



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## PROBLEMATIKA SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTI „KOMORA LISU“

WELDING PROBLEMS OF THE „PRESS CHAMBER“ COMPONENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR ČERMÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2014

## **ABSTRAKT**

### **Petr Čermák: Problematika svařování součásti „komora lisu“**

Cílem této bakalářské práce je výroba komponentu „komora lisu“ stroje určeného v potravinářském průmyslu pro pekárenské odvětví a dále výběr vhodné metody obloukového svařování, základního a přídavného materiálu.

Praktická část zahrnuje návrh technologického postupu výroby svařence za využití všech poznatků, které se týkají technologie svařování, tepelného zpracování nerezové oceli a kontroly svarů. Důraz je kladen především na analýzu deformací a napětí při svařování a následně praktickou aplikaci opatření ke snížení všech těchto deformací u svařence „komora lisu“ z vysokolegované austenitické oceli.

Finálním výstupem je komponent „komora lisu“ a návrh svařovacího přípravku pro omezení vzniku nežádoucích deformací a napětí.

Klíčová slova: svařování, komora lisu, deformace při svařování, MIG/MAG, TIG

## **ABSTRAKT**

### **Petr Čermák: Welding problems of the „press chamber“ component**

The goal of this work is to produce the “press chamber” component of a food industry machine and selection of a suitable arc welding method, a base and a filler material.

Practical part of this work includes technological design of a weldment production process considering all the know-how concerning welding technology, heating process of a stainless steel and a weld quality testing. Especial emphasis is put on analyzing of deformations and residual stresses during welding and taking countermeasures to reduce these undesired defects in the “press chamber” weldment made of high alloy austenitic steel.

The final output is the “press chamber” component and a welding jig design reducing occurrence of the undesired deformations or residual stresses.

**Keywords: welding, press chamber, welding distortion, MIG/MAG, TIG**

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ČERMÁK, Petr. *Problematika svařované součásti „komora lisu“*. Brno, 2014.42s, 3 výkresy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Říčkách 20.05. 2014

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za užitečné připomínky a cenné rady týkající se zpracování mé bakalářské práce.

## OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

ÚVOD

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | ROZBOR SOUČÁSTI .....   | 11 |
| 1.1   | Možnosti výroby .....   | 12 |
| 2     | TEORIE SVAŘOVÁNÍ .....  | 12 |
| 2.1   | Svařování v ochranné atmosféře plynu .....                      | 12 |
| 2.1.1 | Svařování metodou MIG a MAG .....                               | 13 |
| 2.1.2 | Svařování metodou TIG .....                                     | 16 |
| 2.2   | Řezání laserem.....   | 18 |
| 3     | DEFORMACE A ZBYTKOVÁ NAPĚTÍ PŘI SVAŘOVÁNÍ .....                 | 19 |
| 3.1   | Zbytková napětí .....   | 19 |
| 3.1.1 | Napětí způsobené změnou objemu .....                            | 20 |
| 3.1.2 | Napětí způsobené rozdílnou tepelnou roztažností .....           | 20 |
| 3.1.3 | Napětí způsobené vznikem teplotního gradientu v materiálu ..... | 21 |
| 3.2   | Deformace.....  | 21 |
| 3.2.1 | Příčné deformace .....  | 22 |
| 3.2.2 | Podélné deformace .....   | 23 |
| 3.2.3 | Úhlové deformace .....  | 24 |
| 4     | VYSOKOLEGOVANÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI .....                        | 24 |
| 4.1   | Základní materiál .....   | 26 |
| 5     | NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY .....                      | 27 |
| 5.1   | Řezání polotovaru laserem .....                                 | 27 |
| 5.2   | Frézování a ohraňování polotovaru .....                         | 28 |
| 5.3   | Frézování ramen polotovaru .....                                | 29 |
| 5.4   | Svařování dle dokumentace .....                                 | 30 |
| 5.6   | Rovnění svařené komory .....                                    | 34 |
| 6     | OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ DEFORMACÍ .....                             | 36 |
| 6.1   | Úprava svařovaných hran .....                                   | 39 |
| 6.2   | Upnutí, nastehování a svaření komory.....                       | 39 |
| 6.3   | Vychladnutí svařence, použití chladících pásků.....             | 40 |
| 7     | NÁVRH PŘÍPRAVKU .....   | 41 |
| 7.1   | Model navrhovaného přípravku .....                              | 41 |
|       | ZÁVĚR .....   | 42 |

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM VZORCŮ

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM VÝKRESŮ

## ÚVOD [12, 13]

Potravinářský průmysl se zabývá zpracováním produktů zemědělské výroby a rybolovu na potraviny, nápoje pro lidi a také domácí zvířata. Zabývá se i výrobou meziproduktů, které nejsou potravinami, kam patří zejména surové usně, kůže, peří atd. Dále ještě zahrnuje výrobu, zpracování a konzervování masa a masných výrobků, ovoce, zeleniny, tuků, výrobků mlékárenských, mlýnských a škrobárenských, také dětské výživy, cukru, nápojů a krmiv.

Moje bakalářská práce se zabývá výrobou komponentu pro stroj, který zpracovává těsto pro pekárenský průmysl. V předchozích letech byl problémem českého potravinářského průmyslu nedostatek kapitálu, což se částečně daří vyřešit díky přílivu zahraničních investic.

Příkladem je firma Bühler CZ s.r.o. se sídlem v Žamberku, která se stala od 1.1.2012 součástí švýcarské firmy Bühler AG. Tato společnost je světovým výrobcem potravinářských strojů na zpracování obilí, luštěnin a bobů, strojů na výrobu těstovin, čokolády a potravin pro krmení domácích zvířat, strojů pro tlakové lití používaném v leteckém a automobilovém průmyslu.

V současné době se dokončuje zcela nová velká výrobní hala se zázemím pro technický personál, jejíž celková hodnota dosáhne 15 milionů švýcarských franků (300 milionů Kč). Velkým přínosem je také vznik cca 200 nových pracovních míst v tomto regionu.

Jedním z příkladů výrobního programu firmy Bühler je stroj RONDOPRESS, jehož komponent „komora lisu“ je předmětem popisu technologického postupu.



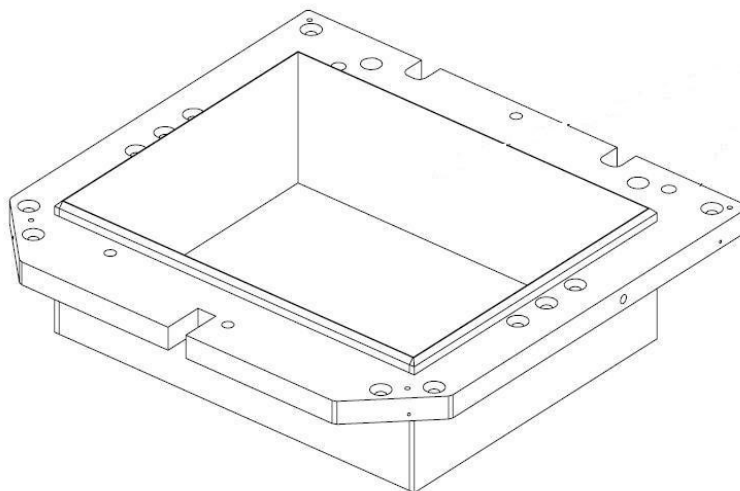
Obr. 1 Rondopress [15]

# 1 ROZBOR SOUČÁSTI

Cílem práce je navrhnout a zpracovat postup výroby komory lisu a zejména využít všech dostupných možností snížení deformací u tohoto svařence komory lisu z vysokolegované austenitické oceli. Uvedená komora lisu je součástí výše zobrazeného stroje RONDOPRESS, který je určen v pekárenském průmyslu na výrobu těsta. Toto těsto je v komoře lisováno do úhledných bloků. Stroj je vyráběn ve dvou verzích, jeden typ je určen pro evropský trh a druhý typ pro americký trh, kde je v současné době větší odbyt.

Tento stroj patří do skupiny zařízení využívaných v potravinářském průmyslu, které je velmi náročné a specifické z hlediska požadavků na kvalitu, hygienu a bezpečnost při samotné výrobě. Materiály použitelné pro styk s potravinami musí splňovat příslušné normy. Materiály musí být chemicky stálé, netečné k potravinám, nesmí podléhat ani vnějším vlivům, tj. korozi a chemicky agresivnímu prostředí. Takové vlastnosti splňují oceli korozivzdorné – potravinářská nerez 1.4301.

Zrovna tak samotné vytvoření svarů v požadované kvalitě není snadnou záležitostí. Při zavádění nové technologie bylo nutné provedení experimentálních svarů, kterými se ověřila správná volba materiálů, předehřevu, parametrů svařování, podmínek uchycení dané konstrukce anebo přípravku.



Obr. 2 Komora lisu

## 1.1 Možnosti výroby

První varianta svaření komory lisu byla provedena ze 4 dílů koutovým svarem. Tímto způsobem nebylo docíleno stejné velikosti všech 4 koutových svarů a nebyla splněna ani požadovaná funkčnost dané komory, z těchto důvodů byla tato varianta zamítnuta a hledalo se jiné řešení technologického postupu.

Ve druhé zvolené variantě jsme svařovali ze dvou ohnutých dílů dvěma tupými oboustrannými V svary, z vnitřní strany metodou TIG a z vnější strany metodou MAG. Použití metodou TIG z vnitřní strany s přídavným materiálem na obroušení svaru došlo k velkému zahřátí materiálu a vznikly větší deformace, než byl původní odhad a tyto deformace bylo náročné odstranit. Rozměrové požadavky byly sice splněny, ale z hlediska pracnosti odstranění deformací bylo hledáno další řešení.

Jako třetí výslednou variantu jsme zvolili svařování dvou dílů tupým oboustranným V svarem metodou MAG. Touto metodou jsme podstatně omezili výskyt deformací při svařování. Tato zvolená varianta je blíže popsána v bodě 5 Návrh technologického postupu.

## 2. TEORIE SVAŘOVÁNÍ [2]

Svařování patří mezi nerozebíratelné druhy spojení dvou nebo více dílů. K tomuto spojení dochází dodáním určitého množství energie do místa styku dílů. Postupem času bylo vyvinuto více způsobů a technologií svařování, neboť je kvalitativně více možností přívodu tepla nebo kinetické energie do místa svaru.

Různé způsoby svařování si dále také vynutila zvyšující se potřeba svařovat velké množství různých druhů materiálu při ještě větší potřebě různého konstrukčního uspořádání svařovaného uzlu.

Svařování se uplatňuje v mnoha oborech průmyslu - ve strojírenské výrobě, u silničních a železničních vozidel, při stavbě lodí, v ocelových konstrukcích, jako jsou mosty, jeřáby, dálkovody, dále u tlakových nádob pro chemii a energetiku, ve stále větší míře v elektrotechnice a při výrobě zařízení a strojů pro potravinářský průmysl, což je předmětem této bakalářské práce.

### 2.1 Svařování v ochranné atmosféře plynu [2]

Obloukové svařování v ochranné atmosféře je v současnosti nejrozšířenější a nejpoužívanější metodou svařování. Je to dáno produktivitou, ekonomickou výhodností a také možností svařování různorodých materiálů.

Při obloukovém svařování v ochranných plynech hoří oblouk obklopen ochranným plynem, který chrání elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavnou lázeň proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku. Jednotlivé technologie se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu.

