



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní ■

Konstrukční návrh svařovacího přípravku centrálních nosičů pro Škoda Fabia

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Martin Solfronk**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Konstrukční návrh svařovacího přípravku centrálních nosičů pro Škoda Fabia

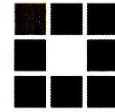
Jméno a příjmení: **Martin Solfronk**
Osobní číslo: S16000161
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se teoreticky s metodou svařování MAG (fyzikální podstata procesu, svařovací parametry a jejich vliv na tvar svarové lázně).
2. Seznamte se teoreticky i prakticky s podstatou robotického svařování (výhody, nevýhody, možnosti, omezení).
3. Prostudujte vliv parametrů svařování na geometrii svaru, zejména vliv svařovacího proudu, rychlosti svařování, vlivu výletu drátu a vzdálenosti hořáku od místa svařování.
4. Prostudujte typy vad charakteristické pro automatické metody svařování.
5. Seznamte se s podstatou a postupem výroby centrálních tyčí do palubní desky vozu Škoda Fabia.
6. Proveďte variantní návrhy svařovacího přípravku pro opravy a dokončovací operace s ohledem na univerzálnost, polohu svařování a složitost výroby.
7. Proveďte zhodnocení jednotlivých variantních řešení s ohledem na potřeby a preference ve firmě Matador Automotive ČR Liberec.



Rozsah grafických prací: tabulky, grafy
Rozsah pracovní zprávy: cca 30
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] MORAVEC, J. *Vliv procesních parametrů na geometrii svarové lázně při svařování v ochranných atmosférách*. Skripta – 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. ISBN 978-80-7372-682-9.
[2] LIPPOLD, J. C. *Welding Metallurgy and Weldability*. New York: John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1-118-23070-1.
[3] KOUKAL, J., D. SCHWARZ a J. HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
[4] NEUMANN, H. *Teorie svařování*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN: 978-80-7494-171-9.
[5] AWS Welding Handbook: *Welding Science and Technology*. 9th Ed., Vol.1, 2001.

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie
Datum zadání práce: 31. října 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 1. listopadu 2018



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

26. 6. 2019

Martin Solfronk

Anotace

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá základními principy a fyzikální podstatou vzniku svarového spoje. Dále pak vadami svarových spojů a příčinami jejich vzniku. Experimentální část bakalářské práce se zabývá inovací upínacího přípravku pro kontrolu a případnou opravu svarů centrálního nosiče vozu Škoda Fabia. V rámci řešení byly navrženy 3 varianty upínacích přípravků a zhodnoceny výhody a nevýhody navržených řešení v porovnání se stávajícím přípravkem. Pro jednotlivé navržené varianty byly vypracovány 3D modely v prostředí Catia V5.

Klíčová slova

Kontrola svaru, upínací přípravek, vady svarů, svařování metodou MAG

Annotation

In the theoretical part, this bachelor thesis deals with the basic principles and physical fundamental of the welded joint creation. Furthermore, it describes also welding joints defects and causes of their formation. Experimental part of the bachelor thesis is concerned with innovation of the fixtures for inspection and eventual reparation of the Škoda Fabia dash panel reinforcement welded joints. Three variations of fixtures were designed and the advantages and disadvantages of the proposed solutions compared to the existing fixture were evaluated. 3D models in the Catia V5 environment were developed for each of the proposed variants.

Keywords

Weld inspection, fixture, welding defects, MAG welding method

Poděkování

Nemalou součástí této práce je poděkování, které bych chtěl věnovat několika lidem. V první řadě bych chtěl poděkovat panu docentu Moravcovi za odborné vedení, předání svých zkušeností a především za čas, který mi věnoval. Dále také děkuji firmě Matador Automotive ČR, s. r. o., Liberec, která mi poskytla pomoc a cenné rady při realizaci mého projektu, zejména bych chtěl poděkovat panu Smrkovskému. Dále nelze opomenout ani mou rodinu a přátele, kteří mi byli oporou. Díky všem těmto lidem se mi podařilo dokončit praktickou i teoretickou část mé bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Teoretická část	10
2.1 Fyzikální podstata obloukového svařování	10
2.2 Svařování v ochranných atmosférách.....	11
2.3 Svařování metodou MAG	12
2.3.1 Způsoby přenosu kovu v oblouku.....	13
2.3.2 Svařovací parametry	16
2.3.3 Vliv vybraných parametrů na tvar svarové lázně	18
2.3.4 Svařovací polohy	24
2.4 Automatické metody svařování.....	25
2.4.1 Druhy vad svaru.....	25
2.4.2 Typy vad charakteristické pro automatické metody svařování.....	27
3 Experimentální část.....	33
3.1 Proces automatického svařování ve firmě Matador	33
3.2 Kontrola centrálního nosiče.....	35
3.2.1 Oblasti nejčastějších vad svaru	36
3.3 Konstrukční návrh přípravku.....	37
3.3.1 Aktuální přípravek	39
3.3.2 Konstrukční návrh č. 1	41
3.3.3 Konstrukční návrh č. 2	45
3.3.4 Konstrukční návrh č. 3	49
4 Diskuze výsledků	53
5 Závěr	55
Literatura.....	56
Seznam příloh	58

