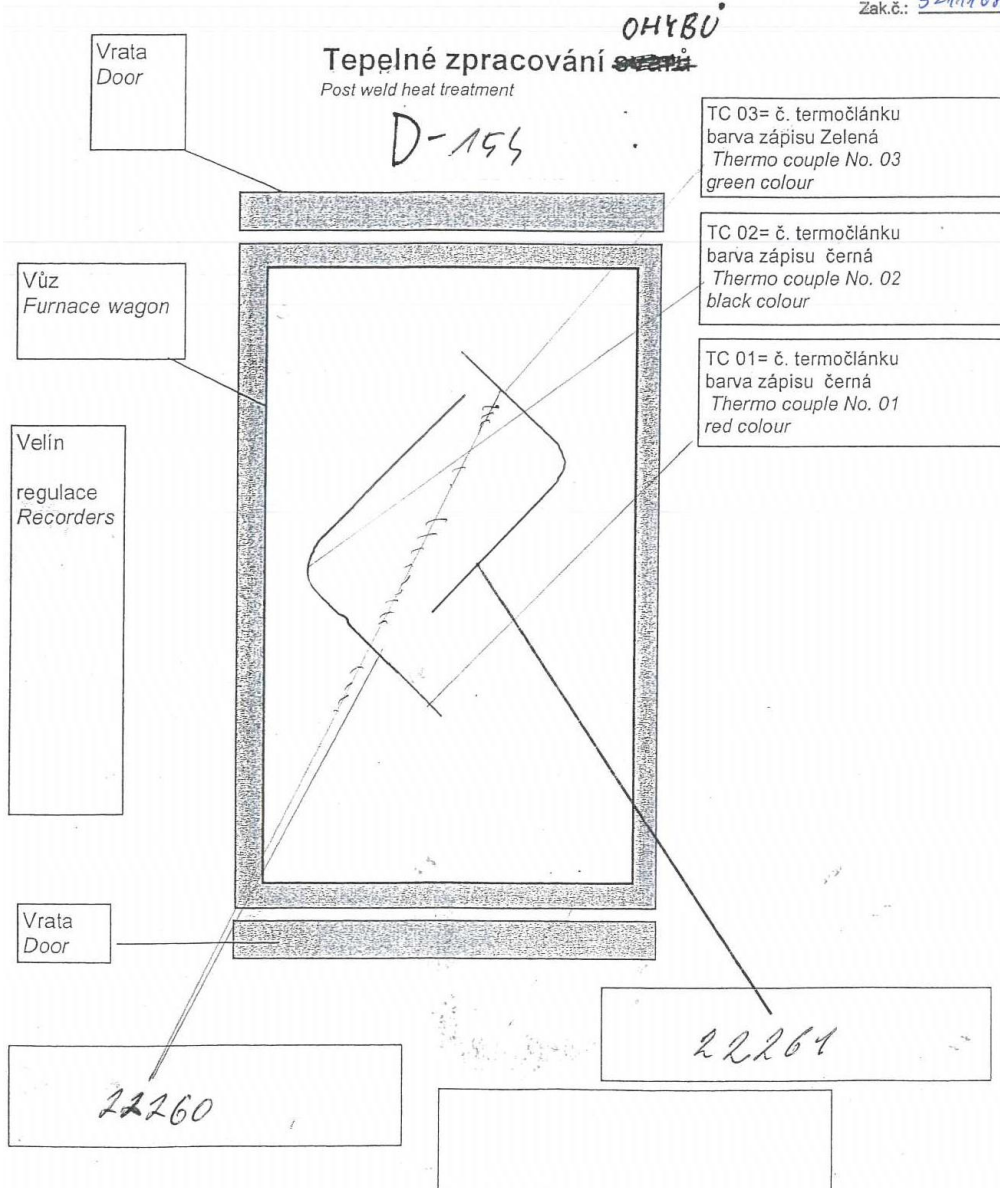
CVP 22260 (1x)
 CVP 22261 (1x)



EV 320
Rozmístění termočlánků na voze elektrické pece 1000kW
Location of thermocouples at wagon of electric furnace 1000kW

Elektrická pec Realistic typ CAN 105.8-10
ELECTRIC FURNACE Realistic type CAN 105.8-10

TÜV NORD Czech, s.r.o.
Akreditovaný inspekční orgán č. 4013
Fřiloha: 4 Strana: 3/3
Zak.č.: 5211108/01 Díl: 1



Datum žihání:
Datum: 29.9.11
Date: 29.9.11

Podpis:
Unterschrift:

