



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

INTEGRACE TVÁŘECÍHO ZAŘÍZENÍ DO VÝROBNÍ LINKY

FORMING DEVICE INTEGRATION INTO PRODUCTION LINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Radek ŠABATA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Marek ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Šabata

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

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

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

Integrace tvářecího zařízení do výrobní linky

v anglickém jazyce:

Forming device integration into production line

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě literární rešerše výroby vnitřního dílu koncovky pro výfukové hadice provést zhodnocení současného stavu výroby a posoudit návrh integrace tvářecího zařízení do poloautomatické linky. Závěrem ekonomicky zhodnotit novou variantu.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování současného stavu technologie výroby dané součásti a její implementace a integrace do stávajícího poloautomatického zařízení. Zpracování výkresové dokumentace.
Technicko-ekonomické zhodnocení nové varianty.

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. DVOŘÁK, Milan et al. Technologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
3. HLAVENKA, Bohumil. Manipulace s materiálem (Systémy a prostředky manipulace s materiálem). 1. vyd. Brno: VUT-FSI, 1990, 164 s. ISBN 80-214-0068-4.
4. MACHÁČEK Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. Speciální technologie I. -Plošné a objemové tváření. 1.vyd. Brno: VUT-FSI, 1986, 168 s. 55-552/1-86
5. RUMÍŠEK, Pavel. Technologické projekty. 1.vyd. Brno: VUT-FSI, 1991, 185 s. ISBN 80-214-0385-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Štroner, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 14.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠABATA Radek: Integrace tvářecího zařízení do výrobní linky

S rostoucí poptávkou po flexibilních výfukových hadicích firmy WESTFALIA Metal s.r.o. se její výrobní kapacita vnitřních koncových dílů pro hadice přibližuje svému limitu a proto je nutné navrhnout dispoziční a technologické řešení, které by vhodně zvýšilo produkci. Vnitřní díl se vyrábí ze svitků plechu 17 240 zakružením, svařením metodou WIG a tvářením pomocí trnu. Problémem bylo použití lisu PYE 160, který je využíván i pro jiné účely. Je navrženo jeho nahrazení strojem s menšími rozměry a určením pouze pro dané díly, které budou vyráběny i nadále pomocí trnu. Technologie radiálního vypínání má vyšší požadavky na tvářecí sílu a u takto jednoduchých dílů jsou výhody této technologie nevyužity. Rozšiřování trnem bude zachováno.

Klíčová slova

kroužek, manipulace s materiálem, projektování, vypínání trnem, radiální vypínání

ABSTRACT

ŠABATA Radek: Forming device integration into production line

Due to raising need for flexible exhaust hoses made by WESTFALIA Metal s.r.o. is coming closer to its manufacturing limits of inner ending rings. Finding suitable layout and technological solution is needed. Inner ring is made from scroll sheet steel 17 240. Sheet is roll bended, WIG welded and formed into final shape. Problem is press PYE 160 which is used for other company needs. Replacement of this press with new machine specialized for this part is solution. Thanks to its specialization it will be smaller. Two main technology variants were considered - radial expanding and thorn expanding. Radial expanding is not suitable for this simple ring and forming force is bigger so thorn expanding is recommended.

Key words

ring, material handling, projecting, thorn expanding, radial expanding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠABATA, Radek. *Integrace tvářecího zařízení do výrobní linky*. Brno, 2013. 47 s, 1 výkres, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Integrace tvářecího zařízení do výrobní linky** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Radek Šabata

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a vedoucím výroby ve firmě Westfalia Metal s.r.o. za pomoc při zpracování návrhu řešení.

OBSAH

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	9
1 Rozbor problému	10
1.1 Westfalia	10
1.1.1 Produkty	10
1.2 Vnitřní koncový díl	11
1.3 Výrobní postup	14
1.4 Tváření	17
1.5 Rovnání	20
1.6 Dělení	20
1.7 Zakružování	22
1.8 Radiální vypínání	23
1.9 Roztahování trnem	28
1.10. Svařování	29
1.10.1 Charakteristika svařování	29
1.10.2 Metody svařování	33
1.11 Automatizace a rozmístění strojů	34
1.11.1 Linka	35
1.11.2 Kapacitní propočet	35
1.12 Rozbor problémů	36
2 Řešení	38
2.1 Možnosti řešení	38
2.2 Porovnání variant	40
2.2.1 Varianta 1	40
2.2.2 Varianta 2	41
2.2.3 Aktuální rozmístění	42
2.2.4 Navrhované řešení	44
2.2.5 Zhodnocení nákladů	45
3 Závěr	47
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh	

ÚVOD

Každý podnik musí při výrobě jakéhokoliv výrobku dbát na vyváženost ceny a kvality, aby náklady na výrobu nezvýšily prodejní cenu tak, že neobstojí v konkurenčním boji, a aby nízká kvalita neodradila zákazníky. Při vyšších počtech kusů ročně se s výhodou používají výrobní linky, které zaměstnávají méně pracovníků a zvyšují výrobnost. Je dobré výrobu v průběhu let modernizovat, původní stroje opatřit automatizačními prvky a jejich integrací vytvářet linky. V případě zjištění, že manipulační dráhy jsou dlouhé nebo příliš komplikované, je dobré změnit rozmístění strojů a zařízení. U dílů hromadně vyráběných, jako jsou trubky upravené tak, aby je bylo možné skládat a montovat do různých celků, je dobré zvažovat i jiné technologie, než které byly zavedeny na počátku. Velmi často se tyto díly používají ve výfukových systémech dopravních prostředků. Jsou charakteristické změnou průměru, kterou lze snadno a velmi ekonomicky docílit tvářením, kdy se mění tvar a rozměry, ale objem materiálu zůstává, nevzniká odpad. Nejčastěji se pro tváření konců využívá roztahování pomocí trnů nebo radiální vypínání. Obě metody spadají do tváření za studena a výsledky jsou si podobné, nicméně stroje a nástroje se liší.

1 ROZBOR PROBLÉMU

1.1 Westfalia [13]



Obr. 1 Logo firmy [13]

Společnost WESTFALIA Metal s.r.o. (Obr. 2), se sídlem v Hustopečích, je členem skupin WESTFALIA Group a HEITKAMP and THUMANN. Orientace skupiny je převážně na automobilový průmysl. Mezi zákazníky patří známí výrobci auto-

mobilů, průmyslových a zemědělských strojů. Vyráběné díly lze nalézt i v kancelářské a telekomunikační oblasti. Skupina působí v mnoha zemích východní i západní Evropy, v Asii a USA.

Společnost WESTFALIA Metal s.r.o. se zabývá výrobou ohebných kovových hadic včetně koncovek, které nalézají největší uplatnění v automobilovém průmyslu, významnými odběrateli jsou i elektrotechnické, stavební a strojírenské firmy. Sortiment zahrnuje průměry od 3,5 mm do 400 mm s průřezem kruhovým nebo vícehranným, používanými materiály jsou korozivzdorné nebo žárově pozinkované oceli. Výroba probíhá převážně na navíjecích strojích, jejichž konstrukce a výroba je realizována samotnou společností. Nepřetržitě sledování procesu a kvality je samozřejmostí.

1.1.1 Produkty [5],[13]

Část výroby je zaměřena na ochranné hadice (Obr. 3). Jsou to ohebné ochranné hadice určené k ochraně obsahu před mechanickým poškozením. Nejrozšířenějším využitím je ochrana vodivých kabelů, nebo jako ochrana hadic různého použití. Průměry ochranných



Obr. 2 Ochranné hadice [13]

hadic se pohybují v intervalu od 4 mm do 400 mm. Materiál těchto hadic je nerezová ocel nebo pozinkovaná ocel, jejich výhodou je stálost. Ochranné hadice lze pokrýt vrstvou plastu s vlastnostmi, odpovídajícími nárokům zákazníka. Dvojití provedení ochranných hadic ISA, ISE zaručuje spokojenost a splnění požadavků odběratele.

Pro aplikace s vyššími nároky je určen typ ISA, který chrání obsah před jiskrami při svařování, před třískami s vysokou teplotou, sálavým teplem. Pro ochranu před mechanickým poškozením, případně chemickými vli-

vy slouží typ ISE. Oba typy se používají pro sprchové hadice, telefonní a další kabely.

Stěžejní část výroby leží ve výfukových hadicích (Obr. 4). Jejich úkolem je odvod výfukových plynů různých motorů, zabránění přenosu vibrací mezi pohonnou jednotkou a výfukovým systémem. Pohlcejí zkrutné pohyby a snižují požadavky na rozměrovou přesnost montáže. Průměr výfukových hadic se pohybuje v rozmezí 20 – 300 mm. Materiálem je stejně jako u ochranných hadic korozivzdorná ocel nebo pozinkovaná ocel.



Obr. 3 Výfukové hadice [13]

Výfukové hadice mají tři typy provedení. Typ ASB je základní položkou sortimentu, má zaručen průměr vnitřního a vnějšího kroužku, minimální poloměr ohybu a flexibilitu. Na typ ASB navazuje nestandardní typ ASS, který je navíc plynotěsný. Oba typy mají dvojitě zahnutý profil Agraff bez těsnění. Nejnovější typ SSS má zdokonalenou geometrii profilu, takže je rovněž plynotěsná.



Obr. 4 Čtyřhranné hadice [13]

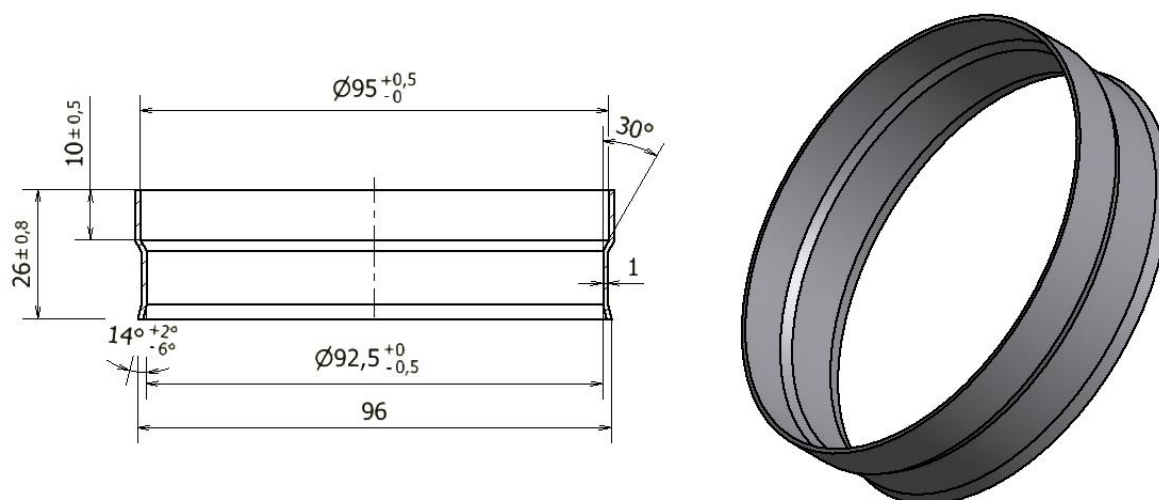
Čtyřhranné hadice (**Obr. 5**) jsou vyráběny jako kabelové nosiče pro vedení energií zejména u obráběcích strojů, dopravní a větrací techniky. Hadice chrání před extrémními vlivy okolního prostředí a zabraňují znečištění vnitřních vedení. Tyto hadice jsou odolné proti proměnnému mechanickému namáhání, korozi, mají nízkou hlučnost, vysokou ohebnost. Různé ohybové poloměry ulehčují montáž.

Všechny tabulky, obrázky a grafy je nutno označit jednoznačným názvem a popisem informací, které mají předat.

1.2 Vnitřní koncový díl [4], [6], [7], [8], [12]

Vnitřní koncový díl (**Obr. 5**), na který je zaměřena tato práce, je součástí sestavy tvořící výfukovou hadici. Tvar vychází z krátkého válce. Následným tvářením válcový tvar zanikne kvůli vzniku různých průměrů ve výšce kroužku. Funkční rozměry jsou tolerované, aby byla zajištěna plynotěsnost po namontování sestavy do výfukového systému vozidla. Nejedná se o vysoké přesnosti, kterých by nebylo možné dosáhnout konvenčními metodami.

Vnitřní koncový díl je z pásky plechu o tloušťce 1 mm. Šířka pásků je 24,4 mm. Použitý materiál je ČSN 17 240 (**Tab. 1**). Jde tedy o chrom niklovou ocel s austenitickou strukturou, která je vhodná ke tváření.



Obr. 5 Rozměry vnitřního kroužku koncové sestavy výfukové hadice

Tab. 1 Chemické složení oceli ČSN 17 240, DIN 1.4301, ASI 304 [4]

Prvek	Hmotnostní objem [%]
Dusík	max 0,11
Fosfor	max 0,045
Chrom	17 – 20
Křemík	max 1,0
Mangan	max 2,0
Nikl	9 – 11,5
Síra	max 0,03
Uhlík	max 0,07

Z chemického složení je patrné, že ocel je nerezová. Struktura nerezových ocelí je dána chemickým složením. K určení slouží Schäfflerův diagram (**Obr. 6**), jehož základem je výpočet chromového a niklového ekvivalentu. Ve výpočtech jsou zohledněny prvky, které se nejvíce podílí na výsledné struktuře, a dále je jim přiřazeno číslo, jež udává intenzitu jejich vlivu. Dělí se na austenitotvorné a feritotvorné. Do austenitotvorných patří prvky (např. uhlík, dusík, nikl), které stabilizují austenit, do feritotvorných zase prvky (např. chrom, křemík, titan) stabilizující ferit.

Niklový ekvivalent:

$$Ni_{ekv} = Ni + 0,5 \cdot Mg + 30 \cdot N + 30 \cdot C \quad [-] \quad (1)$$

kde: Ni, Mg... % hmotnostní procenta jednotlivých prvků

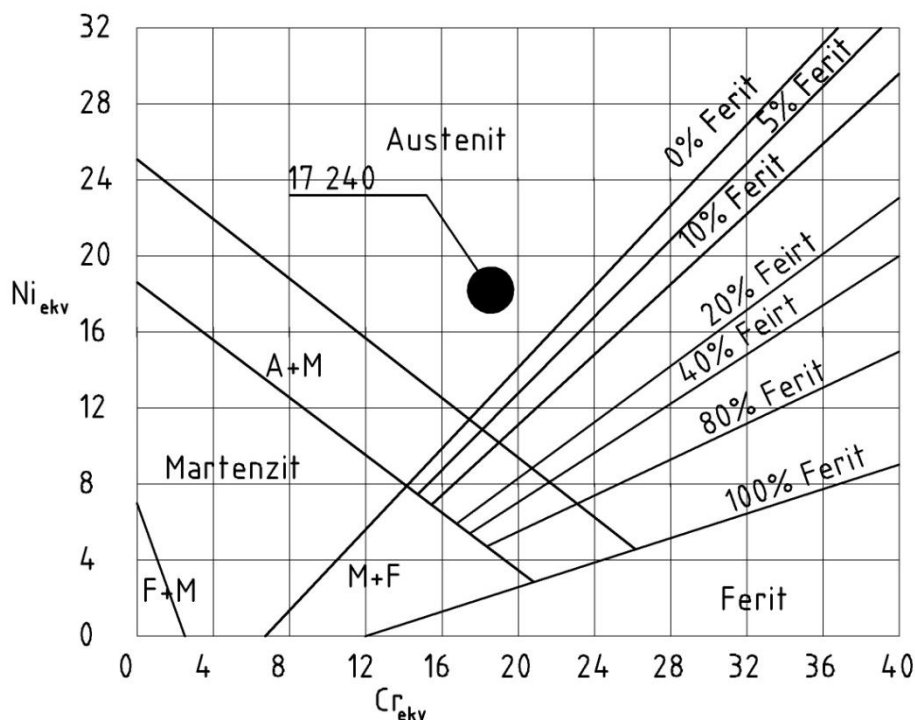
$$Ni_{ekv} = 9 + 0,5 \cdot 0 + 30 \cdot 0,11 + 30 \cdot 0,15 = 16,8$$

Chromový ekvivalent:

$$Cr_{ekv} = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [-] \quad (2)$$

kde: Cr, Mo... % hmotnostní procenta jednotlivých prvků

$$Cr_{ekv} = 18 + 0 + 1,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0 = 19,5$$



Obr. 6 Schäfflerův diagram [8]

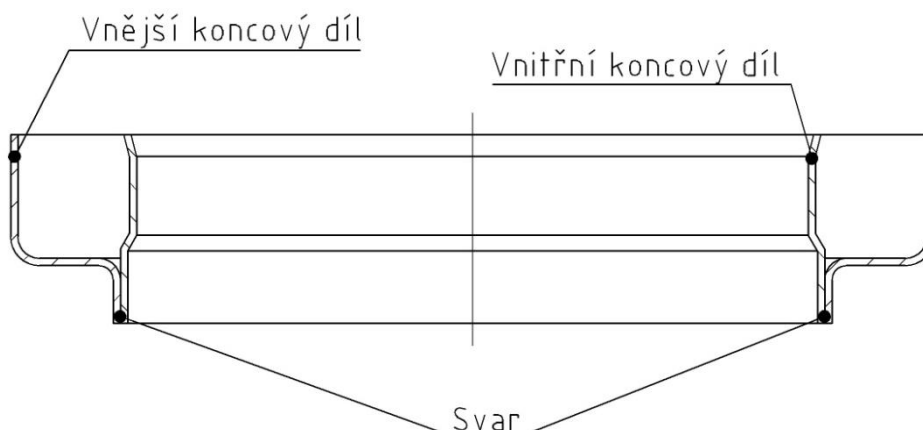
Odolnost této oceli proti korozi je výborná zejména v atmosférickém a půdním prostředí, ale je nevhodná do prostředí s chlorem, kde může docházet k mezikrystalové korozi. Teploty snáší do 450 °C dlouhodobě, při vyšších teplotách ztrácí schopnost korozní odolnosti ve vodném prostředí. Nízký obsah uhlíku dovoluje svařování, ale vyskytuje se náchylnost pro mezikrystalickou korozi v oblasti svaru. Při průvarech nad 5 mm se musí žíhat a následně tryskat a mořit.