Seznam použitých zkratk a symbolů

$A_{1,2}$	Pracovní body	[-]
I	Svařovací proud	[A]
I_{12}	Charakteristika oblouku	[A]
J	Proudová hustota	[A.mm ⁻²]
L_p	Vzdálenost kontaktní špičky od materiálu	[mm]
U	Svařovací napětí	[V]
U_0	Napětí naprázdno	[V]
U_a	Napětí v anodové oblasti	[V]
U_k	Napětí v katodové oblasti	[V]
U_s	Napětí ve sloupci oblouku	[V]
ΔU	Rozdíl svařovacích napětí	[V]
Q_v	Měrné vnesené teplo	[J]
b_B	Šířka svarové lázně	[mm]
b_n	Šířka svaru	[mm]
d	Průměr drátu	[mm]
h_n	Převýšení svaru	[mm]
l_B	Délka svarové lázně	[mm]
t_B	Hloubka svarové lázně	[mm]
t_n	Hloubka závaru	[mm]
v_s	Svařovací rychlost	[m.s ⁻¹]
η_0	Účinnost přenosu elektrického oblouku	[-]
MAG	Metal Activ Gas	
MIG	Metal Inert Gas	
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	

1 ÚVOD

V současné době můžeme sledovat neustále se zvyšující požadavky na kvalitu výrobků při současném zachování nízké cenové hladiny. Tyto protichůdné požadavky tržního prostředí nutí výrobce ve všech odvětvích strojírenského průmyslu zvyšovat efektivitu používaných technologických procesů a inovovat postupy vedoucí k výrobě daného výrobku. Snaha o zefektivnění všech etap výroby přináší nutnost využití nových informačních technologií a softwarového inženýrství ve strojírenské výrobě v provázanosti na již zavedené postupy a procesy. Výše uvedené skutečnosti nalézáme především v automobilovém průmyslu, kde panuje vysoce konkurenční prostředí mezi firmami s extrémním důrazem na kvalitu a snižování ceny finálního produktu dodavatelů a subdodavatelů.

Firma Matador Automotive ČR, s.r.o., Liberec (dále v textu označována jako Matador) se dlouhodobě zabývá výrobou svařenců pro automobilový průmysl. Nosným výrobním programem jsou svařence centrálního nosiče do palubní desky zhotovované pro široké portfolio automobilových značek. Z hlediska bezpečnosti se jedná o vysoce exponovaný díl automobilu na který jsou kladeny nejvyšší požadavky z hlediska kvality a stability výroby. Problematika monitorizace svarových spojů a zvyšování jejich kvality je řešena v rámci dlouhodobé spolupráce TU v Liberci a firmy Matador již řadu let a na základě této spolupráce vzniklo zadání předkládaná bakalářské práce. Bakalářská práce se zaměřuje na inovaci pracoviště pro kontrolu a opravu svarů centrálního nosiče palubní desky vozu Škoda Fabia. Cílem řešení bakalářské práce byla inovace upínacího přípravku pro vizuální kontrolu a případné následné opravy svarů centrálního nosiče. Uspořádání stávajícího pracoviště je vidět na obr. 1.



