



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH KONSTRUKCE A VÝROBY ZAKRUŽOVAČKY

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A ROLLING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Salajka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Josef Salajka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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

Návrh konstrukce a výroby zakružovačky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretický rozbor ohýbání profilů, návrh a konstrukce vlastního zařízení pro ohýbání profilů.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnocení problematiky ohýbání profilů.
- Analýza existujících řešení.
- Návrh vlastního konceptu na základě existujících zařízení.
- Zhotovení 3D modelu, výkresové dokumentace a technologických postupů.
- Zhotovení prototypu.
- Testy funkčnosti, zhodnocení prototypu.
- Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, P., BRANEJS, J. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, 2005. 202 s. ISBN 80-7204-212-2.

PRVNÍ HANÁCKÁ BOW: Zakružovačky profilů a trubek [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. První hanácká BOW. Dostupné z WWW: <http://www.bow.cz/produkt/1080000-zakruzovacka-profilu-model-080>

FERMATMACHINERY: Zakružovačky profilů [online]. 2008 [cit.2010-05-10]. Fermatmachinery. Dostupné z WWW: <http://www.fermatmachinery.com/cs/16-zakruzovacky-profilu/82-pk-30-fs.html>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat stroj na zakružování profilů, který bude následně využíván v domácí dílně. V práci samotné je rozebrána problematika tváření profilů ve strojírenské výrobě. Konkrétně popis zakružování, jeho dělení a stroje používané v běžné praxi. Dále seznámení se zakružovačkami na trhu a jejich výrobci. Podle existujících zařízení, nalezených v katalogích, byl navrhnout vlastní koncept, pro který byl zhotoven 3D model a výkresová dokumentace, která je přiložena. Prototyp konceptu byl vyroben. V práci je názorně popsána funkčnost navrženého zařízení spolu se samotnou ukázkou. Na závěr byla celá bakalářská práce zhodnocena z technicko – ekonomického hlediska.

Klíčová slova

Zakružovačka, zakružování, tváření, tváření profilů, ocelový profil

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to design and construct a machine for bending profiles, which will be then used in home workshop. The work itself discusses the issue of profile forming in mechanical engineering. Specifically a description of bending, its division and machines commonly used. Furthermore acquaintance with rollinch machines on the market and their manufacturers. According to existing solution found in the catalogs, a custom concept was designed, for which a 3D model and mechanical drawing were made. A prototype of concept was made. The work describes the functionality of the designed machine alongside its demonstration. In the end, the whole bachelor thesis was evaluated from technical and economic point of view.

Key words

Bending machine, bending, forming processes, profile bending, steel profile

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SALAJKA, Josef. *Návrh konstrukce a výroby zakružovačky* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139833>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaromír Dvořák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma NÁVRH KONSTRUKCE A VÝROBY ZAKRUŽOVÁČKY vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Josef Salajka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaromírovi Dvořákovi, Ph.D. za připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále Petrovi Košutkovi a Leošovi Trnovcovi, kteří se podíleli na výrobě zakružovačky. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Salajkovi za jeho pomoc a při psaní mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE ZAKRUŽOVÁNÍ.....	10
1.1 Dělení zakružování dle počtu válců	12
1.2 Dělení zakružování dle pohonu stroje	13
1.2.1 Zakružovačky s ručním pohonem.....	13
1.2.2 Zakružovačky s elektrickým pohonem.....	15
1.2.3 Zakružovačky s hydraulickým pohonem.....	15
2 ZAKRUŽOVAČKY DOSTUPNÉ NA TRHU	16
2.1 První Hanácká BOW	16
2.2 Formetal.....	17
2.3 Jesan kovo s.r.o.	18
2.4 Boukal s.r.o.....	19
3 NÁVRH VLASTNÍHO KONCEPTU STROJE	20
3.1 Konstrukce stroje.....	20
3.2 Tvarové válce	28
3.3 Pohon zakružovačky.....	30
3.4 Rozvody.....	32
3.5 Konstrukční výpočty	34
3.5.1 Výpočet modulu průřezu	34
3.5.2 Výpočet sil na válcích.....	34
3.5.3 Výpočet momentu.....	35
3.5.4 Výpočet rozvodů.....	35
3.5.5 Výpočet výkonu.....	37
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	38
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

ÚVOD

Ve strojní praxi je tváření, spolu s obráběním, jeden z nejběžnějších druhů změny tvaru součástí. Stroje k tomu určené jsou proto ve velké nabídce volně dostupné na trhu. Většina z nich se však svými rozměry a cenou hodí spíše do velké výrobní haly než do domácí dílny. I z tohoto důvodu jsem si jako téma svojí práce zvolil návrh vlastního zařízení na zakružování profilů. Samotný nápad na zakružovačku se zrodil v zámečnické dílně nedaleko mého bydliště, ve které vznikla potřeba po stroji na zakružování profilů a trubek.

Při tváření profilů dochází k nedestruktivní změně tvaru tzn. u oceli musí být překročena mez kluzu. Dva hlavní způsoby tváření jsou tváření za tepla, při kterém dochází k ohřevu a tím pádem ke změně krystalické mřížky, a tváření za studena, které probíhá do teplot 600 °C. Dále můžeme mluvit o tváření plošném, při kterém nedochází ke změně průřezu, a tváření objemovém, při kterém je naopak průřez změněn.

Celá tato práce se bude zabývat zakružováním, tedy ohýbáním polotovaru do kruhovitěho profilu. Případně vytváření šroubovice určitého průměru. Půjde tedy o tváření plošné. Zakružování probíhá nejčastěji za studena, nicméně u plechů větší tloušťky může dojít k ohřevu nad 600 °C.

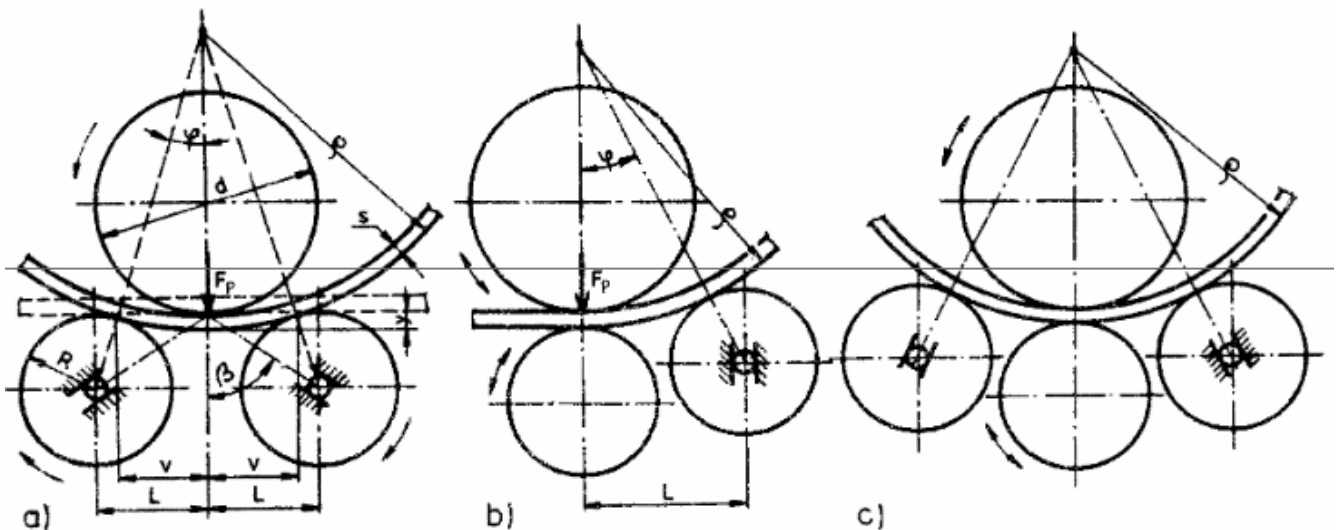
Ve své bakalářské práci se pokusím přiblížit problematiku tváření za studena s důrazem na zakružování. Dále jmenuji několik českých výrobců zakružovaček a podle existujících strojů navrhnu, nechám vyrobit a uvedu do provozu stroj vlastní. K samotnému návrhu přiložím CAD model a výkresovou dokumentaci nutnou k výrobě. Práce jako taková nebude obsahovat řešení lepší, než nabízí oficiální prodejci. Jde v ní o to ověřit si, zda lze podobný stroj, s určitými znalostmi a přístupem k technice, vyrobit v podobné kvalitě a za odpovídající cenu.

1 TECHNOLOGIE ZAKRUŽOVÁNÍ

Zakružování je technologie, při níž se z polotovaru získá válcová nebo kuželová součást. Může se například jednat o části potrubí ve vzduchotechnice, pláště tlakových nádob, ráfky automobilů nebo příruby z profilových tyčí. Děje se tak postupným a plynulým ohýbáním mezi hladkými tvarovými válci. Pro zakružování tyčového polotovaru je nutno využít profilovaných tvarových kotoučů namísto hladkých válců. Na zakružovačkách nemusí vznikat pouze součásti kruhové, ale také šroubovice nebo spirály, a to tak že je polotovar tlačěn i ve směru osy rotace válců [1, 2].

