

Kontrola a výroba ohýbaných kolen

Filip Zubal

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Filip Zubal**
Osobní číslo: **T14145**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Kontrola a výroba ohýbaných kolen**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární rešerše na danou problematiku.**
- 2. Popis výroby a kontroly.**
- 3. Provedení kontrol u vybraných typů kolen.**
- 4. Zhodnocení výsledků jednotlivých kontrol.**
- 5. Závěr.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: FILIP ZUBAL

Obor: PI

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít 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 16.5.2016


.....

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 nevydělečně 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 nahlázení 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, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo 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 výdělku 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 přihlíádne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je popsání výroby ohýbaných nerezových kolen. V rámci teoretické části jsou definovány základní pojmy související s výrobou těchto elementů, prezentovány postupy při výrobě a v neposlední řadě je představena zažitá nejlepší praxe při tvorbě těchto složitějších výrobků. Praktická část představuje konkrétní výrobní postupy ve firmě XY včetně popisu jejich zkoušek, zpracování naměřených dat a výstupní kontroly.

Klíčová slova: Ohýbání, ocel, nerezové koleno,

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to describe the production of bent stainless steel knees. The theoretical part defines the basic concepts related to the production of these elements, there are presented typical production processes, and last but not least there is introduced the best practice in the production of these more complex products. The practical part presents concrete manufacturing process in XY company, including a description of their tests, processing of measured data and output control.

Keywords: Bend, steel, stainless knee

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Martinovi Bendaříkovi, Ph.D. jehož rady byly při vypracování této bakalářské práce přínosné a stěžejní.

Motto

Je otázka, co je pro vědce významnější, zda znalost fakt, či fantazie.

(Albert Einstein)

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

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TECHNICKÉ MATERIÁLY	11
2 SUROVÉ ŽELEZO	12
2.1 VYSOKÁ PEC	12
2.1.1 Vsázka vysoké pece	13
3 OCEL	14
3.1 VÝROBA OCELI.....	14
3.2 ROZDĚLENÍ TVÁRNÝCH OCELÍ	15
3.3 ROZDĚLENÍ OCELÍ NA ODLITKY	19
4 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	21
4.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ.....	21
4.1.1 Fyzikální vlastnosti	21
4.1.2 Chemické vlastnosti	22
4.1.3 Mechanické vlastnosti.....	23
4.1.4 Technologické vlastnosti.....	23
5 TVÁŘENÍ	24
5.1 TVÁŘENÍ ZA TEPLA.....	24
5.1.1 Kování	24
5.2 TVÁŘENÍ ZA STUDENA	25
5.2.1 Stříhání	26
5.2.2 Tažení.....	26
5.3 OHÝBÁNÍ.....	27
5.4 NAPĚTÍ PŘI OHÝBÁNÍ.....	27
5.5 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY OHÝBÁNÍ	28
5.5.1 Poloha neutrální plochy (osy)	28
5.5.2 Výpočet délky polotovaru	29
5.5.3 Minimální a maximální poloměr ohybu.....	29
5.5.4 Výpočet síly a práce	30
5.5.5 Odpružení	31
6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
7 VOLBA TESTOVANÝCH MATERIÁLŮ	35
8 POPIS VÝROBY OHÝBANÝCH NEREZOVÝCH KOLEN	36

8.1	PŘÍJEM MATERIÁLU A JEHO CHEMICKÁ KONTROLA.....	36
8.2	OHÝBÁNÍ KOLEN	38
8.3	FRÉZOVÁNÍ KONCŮ	41
9	ZKOUŠKY OHÝBANÝCH KOLEN	44
9.1	ZKOUŠKA CHEMICKÉHO SLOŽENÍ	44
9.1.1	Výsledky měření chemického složení:.....	45
9.2	ZKOUŠKA KRUHOVITOSTI.....	48
9.2.1	Výsledky měření kruhovitosti:.....	50
9.3	MĚŘENÍ VÝŠKY OHÝBANÝCH KOLEN.....	56
9.3.1	Výsledky měření výšky kolen.....	57
9.4	ZKOUŠKA ÚHLU OHÝBANÝCH KOLEN	63
9.4.1	Výsledky měření úhlu kolen	64
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

Ohýbaná nerezová kolena v dnešní době nejčastěji nachází uplatnění v potravinářském, chemickém, ale i automobilovém průmyslu. A to díky dobrým vlastnostem nerezové oceli, ze které se kolena vyrábí.

Nerezová ocel je vysokolegovaná ocel s velmi dobrou odolností vůči chemické a elektrochemické korozi. Dále má dobré mechanické vlastnosti a není magnetická. Tento druh oceli nevyžaduje speciální druh úpravy jeho povrchu. Oxidaci odolává díky jednotlivým přísadám, které jsou v materiálu obsaženy. Přidávány jsou např. chrom, nikl, molybden, titan a jiné.

V této práci bude popsána výroba nerezových kolen jakým se ve firmě XY postupuje. Dále pak budou kolena podrobena zkouškám dle norem. Výsledky jednotlivých měření budou zpracovány do tabulek a doloženy fotkami.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNICKÉ MATERIÁLY

Technických materiálů existuje celá řada a můžeme je zařadit do mnoha skupin podle různých hledisek. Nejčastěji se dělí na materiály kovové (železné, neželezné) a nekovové (plasty, dřevo, keramika, kompozity...).

Železné kovové materiály můžeme rozdělit na oceli a litiny. Jejich hlavní složkou je surové železo, které se získává ze železné rudy tavením ve vysokých pecích. Oceli a litiny se poté řadí do dalších podskupin (tříd), v závislosti na kvalitě a použití.

Neželezné kovy, které se nejčastěji využívají v elektrotechnice a elektronice rozdělujeme podle fyzikálních a mechanických vlastností:

1. Měď a Nikl
2. Lehké (Hořčík, Hliník)
3. S nízkou teplotou tání (Zinek, Olovo, Sodík)
4. S vysokou teplotou tání (Titan, Chrom, Wolfram)
5. Ušlechtilé (Zlato, Stříbro)

Nekovové materiály jsou často využívány díky svým specifickým vlastnostem, např. žáruvzdornost (keramické žáruvzdorné hmoty), vysoká tvrdost (diamant), odolnost proti opotřebení (žula, čedič, pryž), izolační vlastnosti (porcelán), snadnost zpracování (dřevo), optické vlastnosti (sklo). [1].

2 SUROVÉ ŽELEZO

Surové železo je slitina železa a uhlíku (3-4 %), ve které se vyskytují prvky jako např. křemík, fosfor, síra a další pro nás nežádoucí prvky. Vysoký obsah uhlíku způsobuje špatnou kujnost a křehkost materiálu, proto se dá železo pouze odlévat.

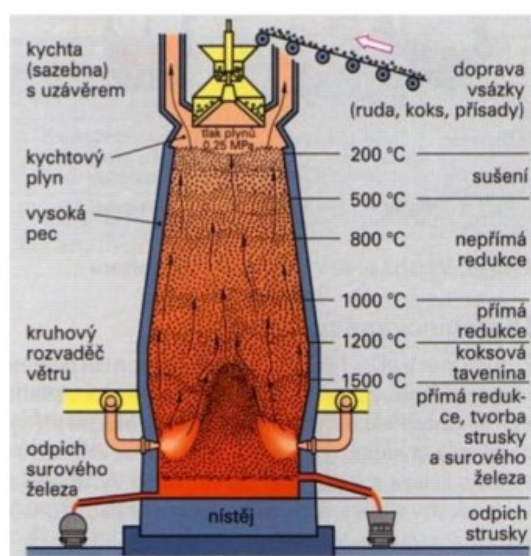
Zpracovává se ve vysokých pecích tavením železné rudy. Podle složení vsázky dělíme surová železa na: ocelářské surové železo, které dále zpracováváme na oceli, a na slévárenské surové železo, zpracovávané na litiny.

2.1 Vysoká pec

Vysoká pec je technické zařízení na výrobu surového železa. Jedná se o šachtovou pec s ocelovým pláštěm, jež je vysoká až 60 m a ve spodní části má nístěj.

Nístěj je nádoba, v níž se shromažďuje při tavení surové železo a struska. V horní části se nachází **kychta**, sloužící k odvodu plynů, vzniklých při spalování, a pro závoz vsázky. Následuje **šachta**, ve které se důsledkem rostoucí teploty zvětšuje objem vsázky a dochází k redukčnímu procesu. Nejširší místo pece se nazývá **rozpor**.

Při tavení železné rudy dosahujeme vysokých teplot (až 2000° C). Z tohoto důvodu musí být pec vyzděna šamotovými cihlami a z vnější strany chlazená vodou. Provoz je nepřetržitý a surové železo se musí společně se struskou vypouštět po 6-8 hodinách. Tento proces nazýváme odpich surového železa. [3].



Obr. 1. Vysoká pec. [3].

2.1.1 Vsázka vysoké pece

Surové železo vyrábíme tavením železných rud pomocí takzvaných vsázek.

Vsázku tvoří: železná ruda, palivo, struskové přísady a vzduch.

Ložiska **železné rudy** se vyskytují volně v přírodě. Před zavezením rudy do vysoké pece probíhá její úprava např. drcením, tříděním. Tento proces nazýváme aglomerace. Jako **palivo** se používá hutnický koks, který nahradil dřevěné uhlí. **Struskové přísady** zbavují železo nežádoucích látek. Jsou tvořeny nejčastěji vápencem, křemenem a kazivcem. **Vzduch** je potřebný pro hoření paliva. Vháníme ho do pece pomocí dmychadel nebo turbodmychadel. [3].

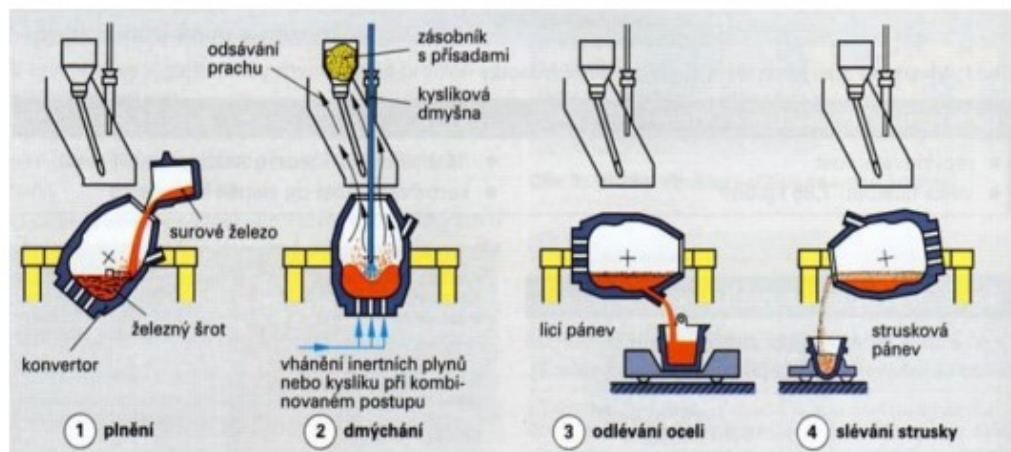
3 OCEL

3.1 Výroba oceli

Ocel se získává přetavováním surového železa a snižováním obsahu uhlíku v železe. Přetavování se provádí v ocelárnách při teplotách nad 1 600 °C. Při výrobě oceli se do roztaveného surového železa vhání kyslík, tím dochází k chemické reakci a surové železo se zbavuje nežádoucích prvků, jako jsou síra a fosfor, a zároveň dochází ke snižování obsahu uhlíku (pod 2,14 %C). Tento proces se nazývá zkujňování železa.

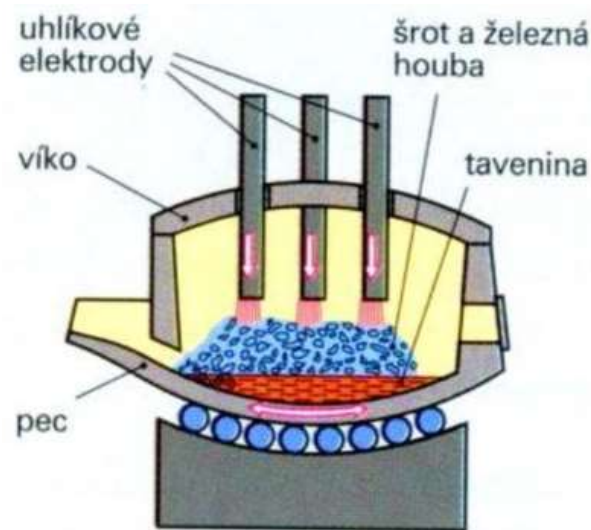
Oceli se nejčastěji vyrábí v těchto pecích:

Kyslíkový konvertor: Tato pec nevyžaduje další palivo. Je vybavena naklápěcím zařízením, které umožňuje naklopení při odpichu.



Obr. 2. Schéma kyslíkového konvertoru. [3]

Elektrické obloukové pece: V těchto pecích se vyrábějí velmi kvalitní ocele. Teplo zde vzniká hořením elektrického oblouku mezi třemi elektrodami, které vyvinou teplo až 3800°C. Díky vysokým teplotám můžeme ocel legovat s prvky, jež mají vysoké body tání např. Wolfram, Molybden. [3].

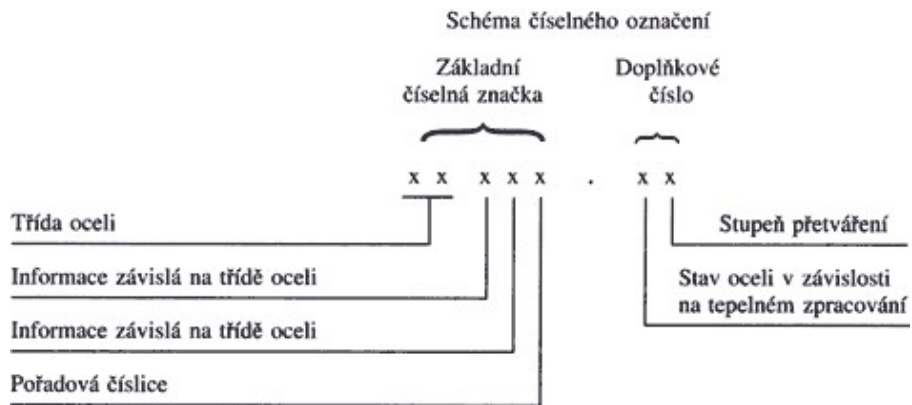


Obr. 3. Elektrická oblouková pec. [3]

3.2 Rozdělení tvárných ocelí

Tvárné oceli dělíme na **konstrukční** (hřídele, ozubená kola apod.) a **nástrojové** (vrtáky, soustružnické nože, frézy, protahováky apod.)

Číselné značení ocelí je dáno normou ČSN 42 0002-76. Oceli k tváření se označují pěti-místným číselným znakem, skládajícím se ze základního číselného znaku a většinou i ze dvou doplňkových číslic. [2].