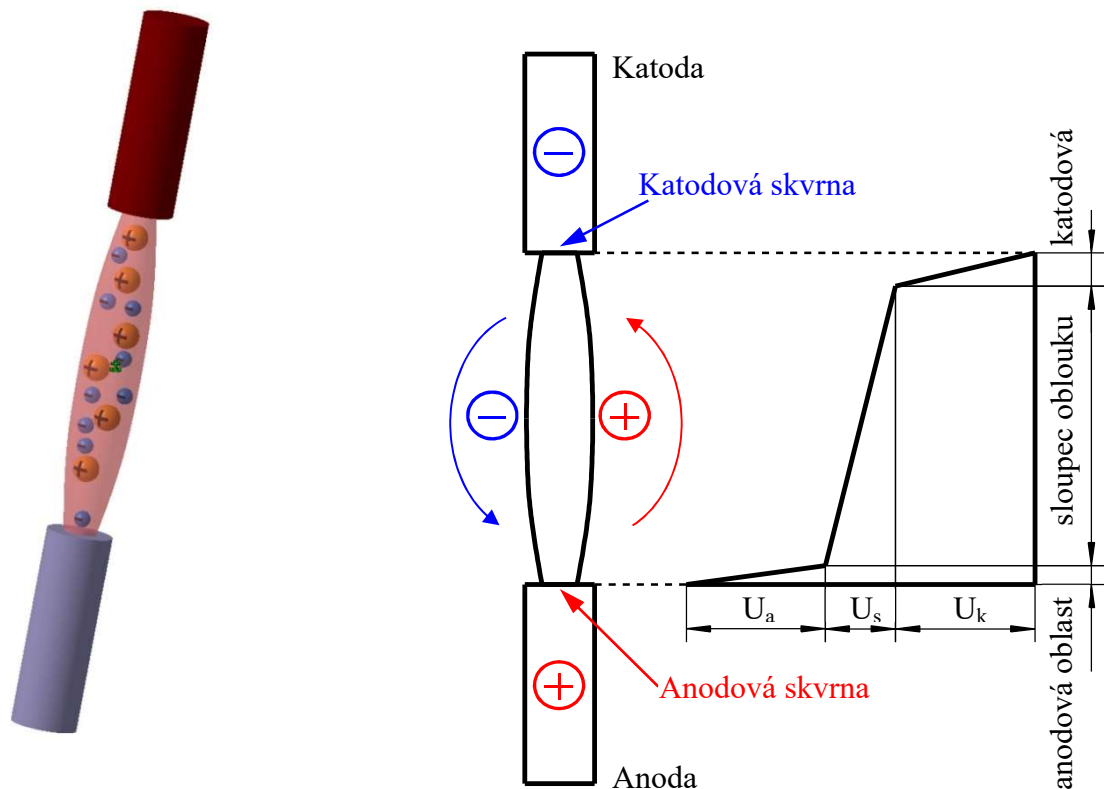
Obr. 1 Stávající uspořádání pracoviště

2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část práce se věnuje popisu obloukového svařování. Podrobněji se zabývá metodou svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu, včetně rozboru svařovacích parametrů a jejich vlivu na tvar svarové lázně. Závěr teoretické části je věnován metodám automatického svařování a charakteristickým vadám k nimž při tomto způsobu svařování dochází.

2.1 Fyzikální podstata obloukového svařování

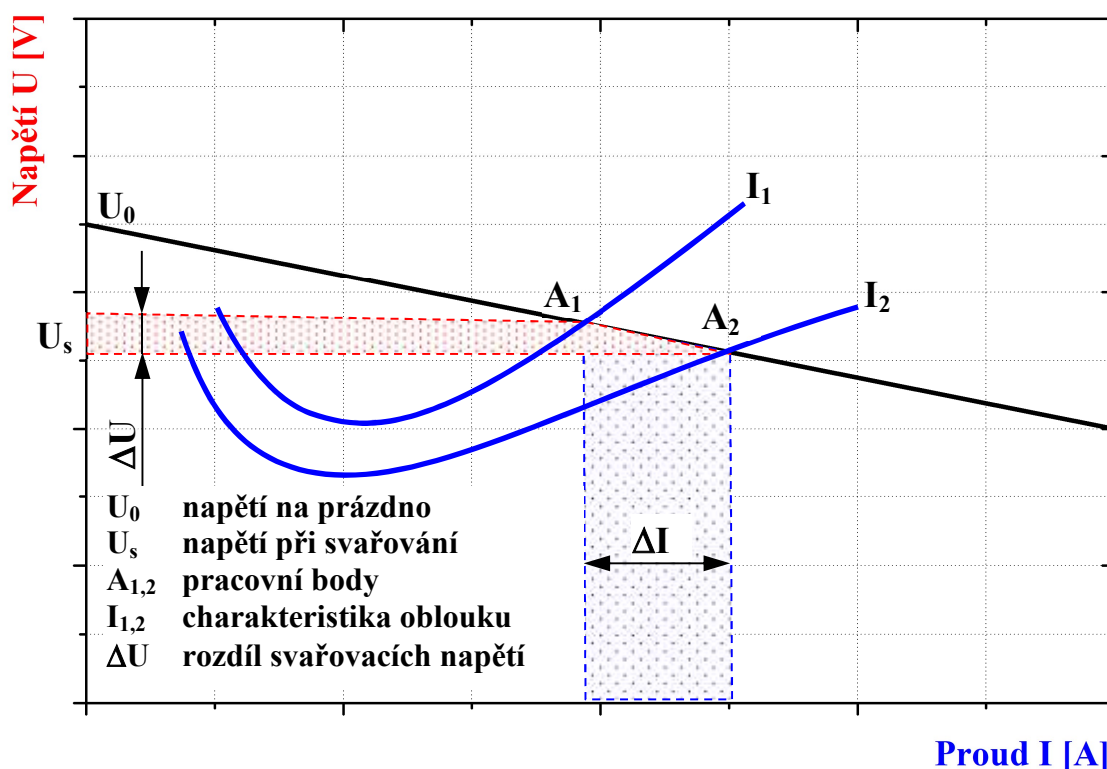
Do skupiny obloukového svařování patří takové svařovací metody, při kterých je energie potřebná k roztavení svařovaného materiálu dodávána jako teplo vzniklé při hoření elektrického oblouku. Elektrický oblouk je výboj v plynech a je tvořen směsí elektronů a iontů, přičemž elektrický proud je téměř výlučně přenášen elektrony. Na základě technologických požadavků je možné v určitém rozsahu měnit jeho výkon, geometrický tvar a teplotu. Na obr. 2 jsou znázorněny tři základní části oblouku. Teploty dosažené v jednotlivých částech se výrazně odlišují a jsou závislé na použitých procesních parametrech.[1]