## Metody svařování

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| MIG 131       | Metal Inert Gas                        | obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (např. Ar, He, směsné plyny)           |
| MAG 135       | Metal Aktiv Gas                        | obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (např. CO <sub>2</sub> , směsné plyny) |
| TIG (WIG) 141 | Tungsten Inert Gas (Wolfram Inert Gas) | obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu                                      |



Obr. 3 Svařování v ochranné atmosféře [7]

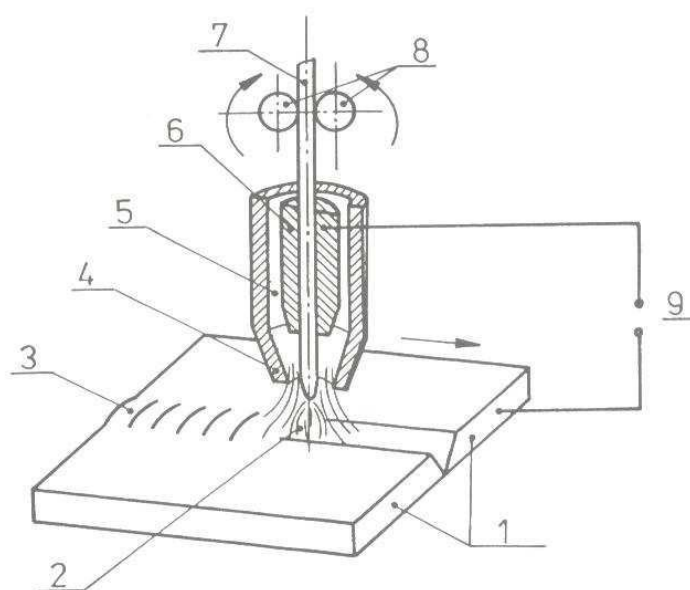
### 2.1.1 Svařování metodou MIG/MAG [2,4]

Svařováním v ochranné atmosféře plynu tavící se elektrodou vzniká oblouk mezi kontinuálně podávaným svařovacím drátem a svařencem, kdy oblouk i svařová lázeň jsou chráněny proudem plynu, a to aktivního nebo inertního podle použité metody.

Metoda MAG se využívá při svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysokolegovaných ocelí, zatímco metoda MIG se využívá při svařování neželezných kovů - hliníku, jeho slitin, slitin mědi, titanu. Vývoj těchto metod se zaměřuje zejména na zvyšování produktivity práce, stabilitu procesu hoření oblouku, na jakost spojů, ale také na hygienu práce svářečů.

Charakteristickým rysem obloukového svařování MIG/MAG je vysoké proudové zatížení. Při ručním obloukovém svařování se pracuje se specifickým zatížením 20 až 30 A.mm<sup>-2</sup>. Při obloukovém svařování tavící se elektrodou je specifické zatížení svařovacího drátu až desetinásobné.

Hodnota svařovacího proudu je přímo závislá na podávací rychlosti svařovacího drátu, tj. čím vyšší je rychlost podávání drátu, tím vyšší je svařovací proud. Tímto způsobem lze dosahovat velkých výkonů natavení i při malých průměrech svařovacího drátu.



Obr. 4 Princip svařování MIG/MAG [2]

1 – svařovaný materiál, 2 – elektrický oblouk, 3 – svar, 4 – plynová hubice,  
 5 – ochranný plyn, 6 – kontaktní průvlek, 7 – přídavný materiál,  
 8 – podávací kladky, 9 – zdroj proudu.

#### Výhody svařování MIG a MAG

- snadná svařitelnost různých kovů a různých tloušťek
- snadná svařitelnost ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm
- minimální tvorba strusky
- vysoká proudová hustota
- vysoký výkon odtavení
- vysoká produktivita díky svařovacímu drátu, který je pro proces klíčový (nekonečný drát)
- snadný start oblouku a svarové lázně
- snadný start oblouku bez nárazu svařovacího drátu do svarku
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu
- stabilní plynová ochrana
- nízká pórovitost
- malý nebo žádný rozstřík
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování
- přímá vizuální kontrola oblouku a svarové lázně.

Svařovací zařízení pro metodu MIG a MAG je stejné, podle použité metody se mění pouze ochranný plyn, případně svařovací drát. Velmi běžné je proto označení těchto dvou metod svařování MIG/MAG.

Drát je průběžně podáván do oblasti svařování integrovaným podávacím zařízením. Ochrana taveniny je zajištěna plynem nebo směsí plynů dodávaných speciální tryskou.

Při svařování metodou MIG se svařuje drátem v inertním plynu argonu, helia, nebo v jejich směsi. Inertní plyn plní pouze ochrannou funkci k zamezení přístupu vzduchu k roztavenému kovu, k chemickým procesům je zcela netečný. Oblouk hoří mezi drátem a základním materiálem a je chráněn právě inertním plynem.

Svařovací drát je z cívky plynule dodáván do místa svaru při stejnosměrném proudu a při kladné polaritě elektrody. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu. Pro tenké plechy je běžný zkratový a pro větší tloušťky plechů sprchový přenos.

Přenos kovu v oblouku do tavné lázně lze měnit změnami parametrů a svařovacími podmínkami, které tak ovlivňují vzájemný poměr sil působících na kapku roztaveného kovu.

Základní druhy přenosu kovu do tavné lázně:

- zkratový přenos - přenos kovu v oblouku, kdy jednotlivé kapky tavící se elektrody způsobují zkrat mezi elektrodou a svarovou lázní. Používá se pro malé tloušťky, kořeny svarů a svařování v pozicích
- bezzkratový přenos - přenos kovu v kapkách, jenž se oddělují od elektrody bez vzniku zkratu mezi elektrodou a svarovou lázní
- sprchový přenos - bezzkratový přenos kovu v oblouku, kdy kov elektrody přechází do svarové lázně jemnými kapkami v ose oblouku. Používá se pro velké tloušťky, vysoké výkony odtavení a vysokou rychlost svařování. Může však způsobovat deformace a změnu mikrostruktury svarového spoje a tepelně ovlivněné oblasti.
- impulsní přenos - používá se pro střední výkony a doporučuje se pro svařování nerezavějících ocelí a lehkých slitin malé až střední tloušťky.

Při svařování metodou MAG se svařuje drátem v aktivním plynu oxidu uhličitého nebo směsi oxidu uhličitého, argonu a kyslíku. Oxid uhličitý při svařování oxiduje tavnou lázeň. Jakost svarů zlepšíme drátem legovaným manganem a křemíkem, které se lépe slučují s kyslíkem. Plyn musí mít čistotu minimálně 99,5 %, pak tyto oxidy tvoří na povrchu svaru jen nepatrné množství strusky.

## Svařování vysokolegovaných ocelí

Vysokolegované oceli mají kvůli svým legujícím prvkům velmi hustou tavnou lázeň, čímž dochází k nežádoucímu převýšení svaru a ostrému přechodu housenky do základního materiálu, proto se doporučuje používat ochranný plyn s obsahem kyslíku (cca 2%).

Kyslík snižuje velmi výrazně povrchové napětí a vytváří tak lepší průřez svarové housenky, zlepšuje odplynění svarové lázně a přechod na základní materiál.

Plyny vhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí:

Argon + 2% oxidu uhličitého

Argon + 2% kyslíku

Argon + 30-50% Helia + 1-2% oxidu uhličitého – tato směs je vhodná zejména pro mechanizované a robotizované svařování.

### 2.1.2 Svařování metodou TIG [2, 5]

Při této metodě hoří elektrický oblouk vysoké stability mezi netavicí se elektrodou a základním materiálem, kdy ochranu tavné lázně a elektrody tvoří netečný plyn vysoké čistoty minimálně 99,995 % procházející keramickými hubicemi.

Pro tuto metodu se používá argon, helium nebo jejich směsi. Proces lze realizovat bez přídavného materiálu nebo s ním, drát je přidáván ručně nebo pomocí podávacího zařízení.

Tento druh svařování dle druhu proudu můžeme rozdělit na:

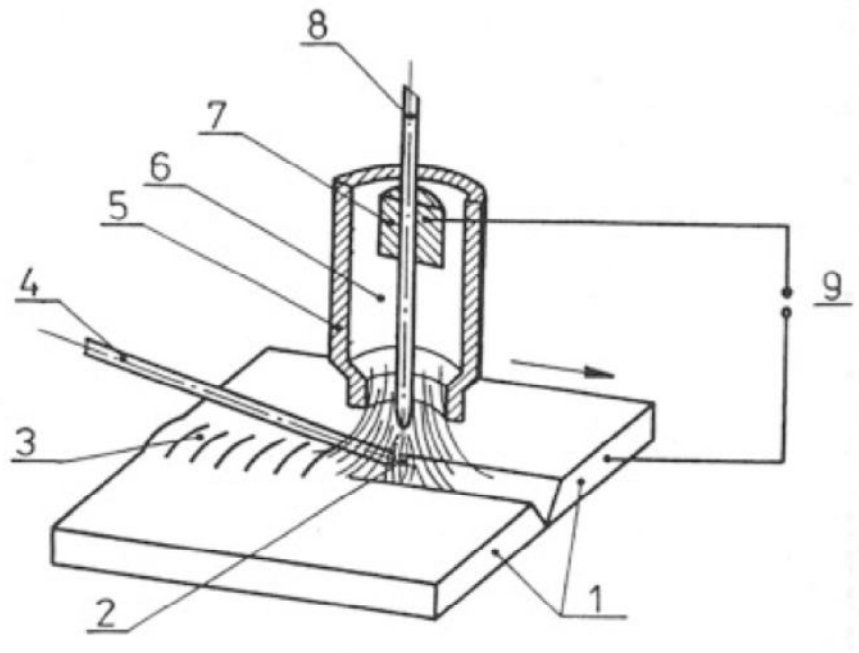
- svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny
- svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden atd.

Metoda TIG se používá pro svařování malých, tenkých kovových součástí a také u náročných a přesných svarových spojů. Je to nutné pro dosažení vysoké kvality svařování, ovšem na úkor produktivity.

Zavedení plynových směsí urychlilo vývoj nových svařovacích zdrojů a zároveň umožnilo svařovat kovy, u kterých to dříve nebylo možné.

Pro svařování metodou TIG se používají wolframové elektrody, které se rozdělují podle příměsí – legur. Elektrody mohou být legované oxidy thoria, ceria, lanthanu a zirkonu. Jednotlivé typy lze od sebe odlišit dle barevného značení jednoho konce elektrody.

Obecně se používají elektrody WC 20 – šedá a WL 15 – zlatá. Oba tyto typy lze použít pro široký okruh materiálů – např. hliník, nerez, uhlíková ocel, titan, bronz, měď apod. Čistý wolfram je značen WP – zelená.



Obr. 5 Svařovací hořák s netavící se elektrodou [2]

1 - svařovaný materiál, 2 – elektrický oblouk, 3 – svar, 4 – přídavný materiál,  
 5 - plynová hubice, 6 – ochranný plyn, 7 – kontaktní kleštiny,  
 8 - wolframová elektroda, 9 – zdroj proudu.

#### Výhody svařování TIG:

- inertní plyn zabezpečuje efektivní ochranu svarové lázně i přehřáté oblasti základního materiálu před vzdušným kyslíkem
- inertní plyn zabraňuje propalu prvků, čímž nevzniká struska a výsledkem je čistý povrch svaru
- vytváří elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů
- vytváří příznivé formování housenky svaru na straně povrchu i v kořenové části
- zabezpečuje svary vysoké celistvosti i u materiálů, které jsou náchylné k naplynění a oxidaci při zvýšených teplotách
- svary mají minimální deformaci a malou tepelně ovlivněnou oblast
- svarová lázeň je viditelná a snadno se ovládá
- tvar a směr svařovacího oblouku lze snadno (flexibilně) ovládat magnetickým polem
- obsluha je jednoduchá s přesnou regulací parametrů svařování
- množství tepla vneseného do svaru lze velmi přesně dávkovat

## 2.2 Řezání laserem [14]

Laserové řezání se vyznačuje stále se zvyšující kvalitou, rostoucími tloušťkami a zároveň snižováním nákladů i u méně početných sériích dílů.

