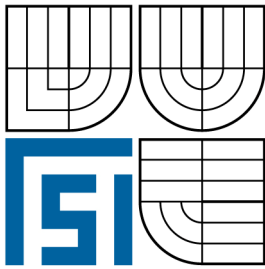


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE SVISLÝCH SOUSTRUHŮ WELDED CONSTRUCTION OF VERTICAL LATHES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR AUGUSTIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. JIŘÍ MAREK, DR.

BRNO 2007

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Augustin

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Svařované konstrukce svislých soustruhů

v anglickém jazyce:

Welded construction of vertical lathes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Svařované konstrukce jsou alternativním řešením konstrukcí odlitků ze šedé litiny. Dlouhá dodací lhůta odlitků způsobuje výrobním podnikům problémy. Práce má řešit konstrukční zásady pro překonstruování odlitků ze šedé litiny na ocelové svarky.

Cíle bakalářské práce:

1. použití nových výrobních svařenců (laserový vypalovací stroj a ohraňovací lis)
2. vytvoření zásad pro převod odlitků ze šedé litiny na ocelové svarky

Seznam odborné literatury:

[1] firemní literatura TOSHULIN,a.s.

[2] Breník,P.,Píč,J. Obráběcí stroje – konstrukce a výpočty. TP 59, Praha 1982,SNTL,s.573.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 24.11.2008

L.S.

Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Jméno a příjmení autora: Petr Augustin
Název bakalářské práce: Svařované konstrukce obráběcích strojů
Katedra: Strojního inženýrství
Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jiří Marek, Dr.
Rok obhajoby: 2009

Anotace:

Vymezenou problémovou oblastí bakalářské práce je nahrazení odlitků svarky. TOSHULIN a.s. se sídlem v Hulíně, s výrobou svislých soustruhů. Cílem práce je teoreticko-praktické zpracování dané problematiky. Zvážení všech kladů a záporů.
Daného nahrazení.

Anotace v angličtině:

The selected topic of my bachelor thesis deals primarily with the substitution of foundry weldment. TOSHULIN a.s. with a seat in Hulin, production of vertical turning machines. The goal of this thesis is to theoretically and practically assess the pros and cons of the substitution.

Klíčová slova:

svařování, odlévání, konstrukce, soustruh

Klíčová slova - anglicky:

welding, casting, construction, lathe

Bibliografická citace mé práce:

AUGUSTIN, P. Svařované konstrukce svislých soustruhů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 21 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Svařované konstrukce obráběcích strojů výroby vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiří Marek, Dr a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje v souladu s právními předpisy, vnitřními předpisy a vnitřními akty řízení Vysokého učení technického.

V Brně dne 20.5.2009

.....
Vlastnoruční podpis autora

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Markovi, Dr. za jeho cenné rady, připomínky a nápady, kterými přispěl k vypracování mé bakalářské práce.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Augustin

Bytem: Jersín 75

Narozen/a (datum a místo): 3.7.1987, Jihlava

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Svařované konstrukce svislých soustruhů
Vedoucí/ školitel VŠKP: Prof. Ing. Jiří Marek, Dr.
Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Datum obhajoby VŠKP: 18.6.2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

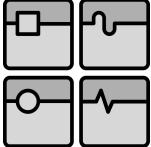
V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Obsah:

1) Úvod.....	1
2) Představení firmy TOSHULIN.....	1
2.2 Minulost firmy.....	1
2.2 Firma dnes.....	1
3) Svarové spoje.....	2
3.1 Teorie vzniku svarového spoje.....	2
3.2 Metody svařování.....	3
3.3 Zjišťování vad u svarových spojů.....	7
4) Slévání.....	10
4.1 Sled operací při výrobě odlitků.....	10
5) Popis úkolu.....	12
6) Návrh technologie pro tvorbu svarku.....	12
7) Zásady pro tvorbu svařenců.....	15
7.1 Ovlivnění pnutí.....	15
7.2 Rozměry svaru.....	15
8) Zhodnocení výkresu svarku a odlitku.....	16
9) Závěr.....	18
10) Použitá literatura.....	19
11) Přílohy.....	20
12) Použité značky.....	21

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 1
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1 Úvod a cíl práce

Pro téma bakalářské práce bylo vybráno téma „Svařované konstrukce obráběcích strojů“. Problematika této práce je nyní aktuální a to zejména z toho důvodu, že slévárny nemají v tuto dobu zatím dostatek práce. Je to způsobeno globální krizí. Vzhledem k tomu, že se očekává oživení hospodářství může nastat situace, kdy z důvodu velkého množství zakázek, nebude možné dodávat odlitky za šedé litiny včas. Proto se jeví jako jedna z cest náhrada obrobků z šedé litiny svarky. V práci jsou popsány metody svařování, jejich výhody a nevýhody. Taktéž je míněna technologie slévárenství. Poté jsou rozebrány zásady pro tvorbu svařenců.

Práce byla zadána firmou TOSHULIN. Jejím cílem je provést náhradu litinové součásti za svařenou popsat zásady pro tvorbu svařenců a použítou technologii.

2 Představení firmy TOSHULIN [1]

<http://www.toshulin.cz/firma.asp?l=cz>

2.1 Minulost firmy: [1]

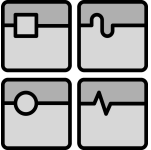
Tradice firmy známé v minulosti jako TOS Hulín je datována k roku 1949, kdy byla zahájena výstavba strojírenského závodu ve městě Hulíně. Firma prošla několika obdobími rozvoje strojírenské výroby a v roce 1951 zaměřila svoji činnost na výrobu obráběcích strojů, zejména svislých soustruhů. V roce 1959 byl na základě vlastní dokumentace vyroben první svislý soustruh s plynulými posuvy, NC pravoúhlým řízením a kopírováním. Firma začala tuto generaci strojů vyrábět jako jedna z prvních na světě. Osvědčené svislé soustruhy s automatickou výměnou nástrojů z patnácti polohového zásobníku byly vyráběny již v roce 1974.

2.2 Firma dnes: [1]

Za dobu své existence dodala firma přes 13 000 obráběcích strojů do 58 zemí světa a jejím cílem je i nadále zachovat a rozvíjet spolupráci se zahraničními prodejci a zákazníky. Svislé soustruhy z TOSHULIN, a.s. jsou nasazeny v těžkých pracovních podmínkách často desítky let.