Obr. 4. Schéma číselného značení ocelí. [2]

Tab. 1. Rozdělení ocelí. [2]

Třída	Účel použití	Stupeň legování	Charakteristika
10	Konstrukční	Nelegované	Ocele s předepsanými hodnotami mechanických vlastností, u nichž se chemické složení zpravidla nepředepisuje
11			Ocele s předepsanými hodnotami mechanických vlastností a s předepsaným obsahem C, P, S
12			Ocele s předepsaným obsahem C, Mn, Si, P, S
13		Legované	Nízkolegované ocele, legované prvky: Mn, Si, Mn-Si, Mn-V
14			Nízkolegované ocele, legované prvky: Cr, Cr-Al, Cr-Mn, Cr-Si, Cr-Mn-Si
15			Nízkolegované ocele, legované prvky: Mo, Mn-Mo, Cr-Mo, Cr-V, Cr-W, Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Si-Mo-V, Cr-Mo-V-W
16			Nízkolegované ocele, legované prvky: Ni, Cr-Ni, Ni-V, Cr-Ni-Mn, Cr-Ni-V, Cr-Ni-W, Cr-Ni-Mo, Cr-Ni-V-W
17	Středně legované a vysokolegované ocele, legované prvky: Cr, Ni, Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Ni-Mo-V-W, Cr-Ni-Mo-V-W-Ti		
19	Nástrojové	Nelegované	Ocele s předepsaným obsahem C, Mn, Si, P, S
		Legované	Nízkolegované, středně a vysokolegované ocele, legované prvky: Cr, V, Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-Si, Cr-Mo-V, Cr-V-W-Cp, Cr-Mo-V-Co

Tab. 2. Význam první doplňkové číslice. [2]

První číslice	Stav oceli, daný tepelným zpracováním
0	tepelně nezpracovaný
1	normalizačně žíhaný
2	žíhaný (způsob žíhání)
3	žíhaný naměkko
4	kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách
5	normalizačně žíhaný a popouštěný
6	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli
7	zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli
8	zušlechťený na horní pevnost obvyklou u příslušné oceli
9	stavy, které nelze označit číslicí 0 až 8

Tab. 3. Význam druhé doplňkové číslice. [2]

Druhá číslice	Stupeň přetváření ocelových pásů, válcovaných za studena
0	dále nepřeválcováno
1	lehce nepřeválcováno
2	1 / 4 tvrdý
3	2 / 4 tvrdý
4	3 / 4 tvrdý
5	4 / 4 tvrdý
6	5 / 4 tvrdý
7	netvoří se čtyřlístky (pásky jsou zpravidla zpracovány se zřetelem na omezení anisotropie mechanických vlastností materiálu - omezení tvorby cípů): mechanické vlastnosti jsou shodné jako u materiálu měkce žíhaného
8	Zpracováno podle zvláštního předpisu
9	Zpracováno podle dohodnutého předpisu

Oceli třídy 10

Spolu s oceli třídy 11 tvoří oceli obvyklé jakosti. Používají se zejména z důvodu méně nákladných způsobů výroby a levnějších surovin. Oceli třídy 10 obsahují zpravidla nízké procento uhlíku (do 0,2 % C) a jsou bez zaručeného stupně čistoty a chemického složení. Nejčastěji se používají ve stavebnictví jako výztuž betonů a na stavební konstrukce.

Oceli třídy 11

Jsou oceli konstrukční a uhlíkové. Mají na rozdíl od třídy 10 předepsanou čistotu a zaručený obsah uhlíku (do 0,65 % C), fosforu a síry, dále mez pevnosti (od 180 MPa do 900 MPa), mez kluzu a některé technologické vlastnosti jako obrobitelnost, svařitelnost a tvárnost za studena. Používají se na výrobu ozubených kol a hřídelí. Rovněž je najdeme u ručních nářadí, jako jsou lopaty, motyky, krumpáče apod. Mezi zvláštní oceli patří oceli automatové. Jsou snadno obrobitelné, s kvalitním povrchem a snadným lámáním třísky.

Oceli třídy 12

Jedná se o oceli konstrukční, ušlechtilé, uhlíkové a mají lepší chemickou čistotu než oceli třídy 10 a 11. Obsah uhlíku je v rozsahu od 0,06% - 0,9 %. Ostatní prvky (mangan, křemík ...) jsou obsaženy pouze v malém množství. Vyrábí se z nich velmi namáhané strojní součásti, jako jsou ojnice a jiné. [2].

Oceli třídy 13

Oceli této třídy jsou konstrukční, ušlechtilé a slitinové. Legují se převážně manganem a křemíkem. Nejčastěji nacházejí uplatnění v oboru elektrotechniky jako dynamové a transformátorové plechy, z důvodu vysokého obsahu křemíku (až 5%). Díky zvýšené meziúnavnosti vydrží opakující se dynamické namáhání. Proto se používají na výrobu pružin a ozubených kol.

Oceli třídy 14

Patří zde oceli konstrukční, ušlechtilé a slitinové, které se legují chromem, manganem, a křemíkem. Vyrábí se z nich ozubená kola nebo součásti letadlových motorů. Některé oceli dosahují pevnosti až 1 300 MPa a využívají se u extrémně namáhaných součástí parních turbín a spalovacích motorů. Oceli s obsahem uhlíku kolem 1% mají velmi dobré kluzné vlastnosti, a proto se z nich vyrábí valivá ložiska, kluzná pouzdra apod.

Oceli třídy 15

Jsou rovněž oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové. Přidává se do nich molybdenem, chromem, wolframem a dalšími prvky. Tyto oceli se vyznačují velice dobrými mechanickými vlastnostmi i při vysokých teplotách. Proto je můžeme nazvat oceli žárupevné. Mají vysokou mez pevnosti i mez kluzu. Vyrábí se z nich součástí parních turbín a tlakové nádoby. Často jsou využívány i v chemickém průmyslu.

Oceli třídy 16

Řadíme mezi oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové. Jsou legované převážně niklem a jeho kombinacemi např. Ni+W, Ni+Mn+Cr, Ni+Cr+W+V a další varianty. Součásti z této třídy často najdeme jako části energetických strojů, vyrábí se z nich lopatky parních turbín a turbokompresorů. Oceli třídy 16 můžeme využít jak při teplotách extrémně vysokých, tak teplotách extrémně nízkých.

Oceli třídy 17

Jsou oceli konstrukční, ušlechtilé a vysokolegované. Legují se několikanásobně větším množstvím prvků než je tomu u tříd 13-16. Přidává se do nich převážně chrom, mangan, křemík, wolfram, titan a další ušlechtilé prvky. Oceli třídy 17 je velké množství a vykazují se dobrými mechanickými vlastnostmi. Některé z nich můžeme označit jako žárupevné, žáruvzdorné a nerezové. Nachází uplatnění v lékařském (chirurgické nástroje), potravinář-

ském (potrubí, nádrže), chemickém průmyslu. Vyrábí se z nich zařízení pro jadernou energetiku, zvláště tam, kde jsou součásti vystaveny radioaktivnímu záření. [2].

Tab. 4. Význam číslic ve značce ocelí třídy 17. [2]

Číselná značka	Význam třetí číslice ve značce
17 0 x x	Oceli legované chromem- chromové
17 1 x x	Oceli chromové + další prvky Mo, Al
17 2 x x	Oceli chromniklové
17 3 x x	Oceli chromniklové + další prvky Ti, Nb, Mo, V, W
17 4 x x	Oceli manganochromové nebo manganochromniklové
17 5 x x	Oceli niklové
17 6 x x	Oceli manganové
17 7 x x	Oceli manganoniklové
17 8-9 x x	Zvláštní kombinace prvků
Čtvrtá číslice značky vyjadřuje množství přísadových prvků. Pátá číslice vyjadřuje vzrůstající obsah C	

Oceli třídy 19

Též označovány jako oceli nástrojové, jsou určeny na výrobu nástrojů, měřidel, nářadí. Dělí se na nástrojové oceli uhlíkové, nástrojové oceli slitinové a nástrojové oceli rychlořezné. **Nástrojové oceli uhlíkové** se používají na výrobu běžných nástrojů na ruční a strojní obrábění. **Nástrojové oceli slitinové** se užívají tam, kde by oceli uhlíkové nevyhovovaly. Legují se chromem, wolframem. **Nástrojové oceli rychlořezné** slouží k výrobě rezných nástrojů a nástrojů tvářecích pro tváření za studena.

3.3 Rozdělení ocelí na odlitky

Odlitkové oceli jsou slitiny železa s uhlíkem a prvky jako je chrom, mangan atd. Uhlík je obsažen maximálně do 2,14% a dělíme je na **oceli na odlitky uhlíkové** a **oceli na odlitky slitinové**.

Oceli na odlitky uhlíkové mají obsah uhlíku maximálně do 0,6%. Vyrábí se z nich např. tělesa armatur, kluzná ložiska a další. **Oceli na odlitky slitinové** mohou být nízko, středně a vysoko legované. Do nízko a středně legovaných se nejčastěji přidávají mangan, křemík, chrom a wolfram. Využívají se na výrobu ozubených kol, armatur nebo u namáhání při vysokých teplotách. Vysoko legované oceli se upravují chromem nebo niklem (až 27%). Svými vlastnostmi je můžeme přirovnat k ocelím třídy 17. Tvoří slitiny odolné proti korozi, žárovzdorné, žárovevné. Obvykle se z nich odlévají lopatky vodních turbín. [2].

Tab. 5. Číselné značení ocelí na odlitky a význam číslic ve značce ocelí. [2]

Číselná značka	Význam třetí a čtvrté číslice ve značce
42 26 xx	Oceli na odlitky uhlíkové
42 27 xx	Oceli na odlitky nízko a středně legované, lité do pískových forem
42 28 xx	Oceli na odlitky nízko a středně legované, lité jinak než do pískových forem a oceli pro permanentní magnety
42 29 xx	Oceli na odlitky vysokolegované
První dvojčíslí - 42 značí normu hutnictví Druhé dvojčíslí zařazuje oceli do skupin Třetí dvojčíslí značí u uhlíkových ocelí: 00 - 29 - oceli odlévány jinak než do pískových forem. 30 - 99 přibližná hodnota meze pevnosti v tahu MPa Třetí dvojčíslí značí u slitinových ocelí skupinu legujících prvků	

Tab. 6. Význam doplňkových číslic za základní značkou ocelí. [2]

Číselná značka	Význam první doplňkové číslice
1x x xx. 0x	tepelně nezpracovaný
1x x xx. 1x	normalizačně žíhaný
1x x xx. 2x	žíhaný s uvedením způsobu žíhaní
1x x xx. 3x	žíhaný na měkko
1x x xx. 4x	kalený nebo kalený a popouštěný
1x x xx. 5x	normalizačně žíhaný a popouštěný
1x x xx. 6x	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x xx. 7x	zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x xx. 8x	zušlechťený na horní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x xx. 9x	tepelné zpracování, které nelze zapsat číslicemi 0 - 8
Druhá doplňková číslice vyjadřuje stupeň přetváření materiálů	

4 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

4.1 Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení

Vlastnosti materiálů se rozdělují na fyzikální, chemické, mechanické a technologické. Na tomto základě volíme vhodné materiály pro různé účely. Fyzikální a technické veličiny jsou uváděny výhradně v jednotkách SI.

4.1.1 Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ - je definována jako poměr hmotnosti látky k jejímu objemu.

$$\text{Rovnice hustoty: } \rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1)$$

Teplota tání a tuhnutí ϑ ($^{\circ}\text{C}$)-je teplota, při které nám látka začne měnit své skupenství. Záleží také na vnitřní stavbě kovů. Tato teplota je důležitá ve slévárenském nebo svářečském průmyslu apod. Látky skládající se z jednoho prvku nebo jedné sloučeniny mají svou určitou teplotu tání a tuhnutí. Dále tu jsou slitiny, které přecházejí se změnou teploty z jednoho skupenství do druhého pozvolna. Mezi slitiny řadíme např. skla, keramické látky atd.

Délková a objemová roztažnost-vzniká vlivem působení tepla na danou látku. Teplotní součinitel délkové α_l (K^{-1}) a objemové roztažnosti α_v (K^{-1}) je změna délky nebo objemu při změně teploty o 1 K. U odlitků, plastů a spékáných materiálů se počítá se smrštěním, které je opakem roztažnosti.

Tepelná vodivost λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)-vyjadřuje, kolik tepla Q (J) projde mezi dvěma stěnami krychle, která má velikost hrany 1 m za určitou jednotku času t (s) Tepelná vodivost ostatních kovů, se zjišťuje porovnáním s tepelnou vodivostí stříbra, což je nejlepší vodič tepla.

Elektrická vodivost G (S)- je schopnost látky vést elektrický proud. Podle schopnosti materiálu vést elektrický proud dělíme materiály na vodiče a nevodiče. Elektrická vodivost se posuzuje podle měrného elektrického odporu (rezistivity).

Měrný elektrický odpor (rezistivita) ρ ($\Omega \text{ m}$)- je veličina charakterizující vodivostní nebo odporové vlastnosti látek vedoucích elektrický proud. Je to převrácená hodnota elektrické vodivosti. Čím menší je rezistivita, tím menší je vodivost dané látky a tím větší je elektrický odpor. [4].

Vzorec pro výpočet elektrického odporu: $\rho = \frac{1}{G}(\Omega m)$ (2)

Supravodivost- je vlastnost některých kovů, jejichž vlastnost se při nízkých teplotách blíží k 0 K sníží na hodnotu námi nezjistitelnou (elektrický proud tedy prochází látkou téměř bez odporu). Supravodivost se nejčastěji projevuje při stejnosměrném proudu a vyskytuje se jak u kovů, tak i u polovodičů.

Magnetické vlastnosti- zjišťujeme z chování materiálů v magnetickém poli. Podle velikosti permeability μ řadíme materiály do tří skupin.

1. **Diamagnetické-** ($\mu < 1$) Patří k nim vodík, organické sloučeniny a z kovů měď, stříbro, cín, olovo. Tyto kovy nezesilují účinek magnetického
2. **Paramagnetické-** ($\mu > 1$) Řadíme k nim kyslík, alkalické kovy, platinu, hliník a jiné. Tyto kovy zesilují účinek vnějšího magnetického pole, ale pouze minimálně. Permeabilita je blízko k jedné.
3. **Feromagnetické-** permeabilita u těchto látek je velmi vysoká a závislá na síle magnetického pole. Řadíme k nim železo, nikl, slitiny chromu a manganu. [4].

4.1.2 Chemické vlastnosti

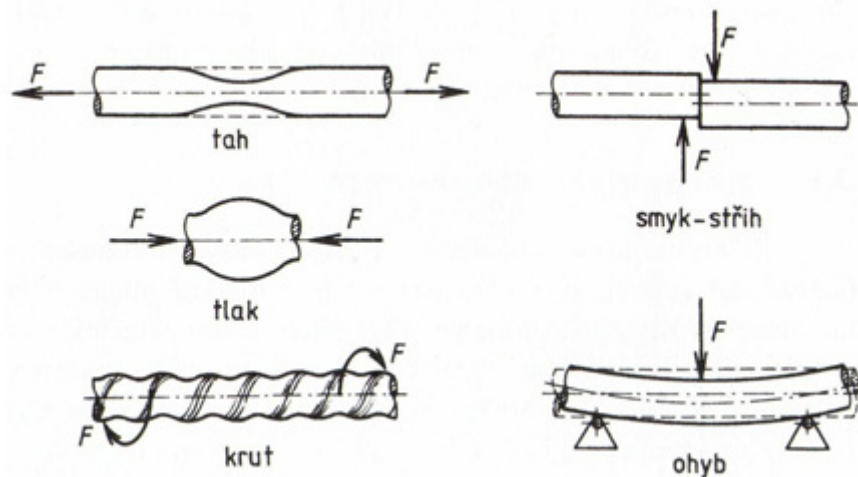
Ke zničení a opotřebení součástí dochází nejenom vlivy mechanickými, ale i chemickými. Povrch součásti bývá často porušen vlivy prostředí chemickými účinky některých látek, ať už kapalných nebo plynných. Tento jev nazýváme **koroze**. Abychom mohli korozi předejít nebo ji zpomalit, je důležité znát odolnost materiálu. Vznik koroze závisí na několika faktorech: na druhu látky, kvalitě povrchu, zpracování dále pak na koncentraci, teplotě atd. Všechny tyto faktory se při zkouškách v laboratořích snaží co nejlépe napodobit. Často se materiály zkouší ve skutečném provozním prostředí. Při **zkouškách v laboratořích** (označovány jako zkoušky krátkodobé) se získá přehled o korozní odolnosti látek v chemicky působících kapalinách nebo plynech. V laboratoři můžeme také uměle připravit nepříznivé klimatické podmínky (mikroklima) v klimatizačních komorách. Při **zkouškách v přírodě** (dlouhodobé zkoušky) se materiálové vzorky umísťují přímo do podmínek provozních nebo tam míst, kde jsou nejnepříznivější podmínky (námořní lodě apod.)