Laserový paprsek lze velmi přesně úzce zaměřit, což přináší zejména tyto výhody:

- rovné a rovnoběžné hrany
- značně zúžená tepelně ovlivněná oblast
- snížené deformace teplem
- schopnost pracovat na složitých profilech s velmi malým poloměrem otáčení (ostré rohy)
- vznikají hotové výrobky, které není nutné dále opracovávat a dokončovat (vrtání, broušení).

Použití laserového řezání s kyslíkem:

- u uhlíkových ocelí do tloušťky max. 35 mm

Použití laserového řezání s inertním plynem o vysokém tlaku:

- u nerezavějící oceli do tloušťky max. 20 mm
- u hliníkových slitin do tloušťky max. 10 mm

Při zvýšeném výkonu laseru lze takto řezat i materiál větší tloušťky.

Použití plynů u laserového řezání:

- ochranný plyn v optické dráze - udržuje dráhu bez nečistot a prachu, aby nedocházelo ke snížení výkonu laseru a změně přenosových podmínek a zaostřování paprsku
- laserový plyn - používá se u CO<sub>2</sub> zdrojů pro tvorbu laserového paprsku (směs oxid uhličitý, dusík, helium)
- řezný plyn - O<sub>2</sub> zajišťuje spalování Fe a N<sub>2</sub> vyfouknutí taveniny z řezu

Řezání kyslíkem se používá při zpracování uhlíkové oceli a oceli na konstrukce. Nevýhodou je oxidace hran řezaného kovu, což může způsobit problémy při svařování a lakování, snižuje se také přilnavost materiálů.

Tavné řezání laserem při vysokém tlaku za pomoci inertních plynů se používá u nerezavějící oceli a vysokolegovaných slitin a neželezných materiálů.

Řezné hrany neoxidují, boky řezné spáry se ochlazují, takže se zmenšuje tepelně ovlivněná oblast, čočka laseru je chráněna před částicemi kovu a parami. Nevýhodou je nižší rychlost a větší spotřeba plynu.

### 3 Deformace a zbytková napětí při svařování [3]

Svařovací proces má teplotní a deformační účinek na základní materiál. Svarová napětí a deformace jsou způsobovány přívodem energie do místa vytváření svarového spoje a následným sdílením tepla do okolního základního materiálu. Vznikají u každého procesu svařování a nelze tomu zcela zabránit, můžeme je však účinně ovlivňovat technologickými zásahy a konstrukčním řešením svarů.

Svarová napětí i deformace vznikají jak ve fázi ohřevu, tak i při ochlazování svařovaného materiálu – nejdříve koncentrovaný ohřev materiálu a pak jeho nestejněměrné ochlazování.

Podle charakteru vzniku je dělíme na:

- teplotní a strukturní.

Podle doby existence je dělíme na:

- přechodná a zbytková.

Zatímco přechodná působí v materiálu pouze po určitou omezenou dobu, kdy existuje příčina jejich vzniku, zbytková přetrvávají v materiálu i po ukončení technologického procesu.

#### 3.1 Zbytková napětí [3]

Zbytková svarová napětí, která vznikají v samotném svaru a jeho bezprostředním okolí, ovlivňují užité vlastnosti svarů, mohou být příčinou selhání dané konstrukce, způsobují nežádoucí změny tvaru, kdy po svařování ještě následuje obrábění. Tento problém je nutné řešit v souladu s normami zabezpečení kvality ISO 9000 od konstrukčního návrhu přes technologii celé výroby až po kontrolu dodržování daných parametrů.

Charakter a velikost zbytkových napětí závisí na mnoha faktorech:

- nastavení svařovacích parametrů
- zvolená metoda svařování a postup tvorby svaru
- teplotní režim v průběhu a po svařování
- druh a stav základního materiálu
- tloušťka materiálu
- druh, velikost, umístění a počet svarů
- konstrukční řešení oblasti svaru vzhledem k tuhosti.

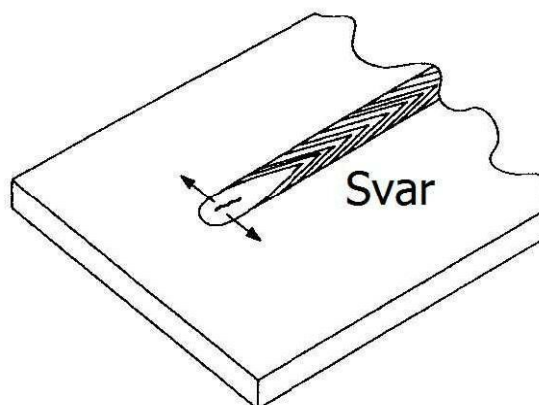
Praktické metody snižování napětí již v procesu svařování:

- příčná napětí snižuje svařování volných neupnutých dílů
- podélná napětí snižuje svařování s vyšším přívodem energie na jednotku délky svaru
- aktivní a reaktivní napětí snižuje místní předpětí nebo ohřev
- makroskopická napětí snižuje svařování s celkovým předehřevem, snižují se i zbytkové deformace a strukturní napětí
- vhodně zvolený postup vytváření svarového spoje – postup a pořadí kladení housenek svaru a vrstev
- svařování s předběžnou pružnou deformací.

Zbytkové napětí tepelného původu podle mechanismu vzniku dělíme do 3 skupin:

### 3.1.1 Napětí způsobené změnou objemu

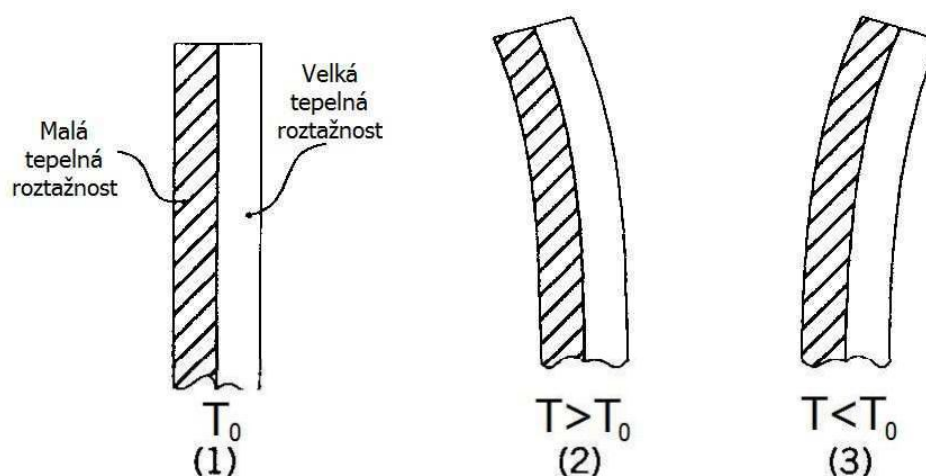
Roztavený kov ve svarové lázni ztuhne, tím dojde ke zmenšení jeho objemu a následné reakci v okolním materiálu - pokud je to možné, přizpůsobí se smrštění tuhnoucího materiálu. Pokud tato deformace není dostatečná, zvýší se velikost napětí v materiálu. Pokud tato hodnota překročí mez kluzu, dojde ke vzniku trhlin v materiálu.



Obr. 6 Roztavený svarový kov smršťující se během tuhnutí [6]

### 3.1.2 Napětí způsobené rozdílnou tepelnou roztažností

Takové napětí může vzniknout, když spojujeme dva materiály s různou tepelnou roztažností. Všeobecně známý a rozšířený je princip bimetalového pásku, který se používá při řešení a výrobě bimetalových termostatů a teploměrů. Pokud deformaci pásku znemožníme, dojde k nárůstu vnitřního napětí v materiálu - při svařování či pájení dvou různých materiálů.



Obr. 7 Princip bimetalového pásku: při pokojové teplotě (1), po ohřátí (2), po ochlazení (3) [6]

### 3.1.3 Napětí způsobené vznikem teplotního gradientu v materiálu

Když vznikne podél některého rozměru svařence teplotní gradient lokálním ohřevem – ochlazením, dochází k různé rychlosti rozpínání – smršťování uvnitř materiálu, jehož následkem je zvýšené napětí, které může způsobit vznik trhlin.

## 3.2 Deformace [3]

Svařovací proces způsobuje různé svarové deformace, které dělíme obdobným způsobem jako svarová napětí:

- dle oblasti působení na:
  - vnitřní - ta se objevují v jednotlivých vláknech nebo objemech průřezu
  - vnější - projevují se změnami geometrického tvaru a rozměrů a rozměrů svařence a dále je členíme na: elementární, což jsou deformace svarového spoje
    - lokální, jenž se projevují jen v určité části svarku a nemají vliv na celkovou deformaci konstrukce
- podle rozsahu na:
  - makroskopické – projevují se změnami geometrického tvaru a rozměrů svařovaných dílů, což jsou vnější deformace
  - mikroskopické – vznikají ve velikosti zrn a nemají vliv na změnu tvaru nebo rozměru svarku, jsou to vnitřní deformace
  - submikroskopické – co do objemů jsou na úrovni elementárních buněk a jsou to opět vnitřní deformace
- dle doby existence na:
  - přechodné – dočasné deformace vykazuje svařovaný díl pouze po určitou dobu, dle příčiny jejich vzniku
  - zbytkové - tyto deformace zůstávají ve svařovaném dílu i po ukončení technologického procesu
- dle stálosti na:
  - elastické - deformace způsobí napěťový stav, napětí však nepřekročí mez pružnosti a těleso se po odstranění síly vrátí do původního stavu
  - plastické - vzniklé napětí překročilo mez kluzu, deformace zůstávají trvalé a existují dále v tělesech bez napětí
  - elasticko plastické – vzniklé napětí překročilo mez kluzu a v tělesech dále existuje zbytkové napětí

Elementární deformace svarového spoje

Jsou to zbytkové deformace, které jsou způsobeny smršťováním svaru ve všech směrech a jsou složeny ze 3 druhů smrštění:

příčné smrštění -  $Z_p$   
podélné smrštění -  $Z_l$   
úhlové deformace -  $Z_u$

Ve výrobním procesu zpravidla více vadí deformace svarků než vnitřní napětí. Deformace svarků lze odstranit různými metodami mechanického rovnání – kladivem, lisem, lze použít rovnání teplem.

Při tepelném rovnání se využívá intenzivní bodový, klínový nebo plošný ohřev. Při všech těchto metodách se do svařence vnášejí další napětí, která lze v případě nutnosti snížit následným zvoleným postupem:

- žihání na snížení vnitřního pnutí, a to s celkovým ohřevem svarku nebo s místním ohřevem
- mechanickými způsoby, což je prokováním svaru, vibracemi
- jednorázovým nebo opakovaným zatížením konstrukce.

### 3.2.1 Příčné deformace

Příčné deformace vznikají z různých příčin zejména u tupých a koutových svarů. Jsou způsobeny ve směru kolmém na podélnou osu svaru v rovině povrchu plechu.

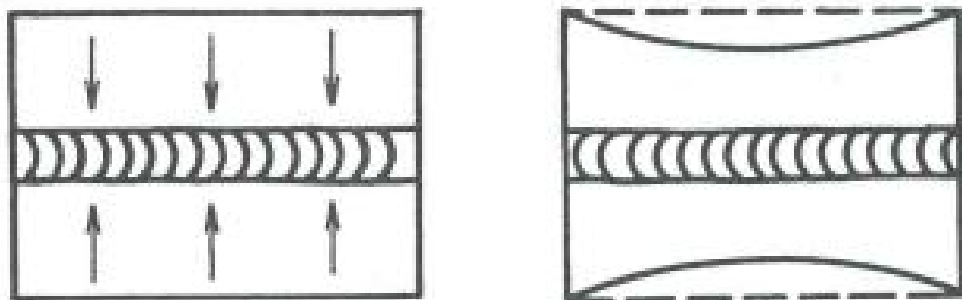
Velikost příčné deformace závisí na množství vneseného tepla do místa svaru, na zvoleném způsobu svařování a stehování, na tvaru svaru a jeho délce, na tloušťce materiálu, na tuhosti daného svarku a také způsobu upnutí dílů.