Obr.1 Svislý soustruh [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 2
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3 SVAŘOVANÉ SPOJE

Stroj na obrázku 1. se skládá z mnoha dílů a skupin. Ty jsou zhotoveny různými technologiemi. Jedná se převážně o technologii výroby, která určuje jak se daná součást bude chovat.

Svařování je moderní technologie, nahrazující nýtování, odlévání a kování. Nahrazením odlitku svarkem lze dosáhnout úspory pracnosti a hmotnosti, zejména v kusové a malosériové výrobě. Svařování lze uplatnit i ve velkosériové výrobě. Zvláště pak pokud lze proces svařování automatizovat. (např.: výroba karoserií v automobilovém průmyslu,...)

3.1 TEORIE VZNIKU SVAROVÉHO SPOJE [2]

[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf]

Svařování kovů a jejich slitin je definováno jako nerozebíratelné spojení s využitím tepelné, mechanické nebo radiační energie. Spojení nastane působením meziatomových sil, a adhezních vazeb na teplem nebo tlakem aktivovaných kontaktních plochách. Pevné látky mohou mít různý typ vazby, která odpovídá různým typům rozložení elektronů a iontů. Ionty jsou v atomu uspořádány tak, aby potenciální energie krystalu byla co možná nejmenší. Základem vazby je mrak valenčních elektronů, které mohou volně přecházet od atomu k atomu. Ke kovové vazbě tedy dochází, pokud přitažlivé síly mezi kovovými ionty a elektronovým mrakem převyšují odpudivé síly elektronů v tomto mraku. Ionty jsou uspořádány podle přesně definovaného rozložení, podle něhož v pevných látkách existují mezi ionty síly přitažlivé a odpudivé.

Proces svařování vyžaduje aktivaci kontaktních ploch, tj. dodání energie aktivace pro překonání bariery potenciální energie povrchových atomů

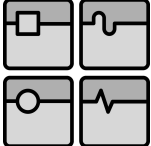
Pro svařování lze použít následující formy aktivační energie:

- a) termická aktivace
- b) pružné a plastické deformace – mechanická aktivace
- c) elektronové, fotonové nebo iontové ozáření – radiační aktivace

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny: tavné svařování a tlakové svařování.

U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru, kdy dochází k natavení základního, případně přídavného materiálu. Tekutá fáze je vázána na povrch tuhé fáze adhezními silami a při tuhnutí taveniny se slabé adhezní síly mění na chemickou vazbu ve formě krystalové mřížky. Rostou nová zrna a původní rozhraní zaniká.

Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie. Aktivaci povrchových atomů a makro nebo mikrodeformací se přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. U obou způsobů svařování je třeba překonat energetickou hladinu potenciální energie na rozhraní spojovaných ploch.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

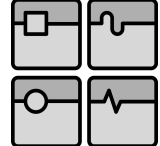
3.2 Metody svařování: [2]

[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf]

Rozlišujeme různé způsoby svařování. Jedná se o:

A) Metody tavného svařování

1. Svařování elektrickým obloukem
 - a) Obloukové svařování tavící elektrodou
 - b) Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
 - c) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou
 - d) Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
 - e) Vibrační svařování a navařování
 - f) Pod tavidlem
 - g) Obloukové svařování v ochranné atmosféře
 - h) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG
 - i) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG
 - j) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
 - k) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
 - l) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG
2. Elektrostruskové svařování
3. Svařování plazmové
4. Svařování plazmové MIG svařování
5. Svařování magneticky ovládaným obloukem
6. Elektronové svařování
7. Svařování plamenem
 - a) kyslíko-acetylenové svařování
 - b) kyslíko-vodíkové svařování
8. Svařování slévárenské
9. Svařování světelným zářením
10. Laserové svařování
11. Aluminotermické svařování
12. Elektroplynové svařování
13. Indukční svařování

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

B) Metody tlakového svařování

1. Tlakové svařování za studena
2. Odporové svařování
 - a) stykové
 - α) stlačovací stykové svařování
 - β) odtavovací stykové svařování
 - b) přeplátování
 - α) bodové odporové svařování
 - β) švové odporové svařování
 - γ) rozválcovací švové svařování
 - δ) výstupkové
 - ε) vysokofrekvenční odporové svařování
3. Svařování indukční
4. Svařování v ohni
 - a) kovářské svařování
 - b) tlakové svařování s plamenovým ohřevem
5. Třecí svařování
6. Ultrazvukové svařování
7. Výbuchové svařování

A) Svařování elektrickým obloukem: [2]

[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf]

U toho svařování se využívá elektrické energie o vysokém proudu a nízkém napětí. Oblouk hoří mezi elektrodou a místem svaru. Teplem elektrického oblouku dojde k místnímu natažení a spojení (svaření) svařovaných součástí.

Množství tepla, které přejde z oblouku do svaru, je dáno vztahem:

$$Q = \eta UI$$

η – účinnost závislá na druhu svařování (0,7-0,85)

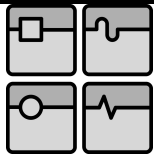
U – napětí

I – proud

Ruční obalovanou elektrodou

Je založen na využití oblouku který hoří mezi přidávaným materiálem (elektrodou) a svařovanou součástí v prostředí ionizovaného plynu. Typickými znaky svařování elektrickým obloukem je:

- 1) malý anodový úbytek napětí
- 2) malý potenciální rozdíl na elektrodách
- 3) proud řádově ampéry až tisíce ampér
- 4) velká proudová hustota katodové skvrny
- 5) intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku.
- 6) intenzivní vyzařování UV záření.