Obr. 2 Základní části elektrického oblouku

Celkové napětí na oblouku závisí na délce oblouku a skládá se z úbytku napětí v anodové oblasti, úbytku napětí v obloukovém sloupci a úbytku napětí v katodové oblasti.

Teplo vnesené do materiálu u obloukových metod svařování do značné míry závisí procesních parametrech, metodě svařování a na způsobu regulace délky oblouku. Způsob regulace oblouku je dán druhem statické charakteristiky zdroje. Statické charakteristika může být plochá, strmá nebo polostrmá. Při svařování s plochou statickou charakteristikou zdroje se změna délky oblouku, resp. změna velikosti svařovacího napětí, projeví poměrně velkou změnou svařovacího proudu (znázorněno na obr. 3). To se projeví změnou rychlosti odtavování tavicí se elektrody. Tímto procesem je automaticky regulována délka oblouku. Tento proces je označován pojmem samoregulace oblouku a je nezbytný pro automatické metody svařování.[1]



Obr. 2 Plochá charakteristika elektrického oblouku

2.2 Svařování v ochranných atmosférách

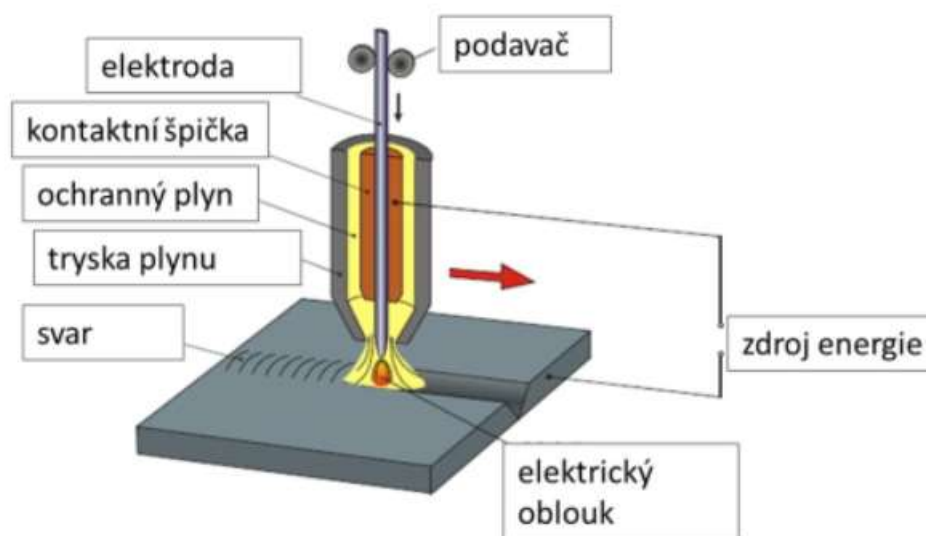
Aby se při svařování tavicí se elektrodou dosáhlo co nejvyšší kvality svaru a dostatečného výkonu odtavení, probíhá svařování v ochranné atmosféře. Použit může být

buď aktivní ochranný plyn, pro tuto metodu se pak používá zkratka MAG (Metal Activ Gas), nebo inertní ochranný plyn, pro tuto metodu se pak používá zkratka MIG (Metal Inert Gas). Metoda MAG se dle normy ČSN EN ISO 4063 značí trojčíslím 135, metoda MIG se značí dle stejné normy trojčíslím 131. Metody se liší tím, že v případě použití metody MIG ochranný inertní plyn nereaguje se svařovaným materiálem (Ar, He, Ar + He), zatímco při použití metody MAG ochranný aktivní plyn chemicky reaguje se svařovaným materiálem.[2,3]

Metody MIG a MAG jsou celosvětově nejrozšířenější způsoby tavného svařování. Jejich výhodou je možnost svařování ve všech polohách. Další výhodou přispívající k velkému rozšíření je možnost automatizace těchto metod svařování.

2.3 Svařování metodou MAG

Při svařování metodou MAG hoří elektrický oblouk mezi tavící se elektrodou a základním materiálem a je chráněn aktivním ochranným plynem. Na obr. 4 je zobrazen a popsán princip svařování v ochranné atmosféře s tavící se elektrodou.