Pokud jsou plechy upnuty pevně, příčné smrštění způsobí vysoké napětí v materiálu a může tak vést ke vzniku podélné trhliny. Podstatnou část tvoří smrštění základního materiálu, svarový kov se na celkovém smrštění podílí jen asi 10 %, dochází ke změně vzájemné polohy spojovaných plechů v důsledku tepelných účinků při svařování.

Příčné deformace tupých svarů rostou s úhlem rozevření svaru. K nejmenším deformacím dochází u svaru X. Tyto deformace lze snížit přerušovaným svařováním a stehováním.

U vícevrstvých svarů se hodnota příčného smrštění při svařovacím režimu a tloušťce materiálu zvětšuje s počtem vrstev – se vzrůstajícím průřezem svaru.

Hodnoty příčného smrštění u koutových spojů jsou díky malému natavení základního materiálu menší než u tupých svarů. Tyto hodnoty se mění v závislosti na poměru velikosti svaru a tloušťky plechu.



Obr. 8 Příčné deformace [4, 5]

Příčné deformace lze omezit:

- zmenšením průřezu svaru,
- vnějším tuhým upnutím,
- snížením množství tepla na jednotku délky svaru,
- prokováním svaru
- vhodným stehováním.

### 3.2.2 Podélné deformace

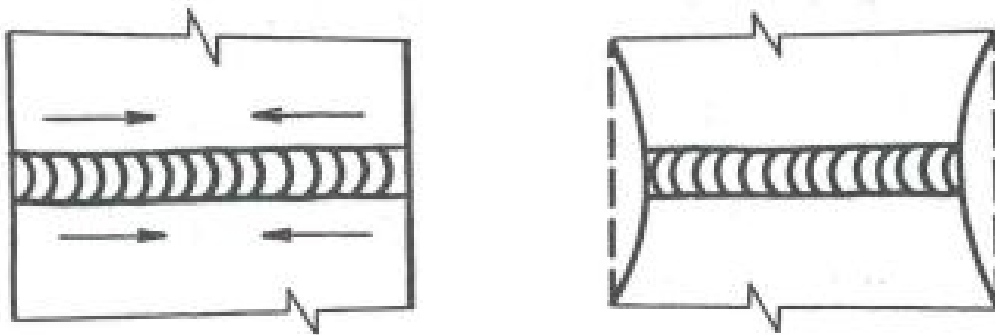
Podélné deformace svařovaného dílu vznikají ve směru osy svaru, kdy jejich velikost je závislá na dané metodě svařování, na zvoleném způsobu vyplňování úkosu a na tuhosti dílu ve směru svařování. Ohřátý základní materiál se během svařovacího procesu v oblasti svarové lázně projevuje dilatací. Ve fázi ohřevu se silně ohřátý materiál v oblasti tvorby svaru plasticky deformuje, ve fázi ochlazování narůstají v oblasti svaru napětí a po ochlazení se v podélném směru projeví smrštění.

U desek s velkou tloušťkou a vysokou tuhostí je podélné smrštění malé a jen na koncích plechu.

U tupých svarů se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,3 mm na 1 m délky svaru.

U tenkých plechů vzhledem k nízké tuhosti dochází k vyboulení.

Podélné smrštění materiálu může vyvolat i prostorové deformace svařovaného dílu. Způsob deformace je závislý na poloze svaru vzhledem k těžišti průřezu svařence.



Obr. 9 Podélné deformace [4, 5]

Podélné deformace lze zásadně ovlivnit:

- svařováním s menším tepelným příkonem
- svařováním s malým závarem
- kladením většího počtu menších svarových housenek
- vhodným způsobem vyplňování úkosu – vratný a střídavý krok, přestávky mezi svary.

### 3.2.3 Úhlové deformace

Úhlové deformace se projevují odchýlením roviny jedné desky od původní roviny druhé desky vlivem svařování. Úhlová deformace je zvláštní druh deformace příčné, jejíž příčinou je nestejná velikost příčného smrštění ve směru tloušťky materiálu, která se projevuje zejména u svarů vyplňovaných na více vrstev a u svarů s nesymetrickým úkosem – svarů U, V a u koutových svarů.

Velikost těchto deformací je závislá na úhlu rozevření svaru a na počtu a způsobu kladení svarových vrstev. Při stejné tloušťce desek úhlové deformace rostou s rostoucím počtem svarových vrstev a způsobují tak průhyb desek.

U koutových svarů závisí velikost úhlové deformace na poměru velikosti svaru a tloušťky plechu. Pro určitou tloušťku plechu se úhlové smrštění zvětšuje s rostoucí velikostí svarů.



Obr. 10 Úhlové deformace [4, 5]

Úhlové deformace lze snížit:

- postupem kladení svarových housenek
- vnějším tuhým upnutím
- vhodnou úpravou svarových ploch
- volbou svařovacího režimu
- vhodným sestavením dílů před svařováním
- co nejmenším počtem housenek
- případně předběžnou pružnou nebo plastickou deformací svařovaného dílu v opačném směru, než je deformace vznikající při samotném svařování.

## 4. Vysokolegované korozi-vzdorné oceli [1]

Všeobecné nároky na materiály, jako je pevnost a mechanické vlastnosti, nejsou z hlediska požadavků a norem v potravinářském průmyslu dostačující. Pro styk s potravinami musí tyto materiály odolávat korozi a být celkově netečné k potravinám.

Takovým požadavkům nejlépe vyhovují korozi-vzdorné oceli – nerezky s obsahem minimálně 11,7 % chrómu, který zajišťuje nutnou korozní odolnost, a dále nejvýše 0,08 % uhlíku.

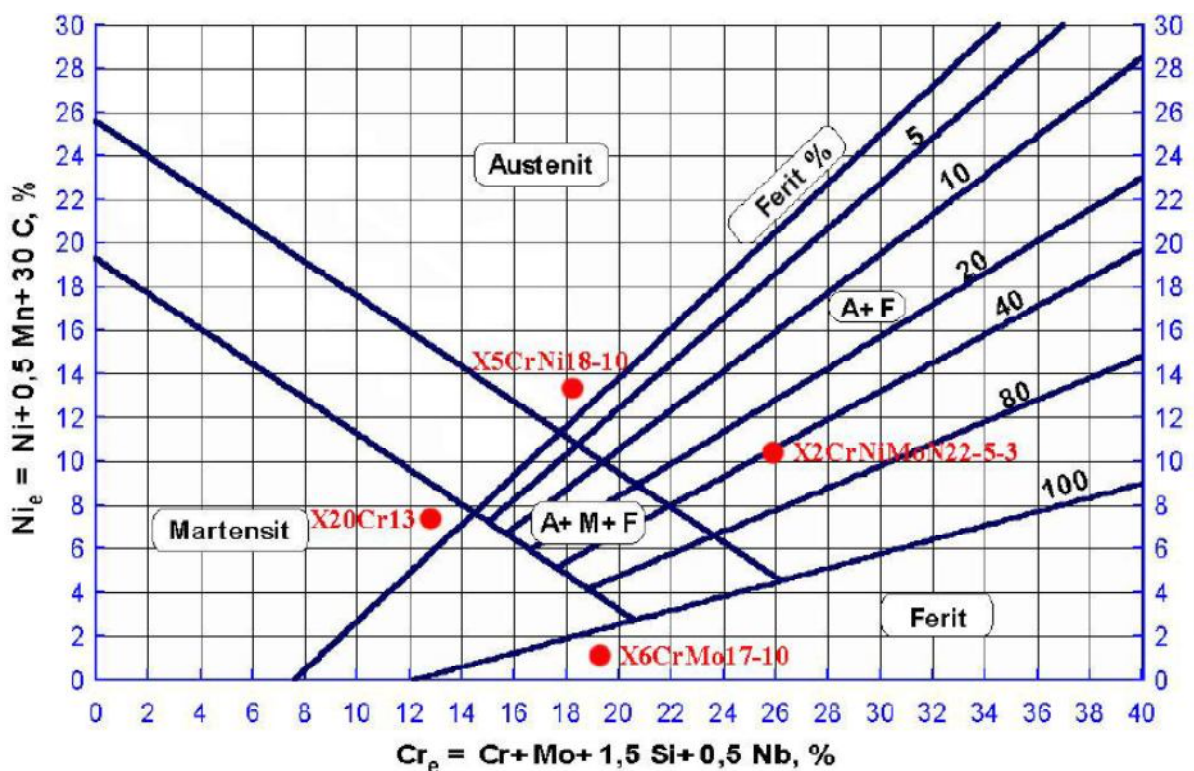
Další nejdůležitější legujícími prvky dělíme do dvou skupin:  
 Austenitotvorné – rozšiřují v rovnovážném diagramu oblast  
 $\gamma$ : C, Ni, Cu, Mn, N  
 Feritotvorné - zužují v rovnovážném diagramu oblast  
 $\gamma$ : Cr, Mo, Si, Al, W, Ti, Nb, V

Oceli dělíme do 4 skupin podle dosažené mikrostruktury a obsahu hlavních legur, a to na:

Feritické chromové oceli  
 Martenzitické chromové oceli  
 Austenitické Cr-Ni, nebo Cr-Ni-Mo oceli  
 Austeniticko-feritické (nebo-li duplexní) Cr-Ni, nebo Cr-Ni-Mo oceli

V potravinářském průmyslu jsou nejpoužívanější oceli austenitické. Austenit se vyznačuje vyšší rozpustností uhlíku v porovnání s feritem, má také lepší plastické vlastnosti než ferit. Chrom představuje feritotvorný prvek, zatímco nikl austenitotvorný.

Pro určení odhadu výsledné mikrostruktury korozivzdorných ocelí se používá tzv. Schaefflerův diagram a De Longův diagram, který upřesňuje Schaefflerův diagram. Uvedené diagramy lze použít k odhadům obsahu feritu i austenitu v základním materiálu i ve svarových kovech.



Obr. 11 Schaefflerův diagram [10]

Austenitické oceli se vyznačují větší tepelnou roztažností a zároveň nižší tepelnou vodivostí než oceli feritické. Při svařování vznikají větší deformace a napětí oproti feritickým ocelím, ale vyznačují se naopak lepší tažností a houževnatostí, než oceli uhlíkové a nízkoaligované.

Jejich svařitelnost ovlivňují 3 zásadní faktory:

- náchylnost k tvorbě teplých trhlin
- precipitace karbidů chromu, důsledkem je mezikrystalová koroze
- zkřehnutí vznikem  $\sigma$ -fáze.

Austenitické oceli se svařují přídavnými materiály se stejným, případně podobným chemickým složením. Použit lze téměř všechny známé technologie svařování, které zajistí dokonalou ochranu svarového kovu. Tyto oceli svařujeme bez předehřevu (předehřev by mohl nepříznivě ovlivnit korozní odolnost svarového spoje), jelikož je nelze zakalit a také nejsou náchylné na vznik studených trhlin.

Austenitické oceli vykazují výbornou svařitelnost, mez pevnosti u svaru je o 8-10 % nižší než u základního materiálu a mez kluzu je vyšší, než u základního materiálu.

Požadavky na výrobky pro potravinářský průmysl jsou velmi náročné na kvalitu, celkové provedení práce a dodržování hygienických standardů. Na firmy vyrábějící tato zařízení jsou kladeny vysoké nároky týkající se i zvolení vhodné technologie, aby si použitý materiál zachoval všechny důležité vlastnosti – netečnost, korozní odolnost a odolnost vůči namáhání.