Tab. 2 Vlastnosti oceli 17 240 [4]

Mech. vlastnosti	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Mez pevnosti v tahu	R_m	490 - 686	MPa
Mez kluzu	$R_{p0,2}$	Min 186	MPa
Tažnost plechu	A	37	%
Fyzikální vlastnosti			
Hustota	ρ	7,9	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Modul pružnosti při 20 °C	E	199 000	MPa
Součinitel teplotní roztažnosti	α	$16 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabulka 2 říká, že ocel je vhodná ke tváření, tzn. ohýbání, stříhání, tažení. Objevuje se zpevňování za studena po tažení. Musí se dát pozor na obrábění, při nevhodných podmínkách přechází austenit na martenzit, dojde ke zvýšení tvrdosti a pevnosti, poklesu tažnosti. Pro odstranění zpevňování lze žíhat při teplotách 1000 – 1100 °C, následné chlazení probíhá ve vodě nebo intenzivně vzduchem. Využívá se v potravinářském průmyslu, konstrukce v exteriéru, ve vodárnách.

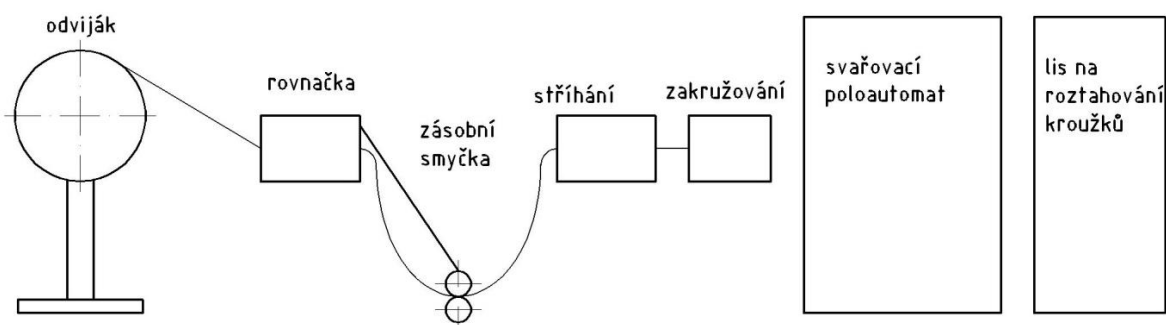
Požadovaná série pro rok 2014 je 210 000 kusů, předpokládá se, že v následujících letech se tento požadavek pravděpodobně zvýší. Kroužek se používá v koncové sestavě hadice. Sestava se skládá z vnitřního koncového dílu, vnějšího koncového dílu a flexibilní kovové hadice (**Obr. 7**). Sestava spadá do kategorie GTH (gas tight hose) – plynotěsné hadice, které musí splňovat emisní předpisy EURO 6. Hadice je určena pro použití do výfukových systémů zejména nákladních automobilů. Hadice lze stlačit a roztáhnout, dále umožňují torzní pohyb – částečnou rotaci kolem osy. Smontování sestavy probíhá v přípravcích, které slouží k uchycení dílů v požadované poloze a následnému svaření.



Obr. 7 Koncová sestava

1.3 Výrobní postup

Celý výrobní postup probíhá na strojích, které jsou rozmístěny do linky. Takže materiálový tok je přímočarý. Celá strojová sestava byla původně určena na výrobu vnějších kroužků. Následná modernizace a úprava umožnila výrobu i vnitřních dílů. Díly zakončovací podsestavy se tedy vyrábí na jedné lince, pouze se vždy před každou dávkou nastaví jiné svařovací parametry nebo vymění vypínací nástroje na lisu. Výrobní postup se skládá z rovnání plechu, následuje stříhání, zakružování, svařování a poslední operací je tváření, kde dostane polotovár výsledný tvar a je připraven k použití do sestavy (**Obr. 8**).



Obr. 8 Výrobní postup

Základním polotovarem pro výrobu vnitřního kroužku koncovky výfukové hadice je svitek plechu. Svitky jsou hojně využívány, jelikož se dají bez obtíží přepravovat i skladovat. Tento způsob je šetrný k materiálu samotnému. Deformace vzniklé namotáním plechu lze snadno eliminovat a nedochází k poškození či porušení materiálu. Svitku se umístí na odvíják, osa svitku je po zavěšení ve vodorovné poloze. Stojan je mechanický bez vlastního pohonu. Volný konec se uchytí podavačem nebo je odmotáván jiným způsobem.

V případě daného výrobního postupu se konec svitku zavede do rovnačky (**Obr. 9**). Toto zařízení má sedm válců, tři horní a čtyři spodní. Válce jsou umístěny tak, aby docházelo k tvarové deformaci pásky. Vzdálenosti os se postupně zvyšují tak, že první pár deformuje pásku plasticky a poslední pár deformuje pásku už pouze elasticky. Rovnačka má vlastní pohon, mezi první pár válců se zavede páska a rotace válců jej dále posouvá zařízením. Úkolem rovnačky je eliminovat tvarové deformace způsobené namotáním pásku do svitku.



Obr. 9 Rovnačka

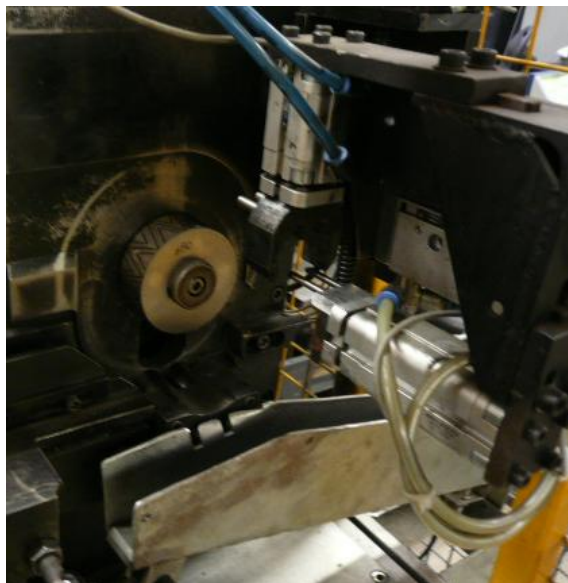
Z rovnačky pokračuje materiál do zásobní smyčky, která jej směřuje k další operaci, kterou je stříhání. Stříhání probíhá na jednoduchém zařízení (**Obr. 10**), které se skládá ze střížníku, střížnice a přídržovačů. Střížník není rovný, jak je obvyklé, ale jeho střížná hrana je zešikmená, takže maximální střížná síla je menší než by vyžadoval rovný. Přídržovače jsou z obou stran střížníku. Přídržovací plocha má rádius. Úkolem tohoto poloměru je zaoblení konců pásků. Zvolená navazující technologie – zakružování - vytváří polotovary kruhového tvaru, ale konce zůstávají nedeformované. Aby bylo dosaženo požadovaného zaoblení konců, musí být proti přídržovačům opěrná plocha. Na kvalitu střížné plochy jsou kladeny vyšší nároky, kvůli předposlední operaci - svařování. Kvalita střížné plochy je zajištěna napětím, které vytváří přídržovače při tváření konců pásku.

Potřebnou sílu na ustřížení pásku dodává pneumatický válec, který tlačí na střížník a posouvá jej svisle dolů.



Obr. 10 Stříhací nástroj

Pásek dále pokračuje po pásovém přepravníku k zakružovacímu zařízení (**Obr. 11**). Aby se získal z rovného pásku válcový tvar, je potřeba pásek zakružovat. V tomto případě je použit pouze jeden zakružovací hladký válec a opěrná deska s rádiusovým vybráním. Pásek je podavači umístěn tak, že jeho délka je půlena osou symetrie. Samotné zakružování je prováděno plynulým posunem vrchního válce k opěrné desce a rotací tohoto válce kolem své osy. Tím dochází k deformaci pásky do kruhového tvaru a zároveň jeho rotaci ve směru rotace. Jakmile se konec pásky přiblíží k zakružovacímu válci, změní se směr otáčení válce a je zakružena druhá strana pásky. Pohyb končí natočením rozevření pásky směrem k opěrné desce, aby mohl vyhazovač uchytit kroužek, vyjmout jej z nástroje a spustit do šikmého žlábků, odkud se skutálí do přepravního koše.



Obr. 11 Zakružovačka a vyhazovací zařízení

Další operace se provádí na svařovacím poloautomatu. Z přepravního koše je kroužek vyjmut obsluhou svařovacího poloautomatu a zavěšen na tyčovitý držák tak, že otevření míří vzhůru. Osa držáku je vodorovná a jsou upevněny v otočné trojstranné hlavě poloautomatu. Držáky jsou dva, takže se svařují dva kroužky najednou. Stiskem tlačítka jsou oba

konce, které vznikly ustřížením, přitlačeny čelistmi k válcové opoře (**Obr. 12**) a rozevření je uzavřeno. Konce se dotýkají rovnoběžnými plochami, které vznikly při dělení pásku stříháním. Umístění kroužků a pokyn stroji k jejich upevnění je prováděno pracovníkem, který ovládá svařovací poloautomat. Jakmile jsou kroužky upevněny k držákům a kruhovitý tvar je tímto uzavřen, otočí se hlava s kroužky a přemístí je do svařovací zóny. Kroužky jsou svařeny pomocí elektrického oblouku a netavící se wolframové elektrody. Při svařování dochází k natavení obou konců kroužků a k jejich slití. Svařování probíhá bez přídavného materiálu, v ochranné atmosféře, která se skládá z argonu a oxidu uhličitého, procentuální zastoupení argonu je 94 %. Hlava svařovacího poloautomatu se následně otočí a sevření čelistí je uvolněno. Pracovník oba kroužky vyjme a svary vizuálně zkontroluje. Kroužky se svary bez vady jsou umístěny na pás, který kroužky přepraví do přepravního koše určeného na tyto kroužky. Kroužky s vadou jsou vyhozeny do přepravního koše na vadné kroužky.

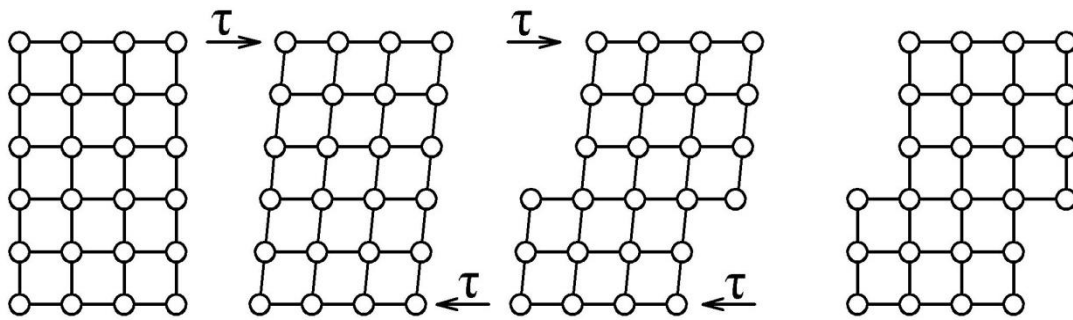


Obr. 12 Upnutí kroužků ve svařovacím poloautomatu

Kroužky bez vady jsou v koši přepraveny k lisu. Zde probíhá poslední výrobní operace, rozšiřování pomocí trnu. Smyslem této operace je rozšířit průměr kroužku v určité výšce, takže vznikne přechod mezi dvěma průměry. Děje se tak pomocí trnu, který zajíždí do prstence z vrchu a působí rovnoměrným tlakem na vnitřní stěnu prstence ve směru poloměru. Tváření probíhá do relativně malé výšky prstence, proto stačí použít trn, který nerotuje. Díky tomu lze roztahovat kroužky na běžném hydraulickém lisu, firma používá lis PYE 160, který je určen i pro jiné díly a potřeby firmy.

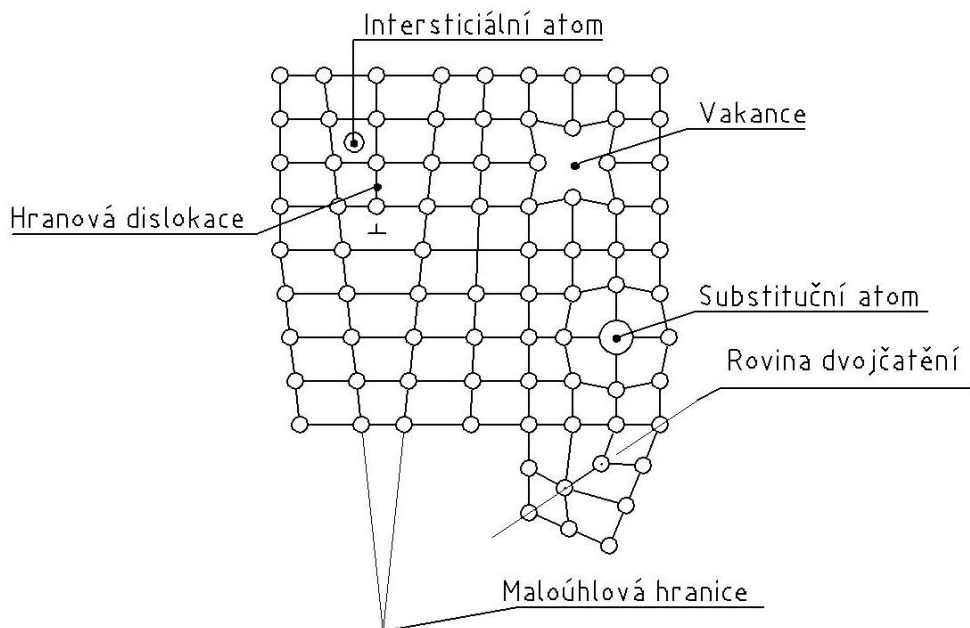
1.4 Tváření [1], [2], [3]

Převážná většina operací při výrobě vnitřního kroužku spadá do technologie tváření. Základním jevem tváření je změna tvaru a rozměrů, která je způsobena působením vnějších sil. Působící síla musí být tak velká, aby napětí vytvořené v materiálu překročilo mez kluzu, ale nesmí být větší než mez pevnosti. Změna rozměrů a tvaru se nazývá deformace a dělí se na pružnou a plastickou (**Obr. 13**). Pružná deformace existuje jen během působení síly a lze popsat Hookeovým zákonem - velikost deformace se přímo úměrně mění podle velikosti napětí. Jakmile přestane působit zatížení, pružná deformace zanikne a těleso se vrátí do původního tvaru. Plastická deformace je naopak trvalá, se zachováním krystalické struktury. Deformace probíhá na hranicích nebo uvnitř zrn hlavně kluzem, případně dvojčatěním. Kluz probíhá v rovinách nejhustěji obsazených atomy a ve směru s nejvíce atomy. Principem dvojčatění je natočení části mřížky vůči druhé tak, že mezi nimi vznikne rovina symetrie.