**Druhy tavných elektrod:**

Tavné elektrolyse skládají z jádra a obalu. Jádro tvoří drát který má normalizovaný průměr 1,6 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,2 ; 4,0 ; 5,0 a 6,0 mm. Obaly se dělí na:

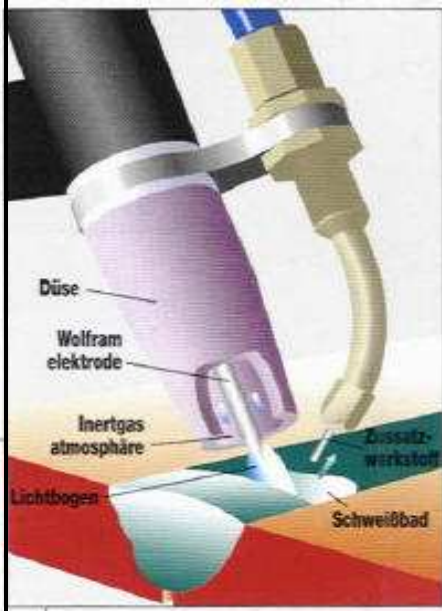
stabilizační, rutilové označení R, rutil-celulozové označení RC, rutil-kyselé označení RA, rutil- bazické označení RB, tlustostěnné rutilové označení RR, kyselé označení A, bazické označení B, celulózové označení C

Funkce obalu elektrod:

- funkce plynotvorná (při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí druh ochranné atmosféry a brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celuloza , tepelný rozklad CaCO_3 na CO_2 a CaO),
- funkce ionizační (slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli alkalických kovů K a Na),
- funkce metalurgická – rafinace (snížení P a S), desoxidace (snížení O_2) a legování (především prvků náchylných k propalu – Cr,Mo,Ti atd.)

Svařování metodou WIG: [2]

[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf]

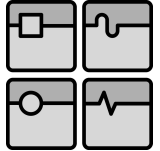


Při svařování metodou WIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99.995%. Používá se argonu, helia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování.

Touto metodou lze svařovat hliník, hořčík a jejich slitiny to se provádí střídavým proudem a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další.

Obr. 2 Svařování WIG

[http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/mechsvr_podavaci_zarizeni_WIG.html]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Použití:

Všude tam, kde je používáno manuální svařování metodou WIG a kde je nutné zamezit následnému opracování (z důvodu rozstříku).

- tenké plechy z nelegované oceli, ušlechtilé oceli a slitin hliníku
- stavba zásobníků, malé kotle
- kovovýroba
- klimatizační technika
- trubky z nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, stejně jako z ušlechtilé oceli,
- pro trubky s průměrem nad 40 mm
- navařování



Obr.3 Příklady použití svařování metodou WIG

[<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>]

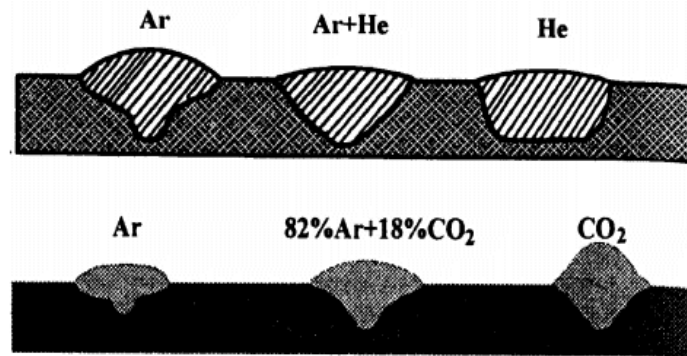
Svařování metodou MIG,MAG: [2]

[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf]

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Zkratka MAG pochází z anglického Metall Active Gas a označuje tedy svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu. Aktivní plyn má kromě ochranné funkce (zamezit přístupu vzduchu k roztavenému kovu) za úkol ještě vstupovat do chemických reakcí ve svarové lázni. Aktivní plyn se tedy aktivně podílí na procesech, které probíhají v roztaveném svarovém kovu. Aktivní plyn je nejčastěji směs Argonu a Oxidu uhličitého.

Zkratka MIG pochází z anglického Metall Inert Gas a označuje svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu. Inertní plyn má pouze ochrannou funkci spočívající v zamezení přístupu vzduchu k roztavenému kovu. Žádných chemických reakcí ve svarové lázni se inertní plyn neúčastní a je tedy k chemickým procesům zde probíhajícím netečný neboli inertní. Inertní plyny se používají zejména při svařování lehkých kovů.



Obr.4 Rozdíly v závaru při MIG a MAG svařování.
[\[http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501\]](http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501)

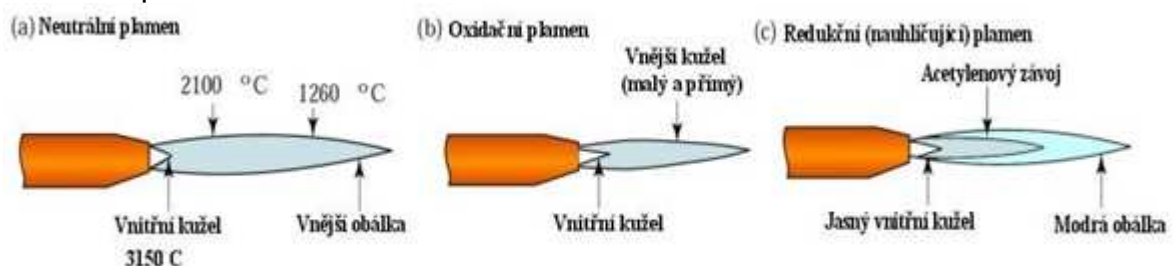
B) Svařování plamenem: [2]

[\[http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf\]](http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf)

U tohoto druhu svařování je tepelná energie vyvozena chemickou reakcí (hořením). Tuto chemickou směs nejčastěji tvoří kyslík a hořlavý plyn (acetylen, propan, ...). Zejména acetylen je nejčastěji používaným plynem.

Plamenové svařování patří mezi klasické metody svařování vyznačující se dlouhou tradicí. Svoji dominantní úlohu a postavení si stále zachovává v řemeslech jako jsou topenář, instalatér, potrubář, klempíř, automechanik a další.

Velkou výhodou acetylenu je různý redukčně-oxidační účinek svařovacího plamene, který lze snadno nastavit a regulovat. Navíc v terénu tato metoda nevyžaduje zdroj elektrické energie. Svařování plamenem se vyznačuje dobrým přemostňováním mezer, není nutná žádná nebo jen minimální příprava svárů. Bezproblémové nasazení je také ceněné i při svařování v obtížných polohách. Např. při montáži potrubí, kde jiné svařovací metody zpravidla vůbec nepřicházejí v úvahu nebo jsou nevhodné. Všude tam nabízí kyslíko-acetylenový plamen osvědčené možnosti použití.