Důležitým požadavkem pro kvalitní svary je absolutní těsnost spojovaných součástí, tj. těsné přiléhání čistými a hladkými plochami.

Svarové spoje austenitických ocelí se běžně tepelně nezpracovávají. U tupých a tvarově složitých svarků je možné použít žihání na snížení vnitřního pnutí, a to na teploty 400 – 500 °C, případně 850 – 950 °C. Pro zlepšení korozní odolnosti svarových spojů můžeme použít rozpouštěcí žihání 1000 – 1050 °C/voda, a to lze u stabilizovaných ocelí doplnit stabilizačním žiháním při 900 – 950 °C/vzduch.

#### 4.1 Základní materiál [8, 9]

Značení základního materiálu

Nerezová ocel 1.4301 – chrom niklová austenitická nestabilizovaná

Nové značení ČSN 10088-1 (X5CrNi 18-10)

Tab. 1 Chemické složení základního materiálu

| MNOŽSTVÍ V % |       |       |        |       |       |                |               |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|---------------|
| C            | Si    | Mn    | P      | S     | N     | Cr             | Ni            |
| ≤0,07        | ≤1,00 | ≤2,00 | ≤0,045 | ≤0,03 | ≤0,11 | 17,00 až 19,50 | 8,00 až 10,00 |

Tab. 2 Mechanické vlastnosti základního materiálu

|                |                                 |            |
|----------------|---------------------------------|------------|
| MEZ KLUZU      | $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | min. 210   |
| PEVNOST V TAHU | $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]      | 520 až 720 |
| TAŽNOST        | $A_{80mm}$ [%]                  | min. 45    |

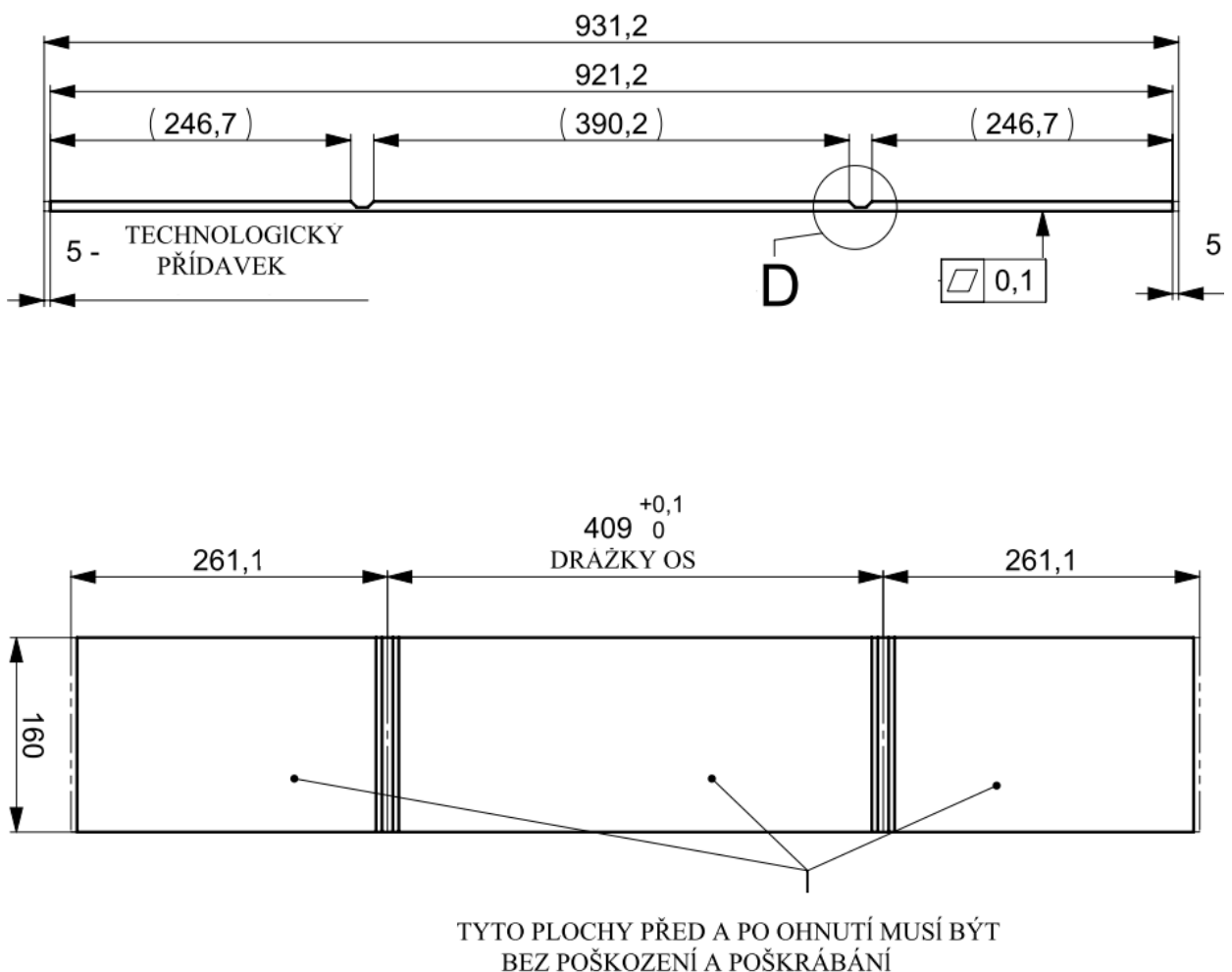
## 5 Návrh technologického postupu

Předmětem následujících bodů bude popsání postupu výroby uvedené komory lisu pro již výše zmiňovaný stroj RONDOPRESS. Tento postup zahrnuje všechny postupné kroky celého výrobního cyklu od samotné přípravy materiálu až po konečný svařenec.

### 5.1 Řezání polotovaru laserem

Polotovar budeme řezat laserem Bystronic 3500 z tabule plechu o rozměru 2000 x 1000 x 8 mm. Rozměr řezaného polotovaru je 931,2 x 160 mm s přídavkem materiálu na obrobení. Komora lisu se zhotovuje ze dvou stejných dílů, z jedné tabule plechu se vyřeže 12 ks dílů, tj. 6 ks svařenců komory lisu.

Využití 1 tabule plechu je ve výši 89,4 %, zbývajících 10,6 % je nevyužitý odpad. Před dalším výrobním krokem je třeba mechanicky odstranit případné otřepy z řezaného polotovaru.

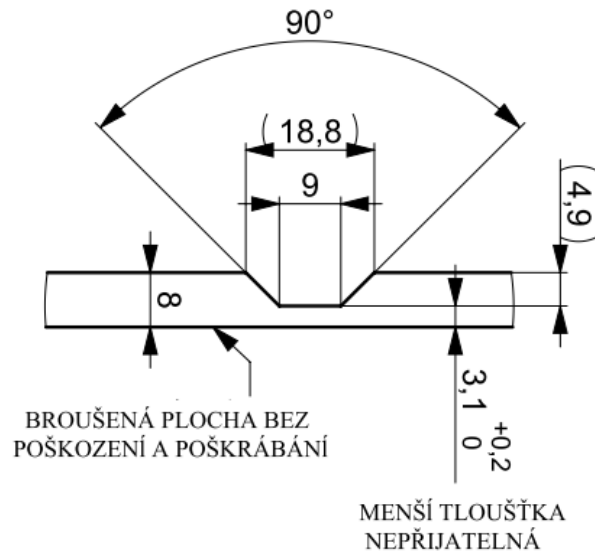


Obr. 12 Rozvinutý tvar polotovaru

## 5.2 Frézování a ohraňování polotovaru

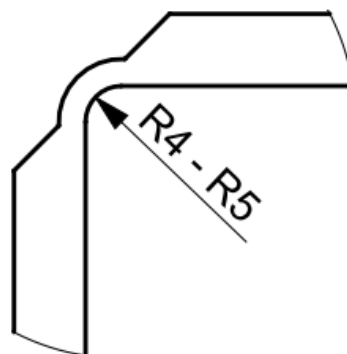
Při stanovování vhodného technologického postupu jednotlivých kroků nebylo v případě ohraňování bez odlehčení dosahováno požadovaných rozměrů v rámci přípustné tolerance.

Hledalo se vhodné řešení postupu pro zajištění odpovídajících rozměrů v rámci požadované tolerance, kterou bylo nutné dodržet z hlediska principu funkčnosti celého stroje. Z tohoto důvodu bylo nutné povést zeslabení materiálu v místě ohybu, kterého bylo docíleno frézováním drážky pro odlehčení.



Obr. 13 Detail frézované drážky

Ohraňování bylo prováděno na ohraňovacím lisu Trumf, kde jsme s použitím frézované drážky docílili požadovaných rozměrů 409 mm v dané toleranci + 0,3 mm.



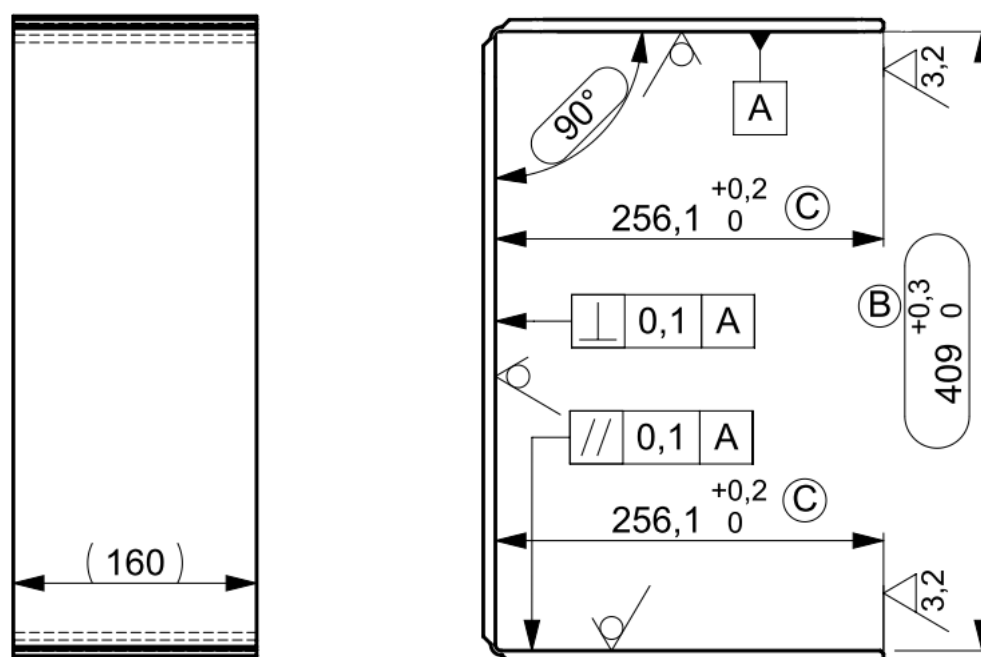
Obr. 14 Detail ohybu



Obr. 15 Ohraňovací lis

### 5.3 Frézování ramen polotovaru

Před samotným svařením polotovaru byla nutná úprava ramen frézováním na požadovanou délku 256,1 mm dle dokumentace. Dále bylo potřeba provést frézování úkosů pro svary.



Obr. 16 Detail ½ komory lisu

## 5.4 Svařování dle dokumentace

V procesu svařování byl použit svařovací zdroj FRONIUS TRANS PULS SINERGIC 4000 a svařovací plyn INOXLIN C2 s obsahem 2,5 % CO v Argonu. Jako přídavný materiál jsme použili drát OK TIGROD 316 L o průměru 0,8 mm od firmy ESAB. Tento drát má velmi nízký obsah uhlíku pro svařování austenitických ocelí, svarový kov má tak dobrou odolnost proti běžné korozi. Je využíván ve velkém měřítku právě v potravinářském a chemickém průmyslu.