Obr. 4 Princip svařování v ochranné atmosféře s tavící se elektrodou[4]

Tavící se elektroda slouží zároveň jako přídavný materiál, do svarové lázně je podávána pomocí podávacích kladek. Ochranný plyn je do místa svařování dopravován svařovacím hořákem a chrání tavící se elektrodu, elektrický oblouk i svarovou lázeň před atmosférickými vlivy. Při svařování metodou MAG se zpravidla využívají směsné ochranné plyny na bázi argonu s přídavkem plynů např. CO₂ a/nebo O₂. [2]

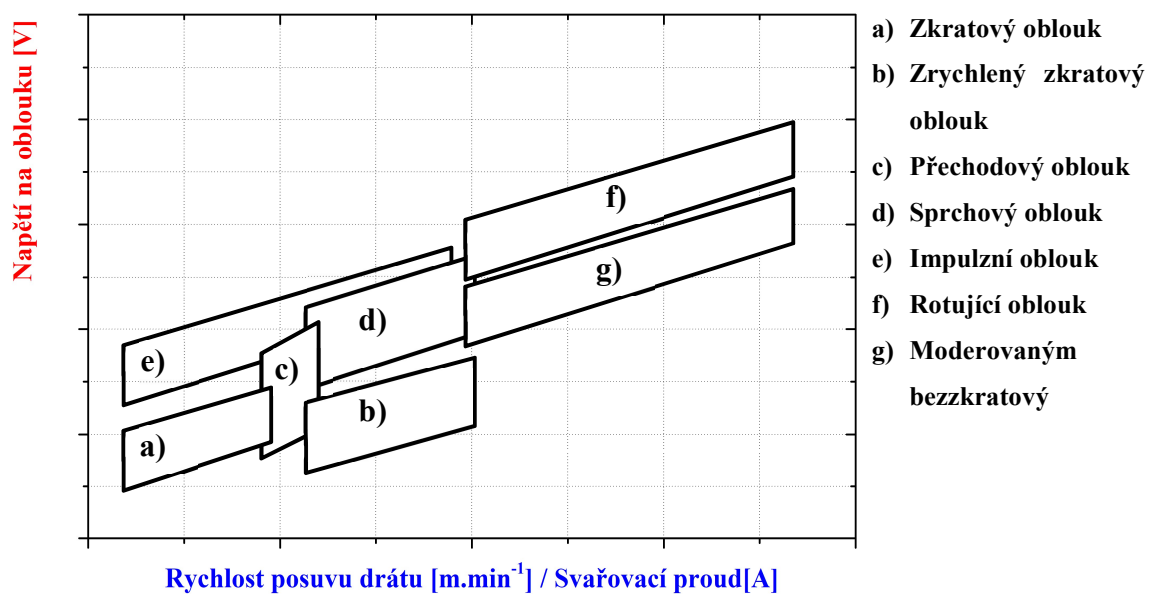
Při svařování s použitím vysokého svařovacího proudu může směs obsahovat i helium. Tavící se elektrody je zpravidla připojena ke kladnému pólu a základní materiál k zápornému

pólu – v tomto případě je způsob zapojení označován jako zapojení s nepřímou polaritou. Při tomto způsobu zapojení dochází v porovnání se zapojením s přímou polaritou ke klidnější tvorbě kapek a profil závaru je hlubší.[5,6]