Obr.5 Druhy plamenů u svařování plamenem
[\[http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007010802\]](http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007010802)

3.3 Zjišťování vad u svarových spojů: [5]

[\[http://www.tdsbrnosms.cz/\]](http://www.tdsbrnosms.cz/)

U svařovaných konstrukcí a technických zařízení se jedná především o dosažení co možná nejvyšší jakosti svarového spoje. Je jen malá hranice mezi ekonomickou stránkou a bezpečností. Jako ukazatel používáme porovnávání užitkových vlastností

spoje s vlastnostmi základního materiálu. Za optimální stav je považováno, blíží-li se vlastnosti svarového spoje vlastnostem základního materiálu.

Celkové jakosti konstrukce nebo zařízení je dosaženo, jestliže prokazatelně kontrolou je splněna a doložena odpovídající úroveň požadovaných kritérií na jakost.

Jakost je prokazována kontrolou prostřednictvím zkoušek. K prokazování jakosti svarů se používá zkoušek:

- destruktivních
- nedestruktivních

A) Nedestruktivní zkoušky (NDT) svarových spojů: [5]

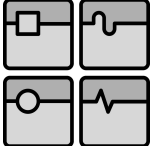
Tabulka 3- Druhy NDT [<http://www.tdsbrnosms.cz/>]

Metoda zkoušení		Technika zkoušení podle ČSN EN	ČSN EN normy přípustnosti indikací
Název	zkr.		
Vizuální kontrola	VT	ČSN EN 970	ČSN EN ISO 5817 (ocel) ČSN EN 30042 (hliník)
Zkoušky kapilární	PT	ČSN EN 571-1	ČSN EN 1289
Zkouška magnetická prášková	MT	ČSN EN 1290	ČSN EN 1291
Zkoušky vířivými proudy	ET	ČSN EN 1711	dohodou mezi smluvními stranami
Zkoušky radiologické (prozařováním)	RT	ČSN EN 1435 třída zkoušení B	ČSN EN 12517
Zkoušky ultrazvukové	UT	ČSN EN 1714 třída zkoušení B	ČSN EN 1712

Tabulka 4 – Volba NDT metod pro zjišťování povrchových vad podle ČSN EN 12062 [<http://www.tdsbrnosms.cz/>]

Materiál	Metoda zkoušení
Feritické oceli	VT VT a MP VT a PT VT a (ET)
Austenitické oceli, slitiny hliníku, niklu, mědi a titanu	VT VT a PT VT a (ET)

Limitujícím parametrem jakosti svařované konstrukce či technického zařízení je především vhodně volený **konstrukční materiál** (základní materiál). Pro výrobu musí být použit materiál odpovídající vlastnostmi návrhu konstrukce a způsobu jejího namáhání, aby byly naplněny požadavky bezpečnosti, spolehlivosti a životnosti.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pro svařování musí být svařovaný materiál příslušně upraven:

- zbaven hrubých nečistot (okuje, rez aj.) a vyrovnán
- povrch nesmí obsahovat hutnické vady, přípustnost stanovuje TDP příslušného polotovaru
- přípustnost povrchových a vnitřních vad definuje ČSN 73 2601. Trhliny jsou nepřipustné, ostatní povrchové vady (vrypy, rýhy, otlaky) maximálně do hloubky 5 % tloušťky materiálu. Po rovnání materiálu nutno provádět kontrolu na trhliny. Vnitřní vady jsou sledovány u plechů a široké oceli o $t > 10$ mm ultrazvukovou kontrolou na zdvojení.
- materiál skladovaný v zimním období venku na volném prostranství musí být před svařováním temperován, aby bylo vyloučeno nebezpečí poškození

Dalším, z mnoha jiných faktorů podílejících se na tvorbě jakosti svařovaných konstrukcí a zařízení jsou **geometrické vady** vznikající ve svaru při procesu svařování.

Geometrické vady ve svarech a obecně ve výrobcích způsobují náhlé změny v průřezu, což má za následek odchylky v průběhu silového toku při zatěžování konstrukce (výrobku) a každá taková odchylka znamená místní zvýšení napětí a současné snížení meze únavy. Míra nebezpečnosti vady roste se zmenšováním poloměru kořene, to je s její ostrostí. Podle tohoto definičního oboru (poloměru zakřivení kořene vady) rozlišujeme ve svarech vady:

- plošné - trhliny, studené spoje, neprůvody
- objemové (prostorové) – dutiny, vměstky

Plošné vady jsou nepřipustné, objemové vady mají stanoveny mezní velikosti jejich přípustnosti vyjádřené stupni přípustnosti/jakosti podle příslušných norem. Klasifikace vad základních materiálů a svarů, dále řezů při dělení materiálu a pájených spojů je obsahem norem podle tabulky 6 a tabulka 7 uvádí normy pro určování stupňů jakosti a přípustnosti ve svarech a klasifikaci jakosti řezů a pájených spojů.

B) Destruktivní zkoušky svarových spojů: [6]

[<http://www.tdsbrnosms.cz/>]

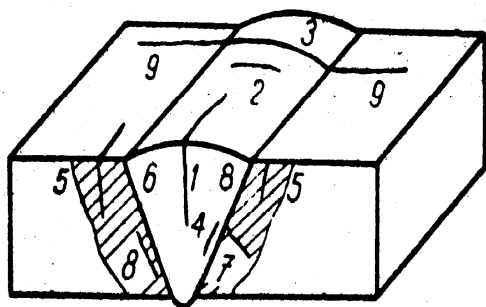
Svařitelnost kovových materiálů je nejvíce omezována sklonem k tvoření trhlin ve svarovém kovu a v bezprostřední blízkosti svaru.

Existují dvě velké skupiny trhlin způsobené různými příčinami, které nemusejí být na sobě závislé:

- trhliny ve svarovém kovu**, které obvykle souvisí s s jakostí přídavného kovu nebo elektrody, ale jsou rovněž závislé na podmínkách svařování, na vzniklých vadách, vměstcích, bublinách a pod.,
- trhliny v základním materiálu**, které vznikají v pásmu přeměny nebo závaru související se svařitelností základního materiálu a činiteli způsobující zkrěhnutí (precipitace karbidů, sigma fáze, absorpcí vodíku apod.