Obr. 13 Pružná a plastická deformace [1]

Kovy mají v tuhém stavu pravidelně geometricky uspořádané atomy do krystalové mřížky tak, aby jejich vnitřní energie byla co nejnižší. Nejčastější mřížka vytvářená kovy je kubická prostorově středěná (např. železo α , chrom, wolfram), kubická plošně středěná (železo γ , měď, stříbro) nebo šesterečná (titan). V praxi se v těchto mřížkách objevují vady a poruchy (**Obr. 14**), které ovlivňují mechanické vlastnosti kovů. Vady vznikají při každé práci s kovem, jak odléváním, tak každým dalším zpracováním. Pokud je nedokonalost způsobená jedním atomem, mluvíme o bodové poruše. Atom může v mřížce chybět - vakance, nebo je atom základního kovu nahrazen atomem jiného prvku - substituce, případně je v základní mřížce vměstnán atom cizího prvku - intersticie. Další vady v mřížce se netýkají pouze samostatných atomů, ale celých skupin. Pokud jsou v přímce, nazývají se čárové poruchy nebo také dislokace. Samozřejmě se vyskytují vady plošné a prostorové. Nicméně největší vliv na tváření mají čárové poruchy, které se během zpracování pohybují. Základem je kluz dislokací, jež začíná v zrnech, které jsou nejvhodněji orientované ve směru tváření, následuje natočení sousedních zrn a další pohyb dislokací. Za vhodných podmínek proběhne i dvojčatění. Výsledkem této plastické deformace je zmenšení rozdílů v orientaci zrn, vizuálně charakteristické texturou a anizotropií - mechanické vlastnosti závisí na krystalové orientaci.



Obr. 14 Poruchy krystalové mřížky [1]

Během tváření materiál vyčerpává svou plasticitu – schopnost být tvářen, což se projevuje nárůstem deformačního odporu. Materiál zpevňuje. Počáteční volný pohyb dislokací se zpomaluje, jelikož se hromadí před překážkami, jako jsou hranice zrn, nebo dojde ke shluku dislokací, jež si navzájem brání v pohybu. Tím dochází ke zvýšení zbytkového napětí materiálu a stává se termodynamicky nestabilním, ale pro přechod do stabilnějšího stavu je potřeba dodat tepelnou energii. Výsledkem je nárůst pevnosti v tahu, meze kluzu a pokles tažnosti. Vyjmenované mechanické změny jsou v některých případech nechtěné. Důvodem může být potřeba další tvářecí operace, nebo úprava, návrat k původním vlastnostem materiálu.

Jak z textu výše vyplývá, lze deformační energii snížit dodáním energie ve formě tepla. Pokud se tak stane, dislokace se uvolní a rozprostřou, pokud mají stejné znaménko, vytvoří polygonizační síť. Některé dislokace zaniknou a to tak, že se dvě hranové dislokace s opačným znaménkem vruší. Tento proces se nazývá zotavení, teplota k tomu potřebná začíná na 30% teploty tavení. Výsledkem je významný pokles zbytkového pnutí. Další změnou je malé snížení tvrdosti a pevnosti, zajímavé je zvýšení odolnosti proti korozi.

Jestliže je nutné vrátit materiálu nedeformovanou strukturu, pak se používá rekrystalizace. Probíhá tak, že nukleují a rostou nová zrna z původních. Potřebná teplota se pohybuje v rozmezí 35 – 40 % teploty tavení. Nesmí být překročena teplota překrystalizace, což by způsobilo změnu struktury. Čím větší přetvoření, tím je potřebná nižší teplota, protože je v materiálu větší zbytkové napětí a tedy větší termodynamická nestabilita. Velikost přetvoření dále ovlivňuje velikost nových zrn. Pokud je přetvoření velké, v materiálu je více míst, kde mohou nukleovat nová zrna a konečná struktura bude jemnozrnná. Naopak s malou deformací zrno zhrubne. Zpravidla se u velmi deformovaných materiálů provádí výdrž na rekrystalizační teplotě. Tím se hranice zrn napřímí a větší zrna rostou na úkor menších. Výsledná velikost zrn je dána nejen stupněm deformace před ohřevem, ale i teplotou rekrystalizace a výdrží na dané teplotě.

U ocelí, hlavně nízkouhlíkových, tvářených za studena se objevuje stárnutí. Atomy jiných prvků, které jsou intersticiálně zakotveny v mřížce, reagují s dislokacemi. Zejména atomy dusíku difundují k dislokacím, kde získají metastabilitu. Negativní je, že dochází k blokaci volných dislokací, materiál ztrácí tažnost. Protiopatřením je snížení obsahu dusíku v oceli, děje se tak navázáním na prvek, který je reaktivnější – má vyšší afinitu k dusíku. Případně lze dosáhnout uvolnění dislokací malou plastickou deformací, tento proces je nazýván renovace.

Změny rozměrů při tváření se ve strojírenství vyjadřují zejména pomocí absolutní (Δl), poměrné (ϵ) a skutečné (ϕ) deformace. Tyto veličiny se počítají z rozměrů polotovaru a rozměrů požadovaných po tváření. Výsledky rozhodují o volbě technologie, proveditelnosti a počtu potřebných operací.

Absolutní deformace pro jednoosé tažení:

$$\Delta l = l_1 - l_0 \quad [mm] \quad (4)$$

kde: l_0 mm původní rozměr
 l_1 mm rozměr po tváření

Poměrná deformace:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} [-] \quad (5)$$

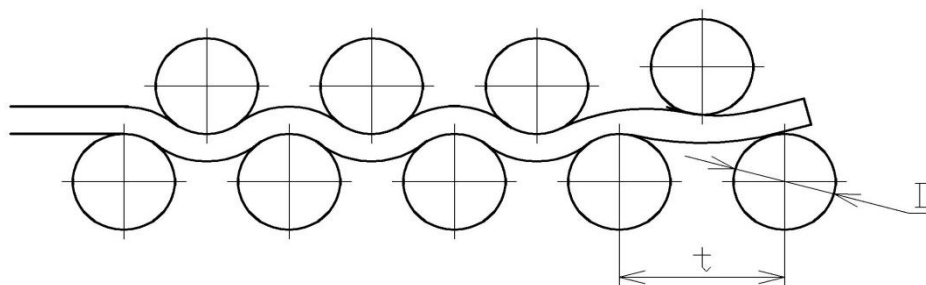
Skutečná (logaritmická) deformace:

$$\varphi = \ln \frac{l_1}{l_0} [-] \quad (6)$$

1.5 Rovnání [1], [2]

Rovnání slouží k odstranění nežádoucí deformace, která vznikla manipulací s materiálem nebo výrobou polotovarů. Technologie je založena na ohýbání polotovarů, díky čemuž se odstraní deformace, které nejsou žádoucí. V závislosti na polotvaru se volí metoda, kterou bude narovnan.

Nejběžnější je rovnání pomocí válců (**Obr. 15**). Soustava je tvořena vstupním párem zaváděcích válců, dále následují válce, které materiál střídavě ohýbají. Rozteč válců se postupně zvětšuje, až je na konci deformován pouze elasticky. Soustava je zakončena výstupním párem válců.



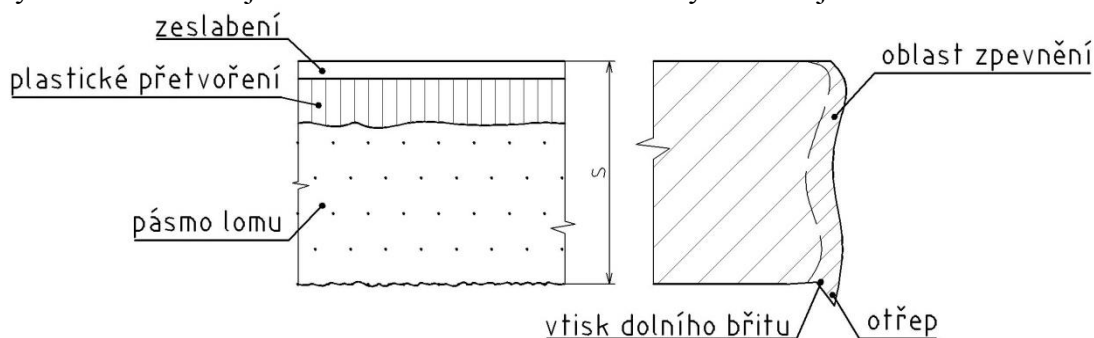
Obr. 15 Schéma rovnačky [1]

Je možné rovnat i profilové polotovary, zde je potřeba tvarovaných válců. Rychlost válců je v intervalu od 0,1 do 2 m.s⁻¹. Menší díly se rovnají s pomocí rovnacího nástroje, který se upíná do beranu lisu. Upínání je realizováno stopkou. Pro měkké materiály jsou čelisti hladké s broušeným povrchem Ra = 0,4 μm. Tvrdší materiály se tváří nástroji s funkčními plochami, které mají tvar čtyřbokého komolého jehlanu.

1.6 Dělení [1], [2], [3]

Dělení polotovarů je ve strojírenství velmi rozšířené. Hutní polotovary se vyrábí ve velkém množství s různými rozměry. Z jednoho kusu polotovaru se zpravidla vyrobí několik dílů, což je velmi výhodné pro sériovou výrobu. Dělit tyto polotovary je možné několika způsoby. Nejdostupnější je dělení upichováním, kdy se materiál dělí na soustruhu, který je ve většině podniků. Negativní je malá produktivita a velká spotřeba materiálu. Dále lze materiály s mezí pevnosti vyšší než 600 MPa lámat. Je nutné vytvořit v materiálu vrub. Lomová plocha je velice nekvalitní a často se tvoří trhliny v okolí lomu. V kovárnách se polotovary sekají pomocí sekáče upnuté do bucharů. I tato metoda má nekvalitní dělicí plochu. Často používaným způsobem je řezání na pásové pile. Jde o metodu s dobrou produktivitou, ale vzniká odpad prořezem pásu. Pro dosažení lepší dělené plochy se používá laserový nebo vodní paprsek. Při použití laseru lze dělit kovové materiály, plasty, dřevo,

pryže. Soustředěný paprsek fotonů ohřeje místo dopadu až na teplotu varu a tlak plynu tento materiál z místa řezu vyfukuje. U vodního paprsku se využívá kapaliny, která má vysoký tlak. Pro dělení kovů se používají abrazivní částice. Tyto metody jsou omezeny tloušťkou materiálu. Stříhání je nejrozšířenější technologií dělení materiálu. Touto technologií lze dělit tabule plechu, tyče různých průřezů a trubky. Stříhání probíhá nejčastěji za studena, hranice mezi stříháním za studena a za tepla je obvykle v mezi pevnosti 400 MPa. Pro materiály s vyšší pevností se ohřívá až na 700 °C. Stejně tak je nutné ohřívát polotovary s větším průřezem, zde je obvykle horní hranice ohřevu 300 °C. Stříháním dochází k oddělení materiálu pomocí břitů, které vyvolávají kombinované namáhání, takže nedochází pouze ke smyku a střižná plocha neleží v jedné rovině. Plocha po stříhu má tři pásma (**Obr. 16**). První pásmo vznikne vnikáním střižníku do materiálu, hloubka vniku závisí na materiálových vlastnostech. Během této fáze vznikají síly na hranách střižnice proti střižné síle a stříhaný materiál má tendenci se ohýbat. Překročení meze kluzu způsobí plastické přetvoření. Dalším zvyšováním síly je překročena mez pevnosti a vytváří se trhliny. Šíření trhlin už je dokončením vlastního stříhu a výsledkem je oddělení materiálu.



Obr. 16 Vzhled střižné plochy [3]

Stříháním lze dosáhnout stupně přesnosti IT 12 – 9. Podstatný vliv na kvalitu střižné plochy má materiál. S jeho vyšší tvrdostí a křehkostí se zvětšuje šířka pásma utržení. Rozhodující pro kvalitu je střižná mezera mezi noži. Volí se podle mechanických vlastností stříhaného materiálu a tloušťce. Úkolem střižné mezery je spojení trhlin od nožů během stříhání v jednu plochu.

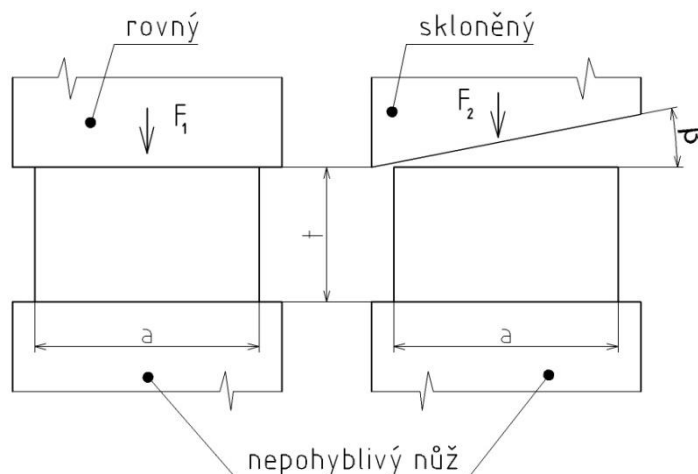
Nejčastěji se střižník konstruuje tak, aby bylo ostří rovné, pokud je potřeba snížit požadovanou střižnou sílu, je možné nože sklonit (**Obr. 17**). Nůž vniká do materiálu postupně, pod úhlem, a celková střižná síla, která je potřeba na provedení stříhu, je menší než při použití rovných a nožů. Je to díky tomu, že okamžitá střižná plocha je menší. Střižná síla pak závisí na délce střižné hrany a tloušťce stříhaného materiálu.

$$F_S = S \cdot \tau_{ps} \cdot m \quad [N] \quad (7)$$

kde: S mm² Plocha původního průřezu ve střižné rovině
 τ_{ps} MPa pevnost ve stříhu
m - součinitel otupení nástroje

$$S = a \cdot t \quad (8)$$

kde: a mm délka stříhané plochy
t mm tloušťka materiálu



Obr. 17 Konstrukce nožů [1]

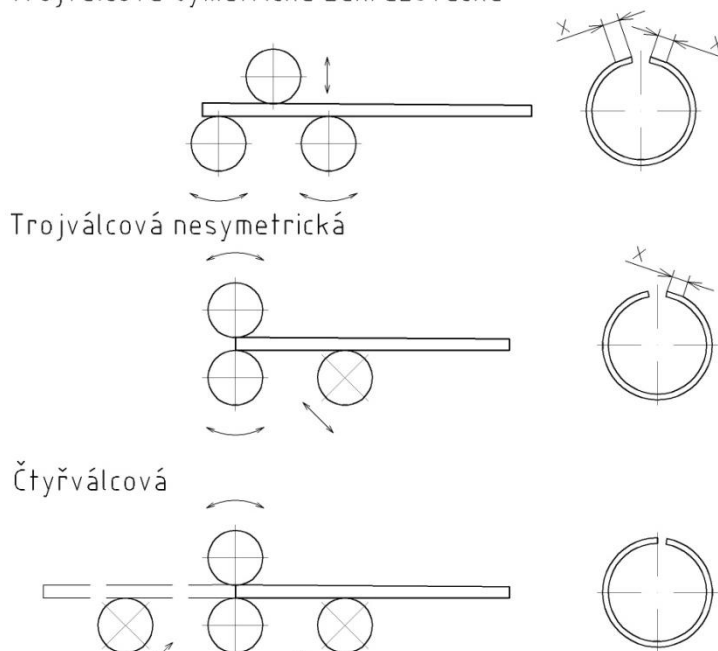
Střížná síla pro skloněné ostří:

$$F_{ss} = \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \tau_{ps} \quad (9)$$

kde: β ° úhel sklonu nožů

Pro dosažení vyššího stupně přesnosti střížné plochy lze použít různé metody přesného stříhání. Aby bylo dosaženo takových cílů je potřeba změnit konstrukci střížného nástroje nebo způsob stříhání. Při běžném stříhání působí na materiál dvouosé napětí, vytvoření trojosé napjatosti je jedna z možností, jak zlepšit kvalitu střížné plochy.