PŘÍLOHA P IV: PŘEDPIS PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

MODŘANY Power a.s.	Předpis - PBHT procedure Jednorázový předpis pro tepelné zpracování ohybů z oceli 16Mo3 normalizační žíhání ohybů: ID 550 x 25 mm Tepelné zpracování podle ČSN EN 12952-5	Označení předpisu STG 1350 strana: 1/1
<p>1) Do studené elektrické vozové pece založit na vhodné podložky zpracovávané kusy tak aby během žíhání nenastaly tvarové deformace a byl zaručen rovnoměrný ohřev kusu a zároveň dobré ochlazování. Ohyby založit na podložky vysoké cca. 300mm. Přivařit termočlánek kondenzátorovou svářečkou bez přehřevu ve vzdálenosti cca. 300 mm od čela trubky na vnější povrch ohybu (termočlánek např.: typu K 2x0,8mm). Přivařit maximálně 3 termočlánky (na dávku pece). Teplota je zaznamenávána těmito termočlánky od okamžiku zapnutí pece až do okamžiku skončení doby prodlevy na teplotě 920°C.</p>		
<p>2) Rychlost ohřevu: u pece s programovou regulací podle obr. 1 (Uvedená rychlost ohřevu je maximální a může být i nižší)</p>		
<p>Obr. č. 1 Plánovaný průběh teploty v peci</p>		
<p>3) Teplota ohřevu: 900 - 940 °C, na regulátor nastavit 920°C.</p> <p>4) Doba ohřevu: 50 minut.</p> <p>5) Ochlazování: na vozu vysunutém z pece ven na klidném vzduchu do teploty okolí.</p> <p>6) Průběh tepelného zpracování bude zaznamenán záznamovým zařízením.</p> <p>7) Po skončení tepelného zpracování odštípnout termočlánky a lehce přebrousit místa spojení.</p>		
Platí pro č.v. 4 MOV 11 973; 4 MOV 11 974;		
Vypracoval: Prepared: Klimek	Schválil: Ing. Klimek Approved by:	Podpis: Signature: Dne: 21.9.2011 Date:

PŘÍLOHA P V: PROTOKOL O MAGNETICKÉ ZKOUŠCE



ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK
TESTING LABORATORY OF NON-DESTRUCTIVE TESTS

GAMALUX Plzeň spol. s r.o.
Doudlevecká 48, 304 77 Plzeň
tel. / fax: 377 093 216, e-mail: gamalux@iol.cz

MT

Protokol o zkoušce / Test report Magnetická zkouška / Magnetic testing

Číslo: No:	S-3958/11
Strana: Page:	1 / 1

Zakázka č.: Order No.	10000/001	CVP- 22260	Heslo: Plant:	Postupové zkoušky-ohyby	
Předmět: Subject No.:	OHYB 90° ID 550x25 R850 L1=1050,L2=2500 NA ZKOUŠKY	Pozice: Item:	3	Výkres č.: Drg. No.:	4MOV11973
Object:	trasa umístění	Materiál: Material:	16MO3		
Zkušební předpis: Test regulation:	DIN EN ISO 9934 ČSN EN 10246-12 st.přip.M1	Hodnocení dle: Evaluated acc. To:	bez trhlin without scratches	Odchyšky od zkušební předpisu Divergences from test regulation	

Rozsah zkoušky/Scope

X	Základní materiál Base material	x	1 ks No. of tested pieces	Počet zk. kusů No. of tested pieces	Bez tepelného zpracování Without heat treatment
	Úkos pro svár Welding edge for weld		100%	Rozsah zkoušky vnější pásmo ohybu Scope extensible zone	Před tepelným zpracováním Before heat treatment
	Svár Weld		100%	Rozsah kontroly Extent of control	Po tepelném zpracování After heat treatment
	Návar Padding			Opravy Defects repair	Po zkoušce tlakem After pressure test
				Podle nálezu RT/UT/PT č. Due to RT/UT/PT - reset	

Technické údaje o zkoušce/Technical data

Magnetizační způsob Type of magnetization		Proud Current	≈AC	Zkušební prostředek Medium	
	Průchod proudem Current	Odmagnetizováno Demagnetization	Ne/No	X	Suspenze Suspension
	Cívkový magnet Solenoid	Testovací měrka Test gauge	ETALON 4,5 Kg		Fluorescence Fluorescent medium
X	Magnetizační jho Yoke	Přístroj pro kontrolu intenzity mag. pole Apparatus for control of magnetic field intensity		X	Barevná indikace Dry, color
		BERTHOLDOVA MĚRKA BERTHOLD GAUGE			
zkušební přístroj - výrobce test apparatus - producer	TWM 220 N / TIDE	Typ Type	55012 94 / 82140 31	Max. napětí Max. voltage	220 V