Přehled trhlin které můžou nastat:
(TOO – tepelně ovlivněná oblast)

Typy trhlin:



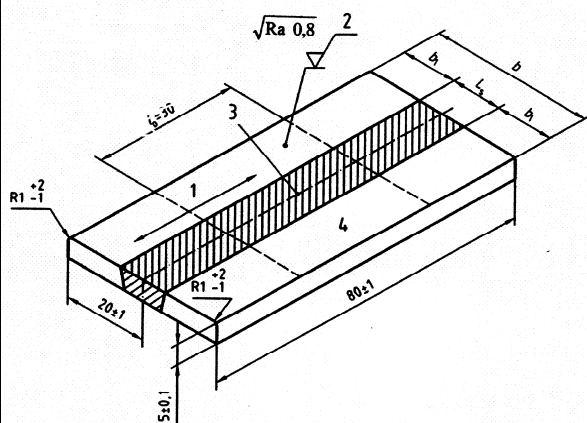
- 1) podélná trhlina ve svarové housence
- 2) příčná trhlina ve svarové housence
- 3) druh 2 s přechodem do zákl. materiálu
- 4) trhlina z TOO do svarového kovu
- 5) trhlina z TOO na povrch spoje
- 6) trhlina z TOO na povrch spoje
- 7) vertikální trhlina v TOO
- 8) trhlina pod povrchem svar. kovu
- 9) příčná trhlina v základ. materiálu

Obr.6 druhy prasklin ve svarovém spoji [6]

Trhliny se dále dělí na ty které vzniknou při tuhnutí a šíří se jsou tzv. **horké trhliny**, jiné se tvoří v tuhém stavu tzv. **studené trhliny**

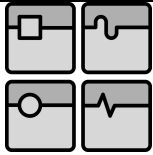
Zkoušky praskavosti za horka

-podélná zkouška praskavosti

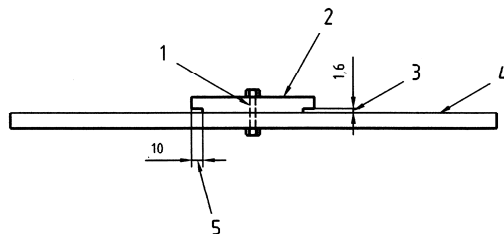


- 1) směr broušení
- 2) broušeno
- 3) oblast posouzení trhlin za horka
- 4) povrch tělesa

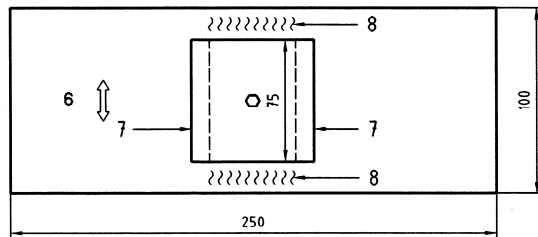
Obr.7 Zkoušky praskavosti [6]



Zkoušky praskavosti za studena - zkoušek CTS (Řízené tepelné závažnosti)

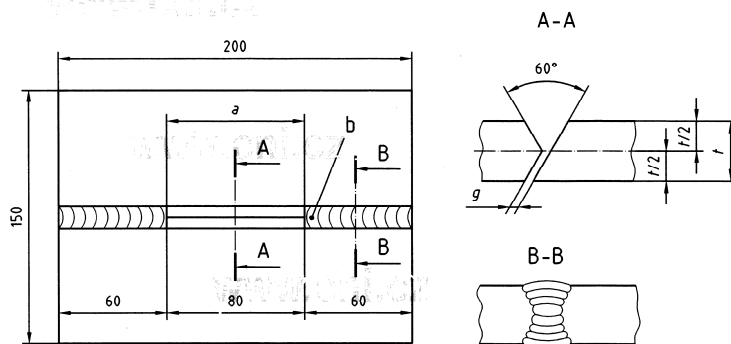


- 1 Předvrtaný otvor o průměru 13 mm
- 2 Vrchní plech
- 3 Mezera kořenového vrubu
- 4 Základní plech
- 5 Hloubka kořenového vrubu
- 6 Hlavní směr válcování
- 7 Zkušební svary
- 8 Kotvicí svary



Obr.8 Zkoušky praskavosti [6]

- zkoušek TEKZEN (Y-drážka) nebo Lehigh (U-drážka)







Obr. 9 zkoušek TEKZEN [6]

V postupech zkoušky praskavosti za studena, které používají vzorky s vlastní tuhostí, je zkušební napětí vyvoláno pouze smršťováním svaru.

4 Slévání [3]

[Strojírenská technologie 2, Miroslav hluchý a kolektiv]

Slévání je způsob výroby součástí z kovů nebo jiných tavitelných materiálů, při kterém se tavenina vlije popř. vtláčí do formy, jejíž dutina má tvar a velikost odlitku. Ztuhnutím taveniny ve formě vznikne **odlitek**. Po ztuhnutí a vyjmutí z formy dostáváme již hotový výrobek nebo ho ještě dále mechanicky opracováváme. Odlévají se předměty složitějších tvarů, které by se jinou technologií vyráběli jen ztěžka. Odlévají se součásti od několika gramů až po několik tun.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.1 Sled operací při výrobě odlitků: [3]

Nejdříve se vyhotoví výkres součásti. V oddělení přípravy výroby se zhotoví výkres polotovaru (odlitku), podle kterého modelárna vyrobí modelové zařízení (modely, jaderníky, šablony). Pomocí tohoto zařízení se ve formovně zhotovují formy. Mají-li se v odlitku vytvořit dutiny, použije k tomu jader. Která se vyrábějí v jadernících nebo šablonami. Při kusové výrobě se vyrábějí formy ručně, u sériové se používá formovacích strojů. Formovací materiál se připravuje v úpravně formovacích materiálů. Většina forem se odlévá tzv. na sirovo, ostatní formy se suší. Vysušením se forma stává pevnější a prodyšnější. Potom se forma připraví k lití. Tekutý kov se připravuje v tavicích pecích. Potom se formy dopraví na místo odlévání (licí pole). Z pánvi s roztaveným kovem se lije do forem. Po ztuhnutí a vyjmutí (vytlučení) odlitku z formy dostáváme tzv. **surový odlitek**. Poté je nutné takovýto odlitek vyčistit a zbavit ho vtokových soustav, výfuků, nálitků, povrchových nečistot, písku a švů. Podle potřeby tepelně zpracováváme a jinak upravujeme. Získá se tak **hrubý odlitek**, který je konečným výrobkem slévárny. Je nutné hrubý odlitek obrábět na funkčních plochách. Jelikož nemá požadovanou geometrii a drsnost povrchu. Na těchto plochách jsou přídavky na obrábění.