Trojválnová symetrická zakružovačka



Obr. 18 Konstrukční provedení zakružovaček [2]

1.7 Zakružování [1], [2]

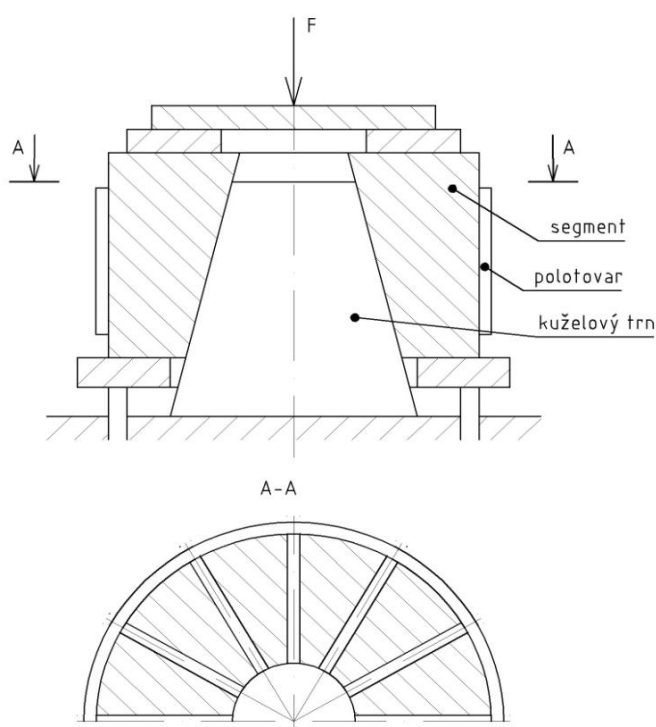
Zakružování je technologie, která má za úkol vytvořit válcové nebo kuželové součásti z rovinného plechového přístříhu. Zakružování je děj, při němž dochází k ohybu přístříhů mezi válci postupným a plynulým pohybem pomocí hladkých válců. Zakružovačky se dělí podle polohy válců a počtu válců. Podle polohy rozlišujeme zakružovačky symetrické a nesymetrické, rozlišení je dáno pomyslnou osou symetrie (Obr. 19). Nejčastěji se používají zakružovačky se třemi nebo čtyřmi válci.

Zakružování se provádí za studena u plechů s tloušťkou menší než 40 mm, plechy větších tloušťek se zpracovávají za tepla. Podstatou zakružování je plastická deformace, která je provázána deformací elastickou. Elastická deformace způsobuje odpružení, které má za následek odlišnost tvaru, než byl materiálu dán působením nástroje. Proto je nutné nastavit zakružovací proces tak, aby po vyjmutí polotovaru z nástroje bylo dosaženo požadovaného rozměru.

Při použití tří symetricky rozmístěných válců zůstávají oba konce nedeformované, vytvořením nesymetrického rozložení se jeden nedeformovaný konec eliminuje. Pro deformaci v celé délce plechu je nutné použít čtyři válce.

Hlavní pohyb vykonává prostřední válec, který má vlastní pohon. Jeho otáčivý moment vyvozuje rotační pohyb krajních válců. A dále jeho pohyb vytváří radiálně působící sílu, proti které působí jako reakce síly krajních válců, jejichž pozice je pevně dána.

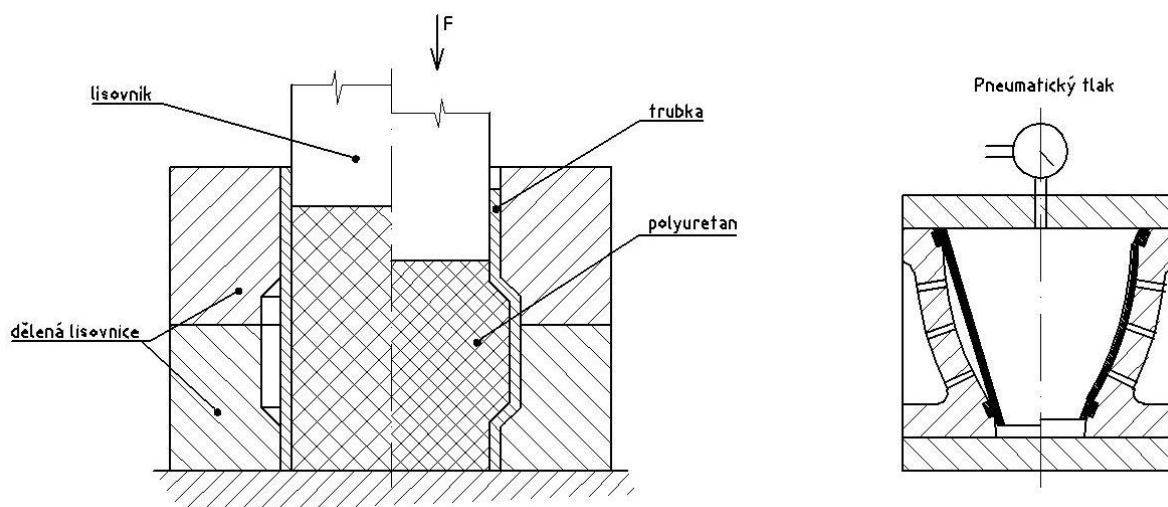
1.8 Radiální vypínání [10]



Obr. 19 Konstrukce pevného segmentového nástroje [10]

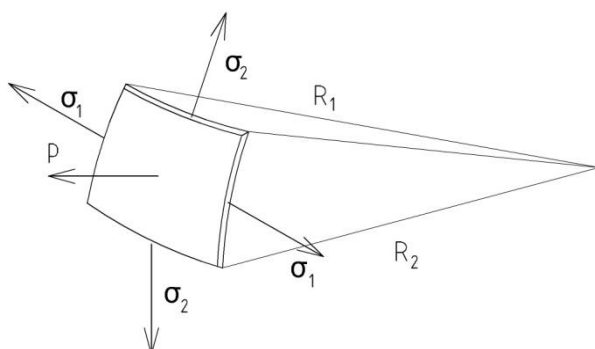
Vyráběný kroužek je charakteristický tím, že nemá jednotný průměr v celé své výšce. Původní průměr je zachován do určité výšky kroužku, poté je vytvořen přechod mezi dvěma průměry na malém úseku výšky a zvětšený průměr si zachovává ve zbytku výšky. S přihlédnutím k možnosti spojitěho přechodu je vhodnou technologií radiální vypínání. Provádí se působením tlaku na vnitřní stranu polotovaru, důsledkem toho je změna tvaru a zvětšení rozměrů. Vypínání samozřejmě patří do tváření, při němž nesmí být překročena mez pevnosti a platí zde i zákon o zachování objemu, původní objem materiálu je stejný i po tváření. Zvětšení průměru je tedy doprovázeno ztenčením stěny a často i zmenšením výšky polotovaru. Polotovary, které je možné tvářet radiálním vypínáním, jsou charakteristické svou symetrií a tenkými stěnami. Je možné rozpínat průměry od 10 do 2000 mm. Polotovary mohou mít dno nebo být průchozí, délkově lze zpracovat krátké prstence i delší trubky. Nástroje pro vypínání se konstruují jako pevné (Obr. 20) nebo nepevné. Pevné nástroje jsou tvořeny segmenty a trnem, nepevné jsou z elastického materiálu nebo je použita kapalina, případně vzduch (Obr. 20).

Vyráběný kroužek je charakteristický tím, že nemá jednotný průměr v celé své výšce. Původní průměr je zachován do určité výšky kroužku, poté je vytvořen přechod mezi dvěma průměry na malém úseku výšky a zvětšený průměr si zachovává ve zbytku výšky. S přihlédnutím k možnosti spojitěho přechodu je vhodnou technologií radiální vypínání. Provádí se působením tlaku na vnitřní stranu polotovaru, důsledkem toho je změna tvaru a zvětšení rozměrů. Vypínání samozřejmě patří do tváření, při němž nesmí být překročena mez pevnosti a platí zde i zákon o zachování objemu, původní objem materiálu je stejný i po tváření. Zvětšení průměru je tedy doprovázeno ztenčením stěny a často i zmenšením výšky polotovaru. Polotovary, které je možné tvářet radiálním vypínáním,



Obr. 20 Vypínání nepevnými nástroji [10]

Materiály s vyšší pevností nebo větší tloušťkou se tváří pevným nástrojem. Nástroj se skládá ze segmentů a trnu. Nasouváním segmentů na kuželovitý trn dochází k jejich pohybu v radiálním směru. Polotovaru tvoří válcový plášť segmentů, které na něj působí tlakem. Tento tlak je vyvozen silou nasouvající segmenty na trn. Mezi jednotlivými segmenty vznikají mezery způsobené jejich vysouváním, které mohou vést k vytvoření dvou negativních jevů. Prvním z nich je vytvoření otisků hran tvářecích segmentů na polotovaru. Druhým je rozdílná tloušťka materiálu, v místech styku s nástrojem je větší než v mezerách. Tento jev je způsoben třením mezi nástrojem a polotovarem.



Obr. 21 Element vypínaného dílu [10]

Pro určení napjatostí a deformace se během vypínání pevným nástrojem počítá s konstantním tlakem na celý tvářený prstenec, jako je tomu při použití kapaliny nebo plynu. Dále je tloušťka kroužku vůči ostatním rozměrům nepatrná a lze použít membránovou teorii, která vychází z dvouosého stavu napjatosti po obvodu σ_1 a meridiálně σ_2 (Obr. 22). Pro výpočet tlaku potřebného pro vypínání nebo tloušťky stěny vypínaného polotovaru se sestavují rovnice, které vychází z membránové teorie. Jejím základním předpokladem je skořepina s malou tloušťkou materiálu, což má za následek spojení deformace a napjatosti. Materiál se chová ideálně plasticky a izotropně, je dokonale ohebný. Během vypínání nedochází ke vzniku a přenosu ohybového momentu, naopak meridiální a obvodové napětí se přenáší bez problému. Díl musí být osově symetrický.

Pro určení napjatostí a deformace se během vypínání pevným nástrojem počítá s konstantním tlakem na celý tvářený prstenec, jako je tomu při použití kapaliny nebo plynu. Dále je tloušťka kroužku vůči ostatním rozměrům nepatrná a lze použít membránovou teorii, která vychází z dvouosého stavu napjatosti po obvodu σ_1 a meridiálně σ_2 (Obr. 22). Pro výpočet tlaku potřebného pro vypínání nebo tloušťky stěny vypínaného polotovaru se sestavují rovnice, které vychází z membránové teorie. Jejím základním předpokladem je skořepina s malou tloušťkou materiálu, což má za následek spojení deformace a napjatosti. Materiál se chová ideálně plasticky a izotropně, je dokonale ohebný. Během vypínání nedochází ke vzniku a přenosu ohybového momentu, naopak meridiální a obvodové napětí se přenáší bez problému. Díl musí být osově symetrický.

Jedním ze základních vztahů pro analýzu napětí a výpočty s tím spojené je zákon zachování konstantního objemu:

$$(1 + \varepsilon_1)(1 + \varepsilon_2)(1 + \varepsilon_3) = 1 \quad (10)$$

Kde: ε - poměrná deformace

Jednotlivé deformace:

$$\varepsilon_1 = \frac{r_i}{r_0} - 1 \quad [-] \quad (11)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{h_i}{h_0} - 1 \quad [-] \quad (12)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{t_i}{t_0} - 1 \quad [-] \quad (13)$$

Kde: h_i mm výška prstence po vypínání
 h_0 mm výška polotovaru
 r_i mm poloměr po vypínání
 r_0 mm poloměr polotovaru
 t_i mm tloušťka kroužku
 t_0 mm tloušťka polotovaru

Pro vyjádření vztahu mezi napětím, vnějším zatížením a rozměry dílce se používá Laplaceova rovnice rovnováhy napětí, která zanedbává změnu tloušťky stěny:

$$\frac{\sigma_1}{R_1} + \frac{\sigma_2}{R_2} = \frac{p}{t} \quad (14)$$

Kde: p MPa tlak na stěnu
 t mm tloušťka stěny
 R_i mm poloměry zakřivení elementu
 σ MPa napětí v jednotlivých směrech

V případě, že se jedná o dílec válcového tvaru, pak lze rovnici zjednodušit do tvaru:

$$\frac{\sigma_1}{R_1} = \frac{p}{t} \quad (15)$$

Tato úprava je možná díky tomu, že poloměr zakřivení R_1 je poloměrem válce a poloměr zakřivení $R_2 = \infty$.

Při výpočtu tlaku se pro zjednodušení zavádí předpoklad, že nedochází ke změně výšky polotovaru a mezní deformace odpovídá mezi pevnosti.

Takže lze za napětí σ_1 dosadit hodnotu meze pevnosti R_m , výsledný výpočet je pak ve tvaru:

$$\frac{R_m}{R_1} = \frac{p}{t} \quad (16)$$

$$p = \frac{R_m}{R_1} \cdot t \text{ [MPa]}$$

Stanovení požadované síly je založeno na rovnováze sil působících na jeden segment nástroje.

$$N - p \cdot S_s = 0 \quad (17)$$

Rozložením tohoto vztahu do osy x a y získáme rovnice dvě, kde složka vnější síly Q byla v předešlé rovnici zastoupena tlakem p.

$$-N - \mu_1 \frac{F}{n} + Q \cos \delta - Q \mu_2 \sin \delta = 0 \quad (18)$$

$$-\frac{F}{n} + Q \sin \delta + \mu_2 Q \cos \delta = 0$$

kde: N N normální síla
 F N síla zařízení
 μ - koeficient tření
 Q N složka vnějších sil
 δ ° úhel kuželového trnu

Z toho se vyjádří síla:

$$F = \frac{xN}{K_u} \text{ [N]} \quad (19)$$

kde: K_u - koeficient vyjadřující vliv úhlu α a tření
 x - počet segmentů

Koeficient K závisí na počtu segmentů a úhlu rozpínacího kužele. Optimální počet segmentů tvářecího nástroje byl experimentálně stanoven na 12. Pokud je tedy použito dvanáct segmentů, pak $\mu_1 = \mu_2 = (0,1 \text{ až } 0,2)$ a úhel δ je zpravidla v intervalu od 8 do 15 °.

$$K_u = \frac{1 - \mu_2 \operatorname{tg} \delta}{\mu_2 + \operatorname{tg} \delta} - \mu_1 \quad (20)$$

K určení normální síly se vychází z rovnováhy jednoho segmentu:

$$N = 2T \sin \frac{\beta}{2} \quad [N] \quad (21)$$

kde: T N vypínací vnitřní síla

Vnitřní vypínací síla je závislá na ploše a obvodovém napětí:

$$T = \sigma_T \cdot S_p = \sigma_T \cdot t_x \cdot H \quad [N] \quad (22)$$

kde: H mm výška dílce
 S_p mm² řezová plocha
 t_x mm okamžitá tloušťka
 σ_T MPa obvodové napětí pro vypínání

Zjednodušený vztah pro sílu je tedy ve tvaru:

$$F_R = 2 \cdot \pi \cdot \sigma_{ef} \cdot t_0 \cdot H \cdot (\mu + ctg \alpha) \cdot c \quad [N] \quad (23)$$

kde: c - koeficient zohledňující výsledný tvar dílce (1 – válcové; 0,85 – vypuklé; 0,65 – vyduté)
 σ_{ef} MPa efektivní napětí

Pokud se použije 12 segmentů, pak se vztah zjednoduší $n \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cong \pi$. Dále se použije efektivního napětí, které vyjadřuje komplexně hodnotu napěťového systému, a k jeho stanovení se používají známé materiálové konstanty.

$$\sigma_{ef} = \sigma_{ke} + D \cdot \varphi \quad [MPa] \quad (24)$$

kde: D MPa modul zpevnění
 σ_{ke} MPa extrapolovaná mez kluzu

Modul zpevnění:

$$D = \frac{2}{1+n} K \cdot n^n \quad [MPa] \quad (25)$$

kde: K MPa materiálová konstanta
n - exponent deformačního zpevnění

Exponent deformačního zpevnění je závislý na materiálu a jeho zpracování. Orientační hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Orientační hodnoty exponentu deformačního zpevnění [10]

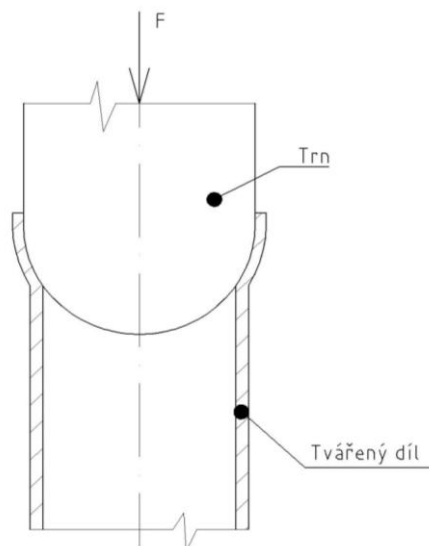
Materiál	n [-]
C-ocel neuklidněná	0,20 – 0,25
C-ocel uklidněná	0,22 – 0,26
Nerezavějící ocel feritická	0,16 – 0,23
Nerezavějící ocel austenitická	0,40 – 0,55
Měď	0,35 – 0,50
Al slitiny	0,20 – 0,30

Extrapolovaná mez kluzu:

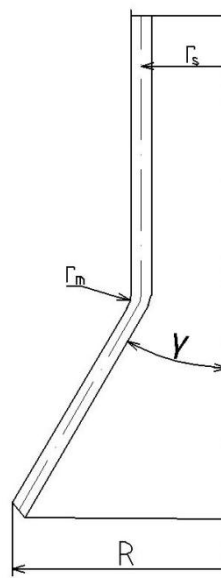
$$\sigma_{ke} = \frac{1-n}{1+n} K \cdot n^n \quad [MPa] \quad (26)$$

1.9 Roztahování trnem [11]

Ve výrobě je aktuálně zavedena technologie roztahování pomocí trnu. Tato technologie využívá trn (**Obr. 22**), který se posouvá ve směru osy rotačního dílu do něj. V případě potřeby je možné využít rotace trnu kolem své osy. Touto technologií lze zpracovávat tenkostěnné duté tělesa bez ohledu na jejich průměr a s velkým rozpětím délek. Konstrukce nástroje je velmi jednoduchá. Pro tváření se hodí konveční stroje dosahující potřebné jmenovité síly. Při použití této technologie lze roztahovat pouze rotační díly a není možné vytvářet profily.