Velikost koroze se většinou udává úbytkem hmotnosti kovu v gramech na 1 cm^2 za určitý čas; tedy ($\text{g cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) [4].

Jinou formou koroze je **opal**, neboli oxidace při vyšších teplotách. Schopnost odolávat oxidaci nazýváme **žárovzdornost**. Tuto schopnost vyhledáváme nejčastěji u strojů a zařízení schopných odolávat žáru. Jsou to např. kotle rošty, kotlové trubky apod. Materiálům, jež trvale přenášejí namáhání při vyšších teplotách, říkáme materiály **žáropevné**. Patří sem zejména materiály na lopatky parních turbín, součásti spalovacích turbín. [4].

4.1.3 Mechanické vlastnosti

Pro pevnostní výpočet strojních součástí a zařízení má velký význam soubor vlastností, kterým říkáme mechanické vlastnosti. Těmito vlastnostmi sledujeme materiál a jeho chování za působení vnějších sil, jako je tah, tlak, ohyb, krut, stříh. Tato namáhání obvykle nepůsobí jednotlivě, ale naopak většinou působí současně jako kombinace dvou i více namáhání. Aby jim mohl materiál odolávat, musí mít určité mechanické vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, tvárnost apod. [2], [4].



Obr. 5. Základní druhy namáhání. [4]

4.1.4 Technologické vlastnosti

Je to soubor fyzikálních a mechanických vlastností materiálu umožňující za definovaných podmínek určitý způsob zpracování materiálu na polotovary, nebo hotové výroby. Mezi nejdůležitější technologické vlastnosti patří tvárnost, svařitelnost, slévateľnost [1].

5 TVÁŘENÍ

Tváření je nejpoužívanější způsob výroby součásti ve strojírenství. Tuto technologii řadíme mezi beztržkové způsoby výrobního procesu. Polotovary dostávají požadovaný tvar díky působením vnějších sil a nedochází zde k porušení materiálu.

Tváření kovů dělíme nejčastěji na **tváření za tepla** a **tváření za studena**. Dále pak na tváření objemové a plošné. Při plošném tváření se materiál deformuje ve dvou směrech, lze sem zahrnout např. stříhání, ohýbání. Při objemovém tváření se materiál deformuje ve všech třech směrech souřadného systému, řadíme sem kování, válcování atd.

Z důvodu rozsahu a zaměření mé práce se tvářením za tepla budeme věnovat jen okrajově.

5.1 Tváření za tepla

5.1.1 Kování

Kování řadíme, mezi základní operace tváření za tepla. Při tomto procesu probíhá velká změna průřezu a tvaru oproti výchozímu polotovaru.

Rozlišujeme dva základní typy kování. Kování ruční a kování strojní.

Kování ruční

Ruční kování je nejstarší způsob tváření materiálu za tepla. Ohřev materiálu probíhá v kovárenských výhních, dále je tvářen na kovářských kladivách za pomoci kladiv a dalších pomocných nářadí. Nejčastější využití nalezneme v kusové nebo malosériové výrobě, např. u nás tradiční umělecké kování [11].

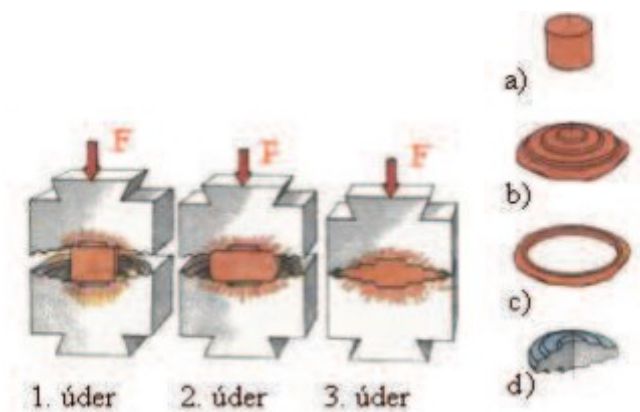
Strojní kování

Využívá se lisů a bucharů, které můžeme dále rozdělit na mechanické, hydraulické atd. Strojní kování dělíme na kování **volné** a **zápustkové**.

Volným strojním kovááním lze vyrábět výkovky až o hmotnosti 300 tun. Uplatnění nalézá od malosériové výroby až po velkosériovou výrobu. Používají se nejčastěji kovářské nástroje, které nazýváme kovářská kovářská, díky nim dosáhneme požadovaného tvaru výkovku. U volného kování se využívá několik způsobů výroby výkovků jako např. děrování, osazování, přesazování, pýchování, prodlužování. Tyto technologické operace dávají polotovaru požadovaný tvar, délku, tloušťku atd.

Zápustkové kování

Jde o vysoce přesné kování s vysokou produktivitou. Používá se při sériové a hromadné výrobě. Materiál je tvářen úderem, nebo tlakem v kovové formě, která se nazývá **zápustka**. Zápustka je dvoudílný nástroj. Dutina zápustky odpovídá negativu tvaru výrobku. Předkovek je vkládán do spodní části formy, následně strojem vyvozenou silou na horní část zápustky je dokovována součást. Při zápustkovém kování nejčastěji vznikají výronky, které jsou následně odštířeny [10].



Obr. 6. Zápustkové kování. [10].

5.2 Tváření za studena

Tváření za studena řadíme mezi nejproduktivnější metody zpracování kovů. Je to plošné tváření, kterým se zhotovují díly jednoduchých i složitých tvarů. Pod názvem plošné tváření najdeme metody, díky kterým se polotovary (nejčastěji plech) tváří do své finální podoby, aniž by se měnila tloušťka nebo průřez. Mezi základní metody plošného tváření řadíme ohýbání, stříhání, tažení, ražení protlačování apod. [6].

Rozdělení metod tváření za studena

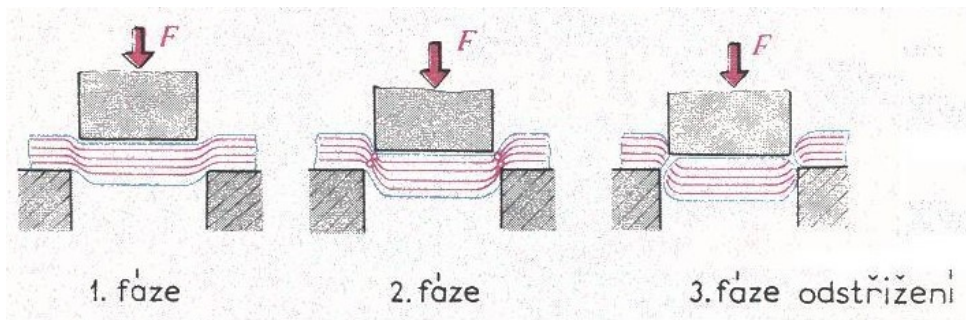
1. Ohýbání – přeměna plochého polotovaru v ohnutou součást.
2. Stříhání – oddělování části materiálu podle uzavřené nebo neuzavřené obrysu, přičemž plocha stříhu bývá většinou kolmá k povrchu materiálu.
3. Tažení - přeměna plochého polotovaru v dutou součást libovolného tvaru, přičemž se tloušťka výchozího polotovaru buď nemění, nebo se mění.
4. Ražení - plastická přeměna povrchu vylisku
5. Protlačování - přetváření materiálu na mezi kluzu, při němž dochází ke změně profilu tvaru a tloušťky polotovaru novým rozdělením objemu

5.2.1 Stříhání

Stříhání je nejpoužívanější tvářecí operace. Je to jediná operace, při které dochází k žádoucímu porušení materiálu. Používá se, jak na přípravu polotovarů kde stříháme plechy, tabule, profily apod., tak na vystřihování konečných výrobků. Existují další modifikace této operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Řadíme sem děrování, vystřihování, přistřihování, ostřihování a jiné.

Princip stříhání

Přistřihování dochází k oddělování materiálu působením protilehlých řezných hran, které v řezné rovině způsobují smykové napětí. K oddělování materiálu dochází ve třech fázích. V první fázi se materiál stříhaného polotovaru ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice. Druhá fáze je oblast plastických deformací. Střížník se vtlačuje do plechu a ten se vtlačuje do střížnice. Napětí zde překračuje mez pevnosti a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. Ve třetí fázi vznikají na hranách trhlinky, které se dále rozšiřují, než dojde k přerušení materiálu.



Obr. 7. Fáze stříhání. [6].

Stroje na stříhání

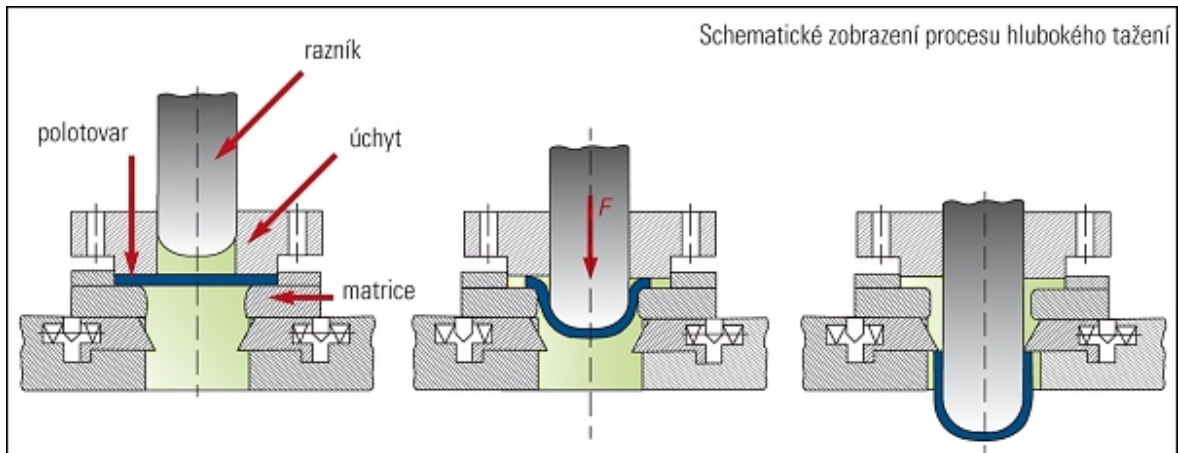
Stříhání můžeme rozdělit na ruční a strojní. Ruční stříhání se provádí pomocí nůžek na plech a uplatnění nachází například v sádrokartonářství.

Strojní stříhání rozdělujeme podle typů nožů, kterými dochází k oddělení materiálu. Stříháme rovnoběžnými noži, šikmými noži, kotoučovými noži atd.

5.2.2 Tažení

Tažením vznikají vylisky nerovinného tvaru. Podle tvarů vylisků můžeme tento proces rozdělit na tažení mělké a hluboké, rotační a nerotační. Výchozím polotovarem je plech, nebo pás. [9].

Polotovary lze zpracovávat hned několika technologiemi: tažení prosté, tažení zpětné, rozšiřování a lemování, zužování a jiné.



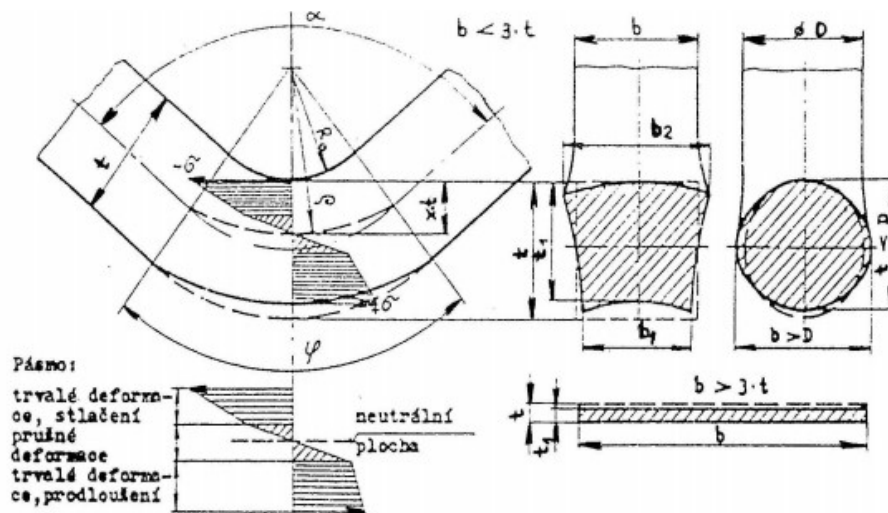
Obr. 8. Princip tažení. [9]

5.3 Ohýbání

Ohýbání je technologický proces, při které se materiál vlivem ohybové síly, trvale deformuje (ohýbá, rovná). Ohýbá se za tepla i za studena, častěji se v praxi setkáváme s ohýbáním za studena. Požadované změny tvaru se dosahuje bez větší změny průřezu, a proto se ohýbání řadí mezi plošné tváření. Podle šířky materiálu, rozlišujeme ohýbání úzkých polotovarů ($b < 3t$) nebo širokých polotovarů ($b > 3t$). Touto technologií se tváří mnoho polotovarů například plechy, pásy, trubky, tyče, profily. Modifikováním ohýbání existují další užitečné technologie jako např. rovnání, lemování, zakružování atd. V důsledku rozsahu práce se však jimi zabývat nebudeme.

5.4 Napětí při ohýbání

Pro trvalou deformaci polotovaru je důležité, aby ohybové napětí bylo větší než mez kluzu R_e , ale zároveň nesmí přesáhnout mez pevnosti R_m . V takovém případě by mohlo dojít k porušení tvářeného materiálu. Ve střední části jsou napětí malá a dosahují meze úměrnosti. Vnitřní strana ohýbaného materiálu je zatěžována tlakovým napětím, kdežto strana vnější napětím tahovým (Obr. 9.) [7].



Obr. 9. Napětí v ohýbaném průřezu. [7]

Z obrázku je patrné, že v místě, kde se mění napětí, je tzv. neutrální plocha (též neutrální osa nebo vrstva). V této vrstvě jsou napětí i deformace nulové. Neutrální plocha je důležitá pro zjišťování délky polotovaru ohýbané součásti.

5.5 Základní charakteristiky ohýbání

5.5.1 Poloha neutrální plochy (osy)

Neutrální osa se při ohýbání neprodlužuje ani nezkracuje a nevyskytuje se na ní žádné napětí. Velké polotovary s velkým poloměrem ohybu ($R_0 > 12t$) mají neutrální plochu uprostřed tloušťky materiálu. U materiálů s menším poloměrem ohybu ($R_0 < 12t$) se neutrální plocha posouvá směrem ke stlačeným vláknům [7], [8].

Výpočet neutrální osy

Pro velké poloměry ohybu:
$$\rho = R_0 + \frac{1}{2}t \quad (3)$$

Pro malé poloměry ohybu:
$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad (4)$$

Kde: R_0 - poloměr ohybu materiálu (mm)

t - tloušťka materiálu

x - součinitel polohy neutrální plochy. Jeho velikost je závislá na poměru velikosti poloměru ohybu a tloušťce ohýbaného materiálu.

5.5.2 Výpočet délky polotovaru

Celkovou délku polotovaru dostaneme sečtením všech přímých a ohnutých částí.