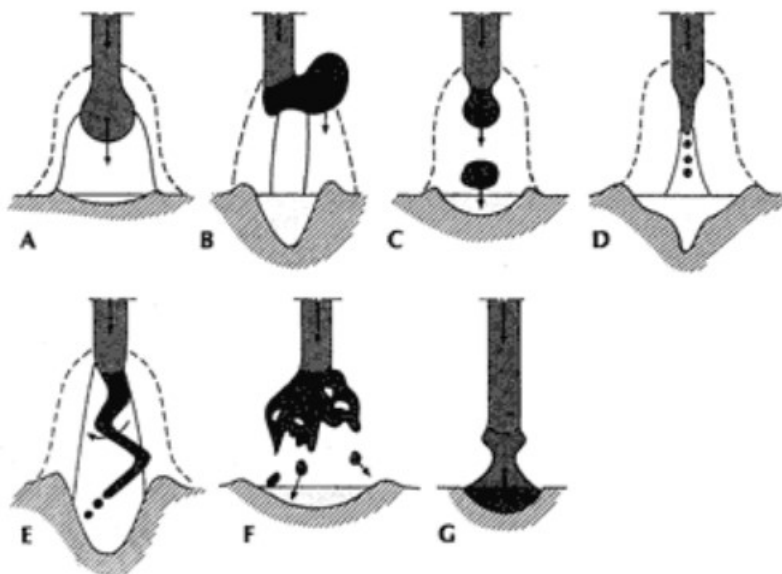
2.3.1 Způsoby přenosu kovu v oblouku

Způsob přenosu kovu je jednou ze základních charakteristik metod svařování elektrickým obloukem. Základní rozdělení způsobů přenosu kovu v oblouku je na zkratový a bezzkratový přenos. Při zkratovém přenosu kovu dochází k přerušování oblouku zkratem, při němž oblouk zhasíná. Zkrat je způsoben dotykem kapky nataveného přídavného materiálu ještě před oddělením od drátu. Na tento jev má vliv mnoho parametrů, nejpodstatnější vliv má velikost svařovacího proudu a svařovacího napětí, rychlost podávání drátu a velikost povrchového napětí taveniny. Při bezzkratovém přenosu kovu hoří oblouk po celou dobu svařování, pouze se v závislosti na statické charakteristice zdroje a aktuální délce oblouku mění procesní parametry. Na obr. 5 je znázorněno při jaké kombinaci napětí na oblouku a svařovacího proudu (rychlosti posuvu drátu) vznikají dané typy přenosu kovu v oblouku.[6]

K oddělování kapky od drátu a jejímu následnému pohybu obloukem dochází působením několika sil. Nejvýznamnější z těchto sil jsou síly gravitační a síla povrchového napětí taveniny, dále Lorenzova (elektromagnetická) síla, dynamická síla vyvolaná proudícími plyny a síly odpařujících se kovů. Na obr. 6 jsou znázorněné základní typy přenosu kovu při svařování v ochranné atmosféře.[6]



Obr. 5 Druhy oblouku[6]



Obr. 6 Základní rozdělení přenosu kovu při svařování v ochranné atmosféře[7]

- A) Oblouk se zkratovým přenosem kovu
- B) Oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu
- C) Přejímový oblouk(přenos kovu nepravidelně kapkami a zkraty)
- D) Oblouk s bezzkratovým přenosem kovu (sprchovým)
- E) Impulzní bezzkratový oblouk
- F) Oblouk s rotujícím přenosem kovu
- G) Oblouk s moderovaným bezzkratovým přenosem kovu

V dalším textu budou podrobněji popsány základní způsoby přenosu kovu v oblouku. Jedná se o zkratový a bezzkratový přenos kovu a o přenos kovu rotujícím obloukem.

Oblouk se zkratovým přenosem kovu



Obr. 7 Zkratový přenos kovu [6]

a jejímu rozptýlení ve svarové lázni. Potom je díky zvýšenému napětí a ionizovanému prostředí znovu zapálen oblouk mezi svarovou lázní a přídavným materiálem. Celý cyklus se neustále opakuje. V důsledku neustálého přerušování oblouku se do svařovaného materiálu vnáší menší množství tepla, díky tomu dochází ke snížení tepelně deformačního účinku svařování. Na obr. 7 je zachycena kapka nataveného přídavného materiálu před dotykem se svarovou lázní.[2,3,6]

Oblouk s bezzkratovým přenosem kovu



Obr. 8 Bezzkratový přenos kovu [6]

s minimálním obsahem Ar 80%. Při bezzkratovém přenosu kovu nedochází ke zhasínání oblouku, množství tepla vnesené do svaru je tedy poměrně velké v porovnání se zkratovým přenosem kovu. Výhodou tohoto způsobu přenosu kovu je hluboký závar. Na obr. 8 je

Oblouk se zkratovým přenosem kovu vzniká při poměrně nízkém svařovacím proudu (přibližně 60 až 180 A) a zároveň nízkém svařovacím napětí na oblouku (přibližně 14 až 22 V). Při tomto způsobu přenosu kovu se na konci přídavného materiálu tvoří kapka nataveného kovu a k přenosu kovu dochází v okamžiku, kdy se kapka nataveného přídavného materiálu dotkne svarové lázně. V tomto okamžiku dojde ke zkratu a tedy přerušení hoření oblouku. Následně dojde k oddělení kapky od přídavného materiálu

Oblouk s bezzkratovým přenosem kovu vzniká při nastavení svařovacího proudu v rozsahu 200 až 500 A v kombinaci se svařovacím napětím v rozsahu 26 až 38 V. Pro dosažení tohoto způsobu přenosu kovu je nutné zajistit tvorbu co nejmenších kapek nataveného kovu, velikost kapky je dána velikostí povrchového napětí taveniny, to zle ovlivnit volbou vhodného ochranného plynu. Vhodným plynem je Ar, případně směs Argonu

zachycen konec přídatného materiálu natavovaný obloukem s bezzkratovým přenosem kovu. V tomto konkrétním případě se jedná o kapkový přenos kovu.[6]

Přenos kovu rotujícím obloukem



Obr. 9 Rotující přenos kovu [6]