Obr. 22 Rozšiřování trnem [2]



Obr. 23 Rozměry pro rozšiřování trnem [11]

Výpočet síly potřebné na roztažení:

$$F_{trn} = \left[\sigma_{ke} + \frac{D}{2} \left(\frac{R-r}{r} \right) \left(1 + \frac{tg\gamma}{\mu} \right) \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\mu \cot \gamma} \right) + \frac{\sigma_k \cdot t}{2r_m + t} \right] \cdot 2\pi \cdot r_s \cdot t \quad [N] \quad (27)$$

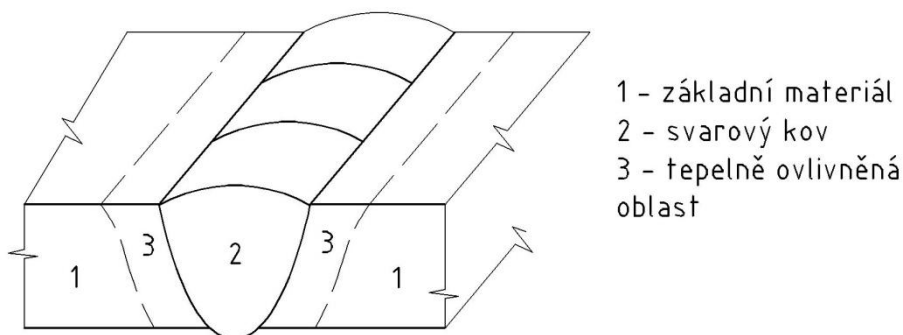
kde: σ_{ke} MPa přetvárný odpor
 D mm modul zpevnění
 γ ° úhel sklonu

Poloměry jsou uvedeny na **obrázku 23**.

1.10. Svařování

1.10.1 Charakteristika svařování [7], [8]

Ve strojírenské praxi se běžně objevuje potřeba nerozebíratelně spojit dva a více dílů. Pro tento účel byla vyvinuta technologie svařování, která vytváří spoj dodáním energie do místa budoucího spoje. Druh a množství energie závisí na zvoleném druhu svařování a materiálech, které jsou určeny k vytvoření spoje. Nejčastěji se užívá energie ve formě tepla, případně kinetická energie. Svařování má nejen uplatnění při spojování dílů v nerozebíratelný celek, kdy vznikne strojní díl nebo konstrukce, ale lze jej použít i k opravám. Další využití je v navařování vrstev na základní materiál za účelem doplnění opotřebovaného materiálu nebo získání povrchové vrstvy požadovaných vlastností.

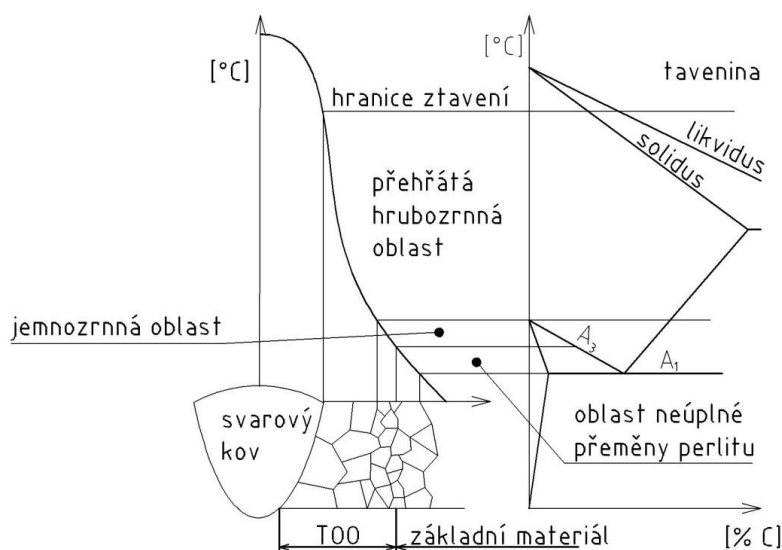


Obr. 24 Schéma svarového spoje [8]

Při tavném svařování se roztaví přídavný a základní materiál, následuje ztuhnutí, tedy vznik svaru. Použití přídavného materiálu není nutné. Snaha je co nejméně ovlivnit základní materiál, proto musí proces probíhat v co nejmenším objemu. Důvodem je změna struktury, mechanických a dalších vlastností vlivem vnesené tepelné energie. Díky tomu, že kovy mají dobrou tepelnou vodivost, postupuje teplo i dále do základního kovu mimo svar. Tato oblast se nazývá tepelně ovlivněná oblast (TOO, **Obr. 24**). Mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné oblasti a svaru musí odpovídat požadavkům na celou konstrukci. Výsledné vlastnosti svaru a TOO jsou dány metalurgickými reakcemi během svařování. Tyto reakce mají chemicko-fyzikální podstatu. Do reakce vstupuje kov z roztavené elektrody, struska, natavený základní kov a plynná atmosféra. Kov je v kapalném stavu a dochází k promíšení materiálu základního kovu a přídavného materiálu a reakcím s plyny a strus-

kou. Reakce probíhají kontinuálně od vzniku kapky až do ztuhnutí svarové lázně. Celý proces je krátký, ale intenzivní. Mezi metalurgické reakce během svařování patří oxidace svarového kovu. Oxidaci zapříčiňuje vzdušný kyslík, který reaguje s železem za vzniku oxidu železnatého. Větší část jej přejde do strusky. Během oxidace svarového kovu probíhá redukce manganu a křemíku. K odstranění FeO ze svarového kovu se musí přidávat feromangan, ferosilicium nebo ferotitan, které dezoxidují oxid železnatý a vytváří oxidy rozpustné za vyšších teplot odcházející do strusky. Ve svarové lázni se vyskytují další nežádoucí prvky. Jsou to vodík, dusík, síra, fosfor. Plyny vytváří bubliny, póry, ostatní se podílí zejména na vzniku zárodků trhlin. Aby došlo k těmto reakcím, které umožňují zbavení se nežádoucích prvků, musí se vnést pomocné látky do svarové lázně. Děje se tak zejména díky složení elektrody.

Všechny metalurgické procesy probíhají za vysokých teplot, které jsou ve svaru vyšší než 1600 °C, odtud teplota klesá přes TOO, za ní je teplota základního kovu. Pokles teploty je exponenciální (**Obr. 25**). Chladnutí probíhá nerovnoměrně díky velkému rozdílu teplot během svařování. V průběhu chladnutí dochází k dalším pochodům v místě svaru a TOO, například k difuzi, k precipitaci a změně kubické mřížky. Tuhnutí probíhá od krajů, kde se iniciují zrna a rostou směrem do středu svarové lázně. Struktura není stejná se základním materiálem. Zrna jsou protáhlá a hrubá. Výsledkem svařování jsou různé struktury v oblasti svaru a tedy i rozdílné vlastnosti. V oblasti přechodu svarového kovu a TOO je hranice, kde zůstal základní kov v tuhém stavu. Touto linií počíná oblast, kde byla teplota nad A_{c3} , rychlé ochlazení a dostatek uhlíku může vytvořit martenzitické struktury. Následkem toho je zhrubnutí zrna a to se vyznačuje nižšími plastickými vlastnostmi. Tato oblast přechází do další, kde byla maximální teplota nepatrně nad A_3 . Zde došlo k ději, který lze označit za normalizační žíhání a železo prošlo změnou struktury z železa alfa na gama a zpět. Oblast se vyznačuje rovnoměrnou strukturou a jemným zrnem. Tam kde teploty nedosáhnou na A_{c3} dojde k neúplně polymorfní přeměně. Struktura obsahuje perlit a ferit. Teploty nižší než A_{c1} mají za následek rekrystalizaci, případně difuzi vodíku na hranice zrn a precipitaci nitridů, tento proces je označován jako stárnutí oceli a následkem je opět pokles plastických vlastností. Výsledkem všech těchto změn jsou nestejnорodé vlastnosti a struktura.



Obr. 25 Teplem ovlivněná oblast [8]

Kromě mechanických vlastností se mění i fyzikální charakteristiky. Nejviditelnější jsou změny objemu vlivem teplotní roztažnosti. S rostoucí teplotou se zvětšuje objem. Tento jev je způsoben tepelnou roztažností, která se u uhlíkových ocelí pohybuje kolem hodnoty $\alpha = 0,013 \text{ mm.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Z toho vyplývá, že jde o nezanedbatelné změny. Problém vzniká mezi zahřátým a chladným kovem. Zahřátý kov se rozpíná a tlačí na chladný kov základního materiálu, který pohyb zastavuje. Z tohoto procesu vzniknou v teplém kovu deformace vyvolávající napětí. Toto napětí může být jednoosé, dvojosé rovinné, napětí působí v různých směrech v jedné rovině, nebo trojosé, kdy napětí působí ve všech třech osách. Během následného ochlazování dochází ke zmenšování objemu a vzniku pnutí. Pokud pnutí při vyrovnání teplot zanikne, pak šlo o vnitřní pnutí přechodné, pokud v materiálu zůstane, jedná se o zbytkové pnutí. Zbytkové pnutí v některých případech dosahuje meze kluzu a výrazně snižuje bezpečnost a životnost dané konstrukce. Dalším projevem vnitřního pnutí je smrštění. Pokud není svařovaný díl upnut do svařovacího přípravku, pak dojde k velké deformaci a smrštění, změní se tvar a rozměry, ale díky tomu výrazně klesne vnitřní zbytkové napětí. Naopak, pokud je díl upnut v přípravku, je mu zabráněno změnit tvar a rozměry a výsledkem je velké zbytkové pnutí. Toto pnutí může výrazně vyčerpat plastické schopnosti materiálu. Vzhledem k podélné ose svaru může dojít ke čtyřem stavům deformace smrštěním.

Aby svařovaná konstrukce nebo díl odpovídaly požadavkům, je potřeba zbytkové pnutí a deformace potlačit na nejmenší možnou míru. Existuje několik faktorů, které mají významný vliv. Z pohledu konstrukčního jde zejména o vhodně zvolenou konstrukci. Její vysoká tuhost vytvoří v materiálu velké pnutí, naopak použitím elastické konstrukce se dosáhne velkých deformací. Dalším faktorem je velikost svarů a jejich rozmístění. Malé svary blízko neutrální osy jsou nejvhodnější. Po technologické stránce je žádoucí mít co nejmenší TOO. Menší ovlivnění okolí svaru lze získat vysokou koncentrací menšího množství tepelné energie, zvýšením rychlosti svařování, případně použitím co nejméně housenek. Eliminovat pnutí a deformaci lze také střídavým svařováním z obou stran spoje, svařováním od středu a jiné. Další metodou snížení zbytkového pnutí je tepelné zpracování, žíháním ke snížení pnutí, po provedení svaru. Existují i levnější varianty jako mechanické namáhání ohybem, tahem a přetlakem. Výsledkem těchto činností je přeskupení a pokles pnutí. Přeskupit pnutí lze i pomocí vibrací. Vznikne síla, která způsobí lokální plastický stav v místech pnutí.

K rozhodování o vhodnosti materiálu, konstrukce a technologie při svařování, bylo nutné popsat tyto hlediska jedinou charakteristickou veličinou. Mezi jednotlivými hledisky není nijaká závislost, i proto není jednoduché tuto veličinu vyjádřit. I přesto je výsledkem zohlednění všech hledisek vlastnost zvaná svařitelnost. Se zaměřením na jednotlivá hlediska, tedy pouze část svařitelnosti, se určuje snáze. Jednoduše lze říci, že svařitelnost mluví o vhodnosti materiálu k vytváření svarků, odpovídajících mechanických vlastností a bezpečného konstrukčního provedení dostupnou technologií. Z pohledu materiálu se posuzuje zejména chemické složení. Dále způsob výroby polotovaru, jakou metodou byl odléván a následně tvářen. Může se objevovat i tepelné zpracování před svařováním. To vše je nutné brát v úvahu. Vhodnost konstrukce ke svařování je dána zbytkovým napětím, které vznikne po svaření, rychlostí odvodu tepla z místa svaru tedy chladnutím, množstvím potřebného svarového kovu, výslednou bezpečností konstrukce. Tyto vlastnosti konstrukce jsou dány tloušťkou materiálu, velikostí a tvarem svarových ploch, počtem svarů a jejich rozmístění a také velikostí celé konstrukce. Do poslední, technologické svařitelnosti, se řadí způsob svařování, chemické složení a vlastnosti přídavného materiálu, množství vneseného tepla do svaru, tepelné zpracování svaru, jeho případný přehřev nebo dohřev.

O svařitelnosti ocelí rozhoduje hlavně tloušťka materiálu a jeho chemické složení, zejména obsah uhlíku, manganu, síry a několika dalších prvků. Jejich vliv se udává jako poměrný účinek ve srovnání s uhlíkem pomocí uhlíkového ekvivalentu.