Velikost ohnuté části l_o vypočítáme ze vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad (5)$$

Kde: γ - úhel ohnutého úseku[°]

5.5.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu R_{\min} závisí na tvárnosti materiálu, jeho šířce a tloušťce a na způsobu ohýbání. Při překročení této hodnoty dochází na tahové straně k porušení materiálu v jeho vláknech a materiál je tedy znehodnocen. V praxi se využívá jen okrajově. Jeho vzorec je dán vztahem:

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - \varepsilon_c)}{2 \cdot \varepsilon_c} \text{ [mm]} \quad (6)$$

Kde: t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

ε_c - mezní prodloužení. Při jeho překročení napětí přesáhne napětí v tahu R_{\max} dojde k porušení materiálu.

Maximální poloměr ohybu

Při překročení maximálního poloměru ohybu R_{\max} nám v krajních vrstvách ohýbaného polotovaru k trvalé deformaci. Vypočteme jej ze vztahu:

$$R_{\max} = \frac{t \cdot E}{2 \cdot R_e} \text{ [mm]} \quad (7)$$

Kde: t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

E - modul pružnosti v tahu [MPa]

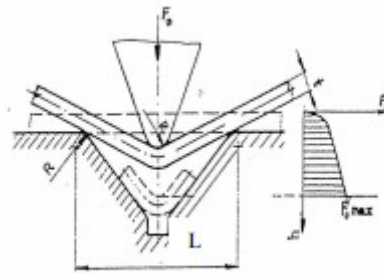
R_e - mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa] [7], [8].

5.5.4 Výpočet síly a práce

Výpočet se vztahuje ke dvěma základním druhům ohýbání plechů v praxi a to do tvaru V a U.

Ohyb to tvaru V

O ohýbaném materiálu uvažujeme jako o nosníku zatíženého silou F_0 , který je uložen na dvou podporách ve vzdálenosti L



Obr. 10. Ohýbání do tvaru V. [9]

$$\text{Síla: } F_{0V} = \frac{b \cdot t^2 \cdot Re}{2 \cdot \rho} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

$$\text{Práce: } A_{0V} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{0V} \cdot L}{1000} \quad (9)$$

Kde: F_{0V} - síla při ohýbání do tvaru V [N]

A_{0V} - práce při ohýbání do tvaru V [J]

α - úhel ohybu [°]

ρ - poloměr zaoblení středního vlákna [mm]

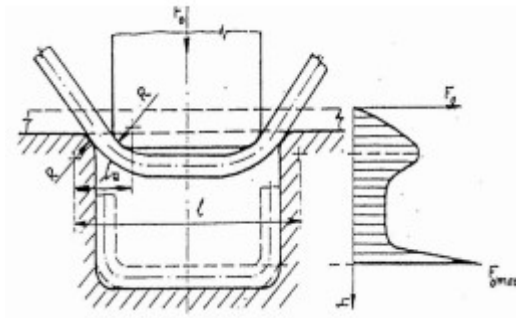
L - vzdálenost mezi podporami [mm]

b - šířka plechu [mm]

Re - mez pevnosti v kluzu [MPa]

Ohýbání do tvaru U

Obdobný postup jako při ohýbání do tvaru V [7], [8].



Obr. 11. Ohýbání do tvaru U. [8]

$$\text{Síla: } F_{0U} = (1 + 7\mu) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot Re}{\rho_1 + t} \quad (10)$$

$$\text{Práce: } A_{0U} = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{0U} \cdot Z}{1000} \quad (11)$$

Kde: F_{0U} - síla při ohýbání do tvaru U [N]

A_{0U} - práce při ohýbání do tvaru U [J]

b - šířka plechu [mm]

Re - mez pevnosti v kluzu [MPa]

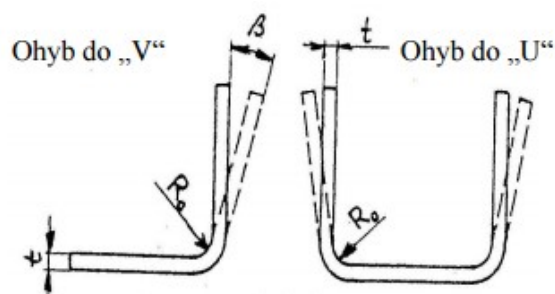
ρ_1 - poloměr ohybu [mm]

Z - potřebný zdvih [mm]

μ - součinitel tření [-]

5.5.5 Odpružení

Ohýbaný polotovár má tendenci vrátit se do původního tvaru po odlehčení deformační síly o úhel, který nazýváme úhel odpružení β . Největší vliv na odpružení mají mechanické vlastnosti, tloušťka, velikost úhlu ohybu a konstrukce ohýbadla. Velikost odpružení lze vyjádřit pomocí výpočtů: [7], [8].



Obr. 12. Odpružení při ohybu V a U. [7], [8]

Ohýbání do V

$$\operatorname{tg}\beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (12)$$

Ohýbání do U

$$\operatorname{tg}\beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (13)$$

Kde: B- úhel odpružení [°]

l- vzdálenost ohýbacích částí [mm]

l_m- rameno ohybu [mm]

k- součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R₀/t [7], [8].

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo ověřit, zda vybrané materiály (304 L, 316 L a 316 Ti) o různých průměrech vyhovují požadavkům pro výrobu ohýbaných kolen z hlediska výsledné výšky, úhlu, kruhovitosti a chemického složení.

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

- Vypracování literární rešerše na danou problematiku
- Popis výroby a kontroly
- Provedení kontrol u vybraných typů kolen
- Zhodnocení výsledků jednotlivých kontrol
- Závěr

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 VOLBA TESTOVANÝCH MATERIÁLŮ

Do mé bakalářské práce byly vybrány materiály 304L, 316L a 316 Ti.

Pro jednotlivé materiály byly vybrány průměry, které se nejčastěji u těchto materiálů ve firmě zpracovávají:

- 1) **Materiál 304 L**- \varnothing 26,9 mm, \varnothing 42,4 mm, \varnothing 60,3 mm,
- 2) **Materiál 316 L**- \varnothing 26,9 mm, \varnothing 42,4 mm,
- 3) **Materiál 316 Ti**- \varnothing 42,4 mm

Ocel **304 L** má nízký obsah uhlíku tudíž je materiál vysoce odolný vůči korozi. Je dobře svařitelný a odolává teplotám do 350 °C. Využívá se, v potravinářském průmyslu, chemickém průmyslu, v architektuře a designu. V oblasti konstrukce motorových vozidel jako součásti například motorů. Dále se z ní vyrábí chirurgické nástroje a šperky.

Ocel **316 L** má nízký obsah uhlíku (do 0,03 % C). Je vysoce odolná vůči kyselinám. Je velmi dobře svařitelná a lešitelná. Tato ocel se nejčastěji používá v chemickém průmyslu. Nebo v zařízeních, které přicházejí do styku s mořskou vodou.

Ocel **316 Ti** je kyselinovzdorná ocel. Díky vyšší koncentraci molybdenu má vyšší odolnost vůči kyselinám a dobře odolává mezikrystalické korozi. Díky titanu není po svařování nutná další tepelná úprava. Tento materiál se vyznačuje dobrými vlastnostmi při: ohýbaní tažení apod.

8 POPIS VÝROBY OHÝBANÝCH NEREZOVÝCH KOLEN

V této kapitole bude popsána výroba ohýbaných nerezových kolen tak, jak se při jejich výrobě ve firmě XY jednotlivě postupuje. A to od příjmu materiálu a jeho chemické kontroly, přes nařezání přesných rozměrů trubek před ohnutím, až po následné ohýbání a osoustružení konců kolen.

Nerezová kolena nachází uplatnění v mnoha odvětví průmyslu. Využívají se například v potravinářském průmyslu, jako součásti potrubí, v automobilovém průmyslu, kde se kolena využívají jako součásti motoru, a ve stavebním průmyslu se používají jako součásti zábradlí na mostech a jiné.

8.1 Příjem materiálu a jeho chemická kontrola

Materiál je do firmy dodáván ve formě trubek, svázaných do balíku. Délka trubek je 6 metrů. Ihned po příjmu, se provede analýza chemického složení přenosným chemickým spektrometrem. Tato kontrola je jednoduchá, rychlá a takřka během minuty víme jednotlivé zastoupení prvků v dané zásilce a materiálu.



Obr. 13. Příjem materiálu.

Po kontrole chemického složení následuje nařezání trubek na požadovanou délku a pod požadovaným úhlem viz Obr. 14.



Obr. 14. Nařezání trubek na požadovanou délku.



Obr. 15. Tvar výrobku po řezné operaci.

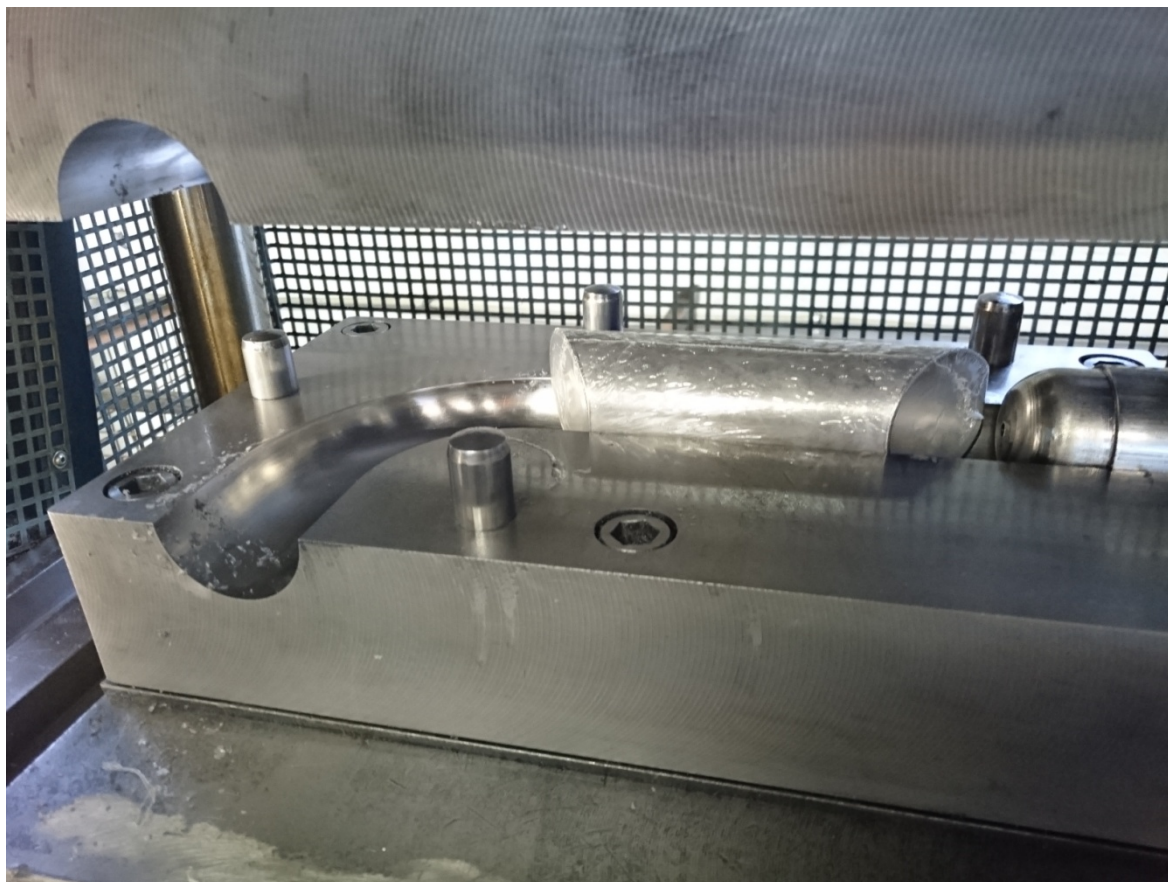
Pro výrobu nerezových kolen se ve firmě XY využívá čtyř materiálů a to konkrétně 304L, 316L, 316 Ti a 321 (dle značení AISI). Pro tuto bakalářskou práci byly vybrány první tři jmenované materiály z důvodu nejčastějšího zpracování v této firmě. Materiál 321 je ve výrobě jen zřídka.

Vnější průměry kolen vyrábí dle DIN 2605 a dle DIN 11852.

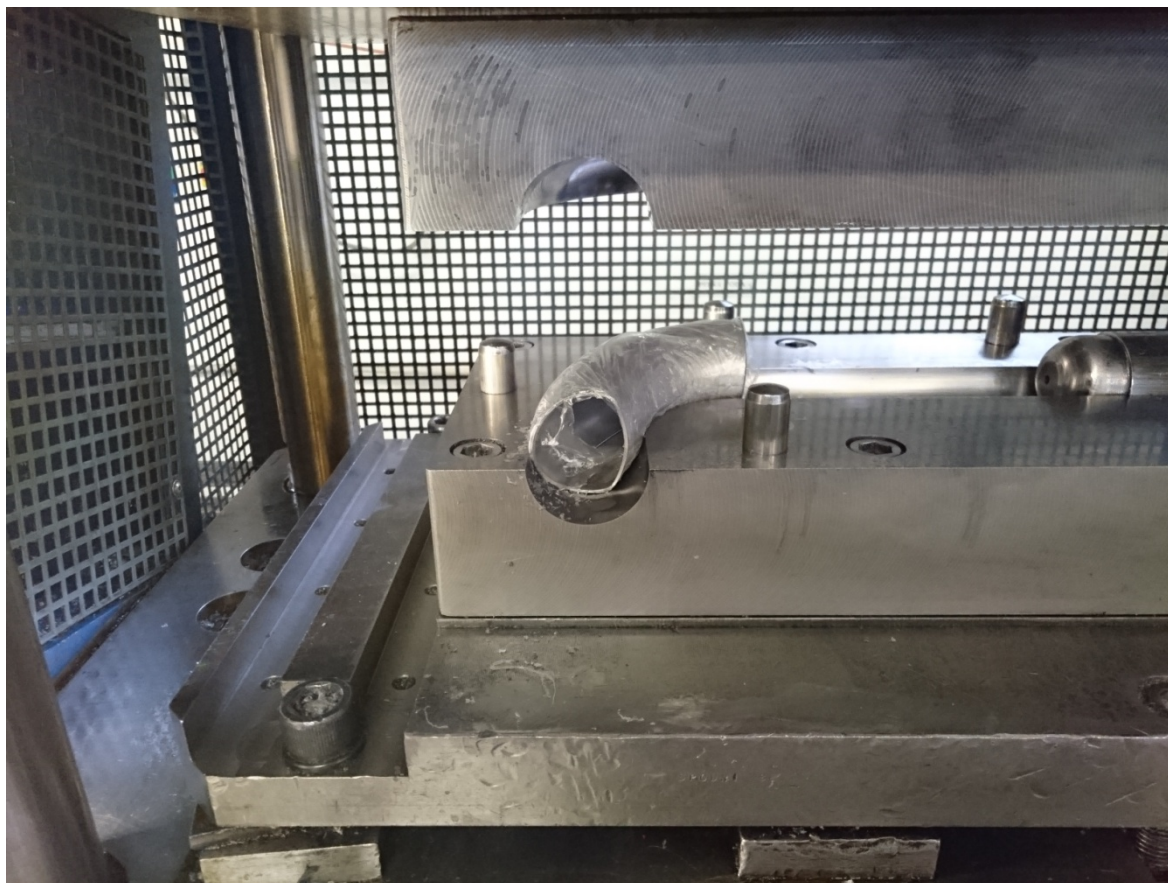
8.2 Ohýbání kolen

Dalším krokem po kontrole chemického složení a nařezání požadovaných rozměrů je ohýbání trubek do tvaru kolen.