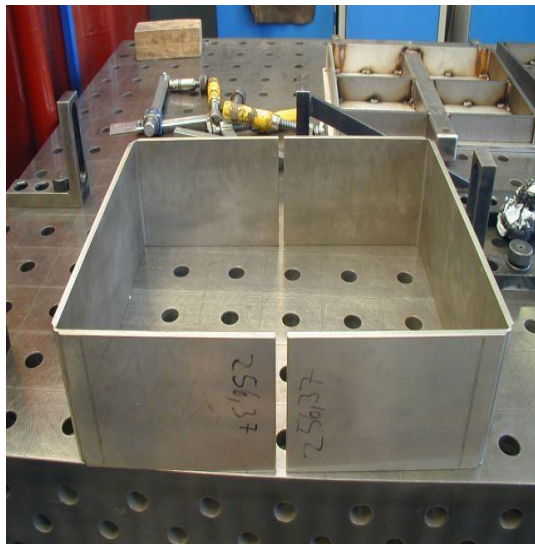
Pro svařování Komory lisu jsme zvolili jako vhodnou metodu MAG.



Obr. 17 Svařovací zdroj Fronius

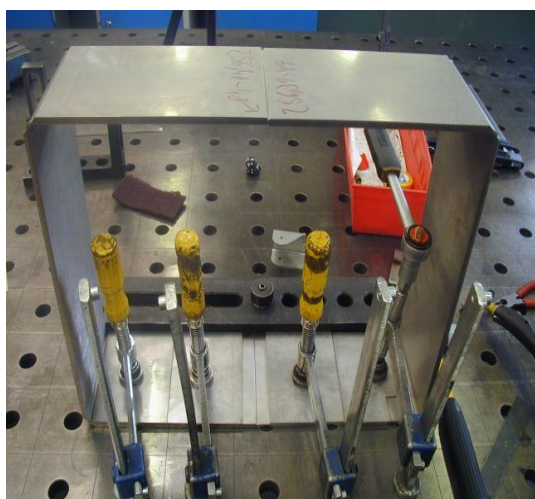
Současné řešení jednotlivých dílčích operací při svařování bez přípravku jen za pomoci svařovacích upínek. Všechny V svary jsou prováděny v poloze PA – vodorovné shora.

Obr. 18 – 35 Technologický postup výroby



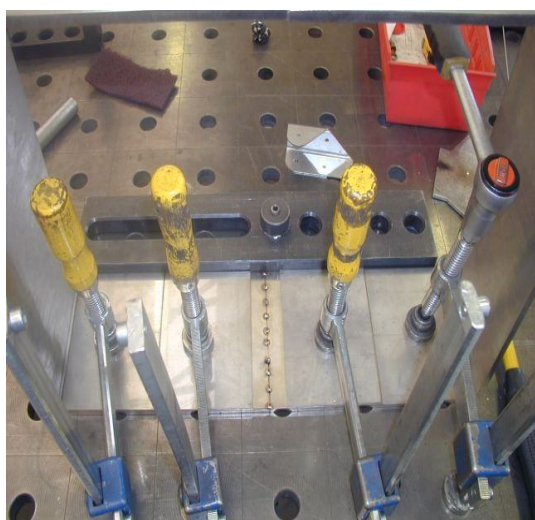
Podsestavy připravit ke svaření:

- ofrézované na rozměr 256,3+0,3
- vnitřní hrana 3x30° na obou ramenech
- vnější hrana 3x30° na obou ramenech

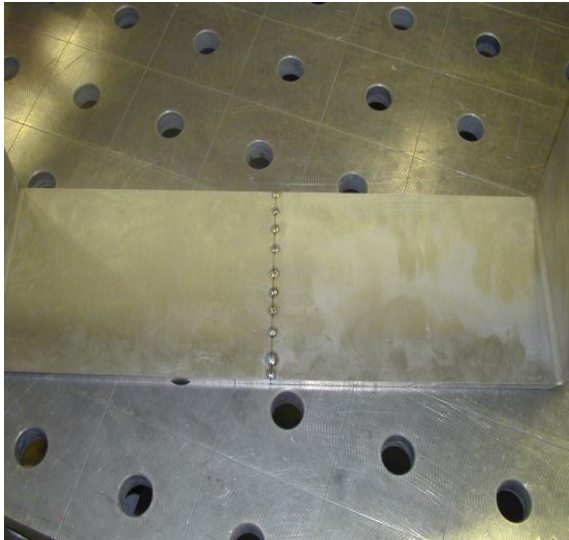


Detail upnutí podsestav před nastehováním:

- polotovary přiložit těsně k pravítku a k sobě a stáhnout svěrkami ke stolu



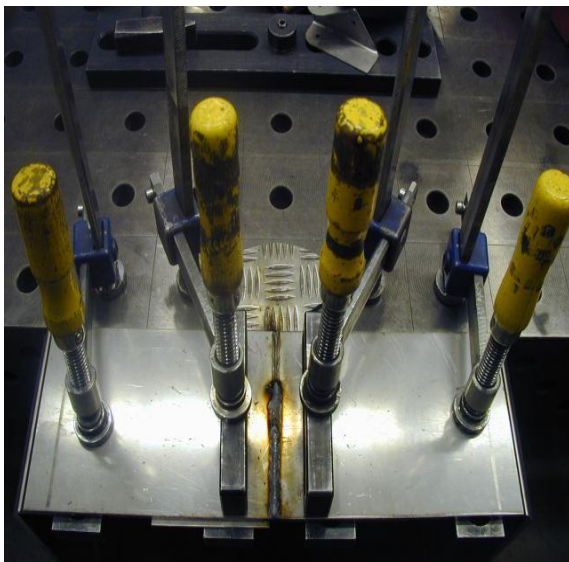
Stehovat od středu ke krajům po 20 mm



Detail nastehované komory



Detail upnutí komory před svařením za použití svěrek



Vnější svary na komoře provést od středu ke kraji a použít tyto svařovací parametry:  
- proud 144 A  
- napětí 22,1 V  
- posuv drátu 13,2 m/s



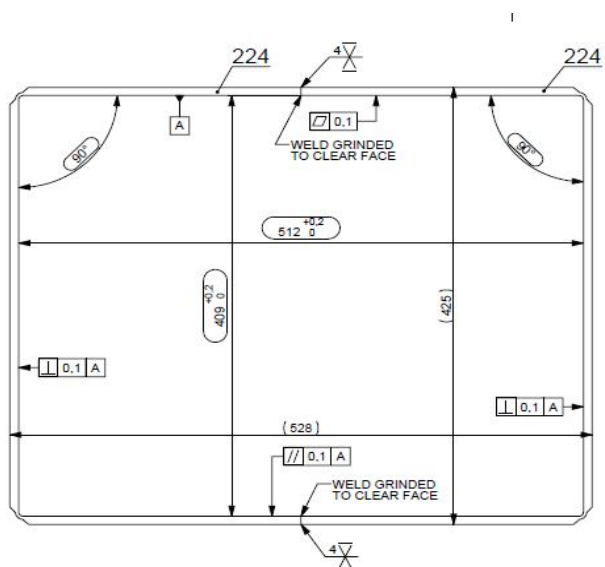
Vnitřní svary na komoře provést od středu ke kraji a použít tyto svařovací parametry:

- proud 125 A
- napětí 18,6 V
- posuv drátu 11,5 m/s

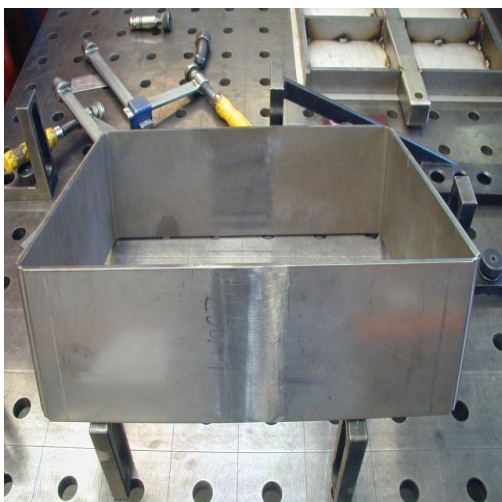
Takto svařenou komoru nechat před dalšími kroky zcela vychladnout.



Provedené svary na komoře zabrousit, aby se drsnost povrchu shodovala s povrchem komory.



Po svaření provést kontrolu všech rozměrů, kolmosti, rovinnosti a rovnoběžnosti dle výkresu. Případné odchylky odstranit rovnáním.

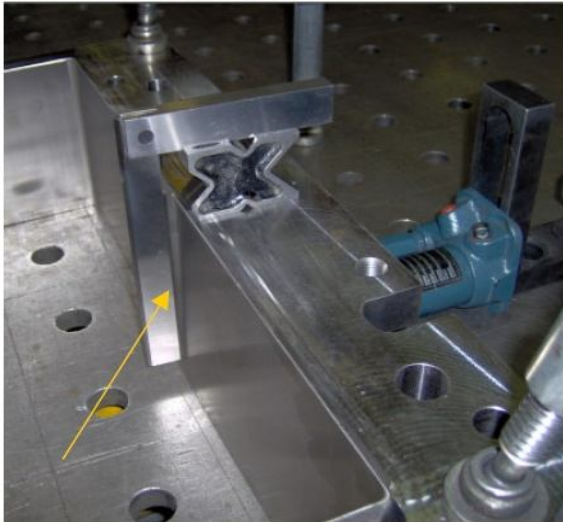


Detail komory a rámu před jejich svařením.



Díly sesadit k sobě a nabodovat k zajištění polohy, pak nejprve provést koutové svary v rozích a nakonec uprostřed  
- velikost koutového svaru a3, délka 30 mm  
- koutový svar v poloze PB – vodorovná šikmo shora



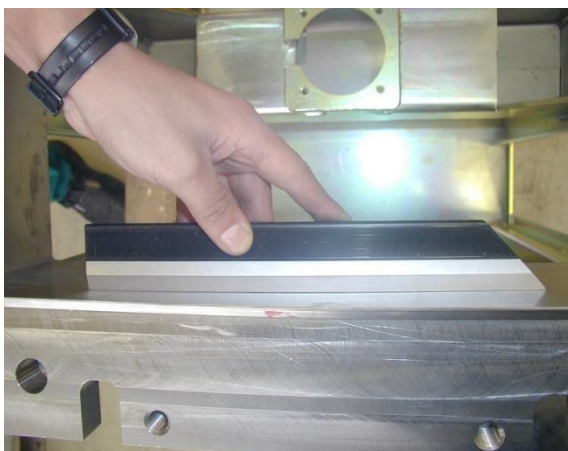


Po svaření zkontrolovat kolmost k základnímu rámu

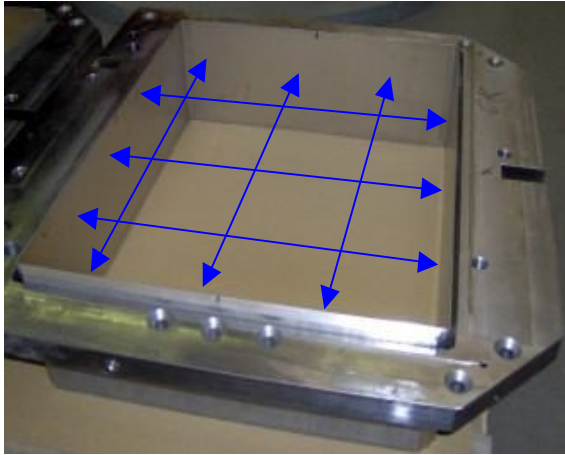
- v rozích není nutnost dorovnávat
- uprostřed vznik rozevření komory s odchylkou až 1,5 mm, nutnost dorovnat na odchylku maximálně 0,15 mm hydraulickým rozpínákem