Poznámky:

Akreditovaný inspekční orgán č. 4013
Příloha: 6 Strana: 2/2
Zak.č.: 5211108101 Díl: 1

Výsledek zkoušky/Result:

X	Žádné registrované vady No indication to record	Registrované vady Indication to record	X	Vyhovuje bez trhlin Accepted without scratches
---	--	---	---	---

Zkoušel Inspektor	Jiří Schovanec LEVEL II, 101-00824 GAMALUX PLZEŇ spol.s r.o. Tel./fax: 377 093 216/580 Baarova 4, 301 00 PLZEŇ IČ: 6359521 DIČ: CZ63509521	Kontrolor jakosti Quality assurance	Přejímač Authorized inspector
Datum / Date	3.10.2011	Datum / Date	3.10.2011

PŘÍLOHA P VI: PROTOKOL O ULTRAZVUKOVÉ ZKOUŠCE



ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK
TESTING LABORATORY OF NON-DESTRUCTIVE TESTS

GAMALUX Plzeň spol. s r.o.
Doudlevecká 48, 304 77 Plzeň
tel. / fax: 377 093 216, e-mail: gamalux@iol.cz

UT

Protokol o zkoušce / Test report Ultrazvuková zkouška / Ultrasonic testing

Číslo: No:	S-1139/11
Strana: Page:	1 / 1

Zakázka č.: Order No.	10000/001	CVP- 22260	Heslo: Plant:	Postupové zkoušky-ohyby	
Předmět: Subject No.:	OHYB 90° ID 550x25 R850 L1=1050, L2=2500 NA	Pozice: Item:	3	Výkres č.: Drg. No.:	4MOV11973
Object:	trasa umístění	Materiál: Material:	16MO3		
Zkušební předpis: Test regulation:	ČSN EN 10246-6,7	Hodnocení dle: Evaluated acc. To:	třída U2, podtřída C	Odchylky od zkušební předpisu Divergences from test regulation	

Rozsah zkoušky/Scope

X	Základní materiál Base material	x	1 ks No. of tested pieces	Počet zk. kusů No. of tested pieces	Bez tepelného zpracování Without heat treatment	
	Úkos pro svár Welding edge for weld		100%	Rozsah zkoušky Scope	vnější pásmo ohybu extensible zone	Před tepelným zpracováním Before heat treatment
	Svár Weld		100%	Rozsah kontroly Extent of control		Po tepelném zpracování After heat treatment
	Návar Padding			Opravy Defects repair		Po zkoušce tlakem After pressure test
				Podle nálezu RT/UT/PT č. Due to RT/UT/PT - reset		

Technické údaje o zkoušce/Technical data

Zkušební předpis regulation	Test	Zařízení Appliance	USM 35 X	Měrka etalon block	Calibration
ASME		Výrobce Manufacturer	Krautkramer	DIN	X K1 X K2
ČSN		Typ, číslo Type, No.	1969 a	Etalon Reference block	
X ČSN EN		Normální dopad Normal incidence	X	podélný long	Příčný Transv.
		Šikmý dopad Oblique incidence		podélný long	Příčný Transv.
		Vazební prostředí Couplant	X	Vazelína Glutolin	Olej Oil

Sondy/probes

Výrobce Manufacturer	Typ Type	Číslo No.	Rozměr Dimension	Frekvence Frequency	Úhel Angle	Časová základna Time base r.	Stupnice číslo Scale No.
Krautkramer	SWB70N2	56416	14x14	2 MHz	70°	0 ÷ 120
Krautkramer	SWB60N2	56415	14x14	2MHz	60°	0 ÷ 100
Krautkramer	MSEB4H	53395	∅ 10	4 MHz	0°	0 ÷ 50

Poznámky: v podélném i příčném směru / axis and traverse direction

Výsledek zkoušky/Result:

X	Žádné registrované vady No indication to record	Registrované vady Indication to record	X	Vyhovuje Accepted	třída U2, podtřída C
---	--	---	---	----------------------	----------------------

Zkoušel Inspector	Jiří Schovanec LEVEL II, IOL-00824 GAMALUX PLZEŇ spol.s r.o. Tel./fax: 377 097 580	Kontrolor jakosti Quality assurance	Přijímač Authorized inspector
Datum / Date	3.10.2011	Datum / Date	3.10.2011

IČ: 63509521 DIČ: CZ63509521