Přenos kovu rotujícím obloukem vzniká při poměrně vysokém svařovacím proudu i napětí (svařovací proud v rozsahu 450 až 750 A, svařovací napětí v rozsahu 40 až 65 V). Při tomto způsobu přenosu kovu se používá velký výlet drátu. Dlouhý výlet drátu má za následek předehřev drátu téměř na teplotu tavení. Tavenina vznikající na konci drátu se zužuje do tenkého proudu, který je následně roztáčen

elektromagnetickým polem. Obálka roztáčených kapek je kuželová plocha, to má za následek vytvoření širokého svaru. Svar provedený přenosem kovu rotujícím obloukem má kromě velké šířky také hluboký závar, získaný díky rotaci svarové lázně, která se „zavrtává“ do základního materiálu. Na obr. 9 je ukázán způsob přenosu kovu rotujícím obloukem. Je zde zřetelně vidět roztáčení nataveného materiálu elektromagnetickým polem.[3,6]

2.3.2 Svařovací parametry

Podle svého charakteru jsou svařovací parametry děleny do tří základních skupin:

- Procesní vstupní parametry
- Technologické vstupní parametry
- Fyzikálně-chemické vstupní parametry

Do každé z těchto skupin spadá mnoho svařovacích parametrů, z nichž každý v různé míře ovlivňuje výsledný tvar svaru.

Procesní parametry

Procesní parametry jsou největší skupinou svařovacích parametrů. Jsou to parametry, které jsou nastavovány před vlastním svařováním. Většinou je lze popsat fyzikálními veličinami a kvantifikovat je. Nejvýznamnějšími procesními vstupními parametry jsou:

- Svařovací proud
- Svařovací napětí
- Rychlost svařování

Na základě těchto veličin je možné určit dle vzorce (1) měrné vnesené teplo. Je to množství tepla vnesené do svaru vztažené na jednotku délky svaru. Na jeho základě lze odhadnout míru ovlivnění materiálu v TOO a také teplotně deformační účinek na svarový spoj.[6,9]

$$Q_v = \frac{\eta_0 \cdot U \cdot I}{v_s} \quad (1)$$

Kde značí:

Q_v	- měrné vnesené teplo	[J.m ⁻¹]
η_0	- účinnost přenosu elektrického oblouku	[-]
I	- svařovací proud	[A]
U	- svařovací napětí	[V]
v_s	- rychlost svařování	[m.s ⁻¹]

Dalšími parametry patřícími do skupiny procesních vstupních parametrů jsou:

- Rychlost podávání drátu
- Proudová hustota
- Polarita na elektrodě
- Výlet drátu
- Sklon drátu (hořáku) vůči povrchu svařovaného materiálu
- Průtokové množství ochranného plynu
- Tvar a rozměry svarových ploch
- Druh přenosu kovu v oblouku
- Poloha svařování

Technologické vstupní parametry

Technologické vstupní parametry se volí na základě druhu a vlastností svařovaného materiálu a na základě požadovaných vlastností výsledného svaru nebo výrobku. Na základě technologických vstupních parametrů se volí procesní vstupní parametry – do značné míry tedy ovlivňují geometrii svaru. Nejvýznamnějšími technologickými parametry jsou:[6,9]

- Druh a průměr drátu
- Druh a množství ochranného plynu
- Tvar a rozměry svarových ploch
- Teplota předehřevu, dohřevu, nebo interpass teplota
- Tepelné zpracování svarku

Fyzikálně-chemické vstupní parametry

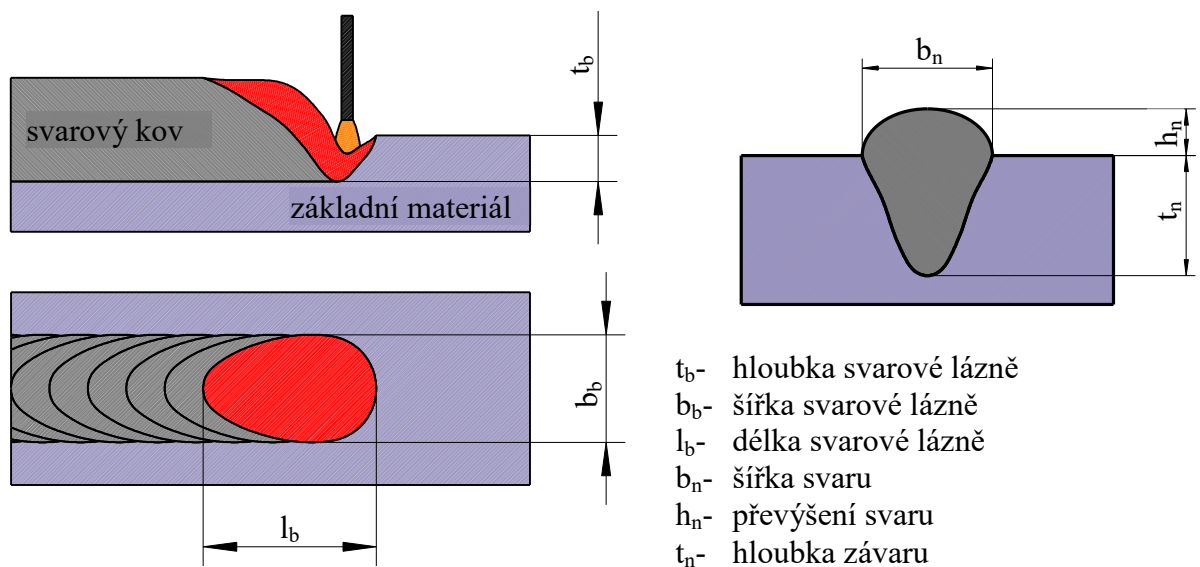
Fyzikálně-chemické vstupní parametry závisí například na chemickém složení základního a přídavného materiálu nebo na tvaru svařovaných součástí. Lze je tedy ovlivňovat pouze částečně a nelze je předem nastavit, jsou závislé na velkém množství proměnných. Patří sem:[6,9]