Kontrola kolmosti ve všech rozích v horní i dolní části komory za použití úhelnice



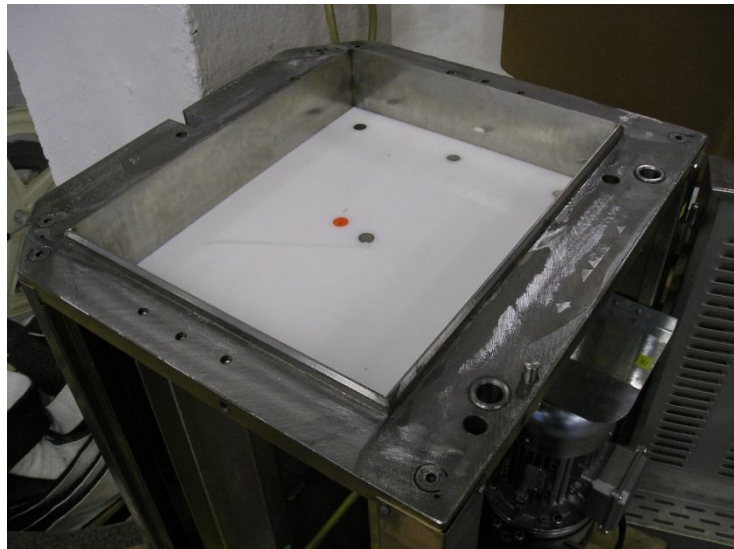
Zkontrolovat rovinnost po svaření za použití nožového pravítka



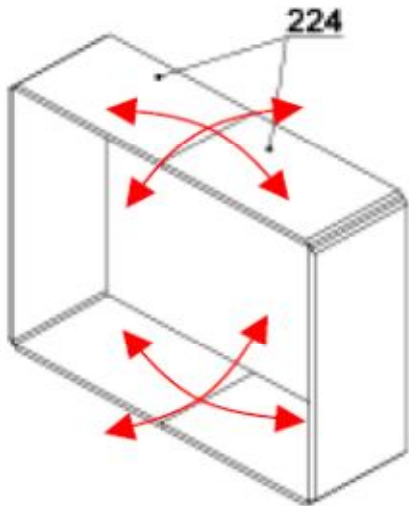
Změřit vnitřní rozměry komory  
- v zobrazených místech  
- měřit až po úplném vychladnutí  
(cca po 4 hodinách změna až o 0,06 mm)

## 6 Opatření ke snížení deformací

Při samotném procesu svařování polotovarů vznikly problémy se smrštěním a rozpínáním komory lisu. Komora byla vyráběna ze dvou dílů a svařená na tupo s dvojitým V svarem. Výsledkem bylo nedodržení rozměrů a komora částečně neplnila svůj účel. V komoře se pohybuje teflonový píst, který stírá ze stěn komory těsto. Vznikly 2 situace – při velké komoře se těsto dostávalo pod píst a při malé komoře nešel píst nasadit a svou funkci neplnil vůbec.



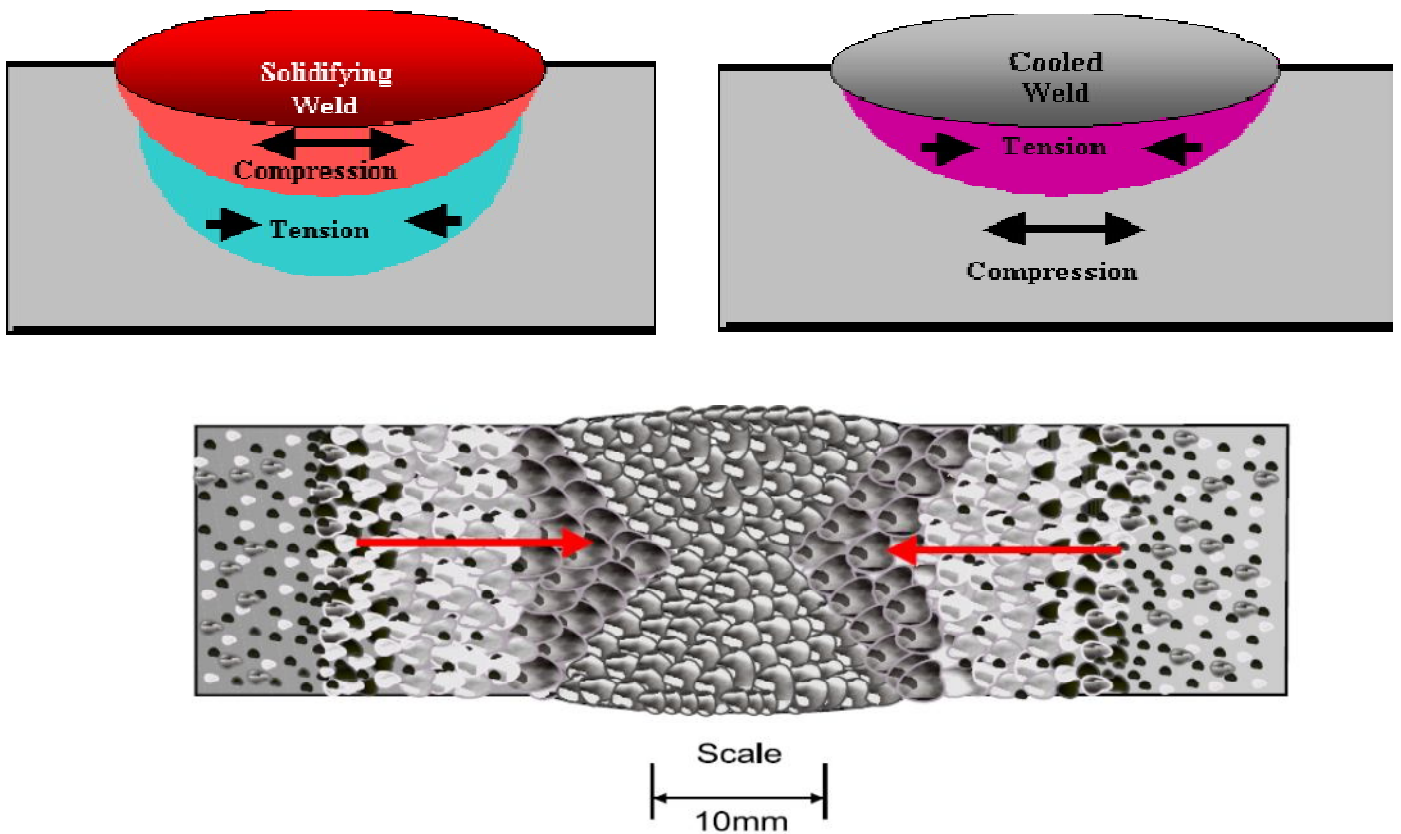
Obr. 36 Kontrola funkčnosti



Směry příčného a podélného napětí  
a deformace ve svaru  
– nutnost eliminovat

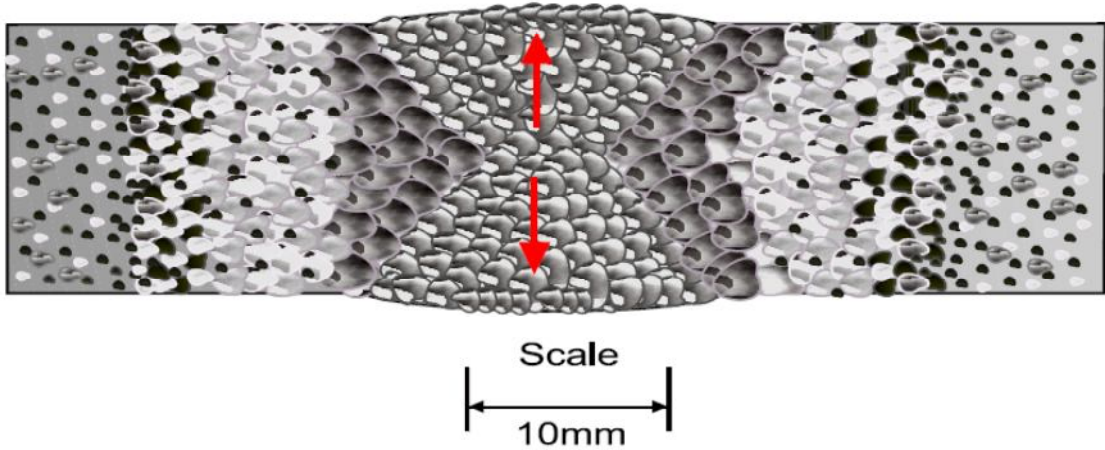
Obr. 37 Deformace komory

Smrštění a rozpínání Komory při svařování:



Obr. 38 Smršťování materiálu [11]

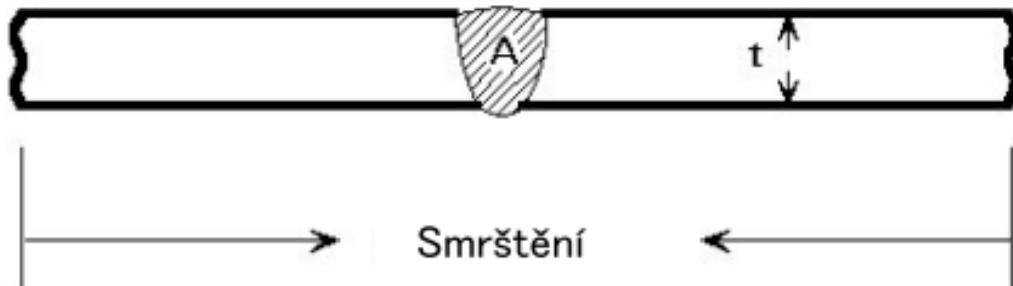
Komora se smršťuje 0,4 mm v podélném směru, pak při 2% smrštění je šířka oblasti cca 20 mm, při 1% smrštění je šířka oblasti cca 40 mm – austenitická ocel se smršťuje nebo rozpíná více o 30 % než feritická.



Obr. 39 Rozpínání materiálu [11]

Komora se rozpíná 0,1 mm/svar v příčném směru, pak při 2% rozpínání je šířka oblasti cca 5 mm, při 1% rozpínání je šířka oblasti cca 8 mm.

Vzorec 1 - Výpočet smrštění:



$$S = kA/t$$

k = empirický faktor

A = velikost svaru

t = síla materiálu

$$k = 0,17$$

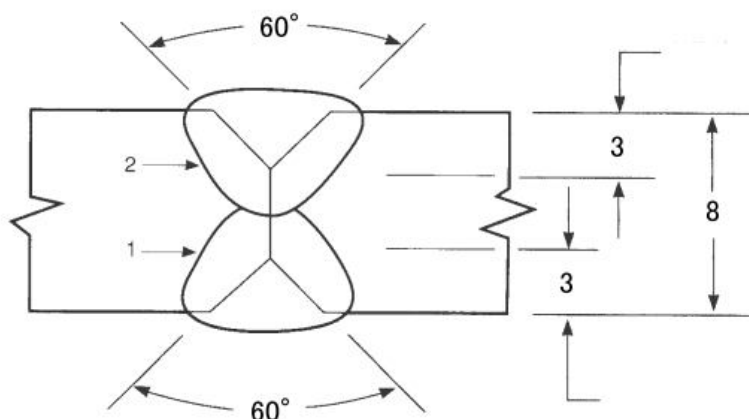
$$A = \text{cca } 18$$

$$t = 8$$

$$S = 0,17 * 18/8 = 0,38 \text{ mm}$$

## 6.1 Úprava svařovaných hran

Z původního otupení hran 2 mm a úhlu sevření 45° se frézováním změnilo otupení hran na 3 mm a úhel sevření na 30°.



Obr. 40 Úprava svařových ploch

## 6.2 Upnutí, nastehování a svaření komory

Při svařování 1. kusu komory lisu nebyly použity žádné upínky. Díly se sesadily, nastehovaly a svařily.