Tato operace probíhá ve dvou krocích. Před prvním ohýbáním se každá nařezaná trubka obalí do fólie, která slouží jako mazivo. Poté se materiál vloží do pravoúhlé formy, uzavře se a pomocí protlačovacího trnu se trubka vytvaruje a vzniká tzv. předkoleno. Předkoleno má přibližný tvar a rozměr, stále však nesplňuje podmínky, jaké by měl výsledný výrobek splňovat.



Obr. 16. Forma stroje před uzavřením.

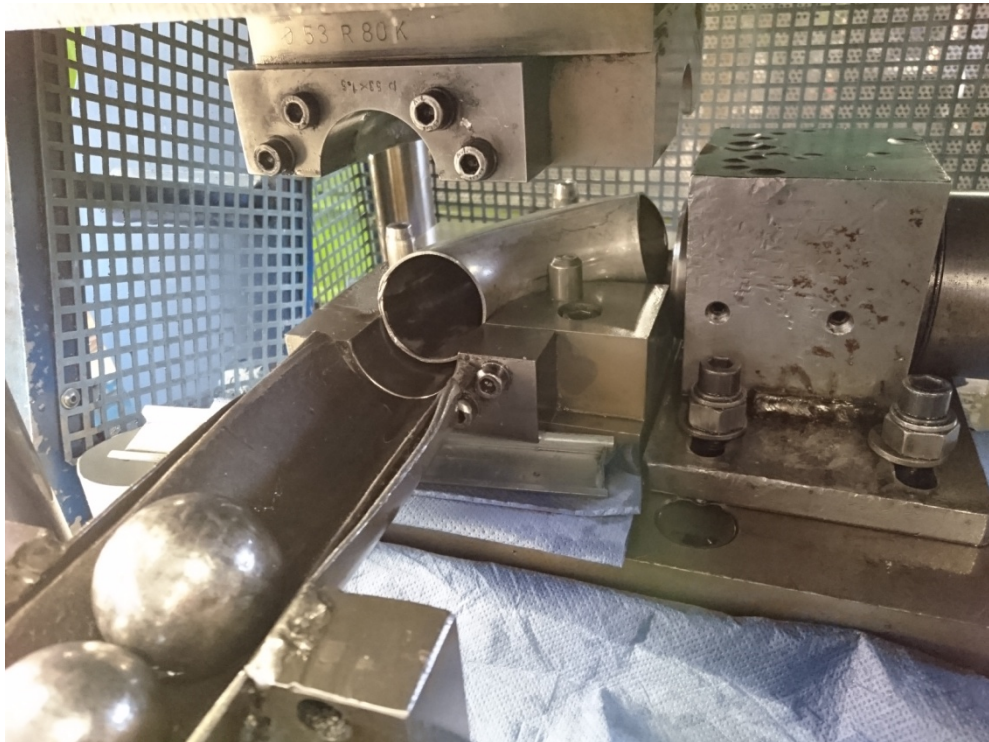


Obr. 17. „Zdeformované“ koleno po prvním protlačení.



Obr. 18. Tvar kolene po prvním ohýbaní.

Po prvním ohnutí se materiál natře mazací kapalinou a vloží se do druhého ohýbacího stroje. Tvar formy odpovídá konečnému výrobku. Po vložení předkolene se forma uzavře a následným protlačením pěti kalených koulí, nutících materiál k „deformaci“ a k vyplnění dutiny formy, dostaneme finální tvar.



Obr. 19. Otevřená forma stroje po druhém ohýbání.



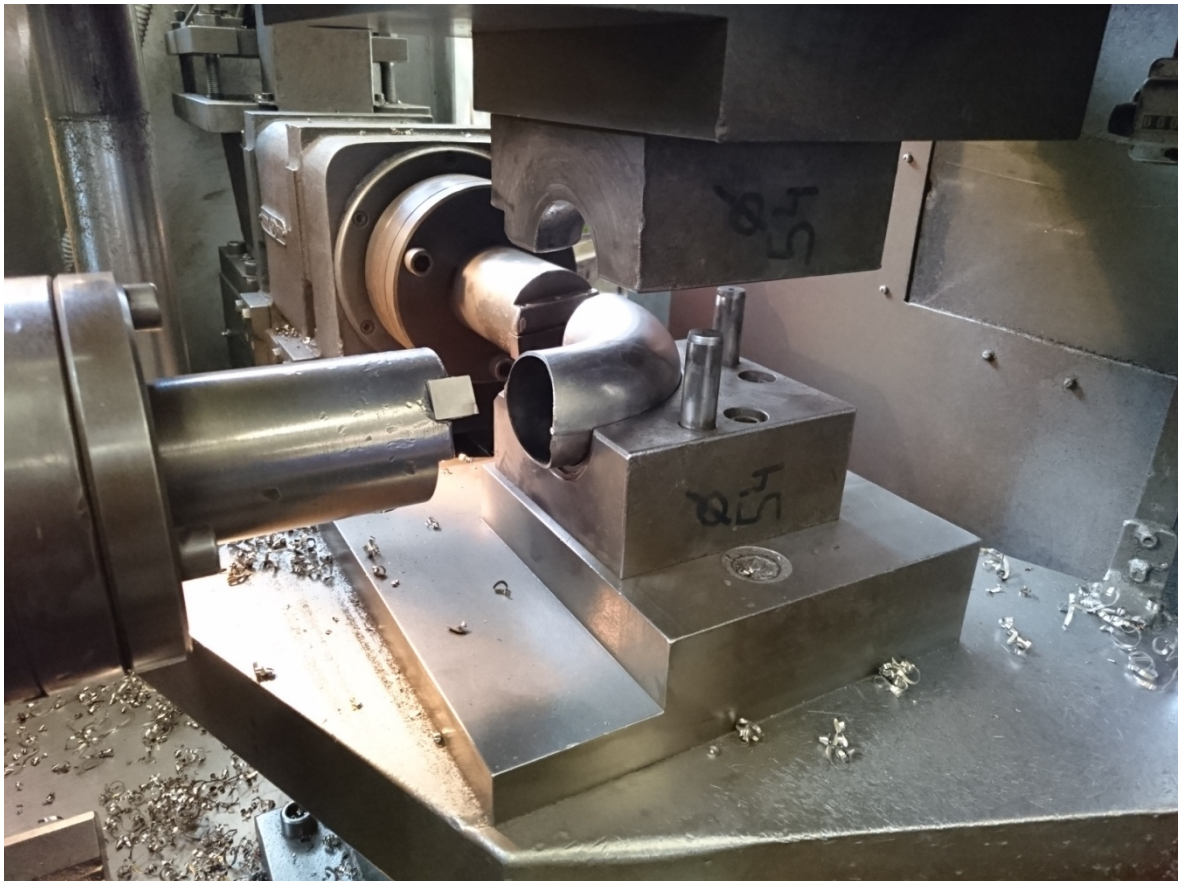
Obr. 20. Tvar kolene po druhém ohýbání.

Koleno má zachovanou dokonalou kruhovitost a tvar stále však nemá konečnou podobu. Po ohýbání následuje odstranění přebytečného materiálu na obou koncích kolene frézováním.

8.3 Frézování konců

Při ohýbání dochází k vytlačení materiálu, který způsobuje nerovnosti na obou koncích kolene, tudíž úhel mezi nimi není 90° . Proto je nutné, abychom oba konce osoustružili a zbavili se přebytečného materiálu.

Frézování probíhá na CNC frézce.



Obr. 21. Frézování konců kolene.

Na obrázku 22 můžeme vidět porovnání kolen před a po frézování.



Obr. 22. Srovnání kolen po frézovací operaci.

Frézováním vznikají ořepky, které odstraníme omýláním. Při této operaci vložíme kolena do bubnu omýlacího stroje společně s omýlacími tělísky. Jakmile zapneme stroj, buben začne vibrovat, tudíž dochází k odlomení ořepků vlivem narážení kolen a tělísek do sebe. Výsledkem jsou kolena s leklým povrchem a se začištěnými konci.



Obr. 23. Omýláni.

Po frézování a omýláni dochází ke kontrole kruhovitosti, správného úhlu a výšky kolen. Těmto zkouškám se budeme podrobněji věnovat v kapitolách Zkouška kruhovitosti, Zkouška úhlu a Zkouška výšky kolen.



Obr. 24. Povrch kolen po omýlání.

V poslední řadě se na kolena natisckne norma, rozměr daného kolene a o jaký typ materiálu se jedná.



Obr. 25. Potisk kolen.

9 ZKOUŠKY OHÝBANÝCH KOLEN

Pro ověření, zda materiály 304L, 316 L a 316 Ti vyhovují požadavkům pro výrobu ohýbaných kolen, byly provedeny následující zkoušky měření:

- a) Zkouška chemického složení,
- b) Zkouška kruhovitosti,
- c) Měření výšky ohýbaných kolen,
- d) Zkouška úhlu ohýbaných kolen

9.1 Zkouška chemického složení

Tato zkouška se provádí u přijímání materiálu (trubek). Provádí se digitálním přenosným chemickým spektrometrem, který se přiloží ke zkoumanému materiálu a během jedné až dvou minut ukáže procentuální obsah prvků. Tyto hodnoty se porovnávají s hodnotami, které garantuje dodavatel (výrobce).

Pro zkoušku chemického složení byly vždy vybrány vždy čtyři trubky od každého materiálu.

Pro měření chemického složení byl vybrán analyzátor ALPHA S/N 10751. Výrobce je firma Innov-X Systems z USA. Přístroj dokáže v základním nastavení rozpoznat až 21 prvků. Lze si jej rozšířit až o dalších 8 měřených prvků. Ve firmě XY je zobrazení zúženo na 7 prvků. Toto nastavení je dostačující k porovnání s garantovanými hodnotami dodavatele. [11].



Obr. 26. Chemický spektrometr ALPHA S/N 10751. [11]

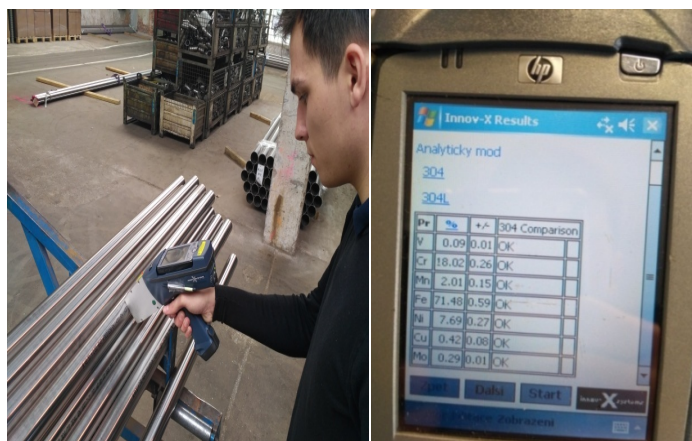
9.1.1 Výsledky měření chemického složení:

Materiál 304L

Z tabulky číslo 7 můžeme pozorovat, že výrobce garantuje pouze některé z prvků, které jsou obsaženy v oceli 304 L. Zbylé prvky nám přístroj doměřil sám. Obsah všech složek vyšel dle porovnání v pořádku.

Tab. 7 Výsledky chemického složení materiálu 304L

TP 304L									
Trubka 1					Trubka 2				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek	%	%	±		Prvek	%	%	±	
V		0,09	0,01	V pořádku	V		0,09	0,01	V pořádku
Cr	17,5 - 18,5	18,2	0,26	V pořádku	Cr	17,5 - 18,5	18,22	0,26	V pořádku
Mn	2	2,01	0,15	V pořádku	Mn	2	2,01	0,15	V pořádku
Fe		71,48	0,59	V pořádku	Fe		70,97	0,59	V pořádku
Ni	8 - 10	7,69	0,27	V pořádku	Ni	8 - 10	7,6	0,25	V pořádku
Cu	0,4	0,42	0,08	V pořádku	Cu	0,4	0,48	0,08	V pořádku
Mo		0,29	0,01	V pořádku	Mo		0,33	0,01	V pořádku
Trubka 3					Trubka 4				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek	%	%	±		Prvek	%	%	±	
V		0,08	0,01	V pořádku	V		0,09	0,01	V pořádku
Cr	17,5 - 18,5	18,14	0,26	V pořádku	Cr	17,5 - 18,5	18,2	0,26	V pořádku
Mn	2	2,01	0,15	V pořádku	Mn	2	2,01	0,15	V pořádku
Fe		71,2	0,59	V pořádku	Fe		71,39	0,59	V pořádku
Ni	8 - 10	7,73	0,27	V pořádku	Ni	8 - 10	7,69	0,27	V pořádku
Cu	0,4	0,45	0,08	V pořádku	Cu	0,4	0,48	0,08	V pořádku
Mo		0,28	0,01	V pořádku	Mo		0,26	0,01	V pořádku



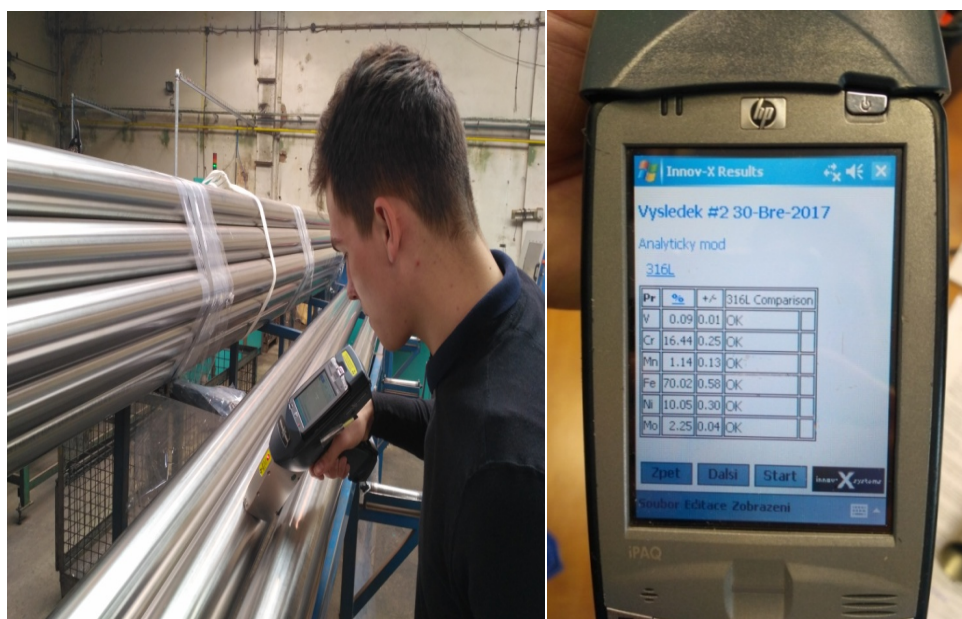
Obr. 27. Ukázka měření chemického složení materiálu 304 L.

Materiál 316L

U kontroly chemického složení materiálu 316 L nám nevyšla žádná odchylka měření od normy. Dále můžeme vidět, že obsah železa a vanadu nám dodavatel negarantuje.

Tab. 8. Výsledky chemického složení materiálu 316 L.