4.2 Metody odlévání: [3]

a) Lití do pískové formy

Model je vložen na formovací rám. Zасыпán formovacím pískem a důkladně dusán (palice, kladiva). Takto se zasypává a upěchovává až je celý model pod vrstvou formovacího písku. Následuje stejný postup ale s výplňovým pískem až po okraj formy. Forma se překlopí. Zabudují se vtoky a výfuky a přiloží se druhá polovina formy a obě části se sešroubují.

b) Lití pomocí vytavitelného modelu (přesná metoda lití)

Pomocí předem připraveného voskového modelu vytváříme v silikátové kaši formu odlitku. Voskový model musí mít jak vtokovou soustavu tak i výfuky. Potom co vytvoříme několik vrstev máčením a následným usuším. Utvoří se na povrchu tenká skořepina. Ponořením do horké vody, aby se vosk roztavil. Tato forma se vloží do pece kde se vytvrdí. A máme připravenou formu na odlévání.

c) Skořepinové lití

Skořepina – forma vytvořená z křemenného písku a zhruba (5-10 %) syntetické pryskyřice. Podobné jak u vytavitelného modelu.

d) Tlakové lití – s teplou tlakovou komorou, se studenou tlakovou komorou

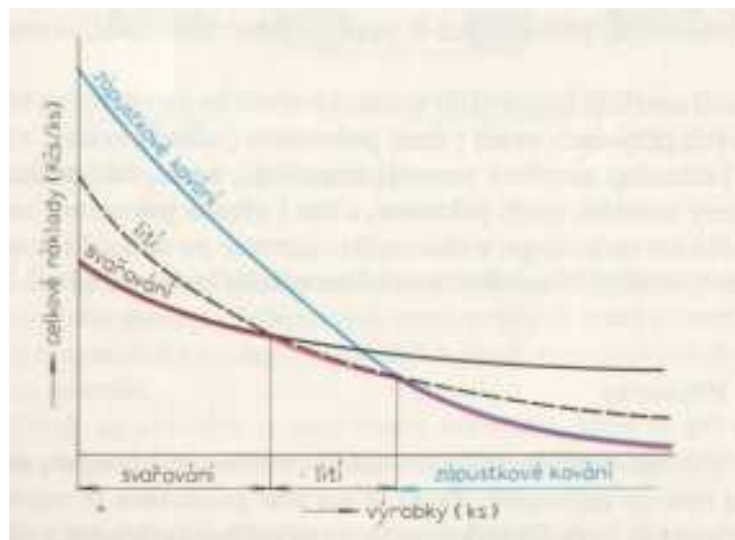
Tyto metody se nejvíce používají pro barevné kovy a jejich slitiny

e) Odstředivé lití se

svislou osou rotace – vytváří se součásti větších průměrů a menších délek
vodorovnou osou rotace – součástky menších průměrů a větších délek
- Materiál je vléván do rotující formy a odstředivou silou přitlačován ke stěnám formy. Úspora této metody je v tom že se nemusí používat jader.

5 Popis úkolu

Mým hlavním úkolem v této práci je zjistit a popsat na příkladu problematiku výroby svarků a nahrazení odlitek svarky. To povede k velkým úsporám jak po ekonomické tak i časové stránce. Samozřejmě nemluvím o velkých sériích, kde už se vyplatí odlitky nebo výkovky, což je patrné z grafu na obrázku č. 10. Do jisté míry jsou svarky výhodnější než odlitky, zvláště pak pokud si je firma může vyrábět sama (musí samozřejmě disponovat potřebným zařízením) a nemusí spoléhat na dodávky od externí firmy. To může být někdy problematické, vznikají problémy s dodávkami s časovou prodlevou. Což pak vede k problémům v provozu. Nahrazení budu demonstrovat na příkladu jedné takové součásti.



Obr. 10 Bilance počtu vyrobených kusů na ceně [3]

6 Návrh technologie pro tvorbu svarku

TruLaser 3040 [7]



Obr.11 Laserová vypalovačka [7]

Tato laserová vypalovačka slouží k dělení materiálu. Díky uzavřenému rámu je velice přesná a dokáže pracovat velkých rychlostí. Digitálně poháněné bezúdržbové servomotory na střídavý proud s vysokou přesností pojezdových os. Vysokotlaké řezání nerezi a hliníkových slitin pro řezné hrany bez otřepu a oxidace. Jako řezný

plyn se používá dusík. Plazmová sensorika : Vyšší kvalita, méně odpadu a ještě vyšší procesní jistota u opracování silného nerez, konstrukční oceli a hliníku. S regulovatelným výkonem laseru v závislosti na rychlosti posunu. Tím se zřetelně zlepšila kvalita řezné hrany u tenkých plechů.

Stroj	Pracovní prostor	
	Osa X	4000 mm
	Osa Y	2000 mm
	Osa Z	115 mm
	Maximální hmotnost obrobku	1250 kg
	Rychlosti	
	paralelně s osou	60 m/min.
	simultánně (X a Y)	85 m/min.
	Přesnost^X	
	Nejmenší programovatelný úsek dráhy	0,01 mm
	Poziční odchylka	± 0,1 mm
	Střední poziční rozptyl	± 0,03 mm

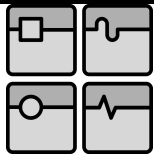
Laser	Výkon laseru	
	(programovatelný v 1% krocích)	
	TruFlow 2000	2000 W
	TruFlow 2700	2700 W
	TruFlow 3200	3200 W
	TruFlow 4000	4000 W

Mód záření	TruFlow	2000	2700	3200	4000
		TEM ₀₀	TEM ₀₀	TEM ₀₀	TEM _{00/01} *
Max. tloušťka plechu					
	Stavební ocel(O ₂)	12 mm	15 mm	20 mm	20 mm
	Nerez (N ₂)	4 mm	6 mm	12 mm	15 mm
	Slitina hliníku (N ₂)	3 mm	5 mm	8 mm	10 mm

Celkové zařízení	Spotřeba elektrické energie	
	s TruFlow 2000 (včetně chladicího agregátu)	20 - 40 kW/h
	s TruFlow 2700 (včetně chladicího agregátu)	23 - 50 kW/h
	s TruFlow 3200 (včetně chladicího agregátu)	26 - 53 kW/h
	s TruFlow 4000 (včetně chladicího agregátu)	32 - 65 kW/h

^X Podle VDI/DGQ 3441. Měřená délka 1 m. Přesnost závisí m.j. na druhu obrobku, jeho předchozí úpravě, velikosti tabule a pozici v pracovním prostoru.