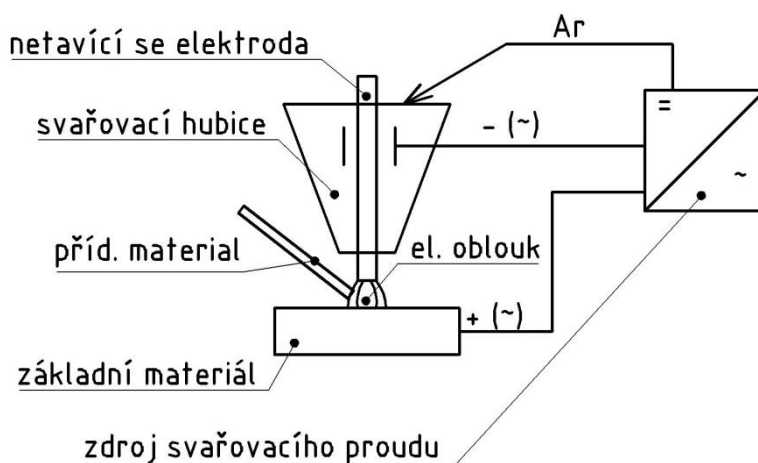
$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot t \quad [\%] \quad (28)$$

Kde: C, Mn, Cr, Ni, Mo, Cu, P % obsah jednotlivých prvků v dané oceli
t mm tloušťka svařovaného materiálu

O svařitelnosti oceli rozhoduje zejména uhlík. S jeho vyšším obsahem roste schopnost prokalitelnosti oceli. Takže by výsledkem svařování byl spoj s vysokou tvrdostí, ale malou houževnatostí. Pokud je obsah uhlíku vyšší je možné využít předehřevu, který zpomaluje rychlost chladnutí a ve výsledku se nevytvoří zakalená struktura. Mangan sice zvyšuje pevnost, ale pokles tažnosti je menší než vlivem uhlíku. Je schopný na sebe vázat část kyslíku ze svarové lázně a tím zabraňuje vzniku pórů ve výsledném svaru. Nevýhodou je, že při koncentraci nad 0,80 % roste velikost zrna. Nežádoucím prvkem je fosfor. Již při nízkých koncentracích, od 0,06 %, zvyšuje náchylnost svaru ke vzniku trhlin. Jeho obsah by proto neměl překročit hranici 0,03 %. Svařitelná ocel má obsah uhlíku do 0,22 % a uhlíkový ekvivalent maximálně 0,50 %. Pokud by byly hodnoty vyšší je nutné ocel předehřát na teplotu, která je uvedena v materiálovém listu. Teplota předehřevu se pohybuje v rozmezí 100 až 450 °C. Oceli třídy 11 a 12 nemají teplotu předehřevu vyšší než 250 °C. Svařitelnost se hodnotí zařazením oceli do jednoho ze čtyř stupňů. Zaručená svařitelnost, ocel je svařitelná běžným způsobem, při teplotách pod 0 °C se musí snížit rychlost ochlazování. Druhý stupeň je zaručená podmíněná svařitelnost, kde je nutné pro danou tloušťku materiálu vnést další teplo, předehřev, dohřev, tepelné zpracování. Třetí stupeň se označuje jako dobrá svařitelnost. Svařitelnost není zaručena, ale je možné vhodnou technologií vytvořit vyhovující svarový spoj. Posledním stupněm je obtížná svařitelnost, zde není zaručeno, že svar bude mít požadovanou jakost bez ohledu na zvolenou technologii. Posouzení vhodnosti materiálu ke svařování se dělá pomocí výpočtu a pomocí zkoušek. Dle norem se provádí zkoušky tahové, ohybové a zkouška houževnatosti. Jako zkušební tělesa se používají tyče daných rozměrů, které se vyrobí svařením dvou plechů. Pro zkoušení ocelí na náchylnost ke tvorbě trhlin se používají nenormované zkoušky, je jich tedy velké množství. Tyto vady se projevují nejen ve svarovém kovu a v TOO, ale i v základním materiálu. Liší se délkou, rozevřením a směrem. Ke zkoušení se využívají tyče, desky a další. Trhliny vznikají z různých důvodů. Při teplotách nad 800 °C se vytváří zejména trhliny za horka. Jsou způsobeny růstem zrn a sulfidy na jejich hranicích. Při teplotách pod 300 °C vznikají trhliny za studena vzájemným působením vodíku a martenzitické struktury, která vznikla svařováním. Lamelární trhliny jsou typické pro základní materiál namáhaný ve směru tloušťky. I zde se podílí sulfidy, které jsou rozválcované do rovin rovnoběžných s povrchem. Poslední metodou je výpočet náchylnosti k trhlinám. Výpočty jsou prováděny pomocí parametrických rovnic. Pro jednotlivé materiály musí být sestaveny na základě zkoušek.

1.10.2 Metody svařování [7], [8]

Mezi nejstarší metody se řadí svařování plamenem, kdy je požadované teplo získáváno z hoření plamene. K vytvoření plamene se využívá směs plynů. Zejména se používá acetylen a propan, které jsou skladovány v lahvích se stlačeným plynem a pro svařování je nutné použití redukčních ventilů. Svarovou lázeň tvoří natavené okraje materiálu a přídavný materiál nebo lze svařovat i bez přídavného materiálu. Principem obloukového svařování je vytvoření oblouku mezi elektrodou a základním materiálem. Výsledkem je natavení základního materiálu a elektrody nebo přídavného materiálu. Ochranu svarové lázně lze zajistit několika způsoby. Nejběžnější je použití obalované elektrody, kdy kolem kovového jádra je obal ze směsi prvků a látek. Obal má za úkol zlepšit svařovací podmínky. Ovlivňuje výslednou svarovou housenku formováním a tvarováním povrchu svarové lázně, ovlivňuje viskozitu strusky. Chrání svarovou lázeň před atmosférou, čistí ji, případně i leguje. Zlepšuje stabilitu hoření oblouku. Díky vytvoření strusky probíhá chladnutí pomaleji a je omezena nebo potlačena tvorba nežádoucích struktur svarového kovu. Místo obalované elektrody je možné sypat směs před holým drátem přídavného materiálu. Tato metoda je ekonomičtější a ekologičtější, zbytek nevyužité směsi se sbírá pro opětovné použití. Nevýhodou je omezené použití, tavidlo je ze sytké směsi. Další rozšířenou metodou je svařování v ochranné atmosféře. Tento způsob je založen na foukání inertního plynu nebo směsi kolem svarové lázně a zabránění přístupu plynů z okolní atmosféry. K ochraně je nejvhodnější helium nebo argon, které nevstupují do reakcí ve svarové lázni, protože jsou inertní. Nicméně jejich vysoká cena je důvodem k vytváření směsi s jinými plyny, zejména oxidem uhličitým. Při svařování obloukem se svarová lázeň chrání aktivním (MAG) nebo inertním plynem (MIG). Elektroda může sloužit jako přídavný materiál nebo se využívá wolframové elektrody (WIG), která se netaví. Při svařování wolframovou elektrodou se svarová lázeň vytváří natavením okrajů základního kovu a přídavného materiálu (**Obr. 26**), ale je také možnost nepoužít přídavný materiál.



Obr. 26 Svařování metodou WIG [8]

Další konvenční metoda svařování je založena na vytváření tepla průchodem elektrického proudu materiálem – odporové svařování. Tepelná energie vzniká díky odporu na hranicích elektroda-materiál, materiál-materiál a vlastním odporem materiálu. Vytvoření spoje je podpořeno tlakem elektrod, které bývají zpravidla ze slitin mědi. Metoda nepoužívá přídavný materiál. Touto metodou se vytváří bodové spoje, při nahrazení tyčových

elektrod kotoučovými se dělají švové spoje. Odporové svařování má vysokou produktivitu a kvalitní spoje, uplatňuje se při sériové výrobě.

1.11 Automatizace a rozmístění strojů [6], [9]

Pro vhodný návrh provozu je nutné mít všechny potřebné informace. Získání informací a jejich následné vyhodnocení a sumarizace musí předcházet jakékoliv realizaci. V prvním kroku je vytvoření přehledu o novinkách v oblasti projektování, technologií, zařízení a strojů. Následně se stanoví požadavky, nároky a cíle, kterých se má dosáhnout. Díky těmto poznatkům se provede vymezení oblastí a směrů, kterými se bude projekt ubírat. Výsledkem je eliminace špatných řešení a návrhů. Tím, že je stanoven směr, cíle, vhodné technologie a další, je nutný další průzkum ve zpracovávané oblasti, jež bude muset být mnohem podrobnější. Ze získaných informací se vybere několik nejvhodnějších variant, které se dále zpracovávají.

Toto zpracování má podobu kapacitního propočtu. Základními údaji jsou časové fondy, z toho vyplývající počet strojů a pracovišť. Následuje korekce těchto počtů na základě jejich využití. Dalším krokem je návrh, ať už se jedná o technologický tok materiálu nebo plošné rozvržení, případně energetické bilance. Závěrem je zpracování ekonomického hodnocení a zpracování technické zprávy a výkresové dokumentace.

Počátkem je zhodnocení typu výrobku. Při návrhu závodu se bere výrobek s největším podílem na výrobě, v případě zaměření na specifický výrobek se počítá pouze s tímto jedním. Základní dělení je podle hmotnosti. Jsou tři hmotnostní skupiny výroby – lehká, středně těžká a těžká. Zpravidla s rostoucí vahou výrobku klesá jeho vyráběné množství.

Pokud se daný díl, výrobek vyrábí jen jednou, nejčastěji za pomoci univerzálního nářadí a strojů, pak se výroba nazývá kusová. Je charakteristická zhuštěním technologického postupu tak, aby na jednom stroji bylo provedeno co nejvíce operací. Charakteristické je malé využití těchto strojů. V kusové výrobě jsou kladeny vyšší nároky na kvalifikovanou pracovní sílu a organizaci práce. Rozmístění strojů je dáno jejich technologickou příbuzností.

Pokud se vyrábí v jedné dávce více dílů, jedná se o sériovou výrobu. Stroje se rozmisťují tak, aby vytvářely linky, kde každý stroj dělá menší počet operací. Jsou vybaveny specializovanými nástroji a měřidly. Využití strojů je vyšší než u kusové výroby a náročnost na plánování a obsluhu klesá.

Výroba s velkým množstvím stejných dílů se nazývá hromadná. Stroje jsou zaměřeny pouze na jednu operaci, uspořádány do linek, které se řídí taktem. Efektivnost práce je vysoká díky vyladění strojů a zařízení pro jedinou činnost. Plánování vytváří plány dodávek materiálu, nářadí a dokumentace. Hromadná výroba nevyžaduje odborné pracovníky, zpravidla dostačuje jejich zaučení. Využití strojů a produktivita jsou vysoké. Při změně konstrukce nebo technologie se musí linka přestavět.

Z výsledků vyhodnocení dílu se navrhne rozmístění strojů a pracovišť. Cílem je vytvoření hospodárné, přehledné výroby, kde je přímočarý technologický tok. Pokud není možné stanovit technologický tok, pak se stroje a pracoviště umisťují podle technologického hlediska. To znamená, že příbuzné stroje se umisťují ve své blízkosti, takže pak veškeré svařování probíhá ve svařovně, kování v kovárně atd. Díky tomu je možné zavést vícestrojovou obsluhu, změna výrobního programu a porucha stroje nemá vliv na výrobu. Proti tomu stojí dlouhé přepravní časy, vyšší náklady na dopravu, výrobní plocha musí být větší. Toto uspořádání se zpravidla volí v kusové a malosériové výrobě. Při vyšší sériovosti se zavádí předmětné uspořádání, kde jsou stroje a pracoviště seřazena podle technologického postupu. Výsledkem jsou specializované dílny na ozubená kola, hřídele atd. Technologický tok je jasný nepřerušovaný a součásti se pohybují ve výrobním proudu. Příchod NC strojů vy-

tvořil nové uspořádání – modulární. Vyznačuje se seskupením stejných technologických bloků, které provádí více technologických funkcí. Toto uspořádání je produktivnější, výrobní čas a manipulační dráhy jsou kratší. Technická příprava výroby je náročnější a pořizovací cena strojů a zařízení je vysoká. Mechanizace a automatizace umožňuje použití jednoho stroje, který je doplněn o další zařízení v okolí, která stroj doplňují – zásobníky, polohovače, robot, tomuto uspořádání se říká buňkové. Vyznačuje se vysokou produktivitou práce, vyšší kvalitou výroby, zkrácení pracovní doby, případně může buňka pracovat bez lidské obsluhy.

1.11.1 Linka [6], [9]

Aby uspořádání mohlo fungovat efektivně, je vhodné práci různých strojů a zařízení synchronizovat. Při výrobě jednoho dílu nebo jedné skupiny se výhodně zavádí výroba v podobě linky. Charakteristickým znakem je plynulé a rovnoměrné zpracování materiálu, které je časově sladěno. Výroba probíhá na nejkratší možné dráze, ideálně na přímé. Podél této dráhy jsou seřazeny stroje a pracoviště podle technologického postupu. Stroje jsou konstruovány stavebnicově, jejich funkce a práce je přesně stanovena. Díl prochází linkou automaticky všemi operacemi. Jeho orientace do pracovní polohy je přesně stanovena, pohyby nástrojů a strojů jsou také automatické. Při navrhování linek se musí stanovit počet strojů tak, aby jejich využití bylo dostatečně vysoké, aby toto bylo zajištěno, stává se, že se musí zasahovat do technologického postupu. Zpravidla se mění členění práce nebo časy na pracovištích. Výsledkem těchto změn je délka operací v násobcích taktu. Takt je doba jednoho pracovního cyklu, jehož výsledkem je hotový výrobek, díl nebo součást opouštějící linku. Jinými slovy je to čas potřebný na výrobu jednoho kusu. Velmi často se využívá taktu linky, který zajišťuje nepřetržitý proud.

1.11.2 Kapacitní propočet [6], [9]

Určení schopnosti výrobních zařízení vyrobit ročně požadované množství kusů a tedy správnosti navrženého řešení se provádí pomocí tzv. kapacitního propočtu. Jeho výsledkem může být stanovení počtu potřebných strojů a zařízení na zvládnutí dané série, počet pracovníků nebo velikost výrobních a jiných ploch.

Jedním z hlavních údajů jsou časové fondy, neboli kolik hodin v roce lze předpokládat, že budou v provozu. Podkladem pro stanovení jednotlivých údajů je výchozím zdrojem informací kalendář.

Efektivní časový fond ručního pracoviště v jedné směně:

$$E_r = (365 - so - ne - sv) \cdot d_s \quad [h / rok] \quad (29)$$

kde: d_s h délka směny
 ne den neděle
 so den soboty
 sv den svátky

Ke stanovení strojního časového fondu se vychází z ručního pracoviště, ale odečítá se od něj čas odstávek stroje, opravy, seřízení a další. Tyto situace zaberou 6 až 10 % z času ručního pracoviště.

$$E_s = E_r \cdot (0,90 \div 0,94) \quad [h / rok] \quad (30)$$

Pokud se jedná o linku, je nezbytné znát takt linky.

$$t_{akt} = \frac{60 \cdot E_s \cdot s_s \cdot \eta}{N_{ser}} \quad [\text{min} / ks] \quad (31)$$

kde: s_s hod/směnu směnnost strojního pracoviště
 η - součinitel časového využití stroje (0,8 – 0,9)
 N_{ser} ks počet požadovaných výrobků za rok

Pokud známe takt linky, pak lze jednoduše spočítat čas potřebný na výrobu jedné součásti:

$$T_p = n_0 \cdot t_{akt} \quad [s] \quad (32)$$

kde: n_0 - počet operací

1.12 Rozbor problémů

Polotovary se dodávají v mnoha formách. Mezi základní patří ingoty, které se vyrábí v kovárnách, tyče různých profilů, válcované nebo kované, dráty tažené za studena i za tepla, plechy ve formě tabulí a svitků. Pro vyráběnou součást se nejvíce hodí plech, jelikož je výsledný díl z dlouhého pásku o malé šířce, nejvhodnější řešení se nabízí ve formě plechů stočených do svitků. Vzhledem k použití dílu ve výfukovém systému je nutné, aby byl z nerezové oceli a bylo ho možné tvářet. Nicméně se dá říci, že vzhledem k rozměrům kroužku je tažnost materiálu poněkud vyšší. Důvodem použití tohoto materiálu, kromě jeho korozivzdorných vlastností, je to, že se využívá i pro výrobu flexibilních kovových hadic, kde je nutné použít materiál s vyšší tažností. Použití stejného materiálu usnadňuje kontrolu pohybů a množství materiálu ve výrobě. Dále nemůže dojít k záměně materiálu, jelikož se používají stejné rozměry plechu jak pro hadice, tak pro výrobu kroužků koncového dílu. Svitky je možné pořídit v tloušťkách od 0,4 do 5 mm, šířka není výrobcem stanovena, zákazník si může určit. Dodávaný svitek má tloušťku 1 mm a šířku 27 mm, takže není nutné upravovat tloušťku ani šířku plechu, pouze se musí zavést dělení na požadovanou délku. Díky použití svitků se využije většina materiálu a výsledný odpad je minimální. Na druhou stranu je plech ve svitku deformován a nelze jej ihned použít, ale musí být použita operace rovnání.

Aktuálně je ve výrobním procesu prvním strojem rovnačka, dimenzovaná pro všechny skupiny vyráběných kroužků. Začlenění rovnačky do výrobního procesu na první místo je nezbytné při použití materiálu ze svitku.

Následuje operace dělení. Je několik možností, jak dělit materiál, jejich použití záleží na materiálu polotovaru, jeho tvaru a rozměrech. Výchozím polotovarem pro výrobu kroužku je pásek plechu, proto je použití soustruhu nemožné. Lámání nebo sekání taktéž není vhodné. Protože jsou na střížnou plochu kladeny vyšší požadavky, je použití pásové pily vyloučeno. Nekonenční metody by bylo možné použít, ale pořizovací cena, náročnost

konstrukce a zaškolení obsluhy jsou v tomto případě důvody proti použití těchto metod. Nejvhodněji se jeví stříhání. Při použití jednoduchého stříhání by střížná plocha nedosahovala požadované kvality, ale tento problém lze vyřešit použitím jedné z metod přesného stříhání, v tomto případě díky přidržovačům. Využití přidržovačů zároveň jako tvářecích nástrojů nemá v tomto případě negativní následky a taková to úprava konců umožňuje použít pro další operaci symetrickou rovnačku se třemi válci. Dále je použito šikmého ostří střížníku, které snižuje celkovou střížnou sílu. Celá linka vyrábí odlišné díly a proto je nutné tvar přidržovače přizpůsobit. Všechny vyráběné díly jsou rozřazeny do skupin a pro každou skupinu je vyroben tvářecí nástroj – přidržovač, následné odchylky tvaru nejsou nijak velké a jejich kalibrace je provedena v posledním kroku. Výsledkem použití stříhání a rozřazení výrobků do skupin je velká produktivita a zvýšení využití jednotlivých tvářecích nástrojů.