TP 316 L									
Trubka 1					Trubka 2				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek	%	%	±		Prvek	%	%	±	
V		0,07	0,01	V pořádku	V		0,07	0,01	V pořádku
Cr	16,5 – 18,5	16,79	0,26	V pořádku	Cr	16,5 – 18,5	16,44	0,25	V pořádku
Mn	≤ 2	1,07	0,13	V pořádku	Mn	≤ 2	1,14	0,13	V pořádku
Fe		69,76	0,58	V pořádku	Fe		70,02	0,58	V pořádku
Ni	10,5 – 13,5	10,07	0,3	V pořádku	Ni	10,5 – 13,5	10,05	0,3	V pořádku
Mo	2 – 2,5	2,24	0,04	V pořádku	Mo	2 – 2,5	2,25	0,04	V pořádku
Trubka 3					Trubka 4				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek	%	%	±		Prvek	%	%	±	
V		0,07	0,01	V pořádku	V		0,07	0,01	V pořádku
Cr	16,5 – 18,5	16,63	0,25	V pořádku	Cr	16,5 – 18,5	16,74	0,26	V pořádku
Mn	≤ 2	1,1	0,13	V pořádku	Mn	≤ 2	1,07	0,13	V pořádku
Fe		69,98	0,58	V pořádku	Fe		70,05	0,58	V pořádku
Ni	10,5 – 13,5	10,05	0,3	V pořádku	Ni	10,5 – 13,5	10,07	0,3	V pořádku
Mo	2 – 2,5	2,24	0,04	V pořádku	Mo	2 – 2,5	2,2	0,04	V pořádku



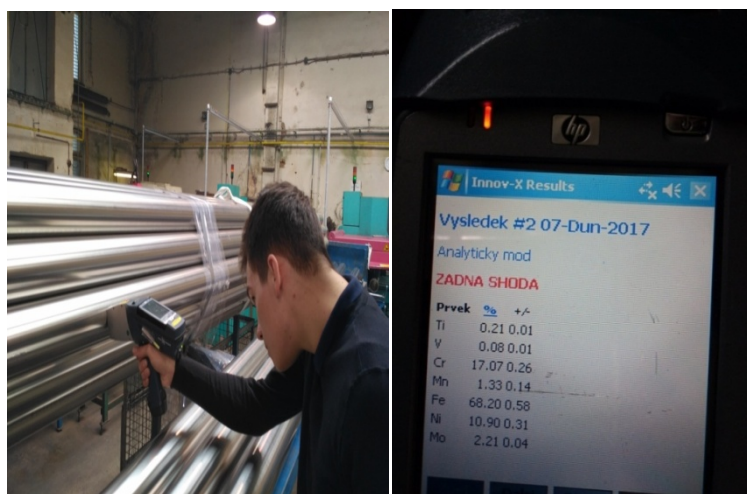
Obr. 28. Ukázka měření chemického složení materiálu 316 L.

Materiál 316 Ti

Z následující tabulky (Tab. 8.) můžeme vidět složení materiálu 316 Ti. Tato ocel se liší od ocele 316 L pouze přidáním titanu zbylé prvky jsou zde obsaženy ve stejném množství jako v předchozím případě.

Tab. 8. Výsledky chemického složení materiálu 316 Ti.

TP 316 Ti									
Trubka 1					Trubka 2				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek		%	±		Prvek		%	±	
Ti	0,2-0,3	0,2	0,01	V pořádku	Ti	0,2-0,3	0,21	0,01	V pořádku
V		0,11	0,01	V pořádku	V		0,15	0,01	V pořádku
Cr	16,5 - 18,5	16,25	0,25	V pořádku	Cr	16,5 - 18,5	16,4	0,24	V pořádku
Mn	≤ 2	1,62	0,14	V pořádku	Mn	≤ 2	1,57	0,14	V pořádku
Fe		69,09	0,57	V pořádku	Fe		70,24	0,57	V pořádku
Ni	10,5-13,5	10,49	0,31	V pořádku	Ni	10,5-13,5	11,05	0,3	V pořádku
Mo	2-2,5	2,23	0,04	V pořádku	Mo	2-2,5	2,4	0,04	V pořádku
Trubka 3					Trubka 4				
	Garantováno	Naměřeno				Garantováno	Naměřeno		
Prvek		%	±		Prvek		%	±	
Ti	0,2-0,3	0,23	0,01	V pořádku	Ti	0,2-0,3	0,21	0,01	V pořádku
V		0,14	0,26	V pořádku	V		0,1	0,26	V pořádku
Cr	16,5 - 18,5	16,1	0,15	V pořádku	Cr	16,5 - 18,5	16,22	0,15	V pořádku
Mn	≤ 2	1,68	0,59	V pořádku	Mn	≤ 2	1,72	0,59	V pořádku
Fe		70,12	0,27	V pořádku	Fe		69,8	0,29	V pořádku
Ni	10,5-13,5	10,45	0,08	V pořádku	Ni	10,5-13,5	10,52	0,07	V pořádku
Mo	2-2,5	2,31	0,01	V pořádku	Mo	2-2,5	2,28	0,01	V pořádku



Obr. 29. Ukázka měření chemického složení materiálu 316 Ti.

Kontrola chemického složení u všech vybraných trubek proběhla v pořádku a shodovala se s předepsanými hodnotami garantovanými výrobcem.

9.2 Zkouška kruhovitosti

Zkouška kruhovitosti se provádí po ohýbání trubky do tvaru kolene. Výrobek kontrolujeme posuvným měřidlem, kdy mezi jeho čelisti vložíme koleno a měříme jeho vnější průměr ve dvou na sebe kolmých osách na obou koncích výrobku. Pro každou stranu měření provedeme 10x. Kontrola kruhovitosti byla provedena na čtyřech kolenech z daného materiálu a průměru.

Jestliže jsou hodnoty v předepsané toleranci, koleno vyhovuje a je v pořádku.

Tato zkouška se řídí normou DIN 2609.

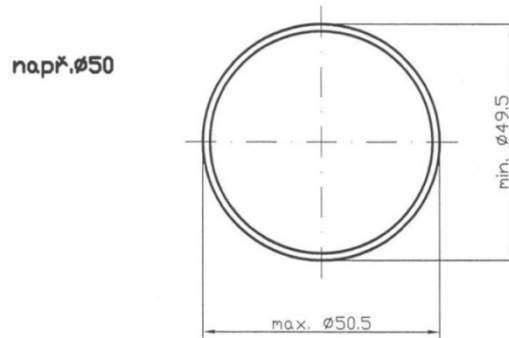
Tab. 9. Tolerance kruhovitosti dle normy DIN 2609.

Vnější průměr D (mm)	Tolerance vnějšího průměru	
≤ 100	±1 % D (nicméně ±0,5 mm je přípustné)	±0,4 mm
100 < D ≤ 200	± 1 % D	± 0,5 % D
> 200		± 0,6 % D

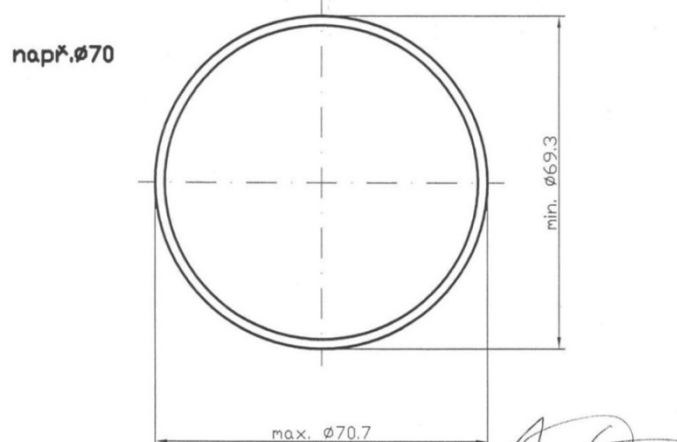
Ve firmě proto došlo ke smluvní dohodě z důvodu urychlení měření ve výrobě (viz obrázek číslo 30). Zároveň tato dohoda dodržuje toleranci kruhovitosti dle normy DIN 2609. Kolena do \varnothing 50 mm mají toleranci $\pm 0,5$ mm. Kolena nad \varnothing 50 mm mají toleranci 1 % z průměru.

TOLERANCE KRUHOVITOST HOTOVÝCH KOLEN

Do $\varnothing 50$ mm včetně - ± 0.5 mm



Nad $\varnothing 50$ mm - $\pm 1\%$ z průměru



Obr. 30. Tolerance kruhovitosti.

Kontrolované materiály byly **304 L**, **316 L**, **316 Ti**.

Tab. 10. Kontrolované průměry a jejich tolerance kruhovitosti.

Kontrolované materiály					
304 L		316 L		316 Ti	
Průměr (mm)	Tolerance (mm)	Průměr (mm)	Tolerance (mm)	Průměr (mm)	Tolerance (mm)
26,9	$\pm 0,5$ mm	26,9	$\pm 0,5$ mm	42,4	$\pm 0,5$ mm
42,4	$\pm 0,5$ mm	42,4	$\pm 0,5$ mm		
60,3	1 % z průměru				

9.2.1 Výsledky měření kruhovitosti:

Materiál 304 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

Povolená odchylka u Ø26,9mm je $\pm 0,5$ mm. Všechny naměřené hodnoty se do tohoto intervalu vlezly a nevyskytla se zde žádná odchylka měření.

Tab. 11. Naměřená kruhovitost u materiálu 304 L, ø 26,9 mm.

Materiál TP 304L - kontrolovaný ø 26,9 mm, tolerance $\pm 0,5$ mm			
1		2	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
26,41	26,99	26,41	27,2
26,00	26,45	27,23	26,8
27,11	26,61	26,76	26,95
27,33	27,13	26,55	26,41
26,94	26,85	27,33	27,11
26,67	27,26	26,98	27,33
26,41	27,1	26,63	26,95
26,83	26,49	26,71	27,16
27,09	26,87	27,12	26,67
27,28	26,73	27,3	26,47
3		4	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
26,81	27,24	26,47	26,74
26,64	27,03	27,25	27,35
26,53	26,64	26,45	27,04
26,97	26,47	26,47	26,61
27,32	27,31	26,84	26,94
27,04	26,64	26,61	27,33
26,55	26,83	27,18	26,4
27,34	26,97	26,61	26,99
26,99	27,06	26,92	27,13
26,46	27,15	26,64	27,38



Obr. 31. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.

Materiál 304L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2,6 mm

Všechny naměřené hodnoty jsou v povolené toleranci dle normy DIN 2609.

Tab. 12. Naměřená kruhovitost u materiálu 304 L, ø 42,4 mm.

Materiál TP 304 L - kontrolovaný ø 42,4 mm, tolerance ± 0,5 mm			
1		2	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
42,74	42,25	42,21	42,30
42,21	42,38	42,28	42,84
42,34	42,88	42,24	42,25
42,20	42,90	42,31	42,36
42,64	42,37	42,22	42,27
42,78	42,85	42,33	42,61
42,74	42,26	42,25	42,68
42,55	42,64	42,28	42,35
42,41	42,77	42,21	42,38
42,69	42,55	42,24	42,73
3		4	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
42,08	42,84	42,35	42,26
42,55	42,47	42,39	42,36
42,61	42,29	42,75	42,38
42,35	42,65	42,61	42,34
42,88	42,37	42,84	42,67
42,64	42,86	42,23	42,61
42,38	42,66	42,48	42,69
42,81	42,38	42,90	42,66
42,26	42,21	42,35	42,34
42,33	42,76	42,28	42,90



Obr. 32. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.

Materiál 304 L, Ø 60,3 mm, tloušťka stěny 2 mm

Dle normy DIN 2609 je u kolen ø 60,3 mm povolená tolerance $\pm 1 \%$, tedy 0,603 mm.

Všechny naměřené hodnoty nám tedy vyšly v pořádku a v souladu s normou.

Tab. 13. Naměřená kruhovitosť u materiálu 304L, ø 60,3 mm.

Materiál TP 304 L - kontrolovaný ø 60,3 mm, tolerance $\pm 1 \%$ z průměru			
1		2	
vnitřní ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
60,34	60,55	60,7	60,33
60,21	60,37	60,11	60,55
60,37	60,29	59,87	60,84
60,17	59,99	60,47	60,28
60,83	60,07	60,43	60,37
60,12	60,73	60,87	60,42
60,08	60,6	60,9	60,1
60,37	60,37	60,44	60,17
60,74	60,16	60,3	60,37
60,51	60,37	60,13	60,58
3		4	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
59,98	60,78	60,31	60,43
60,61	60,51	60,48	60,9
60,25	60,34	60,21	59,84
60,31	60,20	60,34	60,17
60,60	60,38	60,55	60,36
60,34	60,90	60,13	60,07
60,49	60,17	60,81	59,80
60,34	60,24	60,44	60,17
60,37	60,71	60,71	60,63
60,10	60,07	60,13	60,86



Obr. 33. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.

Materiál 316 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

Při kontrole se nám zde vyskytly hraniční hodnoty (\varnothing 26,42 mm, \varnothing 27,40 mm). Stále však můžeme tyto hodnoty označit za správné. Kolena vyhovují dle normy DIN 2609.

Tab. 14. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 L, \varnothing 26,9 mm.

Materiál TP 316 L - kontrolovaný \varnothing 26,9 mm, tolerance \pm 0,5 mm			
1		2	
vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2	vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2
26,81	27,31	26,55	26,49
26,44	27,22	26,84	26,84
27,13	26,58	26,97	26,91
27,35	26,94	27,29	27,04
27,05	27,14	26,84	27,36
26,98	27,39	26,45	27,16
26,74	27,31	26,53	26,55
26,99	27,2	27,13	27,1
27,16	26,42	27,4	27,31
27,09	27,28	27,32	26,88
3		4	
vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2	vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2
27,3	27,24	26,46	26,77
27,12	26,54	27	27,16
26,41	26,81	27,15	27,04
26,98	26,73	27,34	26,97
26,8	27,39	26,9	27,14
27,37	27,16	26,56	26,99
27,26	26,83	27,4	27,09
27,04	26,81	27,12	26,81
26,77	26,45	27,03	27,22
26,62	26,81	26,45	26,37



Obr. 34. Měření kruhovitosti materiálu 316 L.

Materiál 316 L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2 mm

Kolena vyhovují na zkoušku kruhovitosti dle normy DIN 2609. Při kontrole bylo naměřeno pár hraničních hodnot, které ovšem stále leží v toleranci.

Tab. 15. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 L, ø 42,4 mm.

Materiál TP 316 L - kontrolovaný ø 42,4 mm, tolerance ± 0,5 mm			
1		2	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
42,77	42,38	42,23	42,55
42,34	42,57	42,01	41,90
42,65	42,71	42,90	42,57
42,08	42,85	42,26	42,44
42,70	42,61	42,49	42,76
42,35	42,41	42,90	42,37
42,24	42,76	42,81	42,46
42,39	42,41	41,33	42,39
42,54	42,88	42,63	42,28
42,87	42,74	42,37	42,77
3		4	
vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2	vnější ø (mm) 1	vnější ø (mm) 2
42,34	42,67	42,90	42,58
42,29	42,35	42,37	42,83
42,06	42,31	42,55	42,35
42,77	42,22	42,81	42,31
42,39	42,90	42,39	41,90
42,65	42,55	42,58	42,45
42,48	42,38	42,60	42,62
42,38	42,45	42,33	42,30
42,71	42,87	42,66	42,87
42,66	42,30	42,73	42,28



Obr. 35. Měření kruhovitosti materiálu 316 L.

Materiál 316 Ti, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2,6 mm

Kolena u materiálu 316 Ti o \varnothing 42,4 mm vyhovují na zkoušku kruhovitosti dle normy DIN 2609.

Tab. 16. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 Ti, \varnothing 42,4 mm.