2) N₂ dodatečně nutné pro odvětrání paprsku (viz. ustavovací podmínky).

**TruBend 5170 [8]**

Obr.12 CNC ohraňovací lis[8]

Elektrohydraulický pohon proporcionálními ventily zaručuje přesný souběh válců, integrované numerické odpružení. S pohonem ozubeným hřebenem a pastorkem, osami X a R s CNC- řízením s volně programovatelnou a proto plynule nastavitelnou hloubkou a výškou dorazu pro vysokou přesnost. Snadné, bezpečné posouvání dorazového palce zepředu, automatické uvolnění a upnutí dorazových palců.

Technická data**Stroj**

	Data
Přítlačná síla	1700 kN
Délka ohraňování	3230 mm
Montážní výška, max. vzdálenost mezi dolní hranou uchycení razníku a horní hranou uchycení matrice	615mm
možnost překřížení beranu	± 10 mm
Volný průchod ve stojanu	2690 mm
Vyložení	420 mm
Šířka stolu	120 mm
Pracovní výška při 100 mm užité výšce nástroje	1050 mm

Rychlosti

Osa Y:	
Rychlý chod	220 mm/s
Pracovní chod	0,1 - 10 mm/s
Zpětný chod	220 mm/s
Osa X	1000 mm/s
Osa R	330 mm/s

Přesnost^{1*}

Poziční odchylka os	
Osa Y	0,005 mm
Osa X	0,04 mm
Osa R	0,08 mm

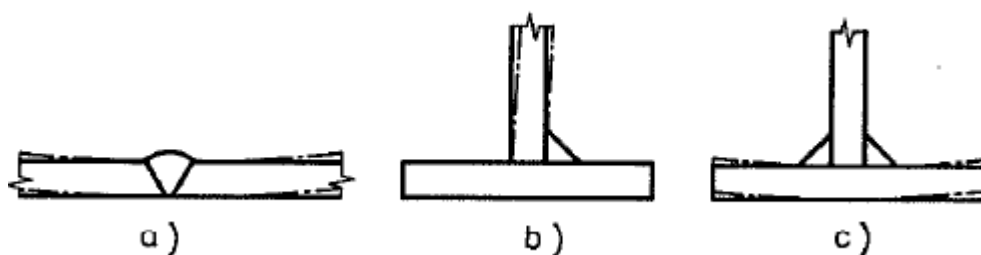
Pojezdové dráhy v dorazovém pásnu

Zdvih osy Y (zvětšená montážní výška)	445 mm
Pojezdová dráha osy X	600 mm
Max. dorazové pásmo na ose X	860 mm (1000 mm)
Pojezdová dráha osy R	250 mm

^{1*} Přesnost obrobku závisí m.j. na druhu obrobku, jeho předchozí úpravě, velikosti tabule a poloze v pracovním prostoru.

7 Zásady pro tvorbu svařenců [6]

Svařováním a následným nestejným zchlazením základního materiálu v okolí svaru. Vznikají ve svarku vnitřní pnutí a tyto pnutí vedou k deformaci. Tyto deformace závisí na přivedeném teple a na průřezu svaru. U svaru průřezu V je deformace znázorněna na obr.13a. Oboustranný svár V je výhodnější než jednostranný. Protože deformace vyvolané svarem vedou pouze ke kontrakci svarku. Jednostranný koutový svár způsobuje deformace podle obr. 11b. Oboustranný zas způsobuje deformace na obr. 11c. Při svařování plechů vznikají jak příčné tak i podélné deformace. Tyto vlivy lze z části odstranit přerušovaným svarem nebo zajištěním vzájemné polohy.



Obr. 13 Deformace svarků [6]

7.1 Pnutí můžeme ovlivnit správnými konstrukčními opatřeními. [6]

Počet svarů musí být co nejmenší. Svary se mají umísťovat souměrně podle směru. Působící síly a neměli by být v místech nejvíce namáhaných průřezů. Na jednom místě se nemá hromadit větší počet svarů.

Úprava svaru. Průřez a délka svaru by měla být co možná nejmenší a samozřejmě volit přednostně svary takové, kde je napětí rozloženo rovnoměrně. Je doporučeno volit svary ve správném pořadí a dělat je ve vhodných směrech.

Mechanickými předpravami. Lze tím docílit vhodným zatížením konstrukce. Například vyvolat ve svařovaných částech předpětí. Je možné také počítat s deformací a nastavit svarek na deformaci opačného smyslu. Což vede k vykompenzování deformace.

7.2 Určení rozměru svaru. [6]

Jelikož mohou mít svary poměrně velký vrubový účinek, je nutné při výpočtu určit smysl zatížení a počet cyklů. U svarů u kterých počet cyklů za určenou životnost nepřesáhne počet cyklů $N = 5 \cdot 10^6$. Považuje se za zatížení statické. Je-li tato hodnota překročena pak už se jedná o zatížení dynamické. Pokud na svar působí mimo zatížení cyklického navíc ještě rázy. Zahrnují se do výpočtu jako součinitel φ .