Na obrázku 1 je znázorněn základní princip zakružování, a to za použití:

- tříválcové symetrické zakružovačky
- tříválcové nesymetrické zakružovačky
- čtyřválcové symetrické zakružovačky



Obr. 1 Základní princip zakružování [3].

Požadovaného tvaru polotovaru lze dosáhnout postupným přestavováním válců. U tříválcové zakružovačky, se symetrickým uspořádáním, kde může být přestavován jak horní válec, tak válce spodní, vyplývá z geometrie [3]:

$$\rho = \frac{L^2 - y^2}{2 \cdot y} - R \quad (1.1)$$

- kde:
- | | | |
|--------|---|--|
| ρ | – | poloměr zakružování [mm], |
| L | – | vzdálenost os tvarových válců [mm], |
| y | – | ponoření horního válce mezi válce podpěrné [mm], |
| R | – | poloměr spodních válců [mm]. |

Zmíněné ponoření horního válce získáme ze vztahu [3]:

$$y = A - \sqrt{A^2 - L^2} \quad (1.2)$$

- kde: y – ponoření horního válce mezi válce podpěrné [mm],
 A – vzdálenost osy spod. válce od osy zakružování [mm],
 L – vzdálenost os tvarových válců [mm].

Pro který potřebujeme rovnici [3]:

$$A = R + \rho \quad (1.3)$$

- kde: A – vzdálenost osy spod. válce od osy zakružování [mm],
 R – poloměr spodních válců [mm],
 ρ – poloměr zakružování [mm].

Podobně jako u ohýbání je potřeba brát v úvahu pružně-plastickou deformaci, kvůli které je konečný poloměr nutno brát ze vztahu [3]:

$$\frac{1}{\rho_{pl}} = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{pruž}} \quad (1.4)$$

- kde: ρ_{pl} – konečný poloměr zakřivení [mm],
 ρ – poloměr zakružování [mm],
 $\rho_{pruž}$ – poloměr pružného zakřivení [mm].

Kde poloměr pružného zakřivení získáme ze vztahu [3]:

$$\rho_{pruž} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot R_e} \quad (1.5)$$

- kde: $\rho_{pruž}$ – poloměr pružného zakřivení [mm],
 E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa],
 s – tloušťka tvářené součásti [mm],
 R_e – napětí na mezi kluzu tvářeného materiálu [MPa].

Konečný poloměr zakřivení při uvažování přetvárného odporu materiálu [3]:

$$\rho_{kon} = \frac{\rho}{1 - \frac{3}{2+n} \frac{C}{E} \left(\frac{2 \cdot \rho}{s}\right)^{1-n}} \quad (1.6)$$

- kde: ρ_{kon} – konečný poloměr zakřivení [mm],
 ρ – poloměr zakružování [mm],
 s – tloušťka tvářené součásti [mm],
 n – konstanta materiálu [-],
 C – konstanta materiálu II [-],
 E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa].

Materiálové konstanty n a C se dají odvodit ze zkoušek při zjišťování přetvárného odporu materiálu. Jejich znalost je nutná také pro výpočet ohybového momentu [3]:

$$M = C \cdot \frac{b \cdot s^{2+n}}{(2+n) \cdot 2^{1+n} \cdot \rho^n} \quad (1.7)$$

kde:	M	–	ohybový moment [N·mm],
	C	–	konstanta materiálu II [-],
	b	–	šířka tvářené součásti [mm],
	s	–	tloušťka tvářené součásti [mm],
	n	–	konstanta materiálu [-],
	ρ	–	poloměr zakružování [mm].

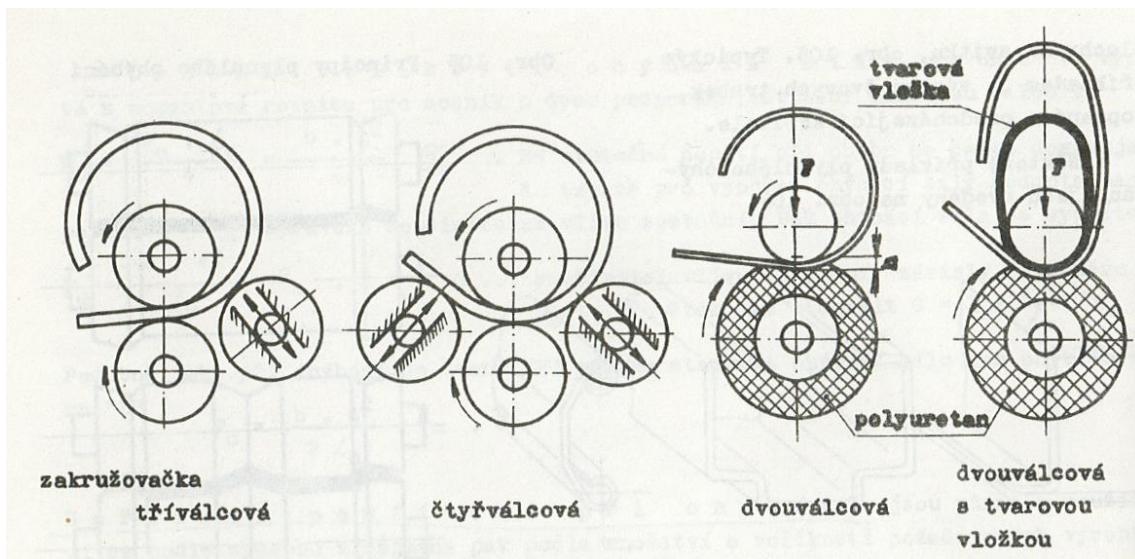
Přítlačná síla válce se potom zjistí ze vztahu [3]:

$$F = \frac{b \cdot s^{2+n}}{(2+n) \cdot L \cdot (2 \cdot \rho)^n} \quad (1.8)$$

kde:	F	–	přítlačná síla [N],
	b	–	šířka tvářené součásti [mm],
	s	–	tloušťka tvářené součásti [mm],
	n	–	konstanta materiálu [-],
	L	–	vzdálenost os tvarovacích válců [mm],
	ρ	–	poloměr zakružování [mm].

1.1 Dělení zakružování dle počtu válců

Dle vzájemného uspořádání tvarových válců se zakružovačky dají dělit na symetrické a nesymetrické. Dále pak podle počtu samotných válců na dvouválcové, tříválcové a víceválcové. Při použití tří válců nedochází k deformaci celé součásti, když se profil přestane dotýkat válce na konci operace. Tento problém lze řešit otočením součásti a opakovaným zakružováním. Při použití dvouválcového stroje je jeden z válců potažen plastickým materiálem. Může se jednat např. o polyuretan. Právě tento materiál umožní deformaci polotvaru přitlačením válce do pružného povrchu. Výhodou způsobu s pružným válcem je možnost zakružení na jednu operaci. U tříválcových a čtyřválcových strojů se běžně operace provádí na vícekrát. S pomocí tvarových vložek může na dvouválcové zakružovačce vyrobit i tvary jiné než kruhové, což je jinak proces velmi obtížný. Poloměr vzniklé součásti je dán vzdáleností jednotlivých válců od sebe. Na obrázku 2 je znázorněno použití různého počtu tvarových válců při zakružování [1, 2].



Obr. 2 Zobrazení použití různého počtu válců na zakružovačce [1].

1.2 Dělení zakružování dle pohonu stroje

1.2.1 Zakružovačky s ručním pohonem

Zakružovačky můžeme dělit podle pohonu který roztáčí tvarové válce. Nejjednodušší způsob je pohon ruční, kdy je hlavní hřídel spojen s pákou, se kterou točí sama obsluha stroje. Tento způsob je značně omezen silou, kterou je člověk schopen vyvinout. Je proto spíše určen pro plechy menších tloušťek a celkově součásti menších rozměrů. Výrobce nejčastěji uvádí trubky s průměrem do 30 mm. Průměru nebo tloušťce polotovaru musíme přizpůsobit poloměr na který budeme zakružovat. Na obrázku 4 jsou uvedeny příklady ohybů pro materiál ST 42, který odpovídá oceli 11 378 podle českého značení. [4].

Ruční zakružovačka profilů PRM 10 M, která je na obrázku 3, je v katalogu První hanácké BOW nabízena za 36 287 Kč. Stroj má litinovou konstrukci. Zároveň výrobce uvádí, že válce nejsou rýhované, takže nedojde k poškození polotovaru, ale může dojít k prokluzu. Tomuto faktu je nutné přizpůsobit výrobní postup [4].



Obr. 3 Ruční zakružovačka profilů PRM 10 M [4].

Profil	Rozměry	Min. poloměr	Profil	Rozměry	Min. poloměr
	10 × 10 mm 20 × 20 mm	160 mm 500 mm		30 × 10 mm 20 × 10 mm	500 mm 300 mm
	50 × 10 mm 30 × 10 mm	400 mm 300 mm		30 × 2 mm 20 × 2 mm	900 mm 600 mm
	38 × 20 × 2 mm 30 × 15 × 1,5 mm	1000 mm 600 mm		Ø 20 mm Ø 10 mm	500 mm 160 mm
	Ø 30 × 2 mm Ø 20 × 2 mm	800 mm 400 mm			

Obr. 4 Příklady ohybů pro PRM 10 M [4].