Materiál TP 316 Ti - kontrolovaný \varnothing 42,4 mm, tolerance $\pm 0,5$ mm			
1		2	
vnitřní \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2	vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2
42,38	42,74	42,36	42,87
42,64	42,39	42,34	42,20
42,31	42,66	42,80	42,43
42,47	42,80	42,67	42,49
42,86	42,23	42,36	42,82
42,30	42,37	42,55	42,64
42,29	42,31	42,74	42,31
42,38	42,55	42,38	42,88
42,67	42,90	42,55	42,67
42,89	42,60	41,90	42,51
3		4	
vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2	vnější \varnothing (mm) 1	vnější \varnothing (mm) 2
42,23	42,60	42,37	42,55
42,51	42,90	42,81	42,51
42,36	42,37	42,69	42,37
42,87	42,64	42,65	42,60
42,89	42,80	42,55	42,41
42,36	42,31	42,46	42,88
42,74	42,55	42,30	42,90
42,30	42,74	42,26	42,37
42,28	42,30	41,90	42,76
42,33	42,48	42,71	42,30



Obr. 36. Měření kruhovitosti materiálu 316 Ti.

Výsledek měření

Při kontrole kruhovitosti ohýbaných kolen jsme nenaměřili žádné odchylky od předepsané tolerance. Můžeme prohlásit, že výrobky vyhovují a splňují tedy předepsanou normu.

9.3 Měření výšky ohýbaných kolen

Tato zkouška se měřila za pomoci analogového výškoměru.

Princip zkoušky: koleno se postaví jednou hranou na rovnou podložku. V tomto případě jako rovná podložka sloužilo dno kalibrovaného měřicího koutu, o kterém se budeme ještě zmiňovat v kapitole Zkouška úhlu ohýbaných kolen. Analogovým výškoměrem jsme desetkrát změřili výšku kolene v jeho nejvyšším bodě. Pro každý materiál jsme kontrolovali čtyři kolena.

Jestliže jsou hodnoty v předepsané toleranci, koleno vyhovuje a je v pořádku.

Kontrolované materiály byly **304 L**, **316 L**, **316 Ti**.

Tab. 17. Kontrolované výšky a jejich tolerance.

Kontrolované materiály								
304 L			316 L			316 Ti		
Průměr (mm)	Výška (mm)	Tolerance (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Tolerance (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Tolerance (mm)
ø 26,9	41,4	± 2 mm	ø 26,9	41,4	± 2 mm	ø 42,6	68,2	± 2 mm
ø 42,4	68,2	± 2 mm	ø 42,6	68,2	± 2 mm			
ø 60,3	106,1	± 2 mm						

9.3.1 Výsledky měření výšky kolen

Materiál 304 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

U \varnothing 26,9 mm je povolená výška 41,4 mm s tolerancí ± 2 mm. Z tabulky můžeme pozorovat, že se naměřené hodnoty výšky kolen pohybují kolem střední hodnoty tolerance. Kole-
na vyhovují předepsané toleranci.

Tab. 18. Naměřené výšky u materiálu 304 L, Ø 26,9 mm.

Materiál TP 304 L \varnothing 26,9 mm, kontrolovaná výška 41,4 mm, tolerance ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
41,8	41,8	42,1	41,3
41,9	41,8	42,1	41,3
41,8	41,7	42	41,2
41,9	41,8	41,9	41,2
41,8	41,7	42,1	41,3
41,8	41,8	41,9	41,5
41,8	41,6	41,8	41,5
41,9	41,7	41,9	41,4
41,9	41,8	41,9	41,4
41,9	41,8	41,8	41,5



Obr. 37. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304 L.

Materiál 304 L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2,6 mm

U \varnothing 42,4 mm je povolená výška 68,2 mm s tolerancí ± 2 mm. Z tabulky můžeme pozorovat, že největší naměřená odchylka byla naměřena 69,1 mm. Tato výška se stále pohybuje v přeepsané toleranci a můžeme prohlásit, že nám kolena vyhovují.

Tab. 19. Naměřené výšky u materiálu 304 L, Ø 42,4 mm.

Materiál TP 304 L \varnothing 42,4 mm, kontrolovaná výška 68,2 mm, tolerance ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
68,6	67,9	68,4	68,9
68,7	68	68,4	69,1
68,6	68,1	68,3	68,8
68,7	68,1	68,2	68,9
68,7	68,1	68,4	69,1
68,7	67,9	68,4	68,9
68,6	67,9	68,3	68,9
68,7	67,9	68,4	68,8
68,8	68	68,4	68,9
68,6	67,9	68,5	68,9



Obr. 38 Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304L

Materiál 304 L, Ø 60,3 mm, tloušťka stěny 2 mm

Povolená výška u kolen s \varnothing 60,3 mm je 106,1 mm s tolerancí ± 2 mm. Naměřené hodnoty se v tomto intervalu leží a kolena nám tudíž vyhovují.

Tab. 20. Naměřené výšky u materiálu 304 L, Ø 60,3 mm.

Materiál TP 304 L Ø 60,3, kontrolovaná výška 106,1 mm, tolerance ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
106,4	105,7	105,9	106,9
106,4	105,8	105,9	106,9
106,4	105,5	105,8	106,9
106,5	105,4	106	106,8
106,5	105,5	105,9	107,1
106,4	105,5	106,1	107
106,6	105,6	105,9	106,9
106,5	105,5	105,9	106,9
106,6	105,5	106	106,9
106,5	105,6	106	107



Obr. 39. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304 L.

Materiál 316 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

U \varnothing 26,9 mm je povolena výška 41,4 mm s tolerancí ± 2 mm. Z tabulky můžeme pozorovat, že se naměřené hodnoty výšky kolen pohybují kolem střední hodnoty tolerance. Koleny jsou tedy vyrobeny dle předepsané normy.

Tab. 21. Naměřené výšky u materiálu 316 L, Ø 26,9 mm.

Materiál TP 316 L \varnothing 26,9 mm, kontrolovaná výška 41,4 mm, tolerance ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
41,6	41,2	41,5	42,1
41,6	41,3	41,5	42,1
41,5	41,3	41,6	42,2
41,7	41,3	41,6	42,2
41,6	41,2	41,6	42,1
41,6	41,3	41,4	42,2
41,6	41,3	41,5	42,1
41,5	41,2	41,6	42,1
41,7	41,3	41,5	42,1
41,6	41,3	41,6	42,2



Obr. 40. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 L.

Materiál 316 L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2 mm

U \varnothing 42,4 mm je povolená výška 68,2 mm s tolerancí ± 2 mm. Z tabulky můžeme pozorovat, že se výšky dvou měřených kolen pohybovaly kolem střední hodnoty a zbylá dvě kolena byla naměřena s odchylkou přes 1 mm. Stále se však tyto hodnoty pohybují v předepsané toleranci. Kolena nám vyhovují a jsou v pořádku dle předepsané normy.

Tab. 22. Naměřené výšky u materiálu 316 L, Ø 42,4 mm.

Materiál TP 316 L \varnothing 42,4 mm, kontrolovaná výška 68,2 mm, ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
68,3	69,4	69,2	68,2
68,3	69,4	69,1	68,2
68,5	69,4	69,1	68,1
68,5	69,5	69,2	68,2
68,3	69,4	69,4	68,3
68,3	69,4	69,2	68,1
68,4	69,4	69,2	68,2
68,5	69,5	69,2	68,3
68,5	69,7	69,4	68,3
68,5	69,5	69,4	68,3



Obr. 41. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 L.

Materiál 316 Ti, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2,6 mm

U \varnothing 42,4 mm je povolena výška 68,2 mm s tolerancí ± 2 mm. Největší naměřené odchylna od střední výšky je 68,9 mm. Kolena nám vyhovují a jsou v pořádku dle předepsané normy.

Tab. 23. Naměřené výšky u materiálu 316L, Ø 42,4 mm.

Materiál TP 316 Ti \varnothing 42,4 mm, kontrolovaná výška 61,8 mm, tolerance ± 2 mm			
1	2	3	4
h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
68,5	68,9	68,8	67,9
68,4	68,8	68,7	68,1
68,5	68,8	68,7	68
68,5	68,8	68,7	68
68,5	68,9	68,8	68
68,4	68,8	68,8	68,1
68,3	68,8	68,7	67,9
68,5	68,8	68,7	67,9
68,5	68,9	68,5	67,9
68,3	68,7	68,8	67,9



Obr. 42. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 Ti.

Výsledek měření

Při kontrole výšky ohýbaných kolen jsme nenaměřili žádné odchylky od předepsané tolerance. Můžeme prohlásit, že výrobky vyhovují a splňují tedy předepsanou normu.

9.4 Zkouška úhlu ohýbaných kolen

Kontrola úhlu probíhá ve speciálním měřicím koutě, který je kalibrovaný.

Princip zkoušky: Podložka a stěny koutu jsou na sebe dokonale kolmé. Koleno poté stačí pouze položit na podložku a druhou stranou opřít o stěnu koutu. Výsledný úhel se kontroluje speciálními kalibrovanými spároměrkami, které vsouváme do vzniklé mezírky mezi kolenem a stěnou měřicího koutu. Tloušťka spároměrek se pohybuje od 0,05 mm po 1 mm.

Pokud je výsledná mezera v toleranci podle normy DIN 2609, úhel kolene vyhovuje a koleno je v pořádku.

Pro každé koleno jsme kontrolovali obě jeho strany.

Tab. 24. Měření úhlu dle normy DIN 2609.

	Rozměr
Pravidlo provedení	1 % z referenčního rozměru
Zvláštní dohoda	0,5 % z referenčního rozměru

Kontrolované materiály byly **304 L**, **316 L**, **316 Ti**.

Tab. 25. Kontrolované průměry a dovolené šířky spároměrek

Kontrolované materiály								
304 L			316 L			316 Ti		
Průměr	Spároměrka		Průměr	Spároměrka		Průměr	Spároměrka	
(mm)	Min (mm)	Max (mm)	(mm)	Min (mm)	Max (mm)	(mm)	Min (mm)	Max (mm)
∅ 26,9	0,05	0,3	∅ 26,9	0,05	0,3	∅ 42,4	0,05	0,4
∅ 42,4	0,05	0,45	∅ 42,4	0,05	0,4			
∅ 60,3	0,05	0,6						

Poznámka: V tabulce máme označení max šířka spároměrky. Tato hodnota označuje maximální dovolenou šířku spároměrky, která se nám může vlézt do mezery mezi kolenem a stěnou měřicího koutu.

9.4.1 Výsledky měření úhlu kolen

Materiál 304 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

U kolene číslo 3 bylo použito nejvíce spároměrek (nejširší z nich byla 0,3 mm). Je to také největší dovolená hodnota u tohoto průměru. U všech kolen nám tedy měřené úhly vyhovují a kolena jsou vyrobena dle předepsané normy.;

Tab. 26. Kontrola úhlu pro ø 26,9 mm materiálu 304 L.

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016	
Materiál	TP 316 L		Použité nástroje	Spároměrky 0,05 - 0,3 mm	
Rozměr	ø 26,9 x 2 mm			Měřící kout	
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ne	Vyhovuje	0,2	Ano	Vyhovuje
			0,25	Ne	Vyhovuje
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ne	Vyhovuje	0,2	Ne	Vyhovuje
Koleno 3 strana 1			Koleno 3 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ano	Vyhovuje	0,2	Ne	Vyhovuje
0,25	Ano	Vyhovuje			
0,3	Ne	Vyhovuje			
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ano	Vyhovuje	0,2	Ano	Vyhovuje
0,25	Ano	Vyhovuje	0,25	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje



Obr. 43. Měření úhlu kolene u materiálu 304 L.

Materiál 304 L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2,6 mm

Při kontrole úhlů u kolen o \varnothing 42,4 mm jsme použili nejširší spároměrku o tloušťce 0,45 mm. Nejtenčí naopak 0,3 mm. Všechna kolena mají úhly podle předepsané normy a vyhovují.

Tab. 27. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 304 L.

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016		
Materiál	TP 304 L		Použité nástroje	Spároměrky 0,1 - 0,45 mm		
Rozměr	\varnothing 42,4 mm			Měřicí kout		
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2			
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje	
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje	
0,4	Ne	Vyhovuje	0,4	Ne	Vyhovuje	
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2			
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje	
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje	
0,4	Ano	Vyhovuje				
0,45	Ne	Vyhovuje				
Koleno 3 strana 1			Koleno 3 strana 2			
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje	
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje	
0,4	Ne	Vyhovuje	0,4	Ne	Vyhovuje	
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2			
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje	
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje	



Obr. 44. Měření úhlu kolene u materiálu 304 L.

Materiál 304 L, Ø 60,3 mm, tloušťka stěny 2 mm

U kontroly úhlů u kolen o \varnothing 60,3 mm byly použity nejširší spároměrky o šířce 0,55 mm. Na druhé straně nejtenčí spároměrka by 0,3 mm. Všechna kontrolovaná kolena mají kontrolované úhly v pořádku a jsou vyrobena dle předepsané normy.

Tab. 28. Kontrola úhlu pro \varnothing 60,3 mm materiálu 304 L.

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016	
Materiál	TP 304 L		Použité nástroje	Spároměrky 0,1 - 0,55 mm	
Rozměr	\varnothing 60,3 mm			Měřicí kout	
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
			0,5	Ne	Vyhovuje
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje
0,5	Ne	Vyhovuje			
Koleno 3 strana 1			Koleno 3 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
0,5	Ne	Vyhovuje	0,5	Ano	Vyhovuje
			0,55	Ne	Vyhovuje
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
0,5	Ano	Vyhovuje	0,5	Ne	Vyhovuje
0,55	Ne	Vyhovuje			



Obr. 45. Měření úhlu kolene u materiálu 304L.

Materiál 316 L, Ø 26,9 mm, tloušťka stěny 2 mm

Nejširší použitá spároměrka u kontroly úhlů kolen o \varnothing 26,9 mm byla 0,3 mm. Nejtenčí naopak 0,2 mm. Kolena jsou tedy vyrobena správně a dle normy DIN 2609 nám vyhovují.

Tab. 29. Kontrola úhlu pro \varnothing 26,9 mm materiálu 316 L

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016	
Materiál	TP 316 L		Použité nástroje	Spároměrky 0,05 - 0,3 mm	
Rozměr	Ø 26,9 x 2 mm			Měřicí kout	
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ne	Vyhovuje	0,2	Ano	Vyhovuje
			0,25	Ne	Vyhovuje
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ne	Vyhovuje	0,2	Ne	Vyhovuje
Koleno 3 strana 1			Koleno 3 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ano	Vyhovuje	0,2	Ne	Vyhovuje
0,25	Ano	Vyhovuje			
0,3	Ne	Vyhovuje			
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,05	Ano	Vyhovuje	0,05	Ano	Vyhovuje
0,2	Ano	Vyhovuje	0,2	Ano	Vyhovuje
0,25	Ano	Vyhovuje	0,25	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje



Obr. 46. Měření úhlu kolene u materiálu 316 L.

Materiál 316 L, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2 mm

Z tabulky číslo 34 můžeme pozorovat, že všechna kontrolovaná kolena mají úhly v pořádku a vyhovují dle normy DIN 2609.

Tab. 30. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 316 L

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016	
Materiál	TP 316 L		Použité nástroje	Spároměrky 0,1 - 0,45 mm	
Rozměr	\varnothing 42,4 mm			Měřicí kout	
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
0,4	Ne	Vyhovuje			
Koleno 3 strana 2			Koleno 3 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
			0,4	Ano	Vyhovuje
			0,45	Ne	Vyhovuje
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ne	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
			0,3	Ano	Vyhovuje



Obr. 47. Měření úhlu kolene u materiálu 316 L.

Materiál 316 Ti, Ø 42,4 mm, tloušťka stěny 2 mm

Při kontrole úhlů u kolen o \varnothing 42,4 mm jsme použili nejširší spároměrku o tloušťce 0,45 mm. Nejtenčí naopak 0,3 mm. Všechna kolena mají úhly podle předepsané normy a vyhovují.

Tab. 31. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 316 Ti.