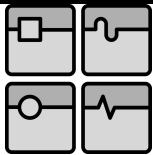
$$(7.1) \quad F = F_s + \varphi \cdot F_a \quad \text{a} \quad M = M_s + \varphi \cdot M_a$$

$F(M)$ – výsledná síla (moment)

$F_s(M_s)$ – stále působící síla (moment) nebo střední hodnota síly (momentu)

$F_A(M_A)$ – amplituda síly (momentu)

φ – Součinitel rázu (hodnoty jsou určeny tabulkou 4.17)



Tab.5 – Hodnoty součinitele rázu [vnitřní literatura TOSHULIN]

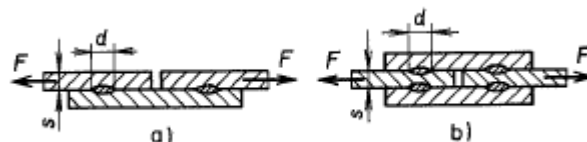
Charakteristika pohybu stroje	Druh stroje	Součinitel rázu φ
rotační pohyb	Elektrické stroje, brusky, dmychadla, turbíny, rotační kompresory apod.	1,0 až 1,1
vratný pohyb bez rázu	Hoblovací stroje, obráběcí stroje, spalovací motory apod.	1,2 až 1,4
pozvolný přechod pohybu v rázu	Ohraňovací lisы, hydraulické kovací lisы, nůžky apod.	1,5 až 2,0
rázový pohyb	Drtiče a třídíče kamene, válcovací stolice, buchary apod.	2,0 až 3,0

Při statickém zatížení se kontroluje smykové napětí ve svaru. Většinou se předpokládá rovnoměrné rozložení síly na všechny svary rovnoměrně. Počítá se podle vztahu:

$$(7.2) \quad \tau \approx \frac{4F}{i \cdot \pi \cdot d^2} \leq \tau_{D,sv} = 0,65\sigma_D$$

U spoje se dvěma stykovými deskami na obr.12b se uvažují oba protilehlé bodové svary. U tenčích plechů je důležité kontrolovat svary proti vytržení. Pro smykové napětí na této ploše platí:

$$(7.3) \quad \tau \approx \frac{F}{i \cdot \pi \cdot d \cdot s} \leq \tau_{D,sv} = 0,65\sigma_D$$

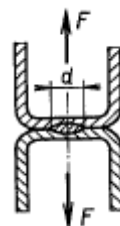


Obr.12 Smykem namáhané součásti [6]

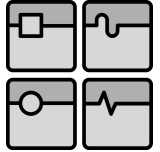
Pro $d < 4s$ se volí $\tau_{D,sv} = 0,5\sigma_D$. Mimo to se kontroluje napětí v základním materiálu spojených součástí ovlivněném svařováním dle vztahu:

$$(7.4) \quad \sigma = \frac{F}{b \cdot s} \leq \sigma_D$$

Kde b je šířka součásti kolmá na směr síly F .



Obr.13 Tahem namáhané součásti [6]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		

8 Zhodnocení výkresu svarku a odlitku

V příloze č.1 této bakalářské práce je původní výkres odlitku ze šedé litiny převodové skříně pro zdvihání příčnicku. Z výkresu je patrné , že se jedná o středně složitý díl. V příloze č.2 je pak nakreslen nový výkres , který nahrazuje původní odlitek ze šedé litiny svarkem. Používají se pro to technologie zmíněná v kapitole 6 a sice Laserové vypalování a CNC ohraňovacího ohýbání. Bylo také přihlédnuto k zásadám tvorby svarků. Chtěl bych podotknout, že je nad rámec této práce provádět detailní technologické výpočty.

Svarek byl navrhnut na základě konzultací s technologií firmy TOSHULIN a na základě konzultací s konstrukčním oddělením.

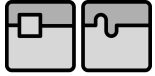
Pro zhodnocení, zda můj návrh vyhovuje či nikoliv je nutné provést analýzu metodou konečných prvků na základě zadání zatížení.

9 Závěr

Považuji tuto práci za počáteční krok, který je nutné dokončit výše popsaným.

Předpokládám, že dojde k následným úsporám.

- doba dodávky odlitku cca 4 měsíce
- cenová úspora o 20% (není třeba modelovat zařízení)
- hmotnost klesne cca o 30% (ocel má větší modul pružnosti E)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

10 Seznam použité literatury

[1] TOSHULIN, a.s. - o společnosti [online]. 2008 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.toshulin.cz/firma.asp?l=cz>>.

[2] KUBICEK , Jaroslav. Technologie výroby I : svařování [online]. Brno : 2006 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20články/PDF_Česky/Technologie-svarovani-Kubicek.pdf>.

[3] HUCHÝ, Miroslav. Strojírenská technologie2 : Polotovary a jejich technologičnost základy obrábění. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1979. 404 s. ISBN 5428.HLUCHÝ, Miroslav. Strojírenská technologie 2. Praha,1979. ISBN 404s[cit. 2009-17-5].





[4] DT ZKOUŠKY SVARŮ – PRASKAVOST [online]. Brno : 2008 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.tdsbrnosms.cz/>>.

[5] Zjišťování vad u svarových spojů: [online]. Brno : 2008 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.tdsbrnosms.cz/>>.

[6] Konstrukce CNC obráběcích strojů. 1 ISSN 1212-2572.

[7] TruLaser 3040. [s.l.] : [s.n.], 2009. s. 7.

[8] TruBend 5170. [s.l.] : [s.n.], 2009. s. 5.

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

11 Přílohy

Výkres odlévané skříně (č.v. 1030_31401A11_L1)

Výkres odlévané skříně (č.v. 1030_31401A11_L2)

Výkres odlévané skříně (č.v. 1030_31401A11_L3)

Výkres odlévané skříně (č.v. 1030_31401A11_L4)

Výkres odlévané skříně (č.v. 1030_31401A11_L5)

Výkres svařované skříně(č.v. 1015_00314A01_L1)

Výkres svařované skříně(č.v. 1015_00314A01_L2)

Výkres svařované skříně(č.v. 1015_00314A01_L3)

12 Použité značky

$Q[J]$	teplo dodané
$\eta[-]$	účinnost závislá na druhu svařování
$U[V]$	napětí
$I[A]$	proud
$F[N]$	síla
$F_S[N]$	stále působící síla nebo střední hodnota síly
$F_A[N]$	amplituda síly
$\varphi [^\circ]$	součinitel rázu
$M[Nmm]$	výsledná moment
$M_S[Nmm]$	stále působící moment nebo střední hodnota momentu
$M_A[Nmm]$	amplituda momentu
$\sigma_D[MPa]$	dovolené napětí
$\tau [MPa]$	smykové napětí
$\tau_{DS}[MPa]$	dovolené smykové napětí
$d, b, s [mm]$	charakteristický rozměr