1.2.2 Zakružovačky s elektrickým pohonem

Další možnost pohonu zakružovačky je připojení k elektromotoru. Tento způsob je používán u malých a středně velkých zakružovacích strojů. Jeho největší výhodou je ve velmi dobré údržbě a snadném zapojení [5].

1.2.3 Zakružovačky s hydraulickým pohonem

U zakružovaček s hydraulickým pohonem můžeme plynule regulovat rychlost zakružování. Další výhodou je jednoduché pojištění proti přetížení, a to za použití pojistných ventilů. Naopak nevýhodou u tohoto druhu pohonu je jeho údržba, která je oproti elektrickému pohonu těžší [5].

Zakružovačka Bendmark PRO 120 s hydraulickým motorem, který přes planetovou převodovku pohání dva boční vodící válce. Stroj má jako ochranu proti přetížení při ohýbání zabudován omezovač kroutícího momentu. Zakružovačka může být použita v horizontální i ve vertikální ose. Má samostatný ovládací panel a celá váží 4720 kg. Cena není v katalogu firmy Boukal uvedena [6].



Obr. 5 Hydraulická zakružovačka profilů a trubek Bendmark PRO 120 [6].

2 ZAKRUŽOVAČKY DOSTUPNÉ NA TRHU

Zakružování profilů probíhá na stroji, který je poháněn ručně, nebo elektricky. Právě zakružovací stroje jsou dnes, ve velké nabídce dostupné na trhu. Velká část výrobců zakružovaček však směřuje svoje výrobky do velkých podniků a firem, které se zaměřují primárně na sériovou výrobu. Tomu odpovídají i jejich rozměry a cena, která může u vybraných modelů vystoupat až do stovek tisíc korun. Do domácí dílny jsou k dispozici spíše ruční zakružovačky. Ty jsou ale omezeny velikostí polotvaru, který dokážou zpracovat. Také jejich zastoupení na trhu není nijak významné. Nejlevnější elektricky poháněné zakružovačky jsou na trhu dostupné od padesáti tisíc výše.

V české republice lze stroje na zakružování koupit hned od několika prodejců. Vybrané bude tato kapitola obsahovat. Mimo základních informací o firmě samotné, jsou zde rozebrány konkrétní stroje z jejich nabídky, spolu s cenou a technickými parametry.

2.1 První Hanácká BOW

První hanácká BOW je česká firma, založena roku 1993 třemi společníky, po kterých převzala své jméno (Brzokoupil, Opravil a Wágner). Firma nabízí široký sortiment zboží s primárním zaměřením na kovoobrábění a tváření. Kromě klasických soustruhů a frézek nabízí i stroje numericky řízené. Dále kompresory, pneu nářadí, vzduchotechniku, manipulační stroje a svařovací techniku. V současné době sídlí firma v Olomouci a zaměstnává více než 60 lidí [7].

Zakružovačky firma nabízí jak s ručním, tak s elektrickým pohonem. Na obrázku 6 je elektrická zakružovačka profilů a trubek PRM 80 FH, prodávaná za 574 737 Kč. Jedná se tedy o nejdražší zakružovačku v nabídce. Stroj má těžkou svařovanou konstrukci z oceli. Celé zařízení může být využito v horizontální i vertikální poloze. Horní hřídel má průměr 80 mm, dolní potom 70 mm a při provozu se točí rychlostí šesti otáček za minutu. Celé zařízení váží 1700 kg a pracuje s motorem o výkonu 4 kW [8].



Obr. 6 Zakružovačka profilů a trubek PRM 80 FH [8].

2.2 Formetal

Společnost Formetal je primárně zaměřená na zpracovávání plechů. Konkrétně nabízí horizontální lisy, lasery, tabulové nůžky nebo ohýbačky. V jejím katalogu lze však také nalézt zakružovačky trubek a profilů. Firma byla založena v roce 1992 a v současnosti sídlí v obci Měšice ve střeďočeském kraji [9].

Zakružovačka PBH-60-80-100-125, viz obrázek 7, může být využívána ve horizontální i vertikální poloze. Rotace válců je zajištěna pomocí elektromotoru. Od řad PBH-80 je využíván hydromotor. Zakružovačka využívá automatickou kompenzaci rychlosti mezi horní a spodními válci, a to bez ztráty výkonu. Cena není v katalogu Formetal uvedena. V tabulce 1 lze vidět rozdíly mezi modely 60, 80, 100 a 125 [10].



Obr. 7 Zakružovačka profilů PBH-60-80-100-125 [10].

Tab. 1 Přehled technických parametrů zakružovaček PBH [10].

Typ	Průměr hřídele [mm]	Průměr rolny [mm]	Příkon [kW]	Hmotnost [kg]
PBH 60	60	177	2,2	950
PBH 80	85	247	7,5	2340
PBH 100	110	315	11	3360
PBH 125	120–140	380	15	4850

2.3 Jesan kovo s.r.o.

Jesan kovo s.r.o. je strojní firma ze Šumperku, zabývající se výrobou klempířských a zámečnických strojů. Firma vznikla v roce 1965 jako statní podnik JESAN Šumperk. Poté byla v roce 1994 zprivatizována společností Jesan kovo s.r.o., která vede výrobu dodnes. Firma se specializuje na stroje zpracovávající plech. Jde tedy hlavně o zakružovačky plechu, lemovačky, drápovačky a nůžky. Dále pak dílenské lisy, svěráky, pásové pily nebo pily na kov. Kromě výroby strojů firma provádí kovoobráběcí činnost na zakázku [11].

Zakružovačka XZL 60-2 U, viz obrázek 8, je určena pro zakružování profilových materiálů do tvaru kruhů a spirál. Konstrukce stroje je ze svařovaných profilů. Poháněny elektromotorem jsou dvě spodní kladky (u modelu XZL 60-3 U jsou poháněny všechny tři.) Spodní kladky jsou uloženy napevno, horní je hydraulicky polohovatelná. Tabulce 2 jsou porovnány technické parametry modelů XZL 60-2 U a XZL 60-3 U [12].



Obr. 8 Zakružovačka XZL 60-2 U [12].

Tab. 2 Přehled technických parametrů zakružovaček XZL 60-2 U a XZL 60-3 U [12].

Typ	Průměr hřídele [mm]	Zdvih horní hřídele [mm]	Příkon [kW]	Otáčky hřídelů [1/min]	Síla hydraulického válce [t]	Hmotnost [kg]
XZL 60-2 U	60	130	2,2	11,2	16	590
XZL 60-3 U	60	230	2,2	11,2	16	630

2.4 Boukal s.r.o.

Firma nesoucí jméno po svém zakladateli, Ing. Petru Boukalovi, vznikla v roce 1993. Původně firma sídlila v Lomu u Mostu, aby se následně, v roce 1997 přesunula do vlastních, zrekonstruovaných prostor v Litvínově. Od svého založení se firma zabývá prodejem strojů, nářadí, nástrojů a brusiva. Společnost Boukal s.r.o. dodává své produkty hlavně do malých a středních firem pohybujících se v automobilovém průmyslu [13].

Zakružovačka Metallkraft 31 F, která je na obrázku 9, využívá elektrického pohonu s nožním ovládním. Samotný elektromotor pohání dvě spodní kladky, horní kladka plní přítlačnou funkci. Stroj nabízí možnost práce ve vertikální i horizontální ose. Zakružovačka váží 220 kg a je poháněna motorem o příkonu 750 W. V katalogu firmy Boukal s.r.o. je nabízena za 78 000 Kč [14].



Obr. 9 Zakružovačka profilů a trubek Metallkraft PRM 31 F [14].

3 NÁVRH VLASTNÍHO KONCEPTU STROJE

V zadání práce bylo stanoveno, že podle existujícího zařízení bude navrhnout vlastní koncept. Při návrhu vlastního stroje jsem se tedy chtěl nechat inspirovat oficiálními prodejci a jejich nabídkou. Problém nastává v nedostatečné fotodokumentaci prodávaného stroje a také v tom že nabízené produkty jsou téměř vždy oplechovány a celý funkční mechanismus je schován pod krytem. Dále také v naprosté absenci popsání převodového systému, popřípadě rozvodu momentu z motoru na tvarové válce. Z tohoto důvodu se katalogy prodejců staly v podstatě nepoužitelnými. Začal jsem tedy hledat zakružovací stroje jinde na internetu a v literatuře. Při vlastním návrhu jsem tedy mnohem více spoléhal na internetové bazary a portály pro domácí kutily než na oficiální prodejce.

Na těchto webových stránkách jsem již našel podomácku vyrobené zakružovačky, podle kterých šel vytvořit návrh vlastního zařízení. U těchto strojů šla už rozpoznat většina funkčního mechanismu. Dále jsem díky tomu nabyl mnohem lepší představu o náročnosti projektu, protože jsem získal povědomí o počtu komponent, které bude potřeba vyrobit.