Vytvoření kruhového tvaru je operace, která nelze udělat jinak než na zakružovače. Díky tváření při stříhání lze použít symetrickou trojválcovou zakružovačku, jejíž výhodou jsou menší nároky na prostou oproti čtyřválcové a její konstrukční provedení je mnohem jednodušší. Po dokončení zakružování následuje umístění kroužku do koše a přesunutí naplněného koše ke svařovacímu poloautomatu. Tato operace se nejeví jako nejlépe vyřešená, nicméně vzhledem k malé vzdálenosti a přepravě koše vozíkem by zde jiné řešení nepřineslo ani úsporu času ani větší efektivnost.

Zvolení svařovací metody je dáno velikostí svaru a požadavky na svar. Šev musí být bez nežádoucích struktur a nesmí být vystouplý. Svařování plamenem je vyloučeno, protože by výsledkem byla velká tepelně ovlivněná oblast a vznik oxidů. Odporové svařování nelze použít, není zde překrytí materiálu a nelze vytvořit svar ani třením. Svařování obloukem má v tomto případě výhody oproti ostatním technologiím. Svařovat pod tavidlem je nepoužitelné, pro takto malý svar ztrácí metoda produktivnost. Nicméně není možné použít obalovanou elektrodu, protože výsledná svarová housenka vyčnívá nad materiál, zavedení této metody by vyžadovalo použití dalšího zařízení na zaválcování svaru. Z toho vyplývá, že není vhodné svařovat pomocí přídavného materiálu a tedy jediná možnost je svařovat natavením a slitím hran pásku. Pro tento způsob se hodí svařování v ochranné atmosféře netavicí se elektrodou, tedy metodou WIG. Svařování probíhá na přesně navrženém poloautomatu, zkonstruovaném pro požadavky podniku. Konstrukce má navýšenou produktivitu díky možnosti zpracovávat dva kroužky najednou.

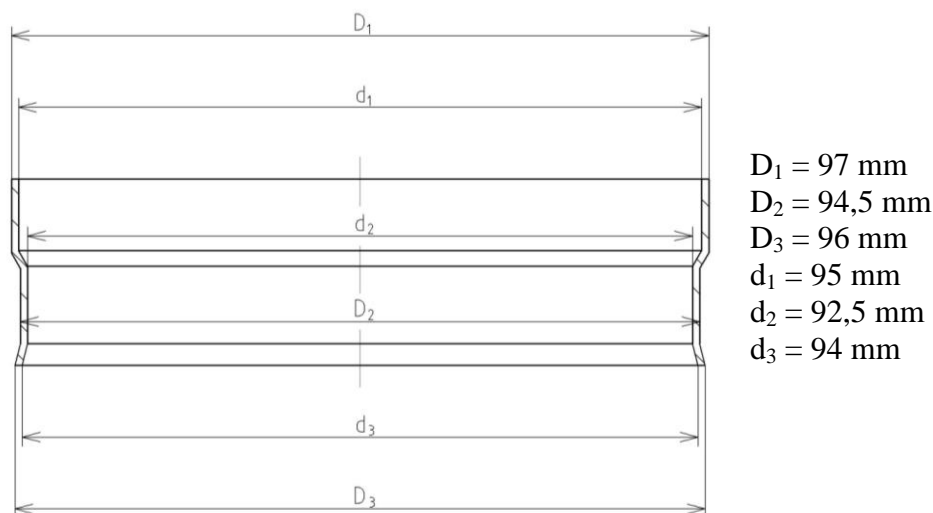
Poslední výrobní operací je radiální vypínání. Zvolená technologie zajišťuje vytvoření potřebného tvaru kroužku. Použitý lis PYE 160 je hydraulický, jeho jmenovitá síla je 1,6 MN. Použití technologie je velice výhodné, nicméně použitý stroj je s velkou pravděpodobností předimenzovaný, je potřeba zjistit potřebnou tvářecí sílu na vypínání kroužku. Samotný lis je dále využíván k jiným potřebám firmy, takže se během plánování výroby musí řadit úkony na tomto lisu dle důležitosti, to může mít za následek zastavení výroby kroužků, případně až zpoždění dodávky. Proti použití tohoto lisu navíc stojí i jeho umístění ve výrobě. Doprava kroužků je realizována pomocí rámu na koše s kolečky a dráha, kterou je nutné urazit má 18,6 m, takže může dojít k prodlevám. Dále je nutné zaměstnávat dalšího pracovníka k obsluze lisu.

2 ŘEŠENÍ

2.1 Možnosti řešení

Z rozboru vyplývá, že nejjednodušším řešením by bylo zakomponování lisu přímo do linky za svařovací poloautomat, tedy jeho přesunutí. Proti tomuto provedení ovšem stojí zejména prostorová dispozice v podniku. Kolem stávající linky vede dopravní cesta a není zde místo pro lis s takovými rozměry a hlavně tento lis nelze vyčlenit pouze pro výrobu zadané součásti. Je tedy nutné navrhnout jiné řešení. Vzhledem k tomu, že velká část výroby je řešena linkově, bylo by dobré tento charakter zachovat. K tomu je nutné zavést dopravník ze svařovacího poloautomatu k dalšímu zařízení. Pak se tedy nabízí řešení použitím nového stroje, jehož rozměry nebudou tak velké a bude schopné automatického provozu. Při pořizování nového stroje je také dobré ověřit, zda by jiná technologie nebyla vhodnější.

Samotnou výrobu kroužku lze provést dvěma technologiemi a to rozpínáním trnem nebo radiálním vypínáním. Pro výběr technologie, je potřeba vzít v potaz různá hlediska. Hlavním parametrem jsou deformační charakteristiky, kterými se zjistí, zda je technologie vhodná na výrobu. Pokud bude součást technologií vyrobitelná, pak se stanoví tvářecí síla a ta bude rozhodovat o volbě stroje. Pro výpočty musí být známy základní rozměry dílu (**Obr. 28**).



Obr. 27 Hlavní průměry kroužku

Pro stanovení poměrné a skutečné deformace se vypočítá obsah jednotlivých mezikruží:

$$S_i = \frac{(D_i^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

kde: D_i mm vnější průměr
 d_i mm vnitřní průměr

Jednotlivé obsahy tedy jsou:

$$S_1 = \frac{(97^2 - 95^2) \cdot \pi}{4} = 301,59 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{(94,5^2 - 92,5^2) \cdot \pi}{4} = 293,74 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{(96^2 - 94^2) \cdot \pi}{4} = 298,45 \text{ mm}^2$$

Vypočítané obsahy mezikruží jsou použity pro stanovení deformací vlivem tváření.

Výška tvářené části je:

$$H = 10 + \frac{95 - 92,5}{2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} + \frac{94 - 92,5}{2 \cdot \operatorname{tg} 14^\circ} = 15,173 \text{ mm} \cong 15,2 \text{ mm}$$

Výška tvářené části je 15,2 mm

Poměrná deformace ε (5):

$$\varepsilon = \frac{S_1 - S_2}{S_2} [-]$$

$$\varepsilon_1 = \frac{301,59 - 293,74}{293,74} = 0,0267$$

$$\varepsilon_2 = \frac{298,45 - 293,74}{293,74} = 0,0160$$

Skutečná deformace φ (6):

$$\varphi = \ln \frac{S_1}{S_2} [-]$$

$$\varphi_1 = \ln \frac{301,59}{293,74} = 0,0264$$

$$\varphi_2 = \ln \frac{298,45}{293,74} = 0,0159$$

Z hodnot deformace je patrné, že nejde o nijak velkou změnu, takže roztažení obou stran kroužku by bylo dobré provést v jedné operaci. Z hodnot lze dále předpokládat, že změna tloušťky a výšky polotovaru bude zanedbatelná.

2.2 Porovnání variant

Znamé hodnoty:

exponent zpevnění $n = 0,4$

mez kluzu $\sigma_k = 186 \text{ MPa}$

součinitel tření ocel-ocel $\mu = 0,1$

Materiálová konstanta $M = 1100 \text{ MPa}$

výška tvářené části $H = 15,2 \text{ mm}$

deformace φ

2.2.1 Varianta 1

První varianta počítá sílu potřebnou na radiální roztažení segmentovým nástrojem se 12 segmenty.

Extrapolovaná mez kluzu (26):

$$\sigma_{ke} = \frac{1-n}{1+n} K \cdot n^n = \frac{1-0,4}{1+0,4} \cdot 1100 \cdot 0,4^{0,4} = 326,8 \text{ MPa}$$

Modul zpevnění (25):

$$D = \frac{2}{1+n} K \cdot n^n = \frac{2}{1+0,4} \cdot 1100 \cdot 0,4^{0,4} = 1089,2 \text{ MPa}$$

Efektivní napětí (24):

$$\sigma_{ef} = \sigma_{ke} + D \cdot \varphi = 326,8 + 1089,2 \cdot 0,0267 = 355,88 \text{ MPa}$$

Síla pro radiální vypínání (23):

$$F_R = 2 \cdot \pi \cdot t_0 \cdot H \cdot \sigma_{ef} \cdot (\mu + \cot g\alpha) \cdot c = 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 15,2 \cdot 355,88 \cdot (0,1 + \cot g 8^\circ) \cdot 1 = 2820163 \text{ N}$$

Sílu pro radiální vypínání se navýší o 30 % z důvodů bezpečnosti:

$$F_{rC} = 1,3 \cdot F_r = 1,3 \cdot 2820163 = 3666212 \text{ N} \cong 3666,2 \text{ kN}$$

Síla potřebná na vypnutí kroužku do konečného tvaru je 3666,2 kN při použití metody radiálního vypínání.

2.2.2 Varianta 2

Nejefektivnější by bylo oba konce kroužku roztáhnout zároveň v jednom kroku. Tvářecí sílu, která je potřeba na vyrobení se bude skládat ze sil potřebných na roztažení jednotlivých konců.

$$R_1 = D_1 / 2 = 97 / 2 = 48,5 \text{ mm}$$

$$R_2 = D_2 / 2 = 94,5 / 2 = 47,25 \text{ mm}$$

$$R_3 = D_3 / 2 = 96 / 2 = 48 \text{ mm}$$

Tvářecí síla:

$$F_T = F_1 + F_2 \text{ [N]}$$

Jednotlivé složky síly (27):

Část s průměrem D_1

$$F_{tm1} = \left[\sigma_{ke} + \frac{D}{2} \left(\frac{R_1 - R_2}{R_2} \right) \left(1 + \frac{tg \gamma}{\mu} \right) \left(1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{\mu \cot g \gamma} \right) + \frac{\sigma_k \cdot t}{2r_m + t} \right] \cdot 2\pi \cdot r_s \cdot t \text{ [N]}$$

$$F_{tm1} = \left[326,8 + \frac{1089,2}{2} \left(\frac{48,5 - 47,25}{47,25} \right) \left(1 + \frac{tg 30^\circ}{0,1} \right) \left(1 - \left(\frac{47,25}{48,5} \right)^{0,1 \cot g 30^\circ} \right) + \frac{186 \cdot 1}{46,75 + 1} \right] \cdot 2\pi \cdot 46,75 \cdot 1 = 103028,23 \text{ N}$$

Část s průměrem D_3

$$F_{tm2} = \left[\sigma_{ke} + \frac{D}{2} \left(\frac{R_3 - R_2}{R_2} \right) \left(1 + \frac{tg \gamma}{\mu} \right) \left(1 - \left(\frac{R_2}{R_3} \right)^{\mu \cot g \gamma} \right) + \frac{\sigma_k \cdot t}{2r_m + t} \right] \cdot 2\pi \cdot r_s \cdot t \text{ [N]}$$

$$F_{tm2} = \left[326,8 + \frac{1089,2}{2} \left(\frac{48 - 47,25}{47,25} \right) \left(1 + \frac{tg 14^\circ}{0,1} \right) \left(1 - \left(\frac{47,25}{48} \right)^{0,1 \cot g 14^\circ} \right) + \frac{186 \cdot 1}{46,75 + 1} \right] \cdot 2\pi \cdot 46,75 \cdot 1 = 98260,57 \text{ N}$$

Celková síla je tedy

$$F_T = 103028,23 + 98260,57 = 201288,8 \text{ N}$$

Pro zvýšení bezpečnosti se celková síla navyšuje o 30 %, pak je tedy celková síla:

$$F_C = 1,3 \cdot F_T = 1,3 \cdot 201288,8 \cong 261675,44 \text{ N} \cong 261,7 \text{ kN}$$

Velikost síly potřebné na roztažení obou konců prstence pomocí trnů je 261,7 kN.

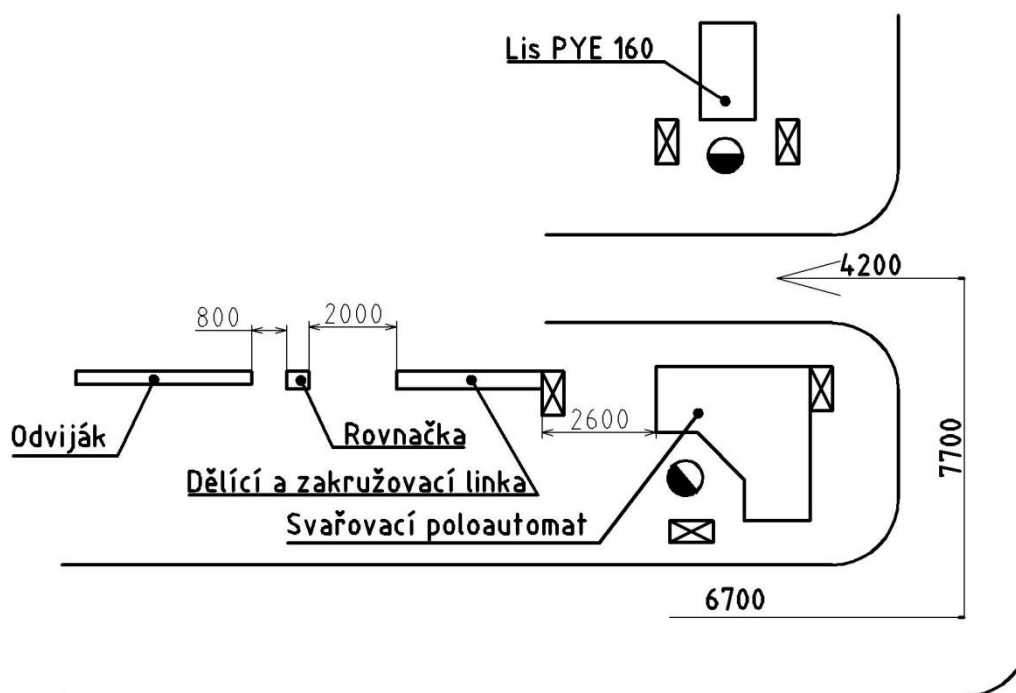
2.2.3 Aktuální rozmístění

Aktuálně je kroužek vyráběn ze svitku plechu, který jde do rovnačky. Odtud jde plech přes zásobní smyčku do stříhadla, kde dojde k jeho nastříhání na pásy a zakulacení konců. Následuje zakružení, svaření kroužku a tváření v lisu PYE 160 (**Obr. 28**). Výrobní kapacita tohoto uspořádání je dána dobou jednotlivých operací. První část výroby vyrábí zakružené, ale nesvařené a netvářené kroužky. Do této části patří operace – rovnání, stříhání a zakružování. Svařovací poloautomat svařuje zakružené kroužky umístěné do otočné tříboké hlavy. V první operaci jsou obsluhou upevněny kroužky do hlavy, druhá operace je svaření kroužků a ve třetí operaci jsou svařené kroužky zkontrolovány a umístěny do přepravního koše, po této činnosti se hlava otočila o 360 ° do své počáteční polohy. Jakmile je kroužek svařen, je pomocí přepravního vozíku přepraven k lisu PYE 160, kde probíhá poslední operace, tváření. Vzhledem k vytížení lisu je možné jej využívat pouze jednu čtvrtinu pracovní doby. Na výrobu kroužků jsou nyní potřeba dva pracovníci – obsluha svařovacího poloautomatu, která zajišťuje i plynulý chod linky na nesvařené a netvářené kroužky, a obsluha lisu PYE 160. Výrobní postup je rozdělen do tří částí, které mají odlišný počet operací a dobu taktů (**Tab. 4**).

Tab. 4 Údaje o jednotlivých částech výrobního procesu pro aktuální stav

Název	Počet operací n_{0i}	Doba taktu/operace t_{akti} [s]
Linka na nesvařené kroužky	3	6,81
Svařovací poloautomat	3	10,30/2
Lis	1	12,12

Časy byly změněny během provozu zařízení ve firmě Westfalia Metal s.r.o.



Obr. 28 Aktuální rozmístění strojů na výrobu vnitřního dílu koncovky

Pro další výpočty je nutné stanovit efektivní časový fond ručního a strojního pracoviště (29).

$$E_r = (365 - 52 - 52 - 9) \cdot 8 = 2016 \text{ h / rok}$$

V roce 2014 je 2016 pracovních hodin pro ruční pracoviště, z toho se zjistí efektivní časový fond strojního pracoviště (30).

$$E_s = 2016 \cdot 0,9 = 1814,4 \text{ h / rok}$$

Stroje by tedy měly pracovat přibližně 1814 hodin v roce.

Délka výroby jednoho dílu na lince (32):

$$T_{p1} = t_{akt1} \cdot n_{01} = 6,81 \cdot 3 = 20,43 \text{ s}$$

Celkový čas potřebný na výrobu nesvařeného kroužku je tedy 20,43 s.
Linka za rok vyrobí:

$$N_z = \frac{E_s}{T_{p1}}$$

$$N_z = \frac{1814}{\frac{20,43}{3600}} = 319647,6 \text{ ks}$$

Linka je schopna za rok vyrobit 319 647 nesvařených kroužků.

Délka zpracování jednoho dílu na svařovacím poloautomatu (32):

$$T_{p2} = t_{akt2} \cdot n_{02} = \frac{10,3}{2} \cdot 3 = 15,45 \text{ s}$$

Jeden kroužek je svařen za 15,45 s. Díky tomu zjistíme, kolik je možné svařit kroužků za rok.

$$N_s = \frac{E_s}{T_{p1}}$$

$$N_s = \frac{1814}{\frac{15,45}{3600}} = 353951,2 \text{ ks}$$

Ročně lze svařit až 353 951 kroužků.

U lisu je pouze jedna operace, takže potřebný čas na tváření kroužku je 12,12 s.

Ročně lze na lisu vyrobit:

$$N_t = \frac{E_s}{T_{p1}}$$

$$N_t = \frac{1814}{\frac{4}{12,12}} = 161324,1 \text{ ks}$$

$$N_t = \frac{1814}{3600} = 161324,1 \text{ ks}$$

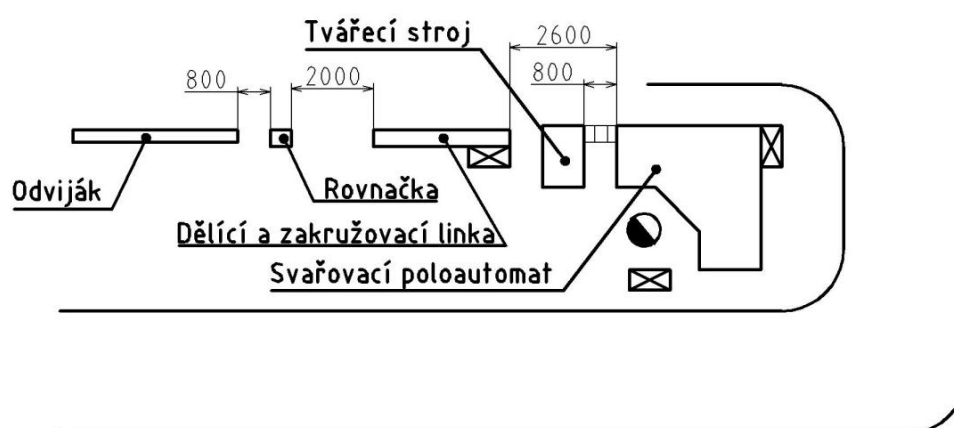
Efektivní časový fond lisu je snížen na čtvrtinu, kvůli jeho vytíženosti pro jinou výrobu. Za rok se tedy na lisu vyrobí 161 324 kroužků. Celkové množství kroužků, od svitku až po hotový kroužek, je limitováno zařízením s nejmenší výrobností. Aktuální výroba je omezena možnostmi lisu na 161 324 dílů za rok.

2.2.4 Navrhované řešení

Vzhledem k malé výrobnosti lisu je nutné současný stav změnit. Je navrženo řešení, jež zachovává výrobu nesvařeného a netvářeného kroužku, ale změny nastanou u svařovacího poloautomatu (**Obr. 29**). Zde bude připojen tvářecí stroj pomocí pásového dopravníku. Tím dojde ke zvýšení počtu operací na svařovacím poloautomatu. První a druhá operace zůstává nezměněna – upnutí kroužků k hlavě a svaření. Následuje přeprava kroužků po pásovém dopravníku a čtvrtou operací je finální tváření kroužku. Tím odpadá přeprava a tváření svařených kroužků na lisu. Další výhodou je snížení počtu pracovníků ze dvou na jednoho. Doby taktů jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Údaje o jednotlivých částech výrobního procesu navrhovaného řešení

Název	Počet operací n_{0i}	Doba taktu [s]
Linka na nesvařené kroužky	3	6,81
Svařovací poloautomat	4	10,30/2



Obr. 29 Návrh rozmístění strojů

Efektivní časový fond ručního a strojního pracoviště zůstává stejný, stejně tak i výrobnost linky na nesvařené a netvářené kroužky, která je schopna za rok vyrobit 319 647 nesvařených a netvářených kroužků.

Svařovací poloautomat bude mít dobu taktu (32):

$$T_{p2} = t_{akt2} \cdot n_{02} = \frac{10,3}{2} \cdot 4 = 20,6 \text{ s}$$

Od upnutí kroužku do čelistí svařovacího poloautomatu po vyhození hotového kroužku z tvářecího zařízení uplyne 20,6 s.

Za rok je tedy možné vyrobit:

$$N_n = \frac{E_s}{T_{p1}}$$

$$N_n = \frac{1814}{\frac{20,6}{3600}} = 321694,6 \text{ ks}$$

Při použití nové varianty zvládá nové uspořádání až 321 694 kusů.

Vzhledem k požadované sérii 210 000 kusů pro rok 2014 je původní uspořádání nedostačující, proto je přesunutí tvářecí operace z lisu LEN P160 na nové zařízení nutné. Spojením tvářecího zařízení se svařovacím poloautomatem se navýšilo množství kroužků, které je možné vyrobit. V navrhovaném řešení má nejmenší výrobnost linka na nesvařené a netvářené kroužky, takže bude možné za rok vyrobit až 319 647 kroužků.

2.2.5 Zhodnocení nákladů

Pomocí softwaru Kauza X, který slouží k hodnocení a racionalizaci logistických manipulačních procesů, byly vyhodnoceny náklady pro navrhované a aktuální řešení. Je volena kritická cesta nákladů na jeden proces a náklady na jeden pracovní cyklus. Vstupními hodnotami jsou druh operace, typ dráhy a druh manipulačního prostředku, výsledné hodnoty jsou za jeden výrobní cyklus (**Obr. 30**).

Z porovnání výsledků vyplývá, že provozní náklady pro navrhovanou metodu jsou nižší. Z grafu (**Obr. 31**), kde jsou obě metody zaznačeny, vyplývá, že návratnost navrhované metody je čtvrt roku.

1. Varianta Zobraz graf **Výpočet** Poř. cena var. 1 (Kč): 1326000.00 Poř. cena var. 2 (Kč): 1340500.00

Číslo	Druh operace	Typ dráhy	Druh manipulačního prostředku
3	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Stříhadlo
4	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Zakružovačka
5	PŘEMÍSTOVACÍ - P	VYMEZENÁ - B	Svařovací poloautomat
6	DOPRAVNÍ - D	VOLNÁ - E	Čtyřkolový přepravní vozík
7	Dopravní	Volná	Zaměstnanec
8	Stacionární		Zaměstnanec

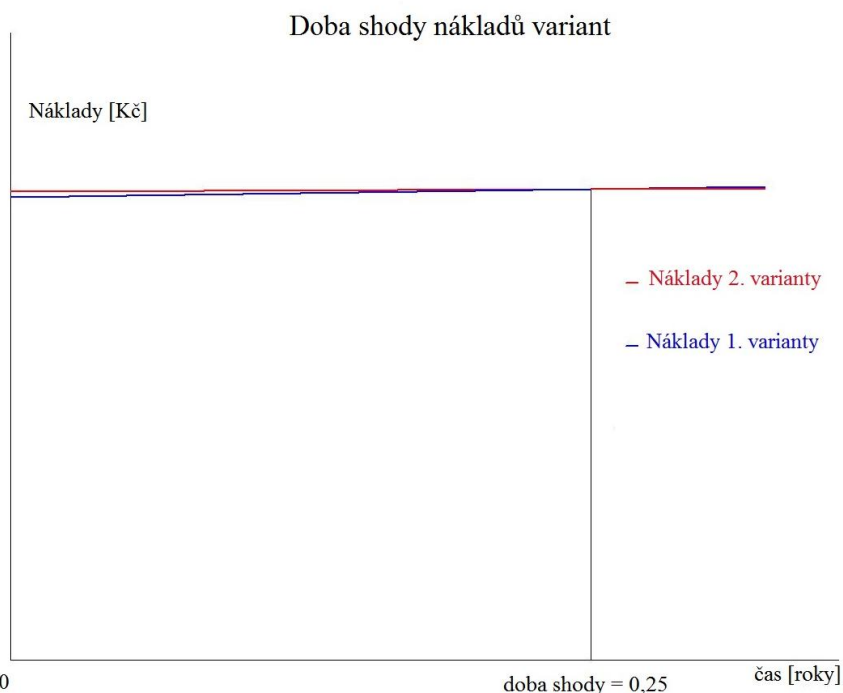
Odstraň výběr Závislé náklady - celkem (Kč/1 cykl.): 2.534458 **Suma provozních nákladů (Kč/1 cykl.): 3.301894**
 Amortizace - celkem (Kč/1 cykl.): 0.767435 **Celková manipulační dráha (m): 43.200**

2. Varianta

Číslo	Druh operace	Typ dráhy	Druh manipulačního prostředku
1	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Odvíják
2	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Rovnačka
3	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Stříhadlo
4	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Zakružovačka
5	PŘEMÍSTOVACÍ - P	VYMEZENÁ - B	Svařovací poloautomat
6	Stacionární		Zaměstnanec
7	DOPRAVNÍ - D	PEVNÁ - A	Dopravník pásový stabilní - ele

Odstraň výběr Závislé náklady - celkem (Kč/1 cykl.): 0.484750 **Suma provozních nákladů (Kč/1 cykl.): 1.252032**
 Amortizace - celkem (Kč/1 cykl.): 0.767282 **Celková manipulační dráha (m): 8.400**

Obr. 30 Přehled vstupů a výstupů ze softwaru Kauza X



Obr. 31 Graf doby shody nákladů variant

3 ZÁVĚR

Posouzením výrobního procesu pro vnitřní díl koncové sestavy flexibilní výfukové hadice bylo zjištěno, že aktuální výroba nemůže vyrobit plánované množství 210 000 kusů pro rok 2014. Výrobnost aktuálního uspořádání je pouze 161 324 kusů. Proto bylo navrženo nahrazení zařízení s nejmenší výrobností, tedy lisu PYE 160, novým zařízením, které bude používáno pouze na výrobu kroužků. Toto zařízení bude automatizované a spojené se svařovacím poloautomatem pásovým dopravníkem, takže bude mít stejný takt jako svařovací poloautomat. Technologie roztahování kroužku trnem zůstane, protože potřebná síla 261,7 kN je menší než u radiálního vypínání, kde vychází 3666,2 kN. Výhodou zachování technologie je i možnost použití tvářecích nástrojů, které firma aktuálně využívá. Podle výpočtů by se měla výrazně zvýšit výrobnost. V navrhovaném řešení bude mít nejmenší výrobnost linka na nesvařené a netvářené kroužky, která vyrábí pouze zakružené kroužky. Ročně by mělo být možné vyrobit až 319647 kusů, což bez problému zvládne požadovanou sérii o 210 000 kusech. Výrobní kapacita by měla přesáhnout požadovanou sérii o více jak 100 000 kusů. Čas, který by výroba tohoto množství zabrala, bude v prvním roce využit na vyladění výrobního procesu a v dalších letech se počítá s nárůstem poptávky, takže využití linky by se mělo zvýšit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan et al. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: CERM, 2004, 238 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2683-7.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. STROJNÍ FAKULTA. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1999, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1481-2.
3. FOREJT, Milan. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2764-7.
4. FÜRbacher, Ivan et al. *Lexikon technických materiálů: kovy, plasty, keramika, kompozity*. Praha: Dashöfer, 2001, 1 sv. (na volných listech). ISBN 80-86229-02-5.
5. HEITKAMP & THUMANN GROUP. *H&T Automotive Components* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.ht-ac.com/home.html>
6. HLAVENKA, Bohumil. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-3607-7.
7. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálův*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009, 486 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
8. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-7082-697-5.
9. RUMÍŠEK, Pavel. *Technologické projekty*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 185 s. ISBN 80-214-0385-3.
10. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření část I*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4220-7.
11. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření část II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. ISBN 978-80-214-4406-5.
12. ŠENBERGER, Jaroslav. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
13. WESTFALIA GROUP. *Westfalia group* [online]. 2009 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.westfalia-group.com/wCz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	tažnost	[%]	l_0	původní rozměr	[mm]
C_e	uhlíkový ekvivalent	[-]	l_1	konečný rozměr	[mm]
Cr_{ekv}	chromový ekvivalent	[-]	Δl	absolutní deformace	[mm]
D	modul zpevnění	[MPa]	m	součinitel otupení nástroje	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]	n	exponent def. zpevnění	[-]
E_r	efekt. čas. fond ruč. prac.	[h/rok]	n_0	počet operací	[-]
E_s	efekt. čas. fond stroj. prac.	[h/rok]	p	tlak	[MPa]
F	síla	[N]	r_i	poloměr po vypínání	[mm]
F_s	střížná síla	[N]	r_0	poloměr polotovaru	[mm]
F_{ss}	střížná síla skloněných nožů	[N]	s_s	směnnost	[-]
F_{tm}	síla při roztahování trnem	[N]	t	tloušťka	[mm]
H	výška dílce	[mm]	t_{akt}	takt linky	[min/kus]
K	materiálová konstanta	[MPa]	t_x	okamžitá tloušťka	[mm]
K_u	koeficient vlivu úhlu a tření	[-]	x	počet segment	[-]
N	normální síla	[N]	α	součinitel tep. roztažnosti	[K ⁻¹]
N_{ser}	pož. počet ks za rok	[ks/rok]	β	úhel sklonu nožů	[°]
Ni_{ekv}	niklový ekvivalent	[-]	γ	úhel sklonu	[°]
Q	složka vnějších sil	[N]	δ	úhel kuželu	[°]
R_i	poloměr zakřivení	[mm]	ε	poměrná deformace	[-]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]	η	součinitel využití stroj	[-]
R_{p02}	smluvní mez kluzu	[MPa]	μ	součinitel tření	[-]
S	plocha	[mm ²]	ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
S_p	řezová plocha	[mm ²]	σ	napětí	[MPa]
T_p	čas na výr. jedné součásti	[s]	σ_{ef}	efektivní napětí	[MPa]
a	délka stříhané plochy	[mm]	σ_k	extrapolované mez kluzu	[MPa]
c	koeficient tvaru dílce	[-]	σ_t	obvodové napětí	[MPa]
d_s	délka směny	[h]	τ_{ps}	pevnost ve stříhu	[MPa]
h_0	výška polotovaru	[mm]	φ	logaritmická deformace	[-]
h_i	výška po vypínání	[mm]			

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Foto linky na nesvařené a netvářené kroužky
Příloha 2 Foto svařovacího poloautomatu
Příloha 3 Výkres vnitřního koncového dílu

PŘÍLOHA 1

Foto linky na nesvařené a netvářené kroužky



PŘÍLOHA 2

Foto svařovacího poloautomatu