Norma	DIN 2609		Datum zkoušky	20.04.2016	
Materiál	TP 316 Ti		Použité nástroje	Spároměrky 0,1 - 0,45 mm	
Rozměr	\varnothing 42,4 mm			Měřící kout	
Koleno 1 strana 1			Koleno 1 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
0,4	Ne	Vyhovuje	0,4	Ne	Vyhovuje
Koleno 2 strana 1			Koleno 2 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ano	Vyhovuje
			0,4	Ne	Vyhovuje
Koleno 3 strana 1			Koleno 3 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ne	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje
Koleno 4 strana 1			Koleno 4 strana 2		
Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje	Šířka spároměry	Vlezla se	Vyhovuje /nevyhovuje
0,1	Ano	Vyhovuje	0,1	Ano	Vyhovuje
0,3	Ano	Vyhovuje	0,3	Ne	Vyhovuje
0,4	Ano	Vyhovuje			
0,45	Ne	Vyhovuje			



Obr. 48. Měření úhlu kolene u materiálu 316 Ti.

Výsledek měření

Při kontrole úhlu ohýbaných kolen jsme nenaměřili žádné odchylky od předepsané tolerance. Můžeme prohlásit, že výrobky vyhovují a splňují tedy předepsanou normu.

ZÁVĚR

Cílem této práce byl popis výroby a kontrola nerezových kolen dle způsobu jakým se při výrobě ve firmě XY postupuje.

Hodnoty u **zkoušky chemického složení**, které jsme prováděli vždy na čtyřech trubkách daného materiálu, nám vyšly v souladu s garantovaným složením jednotlivých prvků od dodavatele. Odchytky složení byli minimální a kolena touto zkouškou prošla. Při **zkoušce kruhovitosti** se kolena kontrolovala dle normy DIN 2609. Kontrolovaná byly vždy čtyři kolena. Všechny měřené rozměry se pohybovaly v předepsané toleranci $\pm 0,5$ mm a nevyšly se zde žádné odchytky. Dále jsme kontrolovali **výšku ohýbaných kolen**. Tato zkouška se prováděla pomocí analogového výškoměru. Měřené byly pokaždé čtyři výrobky 10x s předepsanou rozměrovou tolerancí ± 2 mm. V závěrečné zkoušce jsme kontrolovali **úhel kolen** dle normy DIN 2609. Tato kontrola se prováděla za pomoci spároměrek a měřicího koutu.

Kontrolovaná kolena prošla všemi zkouškami, kterými byly podrobeny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [3] PLUHAŘ, Jaroslav a Josef KORITTA. Strojírenské materiály. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury
- [2] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. Strojírenská příručka. Praha: Scientia, 1993. ISBN 80-85827-23-9.
- [3] DILLINGER, Josef. Moderní strojírnoství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [4] HLUCHÝ, Miroslav a Josef BENEŠ. Strojárska technológia pre SPŠ nestrojnicke. Bratislava: Alfa, 1983. Edícia strojárskej literatúry (Alfa).
- [5] Kotouč J. Nástroje pro tváření za studena. Přepracované vyd. Praha: ČVUT 1975 158s 55-475-75
- [6] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [7] Doc. Ing. DVOŘÁK, Milan, CSc. a kolektiv. Technologie II Brno : CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [8] Doc. Ing. DVOŘÁK, Milan, CSc. a Ing. Michaela MAREČKOVÁ: Technologie tváření. Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K.
- [9] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [10] MACHÁČEK, Zdeněk; NOVOTNÝ, Karel. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1986. 168 s.
- [17] RUČNÍ RENTGENOVÝ ANALYZÁTOR ALPHA [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupný z http://www.spektrometry.cz/analyzatory/rucni_analyzator_alpha_kovy.php

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ρ_1	Hustota	[kg/m ³]
m	Hmotnost	[kg]
V	Objem	[m ³]
ϑ	Teplota tání a tuhnutí materiálu	[°C]
ρ_1	Hustota	[kg/m ³]
m	Hmotnost	[kg]
V	Objem	[m ³]
ϑ	Teplota tání a tuhnutí materiálu	[°C]
α_l	Teplotní součinitel délkové roztažnosti	[K ⁻¹]
α_v	Teplotní součinitel objemové roztažnosti	[K ⁻¹]
λ	Tepelná vodivost	[W.m ⁻¹ . K ⁻¹]
Q	Teplo	[J]
G	Elektrická vodivost	[S]
ρ_2	Měrný odpor	[Ω.m]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
Ro	Poloměr ohybu	[mm]
ρ_3	Neutrální osa	[-]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
l_o	Délka polotovaru	[mm]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
R _{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R _{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
ε_c	Mezní prodloužení	[-]
E	Modul pružnosti materiálu	[MPa]

F_{0V}	Síla při ohýbání do V	[N]
A_{0V}	Práce při ohýbání do V	[J]
ρ_4	Poloměr zaoblení středního vlákna	[mm]
L	Vzdálenost mezi podporami	[mm]
b	Šířka plechu	[mm]
F_{0U}	Síla při ohýbání do U	[N]
A_{0U}	Práce při ohýbání do U	[J]
Z	Potřebný zdvih	[mm]
μ	Součinitel tření	[-]
β	Úhel odpružení	[°]
l_m	Rameno ohybu	[mm]
l	Vzdálenost ohýbacích součástí	[mm]
k	Součinitel určující polohu neutrální osy	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vysoká pec. [3].....</i>	12
<i>Obr. 2. Schéma kyslíkového konvertoru. [3]</i>	14
<i>Obr. 3. Elektrická oblouková pec. [3]</i>	15
<i>Obr. 4. Schéma číselného značení ocelí. [2]</i>	15
<i>Obr. 5. Základní druhy namáhání. [4]</i>	23
<i>Obr. 6. Zápustkové kování. [10].</i>	25
<i>Obr. 7. Fáze stříhání. [6].....</i>	26
<i>Obr. 8. Princip tažení. [9]</i>	27
<i>Obr. 9. Napětí v ohýbaném průřezu. [7].....</i>	28
<i>Obr. 10. Ohýbání do tvaru V. [9]</i>	30
<i>Obr. 11. Ohýbání do tvaru U. [8].....</i>	31
<i>Obr. 12. Odpružení při ohybu V a U. [7], [8]</i>	31
<i>Obr. 13. Příjem materiálu.....</i>	36
<i>Obr. 14. Nařezání trubek na požadovanou délku.</i>	37
<i>Obr. 15. Tvar výrobku po řezné operaci.....</i>	37
<i>Obr. 16. Forma stroje před uzavřením.</i>	38
<i>Obr. 17. „Zdeformované“ koleno po prvním protlačení.</i>	39
<i>Obr. 18. Tvar kolene po prvním ohýbání.....</i>	39
<i>Obr. 19. Otevřená forma stroje po druhém ohýbání.</i>	40
<i>Obr. 20. Tvar kolene po druhém ohýbání.....</i>	40
<i>Obr. 21. Frézování konců kolene.....</i>	41
<i>Obr. 22. Srovnání kolen po frézovací operaci.</i>	42
<i>Obr. 23. Omýláni.</i>	42
<i>Obr. 24. Povrch kolen po omýláni.....</i>	43
<i>Obr. 25. Potisk kolen.....</i>	43
<i>Obr. 26. Chemický spektrometr ALPHA S/N 10751. [11].....</i>	44
<i>Obr. 27. Ukázka měření chemického složení materiálu 304 L.....</i>	45
<i>Obr. 28. Ukázka měření chemického složení materiálu 316 L.....</i>	46
<i>Obr. 29. Ukázka měření chemického složení materiálu 316 Ti.....</i>	47
<i>Obr. 30. Tolerance kruhovitosti.....</i>	49
<i>Obr. 31. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.....</i>	50
<i>Obr. 32. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.....</i>	51

<i>Obr. 33. Měření kruhovitosti materiálu 304 L.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 34. Měření kruhovitosti materiálu 316 L.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 35. Měření kruhovitosti materiálu 316 L.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 36. Měření kruhovitosti materiálu 316 Ti.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 37. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304 L.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 38 Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304L.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 39. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 304 L.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 40. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 L.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 41. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 L.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 42. Ukázka měření výšky kolen u materiálu 316 Ti.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 43. Měření úhlu kolene u materiálu 304 L.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 44. Měření úhlu kolene u materiálu 304 L.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 45. Měření úhlu kolene u materiálu 304L.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 46. Měření úhlu kolene u materiálu 316 L.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 47. Měření úhlu kolene u materiálu 316 L.</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 48. Měření úhlu kolene u materiálu 316 Ti.</i>	<i>75</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení ocelí. [3].....</i>	16
<i>Tab. 2. Význam první doplňkové číslice. [3]</i>	16
<i>Tab. 3. Význam druhé doplňkové číslice. [3]</i>	17
<i>Tab. 4. Význam číslic ve značce ocelí třídy 17. [3]</i>	19
<i>Tab. 5. Číselné značení ocelí na odlitky a význam číslic ve značce ocelí. [3].....</i>	20
<i>Tab. 6. Význam doplňkových číslic za základní značkou ocelí. [3].....</i>	20
<i>Tab. 7 Výsledky chemického složení materiálu 304L</i>	45
<i>Tab. 8. Výsledky chemického složení materiálu 316 Ti.</i>	47
<i>Tab. 9. Tolerance kruhovitosti dle normy DIN 2609.</i>	48
<i>Tab. 10. Kontrolované průměry a jejich tolerance kruhovitosti.....</i>	49
<i>Tab. 11. Naměřená kruhovitost u materiálu 304 L, \varnothing 26,9 mm.</i>	50
<i>Tab. 12. Naměřená kruhovitost u materiálu 304 L, \varnothing 42,4 mm.</i>	51
<i>Tab. 13. Naměřená kruhovitost u materiálu 304L, \varnothing 60,3 mm.</i>	52
<i>Tab. 14. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 L, \varnothing 26,9 mm.</i>	53
<i>Tab. 15. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 L, \varnothing 42,4 mm.</i>	54
<i>Tab. 16. Naměřená kruhovitost u materiálu 316 Ti, \varnothing 42,4 mm.</i>	55
<i>Tab. 17. Kontrolované výšky a jejich tolerance.....</i>	56
<i>Tab. 18. Naměřené výšky u materiálu 304 L, \varnothing 26,9 mm.....</i>	57
<i>Tab. 19. Naměřené výšky u materiálu 304 L, \varnothing 42,4 mm.....</i>	58
<i>Tab. 20. Naměřené výšky u materiálu 304 L, \varnothing 60,3 mm.....</i>	59
<i>Tab. 21. Naměřené výšky u materiálu 316 L, \varnothing 26,9 mm.....</i>	60
<i>Tab. 22. Naměřené výšky u materiálu 316 L, \varnothing 42,4 mm.....</i>	61
<i>Tab. 23. Naměřené výšky u materiálu 316L, \varnothing 42,4 mm.....</i>	62
<i>Tab. 24. Měření úhlu dle normy DIN 2609.....</i>	63
<i>Tab. 25 Kontrolované průměry a dovolené šířky spároměrek.....</i>	63
<i>Tab. 26. Kontrola úhlu pro \varnothing 26,9 mm materiálu 304 L.....</i>	64
<i>Tab. 27. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 304 L.....</i>	66
<i>Tab. 28. Kontrola úhlu pro \varnothing 60,3 mm materiálu 304 L.....</i>	68
<i>Tab. 29. Kontrola úhlu pro \varnothing 26,9 mm materiálu 316 L.....</i>	70
<i>Tab. 30. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 316 L.....</i>	72
<i>Tab. 31. Kontrola úhlu pro \varnothing 42,4 mm materiálu 316 Ti.</i>	74

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Příklad použití nerezových kolen

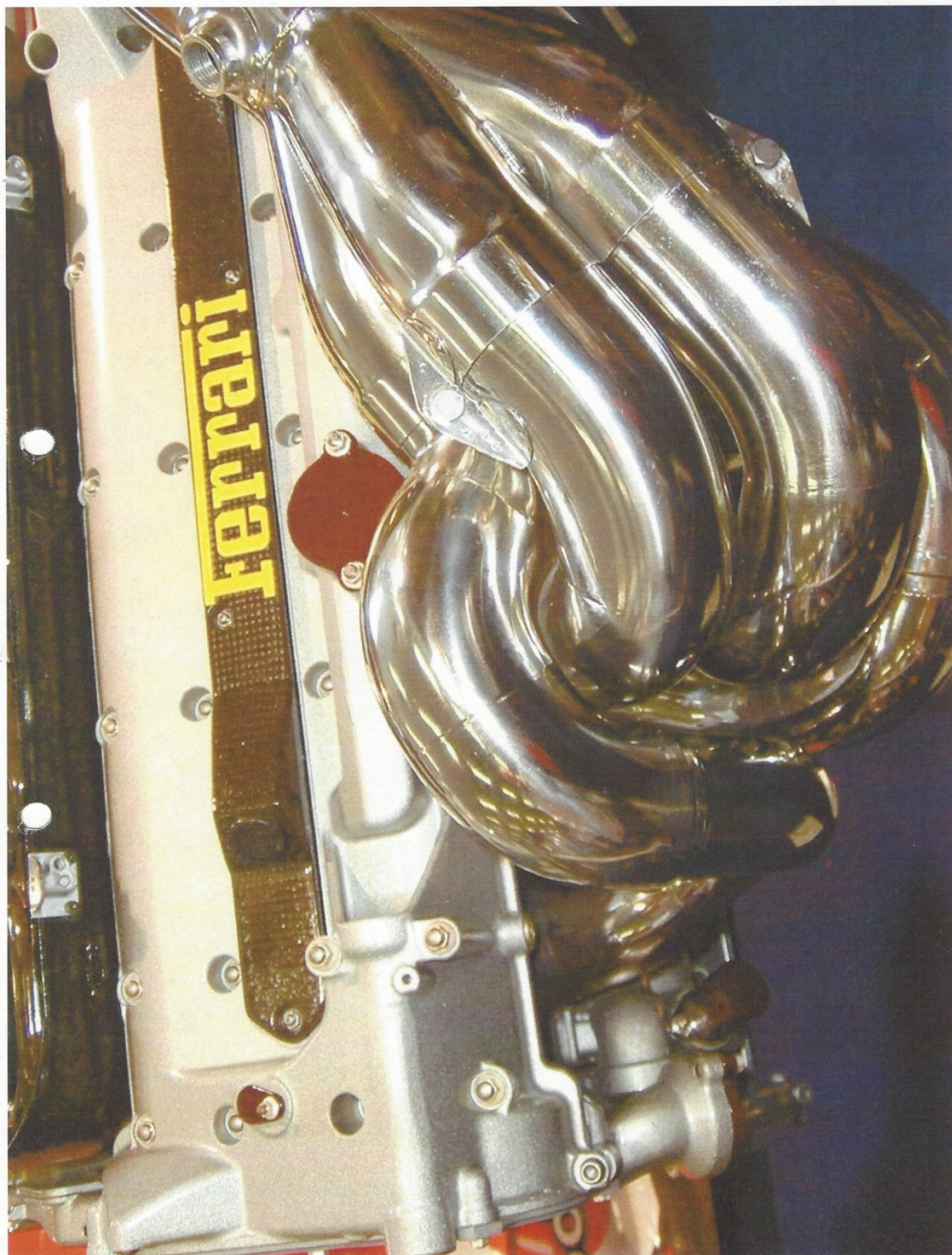
Příloha PII Nerezová kolena jako součást motoru

Příloha PIII Nerezová kolena jako součást motoru

PŘÍLOHA P I: PŘÍKLAD POUŽITÍ NEREZOVÝCH KOLEN



PŘÍLOHA PII NEREZOVÁ KOLENA JAKO SOUČÁST MOTORU



PŘÍLOHA PIII NEREZOVÁ KOLENA V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU