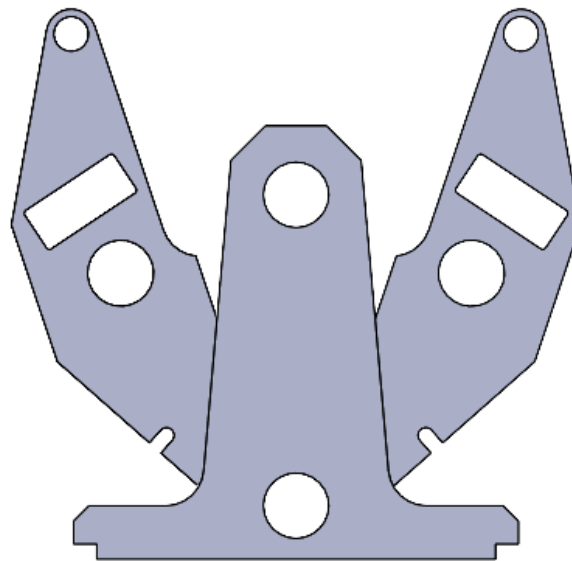
Samotná výroba mého stroje probíhala v nákladu jednoho kusu, proto při výrobě nešlo primárně o cenu ale funkčnost celku. Z toho důvodu mohou být některé komponenty naddimenzovány. Tento problém by se řešil až při sériové výrobě zařízení.

3.1 Konstrukce stroje

Jak je popsáno v kapitole jedna, u tří válcové zakružovačky vzniká problém s nutností několikanásobného zakružení. Většina prodávaných strojů však nabízí právě toto konstrukční řešení. Z toho důvodu jsem se pro tento koncept rozhodl i já. Tří válcová koncepce se mi navíc zdála z hlediska konstrukce nejlépe uchopitelná. Později se také ukázalo, že při zakružování polotovaru na menší poloměry je nutno samotnou operaci opakovat několikrát. To vyřešilo problém tří válcové zakružovačky.

Prostřední tvarový válec je usazen na pevno. Dva válce boční, symetricky rozložené, budou pohyblivé a jejich poloha bude určovat poloměr zakružované součásti. Pravý a levý tvarový válec je uchycen na dvou výpalcích z plechu, jejichž pohyb je zajištěn šroubem s pravým a levým závitem. Tento šroub bude usazen ve dvou bronzových maticích s odpovídajícím závitem. Poháněny budou všechny tři hřídele, a to přes řetěz od hřídele nacházející se ve spodní části stroje.

Obrázek 10 zobrazuje základní konstrukci stroje, tři hlavní plechy s otvory. 4 největší otvory budou pro hnačí hřídel a hřídele tvarových válců. Dva menší, kruhové otvory v horní části, viz obrázek 11, jsou pro uložení dvou matic s pravým a levým závitem pro polohování krajních tvarových válců. Na obrázku číslo 12 lze vidět usazení šroubu M22xM22LH.



Obr. 10 Návrh rozložení válců ve 3D modelu.



Obr. 11 Detail šroubu M22xM22LH s maticí.



Obr. 12 Detail uchycení středu šroubu M22xM22LH.

Celý stroj je svařenec výpalků plechů o tloušťce 8 mm. Jedná se o plech z materiálu S355J2 +N, což je konstrukční ocel se stanovenou minimální mezí kluzu 355 MPa. S obsahem uhlíku 0,16 % jde o ocel vhodnou ke svařování což byl klíčový parametr volby. Písmeno N určuje, že byl plech normalizačně žíhán nebo normalizačně válcován. Chemické složení oceli je v tabulce 3.

Tab. 3 Chemické složení použité oceli S355 udané v procentech.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	N	Mo	V	Nb	Ceq
0,16	1,27	0,47	0,008	0,016	0,02	0,01	0,01	0,02	0,025	0,005	0,001	0,004	0,003	0,38

Kde Ceq je uhlíkový ekvivalent oceli, který musíme při svařování znát. Pokud je Ceq menší než 0,5 hm. % nemusíme používat žádných zvláštních opatření, abychom předešli vzniku trhlin. K těmto opatřením patří zejména přehřev [15].

Pro oceli s obsahem uhlíku do 0,22 hm.% můžeme uhlíkový ekvivalent zjistit ze vzorce [15]:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot t \quad (3.1)$$

kde: C_{eq} – uhlíkový ekvivalent [hm. %],
 t – tloušťka svařovaného plechu [mm].

Tato rovnice platí pro materiály do obsahu prvků v hm. %: C=0,22 %, Mn=1,6 %, Cr=1 %, Ni=3 %, V=0,14 %, Cu=0,3 % [15].

Mezinárodní svářečský institut (IIW) udává rovnici pro výpočet uhlíkového ekvivalentu pro oceli obsahem uhlíku menším než 0,25 % [15]:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (3.2)$$

kde: C_{eq} – uhlíkový ekvivalent [hm. %],
 t – tloušťka svařovaného plechu [mm].



Obr. 13 Plechové výpalky tvořící konstrukci stroje.

Pro pohon stroje bude využito 4 hřídelí, které budou osazeny drážkami pro těsné pero k přenosu kroutícího momentu. Hřídele budou vyrobeny na hrotovém soustruhu dle výkresu, poté se vyfrézuje drážka. Na obou čelech bude vyvrtána díra se závitem pro přichycení podložky držící řetězová kola a tvarové válce. Jako polotovár bylo využito kruhové tyče s poloměrem 50 mm z materiálu 42CRMo4 +QT. Jedná se o nejpevnější materiál použitý při výrobě stroje. Je to kvůli tomu, že právě hnací hřídele budou přenášet největší zatížení. Chemické složení a technické vlastnosti oceli 42CrMo4 +QT je v tabulkách 4, 5 a 6.

Tab. 4 Chemické složení použité oceli 42CrMo4 +QT udané v procentech.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	N	Mo
0,43	0,78	0,28	0,009	0,02	1	0,04	0,0074	0,189

Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4 dle normy.

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]	KV ₂ [J]
650	900–1100	12	50	35

Tyto vlastnosti mají oceli z materiálu 42CrMo4, a to v polotovaru v průměru od 40 mm do 100 mm nebo tloušťky od 20 mm do 60 mm.

Tab. 6 Skutečné mechanické vlastnosti použité oceli 42CrMo4 +QT.

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]	KV ₂ [J]
938	1044	17,4	62,1	89,2

Na obrázku 14 je hnací hřídel uložena v konstrukci stroje. Na tuto hřídel budou nasunuta 3 řetězová kola, jedno pro každý tvarový válec a řetězové kolo přes které bude od elektromotoru celý stroj poháněn.



Obr. 14 Hnací hřídel po montáži.

4 hřídele stroje budou procházet náboji svarem spojenými s výpalky. Tyto náboje budou spojovat přední a zadní stranu stroje. V každém bude usazen pár ložisek spolu s pojistnými kroužky. Rozmístění nábojů lze vidět na obrázku 13. Náboje jsou soustružené z tyčí o průměru 110 mm. Jako materiál byla zvolena konstrukční ocel S355J2 +AR. Na rozdíl od hřídelů nebyl volen tak kvalitní materiál. Náboje prakticky nepřenáší žádné napětí, jejich funkce je pouze držet samotnou konstrukci stroje. V tabulce 7 a 8 je chemické složení oceli a její mechanické vlastnosti.

Tab. 7 Chemické složení použité oceli S355J2 +AR udané v procentech.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Sn	V	Ti	N
0,19	1,36	0,19 1	0,01 8	0,01 2	0,07	0,03	0,02	0,01	0,02 6	0,00 3	0,00 4	0,00 1	0,00 4

Tab. 8 Mechanické vlastnosti použité oceli S355J2 +AR.

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]	KV ₂ [J]
400	542	33	75,2	146

Do každého náboje, viz obrázek 15, bude uloženo po jednom páru ložiska 6207 které jsou proti pohybu zajištěny osazením. Ložisko bylo před montáží namazáno vazelínou. Aby byla ložiska kryta od nečistot a aby se vazelína nedostala do funkční části stroje je nainstalována plechová krytka za kterou se nachází pojistné kroužky 72 ČSN 022 2931, která je na obrázku 16.



Obr. 15 Detail náboje s ložiskem.



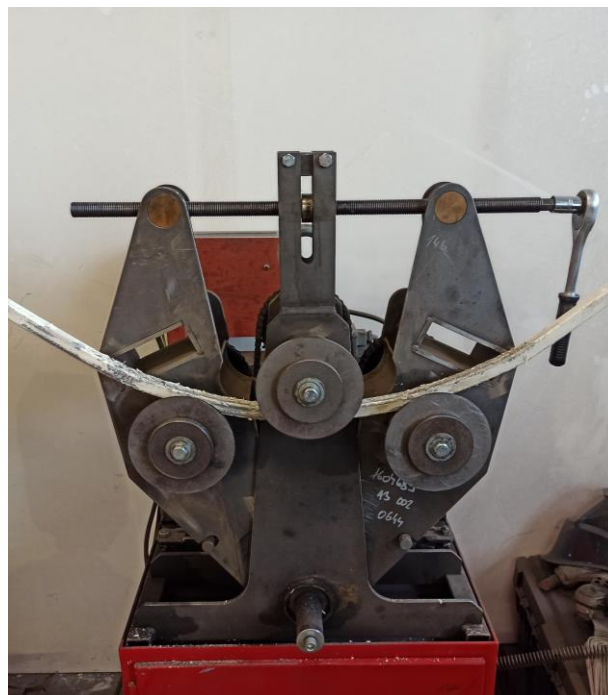
Obr. 16 Detail krytky ložiska s pojistným kroužkem.

Při návrhu vlastní konstrukce bylo uvažováno vyrobení mechanismu pro výrobu šroubovice. Konkrétně by se jednalo o šroubem ovládané tvarové součásti, umístěné nad levým a pravým tvarovým válcem. Úkolem těchto součástí mělo být vyhnutí polotovaru během zakružování, čímž by došlo ke vzniku šroubovice. Pro tento účel byl ve výpalcích zhotoven otvor, ve kterém měl být celý mechanismus usazen, viz obrázek 17 a 18.



Obr. 17 Detail uložení pro mechanismus na výrobu spirály.

V době odevzdání bakalářské práce nebyl tento mechanismus vyhotoven. Primárně kvůli tomu že nebyl dosud potřebován. Dále také kvůli špatně navrhnutému otvoru. Pro správnou funkčnost by se mechanismus musel nacházet blíže tvarovému válci a být více nakloněn. V tuto chvíli je proto nepravděpodobné že by se zařízení k zakružovačce dodělávalo.

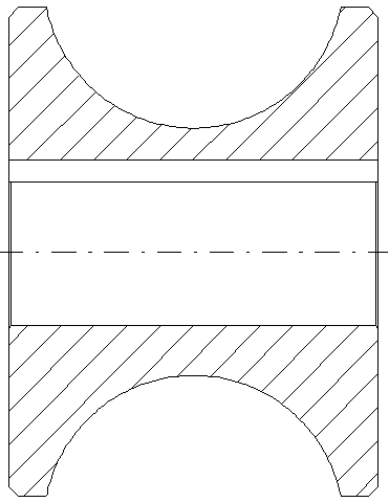


Obr. 18 Demonstrace chybného rozložení otvorů.

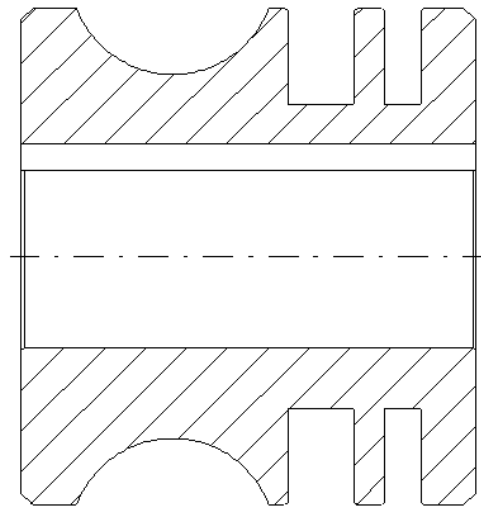
3.2 Tvarové válce

V první kapitole je uvedeno, že zakružování je tváření materiálu postupným a plynulým ohýbáním. Toto tváření se děje pomocí tvarových válců. Tyto válce jsou upevněny na hřídelích stroje. Můžeme je dělit podle toho, jestli jsou poháněny nebo ne. Jak je uvedeno v případě mého konceptu jsou poháněny všechny tři válce.

Tvar tvarového válce musí být negativní vzhledem k výrobku, viz obrázky 19, 20 a 23. Při zakružování může být využito jednoduchých nebo sdužených tvarových válců. Jednoduché odpovídají tvaru právě jednoho polotovaru. Sdužené mohou být použity pro více tvarů bez nutnosti sejmutí a výměny. Válce mají po celé délce vyfrézovanou drážku pro pero kvůli přenosu kroutícího momentu.



Obr. 19 Tvarový válec jednoduchý.



Obr. 20 Tvarový válec sdužený.

Při konstruování zakružovačky bylo vyrobeno několik trojic tvarových válců. Kromě toho byl vyroben systém pro snadnější zakružování tyčí s čtvercovým průřezem. Z výpalků byly zhotoveny kola se dvěma vnějšími průměry. Tato kola jsou pak nasunuta na hřídel v takové počtu, aby odpovídali šířce polotovaru. Tento rozměr je ohraničen koly s větším průměrem. Tyto výpalky jdou vidět na obrázku 21 a 22.



Obr. 21 Tvarový válec z plechových výpalků.



Obr. 22 Plechové výpalky.



Obr. 23 Sdružený tvarový válec.

3.3 Pohon zakružovačky

Jako pohon stroje byl zvolen elektromotor, a to hlavně kvůli dobré dostupnosti, snadné montáži a dobré údržbě. Naproti tomu hydromotor nebyl zvažován kvůli vysoké ceně. Použití hydromotoru by vzhledem k velikosti stroje a k velikosti polotovarů bylo zbytečné. Na zakružovačku byl připojen elektromotor firmy Mez Mohelnice s výkonem 1 kW, viz tabulka 9, spolu se šnekovou převodovkou, kterou lze vidět na obrázku 24.

Šnekový převod se vyznačuje možností velkého převodového poměru (až $i=1000$) a schopností přenášet velké výkony, což byl hlavní důvod volby. Dále u šnekového převodu můžeme počítat se samosvorností. Tato vlastnost se hodí pro okamžité zastavení stroje, což je při výrobě nezbytné. Při zakružování součástí, například podle výkresu je nutné dodržet místo začátku rádiusu. Další výhodou šnekového převodu je jeho malý rozměr z čehož plyne i malá hmotnost.



Obr. 24 Elektromotor s převodovkou na snímatelném uchycení.

Tab. 9 Parametry použitého elektromotoru.

P [kW]	f [Hz]	n [1/min]	cosφ [-]
1	50	1410	0,8

Při výrobě zakružovačky bylo uvažováno i použití v místě bez přístupu k elektrické energii, například na stavbě. Pro tento účel bylo zkonstruováno řešení s možností ručního pohonu. Samotný elektromotor s převodovkou je ke rámu stroje přichycen 4 šrouby přes svařovanou konstrukci. Tyto šrouby lze rychle odšroubovat a celý mechanismus ze zakružovačky sejmout. Zakružovačku lze poté pohánět ručně, a to přes hnací hřídel který je vyveden skrz přední plech stroje. Na vystupující části hřídele je drážka pro pero, na kterou lze nasunout páka pro ruční pohon. Toto řešení se využívá minimálně, kvůli jeho fyzické a časové náročnosti. Z těchto důvodů samotná páka pro zakružovačka vyrobena nebyla. Hřídel pro napojení ruční páky lze vidět na obrázku 25.

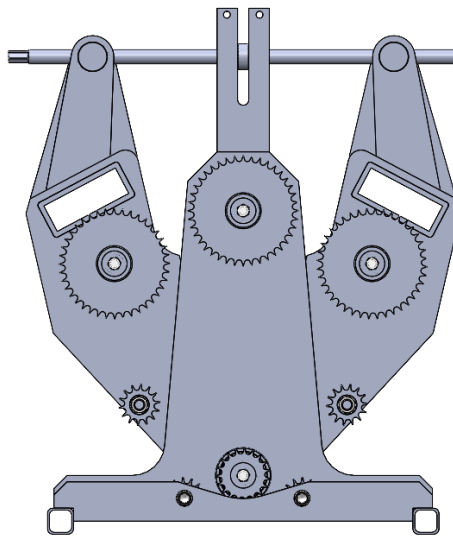


Obr. 25 Výstupní hřídel pro ruční pohon.

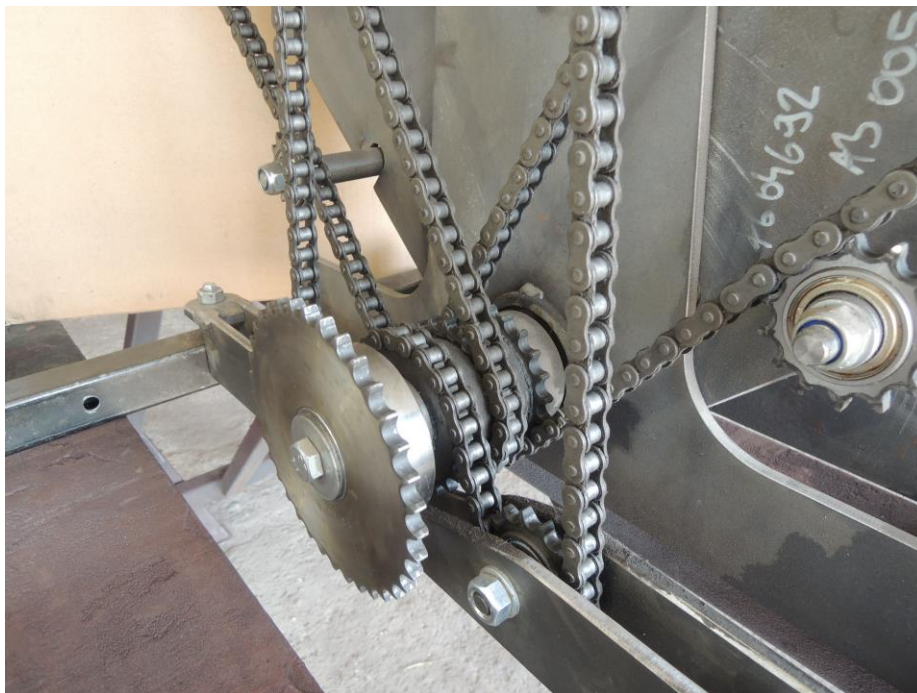
3.4 Rozvody

Kroutící moment je po celém stroji rozveden pomocí řetězového rozvodu. Tento způsob byl vybrán kvůli snadné montáži a údržbě. Na rozdíl od řemenového převodu, který také přicházel v úvahu, nemůže dojít k prokluzu. Moment je přes šnekovou převodovku přiveden na hlavní hnací hřídel. Na tomto hřídeli jsou tři menší řetězová kola pro pohon jednotlivých hřídelí s tvarovými válci.

Při návrh bylo nutné vyřešit smysl otáčení válců. Zatímco dva spodní válce se musí točit ve směru stejném, horní válce musí rotovat naopak. Tento problém byl konstrukčně vyřešen přidáním dvou menších řetězových kol, která mění smysl rotace. Tyto kola jsou uložena na pomocné liště, jež zároveň plní funkci napínání řetězu a lze ji vidět na obrázcích 26, 27 a 28. Dva boční řetězy jsou napínány kolem přichyceným na ose navařeném na těle stroje.



Obr. 26 Zobrazení rozložení řetězových kol ve 3D modelu.



Obr. 27 Detail spodní hřídele s napínacími mechanismy.



Obr. 28 Rozvodový mechanismus s kolem pro napojení elektromotoru.

Jako řetěz byl vybrán jednořadý s roztečí 12,7 mm (1/2 inch). Velké řetězová kola se prodávají bez náboje, viz obrázek 29. Proto v nich musel být vysoustružen otvor do kterého byl náboj vložen a svarem spojen napevno.



Obr. 29 Zakoupené řetězové kolo bez náboje.

3.5 Konstrukční výpočty

Pro výpočty bylo navrženo několik tvarů polotovarů, které by měl být stroj schopen zakružít. Pro každý tvar byl proveden výpočet modulu průřezu v ohybu W_o .

3.5.1 Výpočet modulu průřezu

Pro trubku s vnějším poloměrem 60,3 mm a tloušťkou stěny 5 mm:

$$W_o = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32 \cdot 60,3} \cdot (60,3^4 - 50,3^4) = 11\,103,3 \text{ mm}^3 \quad (3.3)$$

kde: W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3],
 D – vnější průměr trubky [mm],
 d – vnitřní průměr trubky [mm].

Pro tyč s průměrem 40 mm:

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} = 6\,283,2 \text{ mm}^3 \quad (3.4)$$

kde: W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3],
 D – vnější průměr trubky [mm].

Pro čtvercovou tyč s délkou strany 30 mm:

$$W_o = \frac{a^3}{6} = \frac{30^3}{6} = 4\,500 \text{ mm}^3 \quad (3.5)$$

kde: W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3],
 a – délka strany profilu [mm].

Pro čtvercovou trubku s délkou strany 40 mm a tloušťkou stěny 2 mm:

$$W_o = \frac{a^4 - b^4}{6 \cdot a} = \frac{40^4 - 36^4}{6 \cdot 40} = 3\,668,3 \text{ mm}^3 \quad (3.6)$$

kde: W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3],
 a – délka vnější strany profilu [mm],
 b – délka vnitřní strany profilu [mm].

3.5.2 Výpočet sil na válcích

Plastický ohybový moment pro zakružování získáme ze vztahu [5]:

$$M_p = K \cdot W_o \cdot R_m = 1,5 \cdot 11\,103,3 \cdot 500 = 8\,327\,475 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (3.7)$$

kde: M_p – plastický ohybový moment [$\text{N} \cdot \text{mm}$],
 K – deformační zpevnění materiálu [-],
 W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3],
 R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].

Výpočet síly na horním válci [5]:

$$F_h = \frac{4 \cdot M_p}{l} = \frac{4 \cdot 8\,327\,475}{350} = 3\,668,3 \text{ N} \quad (3.8)$$

kde: F_h – síla na horním válci [N],
 M_p – plastický ohybový moment [N·mm],
 l – vzdálenost mezi spodními válci [mm].

Výpočet síly na spodních válcích [5]:

$$F_s = \frac{F_h}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{3\,668,3}{2 \cdot \cos 50^\circ} = 5706,9 \text{ N} \quad (3.9)$$

kde: F_s – síla na spodním válci [N],
 F_h – síla na horním válci [N],
 α – úhel vyklonění spodních válců [°].

3.5.3 Výpočet momentu

Celkový moment pro zakružení získáme ze vztahu [5]:

$$M_k = \frac{M_p \cdot D_{tv}}{4 \cdot R} = \frac{8\,327\,475 \cdot 50}{4 \cdot 300} = 346\,978,1 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (3.10)$$

kde: M_k – moment pro zakružení [N·mm],
 M_p – plastický ohybový moment [N·mm],
 D_{tv} – průměr tvarových válců [mm],
 R – zakružovaný poloměr [mm].

3.5.4 Výpočet rozvodů

Otáčky zvoleného motoru jsou 1410 1/min. Pro další výpočty je vhodný převod na základní jednotky. Otáčky jsou tedy 23,5 1/s. Šneková převodovka připojena za elektromotor má převodový poměr roven 40.

Otáčky na výstupu z převodovky spočítáme ze vztahu:

$$n_{vp} = \frac{n_m}{i_p} = \frac{23,5}{40} = 0,5875 \text{ 1/s} \quad (3.11)$$

kde: n_{vp} – otáčky na výstupu z převodovky [1/s],
 n_m – otáčky motoru [1/s],
 i_p – převodový poměr šnekové převodovky [-].

Na výstupní hřídel převodovky bylo nasunuto řetězové kolo se 47 zuby. Řetězem je spojeno s kolem na hlavní hnací hřídeli. To má zubů 36. Jde tedy o převod do rychla. Převodový poměr mezi těmito koly zjistíme:

$$i_1 = \frac{z_p}{z_{phh}} = \frac{36}{47} = 0,7 \quad (3.12)$$

kde: i_1 – převod. pom. mezi koly na převodovce a hřídeli [-],
 z_p – počet zubů kola na převodovce [-],
 z_{phh} – počet zubů kola na hlavní hřídeli [-].

Díky znalosti převodového poměru můžeme dopočítat otáčky hlavního hřídele:

$$n_{hh} = \frac{n_{vp}}{i_1} = \frac{0,5875}{0,7} = 0,8392 \text{ 1/s} \quad (3.13)$$

kde: n_{hh} – otáčky na hlavního hnacího hřídele [1/s],
 n_{vp} – otáčky na výstupu z převodovky [1/s],
 i_1 – převod. pom. mezi koly na převodovce a hřídeli [-].

Na hlavní hřídeli je usazena trojice řetězových kol ($z=19$), které jsou spojena se třemi hřídelemi s tvarovými válci. Na těch jsou kola se 40 zuby. Z těchto počtů lze vypočítat převodový poměr:

$$i_2 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{40}{19} = 2,1 \quad (3.14)$$

kde: i_2 – převod. pom. mezi koly na hlavní a vedlejší hřídeli [-],
 z_2 – počet z. kola na převodovce na vedlejší hřídeli [-],
 z_1 – počet z. kola na hlavní hřídeli [-].

Z tohoto čísla lze dopočítat otáčky hřídele s tvarovými válci při zakružování:

$$n_{tv} = \frac{n_{hh}}{i_2} = \frac{0,8392}{2,1} = 0,4 \text{ 1/s} \quad (3.15)$$

kde: D_{tv} – otáčky tvarového válce [1/s],
 n_{hh} – otáčky na hlavního hnacího hřídele [1/s],
 i_2 – převod. pom. mezi koly na hlavní a vedlejší hřídeli [-].

Z otáček zakružování lze pomocí průměru válce spočítat rychlost zakružování:

$$v = \pi \cdot D_{tv} \cdot n_{tv} = \pi \cdot 0,05 \cdot 0,41 = 0,06 \text{ m/s} \quad (3.16)$$

kde: v – rychlost zakružování [m/s],
 D_{tv} – průměr tvarových válců [m],
 n_{tv} – otáčky tvarového válce [1/s].

Vypočtená rychlost odpovídá běžné rychlosti zakružování.

3.5.5 Výpočet výkonu

Výkon zjistíme ze vzorce s momentem a otáčkami:

$$P = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{tv} = 346,98 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,41 = 893,85 \text{ W} = 0,89 \text{ kW} \quad (3.17)$$

kde: P – výkon [kW],
M_k – moment pro zakružení [N·m],
n_{tv} – otáčky tvarového válce [1/s].

Výpočet dokazuje že připojený elektromotor s výkonem 1kW byl zvolen dobře i s dostatečnou rezervou.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při návrhu stroje se projevilo několik konstrukčních nedostatků pramenících z nezkušenosti s danou problematikou. Kromě mechanismu pro výrobu spirály je to umístění horního tvarového válce. Ten by pro lepší funkčnost musel být polohován níž na konstrukci. Otvory pro mechanismus na výrobu spirály nebyly zvoleny vhodně, proto tato součást nebyla vyrobena.

Dále jsou to výpalky, které tvoří hlavní tělo stroje. Ty by mohly být užší a celkově méně robustní. Tento problém je však spíše ekonomického rázu a projevil by se až při sériové výrobě, kde by bylo již nutné náklady na každý vyrobený kus stlačit na úplné minimum, popřípadě pod reálnou prodejní cenu.

Tab. 10 Cena jednotlivých komponentů.

Název položky	Cena v Kč
Plechové výpalky	9 800
Řetězové kola	2 300
Řetěz	1 100
Ložiska	920
Pojistné kroužky	100
Pero	80
Elektromotor	2 500
Šneková převodovka	1 500
Rozvaděč IP-60	1 000
Spojovací materiál	150
Soustružené součásti	5 000
Konstrukce stroje	500
Elektrikářské práce	1 000
Celkem	25 950

Skutečná částka je nižší než v tabulce 10, protože některé komponenty nebylo nutné kupovat. Konkrétně jde o elektromotor s převodovkou a rozvaděč. Od konečné ceny je tedy nutné odečíst asi 5000 Kč. Kromě ceny samotné je nutné uvažovat i práci, která byla na stroji vykonána. V tomto případě jde o vyšší desítky hodin.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo podle dostupných strojů na trhu vymyslet zakružovačku vlastní. A to včetně výkresové dokumentace a 3D modelu. Čtenář byl seznámen s problematikou zakružování včetně několika možností jeho dělení. Dále byly představeni vybraní prodejci a výrobci zakružovaček vyskytující se na českém trhu. Spolu s tím byly uvedeny vybrané stroje z jejich nabídky, u kterých byly vypsány základní parametry. U některých i samotná cena stroje.

Dle zadání byl vypracován vlastní návrh zakružovacího stroje, který byl následně sestrojen. Kromě samotného prototypu byla vytvořena výkresová dokumentace nezbytná při výrobě a 3D model pro lepší zobrazení stroje.

Výsledný produkt se ukázal funkční, avšak s konstrukčními vadami, které by při případné sériové výrobě musely být odstraněny. Tyto zmíněné vady ovšem nebrání v jeho plánovaném užití v plném rozsahu, viz obrázek 30 s konstrukcí vyrobenou na zakružovačce.



Obr. 30 Příklad výrobku ze zakružovačky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DOUBRAVSKÝ, Miroslav. *Technologie I*. Praha: SNTL, 1982, 246 s.
 2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
 3. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992, 171 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-0404-3.
 4. Ruční zakružovačka profilů PRM 10 M - První hanácká BOW. *Váš svět strojů... - První hanácká BOW* [online]. Copyright © Copyright První Hanácká BOW spol. s r.o., 2018 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3780010/rucni-zakruzovacka-profilu-prm-10-m>
 5. BUDÍK, T. *Zakružovačka na Hardox*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.
 6. boukal-icon. *Stroje s lidskou péčí | BOUKAL E-shop* [online]. Copyright © 1993 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/hydraulicka-zakruzovacka-profilu-a-trubek-bendmak-pro-120/4550/produkt>
 7. O nás - První hanácká BOW. *Váš svět strojů... - První hanácká BOW* [online]. Copyright © Copyright První Hanácká BOW spol. s r.o., 2018 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/o-nas-21s>
 8. Zakružovačka profilů a trubek PRM 80 FH - První hanácká BOW. *Váš svět strojů... - První hanácká BOW* [online]. Copyright © Copyright První Hanácká BOW spol. s r.o., 2018 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3812080/zakruzovacka-profilu-a-trubek-prm-80-fh>
 9. O nás - Formetal. *Formetal - Plechotvářecí stroje* [online]. Copyright © 2021 Formetal [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/o-nas/>
 10. Hydraulické zakružovačky profilů PBH 60–80–100–125 - Formetal. *Formetal - Plechotvářecí stroje* [online]. Copyright © 2021 Formetal [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/hydraulicke-zakruzovacky-profilu-pbh/>
 11. JESAN KOVO :: Profil společnosti JESAN KOVO. *JESAN KOVO :: Výroba klempířských a zámečnických strojů* [online]. Dostupné z: <http://www.jesankovo.cz/?i=564/profil-spolecnosti>
 12. JESAN KOVO :: XZL 60-2 U - XZL 60-3 U. *JESAN KOVO :: Výroba klempířských a zámečnických strojů* [online]. Dostupné z: <http://www.jesankovo.cz/?i=381/xzl-60-2-u-xzl-60-3-u>
 13. *Jsmo prodejci strojů, nástrojů, náradí a brusiv | BOUKAL* [online]. Dostupné z: <https://firma.boukal.cz/o-nas>
 14. boukal-icon. *Stroje s lidskou péčí | BOUKAL E-shop* [online]. Copyright © 1993 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/zakruzovacka-profilu-a-trubek-metallkraft-prm-31-f/5577/produkt>
 15. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A	vzdálenost osy spodního válce od osy zakružování	[mm]
A	tažnost	[%]
a	délka strany profilu	[mm]
b	šířka tvářené součásti	[mm]
b	délka vnitřní strany profilu	[mm]
C	konstanta materiálu II	[-]
C_{eq}	uhlíkový ekvivalent	[hm. %]
$\cos\varphi$	účinník	[-]
D	vnější průměr trubky	[mm]
D_{tv}	průměr tvarových válců	[mm]
d	vnitřní průměr trubky	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	přítlačná síla	[N]
F_h	síla na horním válci	[N]
F_s	síla na spodním válci	[N]
f	frekvence	[Hz]
i_1	převod. pom. mezi koly na převodovce a hřídeli	[-]
i_2	převod. pom. mezi koly na hlavní a vedlejší hřídeli	[-]
i_p	převodový poměr šnekové převodovky	[-]
K	deformační zpevnění materiálu	[-]
KV_2	nárazová práce	[J]
L	vzdálenost os tvarových válců	[mm]
l	vzdálenost mezi spodními válci	[mm]
M	ohybový moment	[N·mm]
M_k	moment pro zakružení	[N·mm]
M_p	plastický ohybový moment	[N·mm]
n	konstanta materiálu	[-]
n	otáčky	[1/s]
n_{hh}	otáčky na hlavního hnacího hřídele	[1/s]
n_{tv}	otáčky tvarového válce	[1/s]
n_{vp}	otáčky na výstupu z převodovky	[1/s]
n_m	otáčky motoru	[1/s]
P	výkon	[kW]
R	poloměr spodních válců	[mm]
R	zakružovaný poloměr	[mm]
R_e	napětí na mezi kluzu tvářeného materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]

s	tloušťka tvářené součásti	[mm]
t	tloušťka svařovaného plechu	[mm]
v	rychlost zakružování	[m/s]
W _o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
y	ponoření horního válce mezi válce podpěrné	[mm]
Z	kontrakce	[%]
z ₁	počet z. kola na hlavní hřídeli	[-]
z ₂	počet z. kola na převodovce na vedlejší hřídeli	[-]
z _p	počet zubů kola na převodovce	[-]
z _{phh}	počet zubů kola na hlavní hřídeli	[-]
α	úhel vyklonění spodních válců	[°]
ρ	poloměr zakružování	[mm]
ρ_{kon}	konečný poloměr zakřivení	[mm]
ρ_{pl}	konečný poloměr zakřivení	[mm]
$\rho_{pruž}$	poloměr pružného zakřivení	[mm]

Zkratky

Označení	Legenda
ČSN	Česká technická norma
IIW	International institute of welding
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Inspekční certifikát pro materiál 42CrMo4 +QT
Příloha 2	Inspekční certifikát pro materiál S355J2 +AR
Příloha 3	3D model zakružovačky

Seznam výkresů:

Šroub M22xM22LH;2022-BP-209078-01
Hřídel 1;2022-BP-209078-02
Hřídel 2;2022-BP-209078-03
Hřídel 3;2022-BP-209078-04
Hřídel 4;2022-BP-209078-05
Plech krycí;2022-BP-209078-06
Matice M22 LH;2022-BP-209078-07
Matice M22;2022-BP-209078-08
Náboj 1;2022-BP-209078-09
Náboj 2;2022-BP-209078-10
Náboj 3;2022-BP-209078-11
Deska;2022-BP-209078-12
Spojník;2022-BP-209078-13
Držák šroubu;2022-BP-209078-14
Kulisa;2022-BP-209078-15
Držák bočnice;2022-BP-209078-16
Bočnice zadní pravá;2022-BP-209078-17
Bočnice zadní levá;2022-BP-209078-18
Držák napínacího kola;2022-BP-209078-19
Bočnice levá;2022-BP-209078-20
Bočnice pravá;2022-BP-209078-21
Stojna;2022-BP-209078-22
Válec tvarový;2022-BP-209078-23

K. 5120

12092
 10095



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY
MORAVIA STEEL

A02 Druh dokumentu / Type of inspection document Inspekční certifikát 3.1 - Inspection certificate 3.1, EN 10204:2004										
A01/A05 Výrobní závod / Manufacturer TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Trinec, Czech Republic					Stránka / Page 1/2					
A03 Číslo dokumentu / Document No. 2018/11/007317-MAR										
A07 Číslo objednávky / Purchase's order No. 244-LVS-18			A06 Příjemce / Consignee Ing. František Slavík							
A10 Číslo kontraktu / Contract No. 0041498385			Hut'ská 251							
A08 Číslo zakázky / Manufacturer's order No. 3300287909/000010			272 01 Kladno Česká republika							
B01, B09-B11 Popis výrobku / Rozměry / Tolerance Product description / Dimensions / Tolerance			B02, B04 Označení oceli / Stav dodaný Steel designation / Deliv. state		B03 Materiálová norma Classification standard	B03 Rozměrová norma Dimensional standard				
Tyče kruhové - Round bars 50 mm + 0,800 - 0,800 5-6 m			42CrMo4 +QT		EN 10083-3:2006	EN 10060				
A11 Dopř. prostředek č. Wagon No.		A12 Ložný list č. Loading list No.	B07 Tavba Heat No.	B08 Kruhy / Kusy Coils / Pieces	B08 Svazky Crbd	B13 Hmotnost (kg) Weight (kgs)				
8T25044 8T39386		3918003324	T18391	0	1	1890				
B07, B14, C70 Tavba / Rok výroby / Způsob výroby Heat No. / Year of production / Steelmaking process		C71-C92 Chemické složení-Chemical composition [%]								
T18391/2018 BO-ZPO2 BOF-cc billets		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N	Mo
		0.43	0.78	0.28	0.020	0.009	1.00	0.04	0.0074	0.189
Mechanické hodnoty-Mechanical values										
B07 Tavba Heat No.	B05 Stav zkoušení Test state	C11 Mez kluzu Yield point Re [MPa]	C12 Mez pevnosti Tensile strength Rm [MPa]	C13 Tážnost Elongation A5 [%]	C14 Kontrakce Contraction Z [%]	B05 Stav zkoušení Test state	C03 Zkušební teplota Test temperature	C40, C42 Zkouška rázem v ohybu Energy of impact KV [J] / KCV [J/cm2]		
T18391	+QT	938 973	1044 1063	17,4 15,3	62,1 61,3	+QT	+20°C	89,2 111,5 94,3 117,9 91,8 114,8		
B07 Tavba Heat No.	D56 Pěchovací zkoušky Heading tests (EN 10263-1)		D57 Oduhličení Decarburization (max. / mm)	C64 Mikročistota Micropurity (DIN 50602)		C30 Tvrdost HB Hardness HB		C93 Vakuování Vacuum degassing		
T18391						320 - 326		ano/yes		

Inspekční certifikát pro materiál S355J2 +AR





K: 16665
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY
MORAVIA STEEL

12 157

A02 Druh dokumentu / Type of inspection document																																				
Inspekční certifikát 3.1 - Inspection certificate 3.1, EN 10204:2004																																				
A01/A05 Výrobní závod / Manufacturer's works Issued by					Stránka / Page																															
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Czech Republic VZ - Sochorová válcovna, 272 01 Kladno - Dřín, Czech Republic					1/2																															
A03 Číslo dokumentu / Document No.					2020/03/005979-KRY																															
A07 Číslo objednávky / Purchaser's order No.			A06 Příjemce / Consignee																																	
5-1VS-20			FS Trading Steel Kladno s.r.o.																																	
A10 Číslo kontraktu / Contract No.			Hutská 251																																	
0041568840			272 01 Kladno																																	
A08 Číslo zakázky / Works order No.			Česká republika																																	
7000464880/000010																																				
B01, B09-B11 Popis výrobku / Rozměry / Tolerance Product description / Dimensions / Tolerant		B02, B04 Označení oceli / Stav dodání Steel designation / Deliv. state		B03 Materiálová norma Classification standard		B03 Rozměrová norma Dimensional standard																														
Tyče kruhové-HOT ROLLED ROUND BARS 110 mm + 1,500 - 1,500 5-6 m Přímost tyčí 0,250% - Straightness 0,250%		S355J2 +AR		EN 10025-2:2004		EN 10060																														
A11 Dopr. prostředek č. Waggon No.	A12 Ložný list č. Loading list No.	B07 Tavba Heat No.	B08 Kruhy / Kusy Coils / Pieces	B08 Svazky Crbd	B13 Hmotnost (kg) Weight (kgs)																															
4SL4750	3720002651	37952	10	2	4505																															
B07, B14, C70 Tavba / Způsob výroby/ Způsob výroby Heat No./ Year of product/ Steelmaking process		C71-C92 Chemické složení-Chemical composition [%]																																		
37952/2020 BO-ZPO1 BOF-cc blooms		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> <th>Mo</th> <th>Al</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.19</td> <td>1.36</td> <td>0.191</td> <td>0.018</td> <td>0.012</td> <td>0.07</td> <td>0.03</td> <td>0.02</td> <td>0.010</td> <td>0.026</td> </tr> <tr> <td>0.003</td> <td>0.004</td> <td>0.0010</td> <td>0.0040</td> <td>0.025</td> <td>1.90 ppm</td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table>					C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	0.19	1.36	0.191	0.018	0.012	0.07	0.03	0.02	0.010	0.026	0.003	0.004	0.0010	0.0040	0.025	1.90 ppm				
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al																											
0.19	1.36	0.191	0.018	0.012	0.07	0.03	0.02	0.010	0.026																											
0.003	0.004	0.0010	0.0040	0.025	1.90 ppm																															
Mechanické hodnoty-Mechanical values																																				
B07 Tavba Heat No.	B05 Stav zkoušení Test state	C11 Mez kluzu Yield point Re/Rp 0,2 [MPa]	C12 Mez pevnosti Tensile strength Rm [MPa]	C13 Tažnost Elongation A5 [%]	C14 Kontrakce Contraction Z [%]	B05 Stav zkoušení Test state	C03 Zkušební teplota Test temperature	C40, C42 Zkouška rázem v ohybu Energy of impact KV [J] / KCV [J/cm ²]																												
37952	+N	400	542	33,0	75,2	+N	- 20 °C	146,0 188,0 204,0																												
B07 Tavba Heat No.	D56 Péchovací zkoušky Heading tests (EN 10263-1)	D57 Oduhličení Decarburization (max. / mm)	C54 Mikročistota Micropurity (DIN 50602)	C57 Velikost zrna Grain size	C30 Tvrдость HB Hardness HB	C93 Vakuování Vacuum degassing																														
37952						ano/yes																														

Document / Type of inspection document

Inspekční certifikát 3.1 - Inspection certificate 3.1, EN 10204:2004

A01/A05 Výrobní závod / Manufacturer's works Issued by		Stránka / Page 2/2	
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Czech Republic VZ - Sochorová válcovna, 272 01 Kladno - Dříň, Czech Republic		A03 Číslo dokumentu / Document No. 2020/03/005979-KRY	
B07 Tavba Heat No.	D53 100% kontrola totožnosti Sparking test 100%	D02 UZ kontrola US test	D54 Povrchové vady Surface defects
37952	provedena /O.K.	EN 10308 Třída/Class 3	EN 10221 TRÍDA/Class B
B07 Tavba Heat No.	D61 Stupeň protváření Reduction ratio		
37952	13,9		
			Z04 
D01 Kontrola povrchu, tvaru a rozměru odpovídá objednávce. Control of surface, shape and dimension corresponds to the order.			
D05 Toto jsou výrobky, které nezpůsobí škodlivé emise toxického zamoření, nebezpečné složky nebo záření do vnitřního prostředí ani znečištění vnějšího prostředí (vzduchu, půdy nebo vody). Products which do not cause harmful emission of toxic gasses, dangerous particles or radiation to the indoor environment nor contamination of the outdoor environment (air, soil, or water) Dodržena radioizotopická aktivita tavebního vzorku - max. 100 Bq/kg. Radio - isotopic activity was controlled in ladle sample, it was no higher than 100 Bq/kg.		A04 Značka výrobce / Manufacturer's logo 	
Z01 Dodaný materiál odpovídá předpisu objednávky. Products conform with the prescription of order.			
Z03 Elektronická verze tohoto dokumentu je chráněna elektronickým podpisem v souladu s nařízením EU č. 910/2014. Electronical version of this document is protected by the electronical signature according to Regulation (EU) No. 910/2014.			
Z02 Potvrdil - Expert: Krylová Táňa,		referent TJs, nezávislý oprávněný zástupce Officer of Quality Inspection of Releasing and Attesting, independent authorized agent	
Kladno: 13.03.2020			