Vzhledem k tomu, že tímto způsobem nebyly dodrženy zadané parametry dle dokumentace, při dalším ověřování technologického postupu byly obě ramena komory upnuty ke svařovacímu stolu v blízkosti požadovaného svaru.

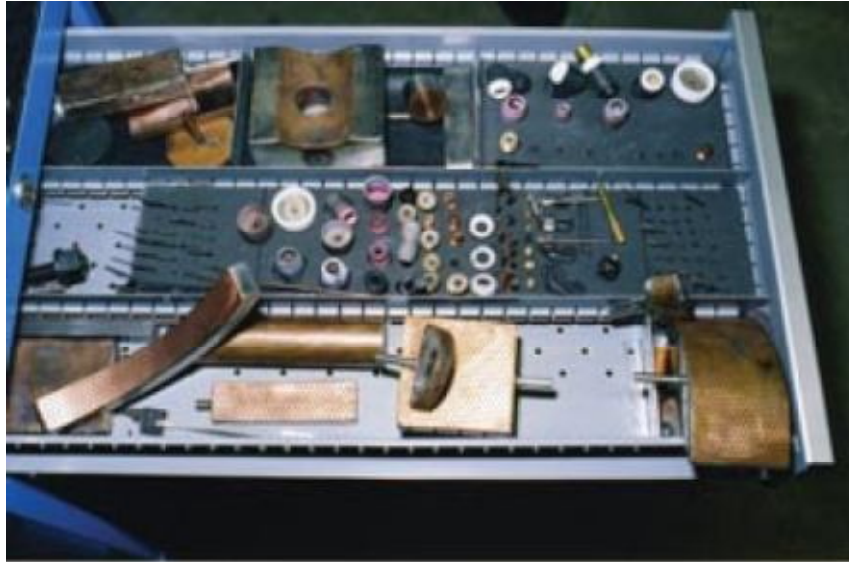
Byl zvolen postup svařování od středu ramene směrem ke kraji u vnitřního i vnějšího svaru.



Obr. 41 Svařovací upínky

### 6.3 Vychladnutí svařence, použití chladících pásků

Po svaření bylo nutné nechat komoru upnutou do vychladnutí zhruba na 30° C. K urychlení odvodu tepla z místa svaru byly použity chladící měděné pásy.

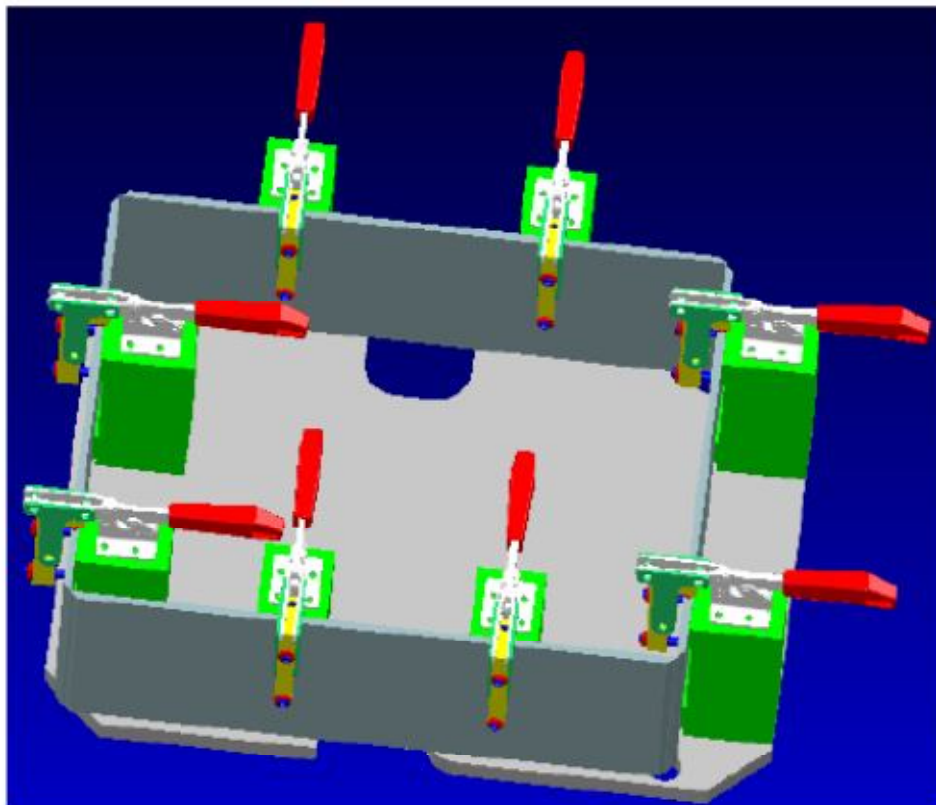


Obr. 42 Chladící měděné pásy

## 7 Návrh přípravku

Přípravek se skládá ze základní desky z konstrukční oceli o tloušťce 20 mm a rozměrech 650 x 600 mm. Na základové desce je přišroubováno 8 ks hranolů o rozměrech 60 x 60 mm a vysokých 180 mm. Na hranolech jsou připevněny upínky, které zajišťují díly komory ve správné poloze ve svařovacím přípravku.

Tento přípravek je zatím ve fázi ověřování před zavedením do výrobního procesu. Od jeho zavedení se očekává zjednodušení a zrychlení celého výrobního cyklu.



Obr. 43 Model přípravku

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo v obecné rovině popsání metod v ochranné atmosféře plynu metodami MIG/MAG a TIG se zaměřením na vysokolegované austenitické oceli. V souvislosti se svařováním vznikají deformace a zbytková napětí ve svarech, která je vždy třeba v co největší míře eliminovat.

Hlavním tématem praktické části bylo vypracování vhodného technologického postupu pro svaření komory lisu z nerezové oceli pro stroj na výrobu těsta. Výsledkem celého procesu je zhotovení komory lisu a stanovení opatření ke snížení všech deformací a také návržení vhodného svařovacího přípravku.

Řešená komora lisu včetně rámu, nerezového opláštění a víka se dodává firmě Rieter CZ s.r.o. k následné montáži a kompletaci stroje RONDOPRESS včetně hydrauliky a elektroniky. Roční předpokládaný objem výroby je 120 ks strojů.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1.vyd.. Ostrava: Zeross, 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
2. KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*. 1.vyd.. Ostrava: Zeross, 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
3. KOLEKTIV AUTORŮ. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování*. 1.vyd.. Ostrava: Zeross, 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1
4. MALINA, Zdeněk. *Základní kurz svařování MIG/MAG*, 5.vyd.Ostrava: Zeross, 2000, 125s. ISBN 80-85771-76-4
5. MALINA, Zdeněk, Miroslav Néma. *Základní kurz svařování ZK 141 W 21*. 1.vyd. Ostrava: Zeross, 2004, 93s. ISBN 80-86698-02-5
6. MESSLER, Robert W. *Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. New York, USA: John Wiley&Sons, 1999, 662s. ISBN 04-712-5376-6
7. VLÁŠEK, Milan. Svařování kovů [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://svarovani-kovu.webnode.cz>
8. INOX. Nerezová ocel 1.4301. [online]. [cit. 15. dubna 2009]. Dostupné z: <http://www.inox.cz>
9. ITALINOX. Chemické složení korozivzdorných ocelí. [online]. [cit. 15. dubna 2009] <http://www.italinox.cz/?p1=plechy&p2=p2>.
10. Materiály ke zkouškám. Technická univerzita v Liberci: Katedra strojírenské technologie [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.skp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy.htm>
11. Material & welding: Residual Stress. Dostupné z: <http://materials-welding.blogspot.com/2007/09/residual-stress-magnitude-of-stresses.html>
12. Potravinářský a tabákový průmysl – Budoucnost profesí. Dostupné z: <http://www.budoucnostprofesi.cz/cs/vyvoj-v-odvetvich/05.html>
13. Bühler CZ s.r.o. Dostupné z: <http://www.portalzamberk.cz/buhler-cz-s-r-o/>
14. SIAD CZECH s.r.o. Zpracování kovů. Plyny, technologie a služby pro svařování a řezání kovů. Dostupné z: <http://www.siad.com/repceca/docs/zpracovani%20kovu.pdf>
15. RONDOPRESS. Dostupné z: <http://www.pekass.cz/rondopress>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 – RONDOPRESS .....  | 10 |
| Obr. 2 – Komora lisu .....                                       | 11 |
| Obr. 3 – Svařování v ochranné atmosféře .....                    | 13 |
| Obr. 4 – Princip svařování MIG/MAG.....                          | 14 |
| Obr. 5 – Svařovací hořák s netavící se elektrodou .....          | 17 |
| Obr. 6 – Roztavený svarový kov smršťující se během tuhnutí ..... | 20 |
| Obr. 7 – Princip bimetalového pásku .....                        | 20 |
| Obr. 8 – Příčné deformace .....                                  | 22 |
| Obr. 9 – Podélné deformace .....                                 | 23 |
| Obr. 10 – Úhlové deformace .....                                 | 24 |
| Obr. 11 – Schaefflerův diagram .....                             | 25 |
| Obr. 12 – Rozvinutý tvar polotovaru .....                        | 27 |
| Obr. 13 – Detail frézované drážky .....                          | 28 |

|  |         |
|--|---------|
| Obr. 14 – Detail ohybu .....                   | 28      |
| Obr. 15 – Ohraňovací lis .....                 | 29      |
| Obr. 16 – Detail ½ komory lisu.....            | 29      |
| Obr. 17 – Svařovací zdroj FRONIUS .....        | 30      |
| Obr. 18 – 35 Technologický postup výroby ..... | 31 - 36 |
| Obr. 36 – Kontrola funkčnosti .....            | 36      |
| Obr. 37 – Deformace komory .....               | 37      |
| Obr. 38 – Smršťování materiálu .....           | 37      |
| Obr. 39 – Rozpínání materiálu.....             | 38      |
| Obr. 40 – Úprava svarových ploch .....         | 39      |
| Obr. 41 – Chladicí měděné pásky .....          | 39      |
| Obr. 42 – Model přípravku .....                | 40      |

## SEZNAM TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 – Chemické složení základního materiálu .....      | 26 |
| Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti základního materiálu ..... | 26 |

## SEZNAM VZORCŮ

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Vzorec 1 – Výpočet smrštění ..... | 38 |
|-----------------------------------|----|

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

|                   |                             |                   |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| MIG               | Metal inert gas             |                   |
| MAG               | Metal activ gas             |                   |
| TIG               | Tungsten inert gas          |                   |
| WIG               | Wolfram inert gas           |                   |
| WP                | Wolframová elektroda zelená |                   |
| WC 20             | Wolframová elektroda šedá   |                   |
| WL 15             | Wolframová elektroda zlatá  |                   |
| Z <sub>p</sub>    | Příčné smrštění             |                   |
| Z <sub>l</sub>    | Podélné smrštění            |                   |
| Z <sub>u</sub>    | Úhlové smrštění             |                   |
| S                 | Smrštění                    | mm                |
| k                 | Empirický faktor            |                   |
| A                 | Velikost svaru              |                   |
| t                 | Síla materiálu              |                   |
| PA                | Poloha vodorovná shora      |                   |
| PB                | Poloha šikmá shora          |                   |
| R <sub>po2</sub>  | Mez kluzu                   | N/mm <sup>2</sup> |
| R <sub>m</sub>    | Pevnost v tahu              | N/mm <sup>2</sup> |
| A <sub>80mm</sub> | Tažnost                     | %                 |
| V                 | Napětí                      |                   |

## SEZNAM VÝKRESŮ

1. Výkres RP 1 120 S\_rev.A
2. Výkres RP 1 121 W\_rev.A
3. Výkres RP 1 224 W\_rev.C