- Způsob přenosu tepla ve svarové lázni
- Povrchově aktivní prvky
- Způsob přestupu tepla do okolí
- Metalurgické reakce ve svaru
- Fázové transformace

2.3.3 Vliv vybraných parametrů na tvar svarové lázně

V následujících kapitolách bude popsáno, jakým způsobem ovlivňují základní svařovací parametry tvar svarové lázně. Svařovací parametry se primárně volí tak, aby bylo dosaženo co největší stability svařovacího procesu. Stabilitou svařovacího procesu se rozumí stabilita hoření oblouku, vhodný přenos kovu, co nejmenší rozstřík atd.

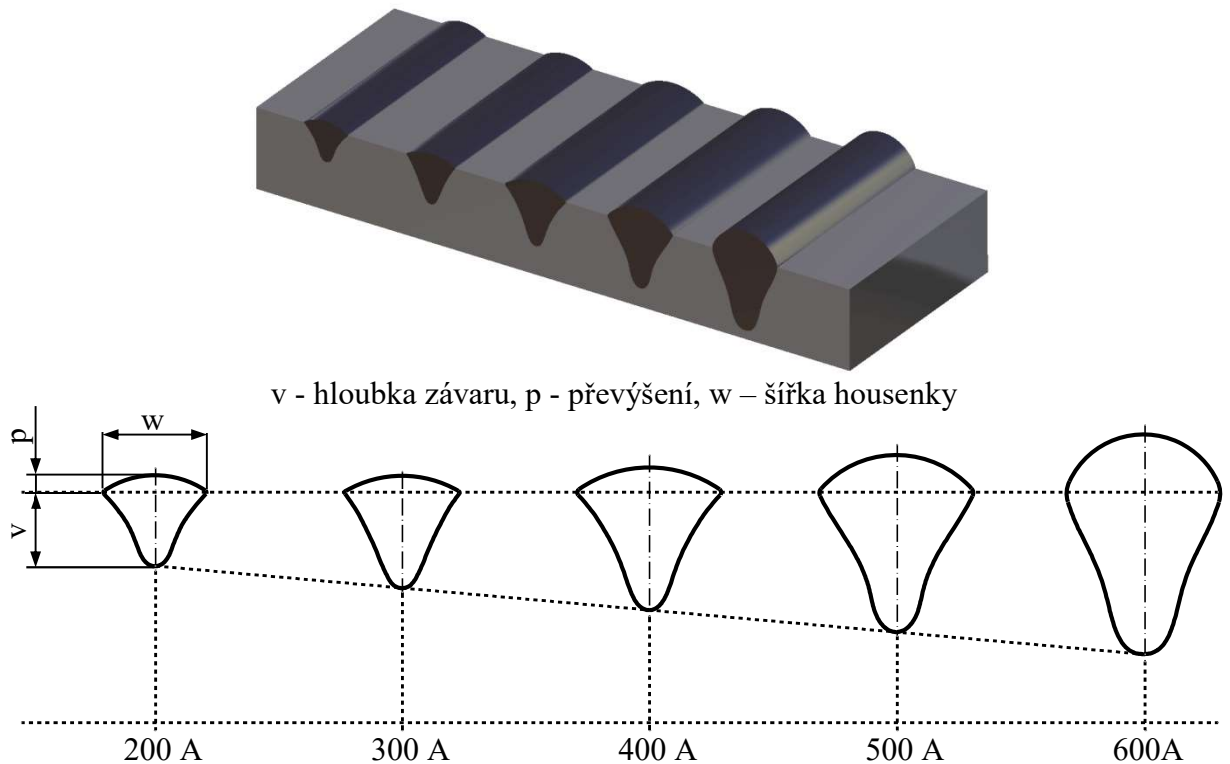
Na obr. 10 jsou znázorněny základní rozměry, kterými je popisována geometrie svarové lázně. Největší vliv na geometrii svarové lázně má svařovací proud, svařovací napětí a rychlost svařování.[2,6]



Obr. 10 Základní rozměry definující geometrii svaru a svarové lázně[2]

Vliv velikosti svařovacího proudu na geometrii svarové lázně

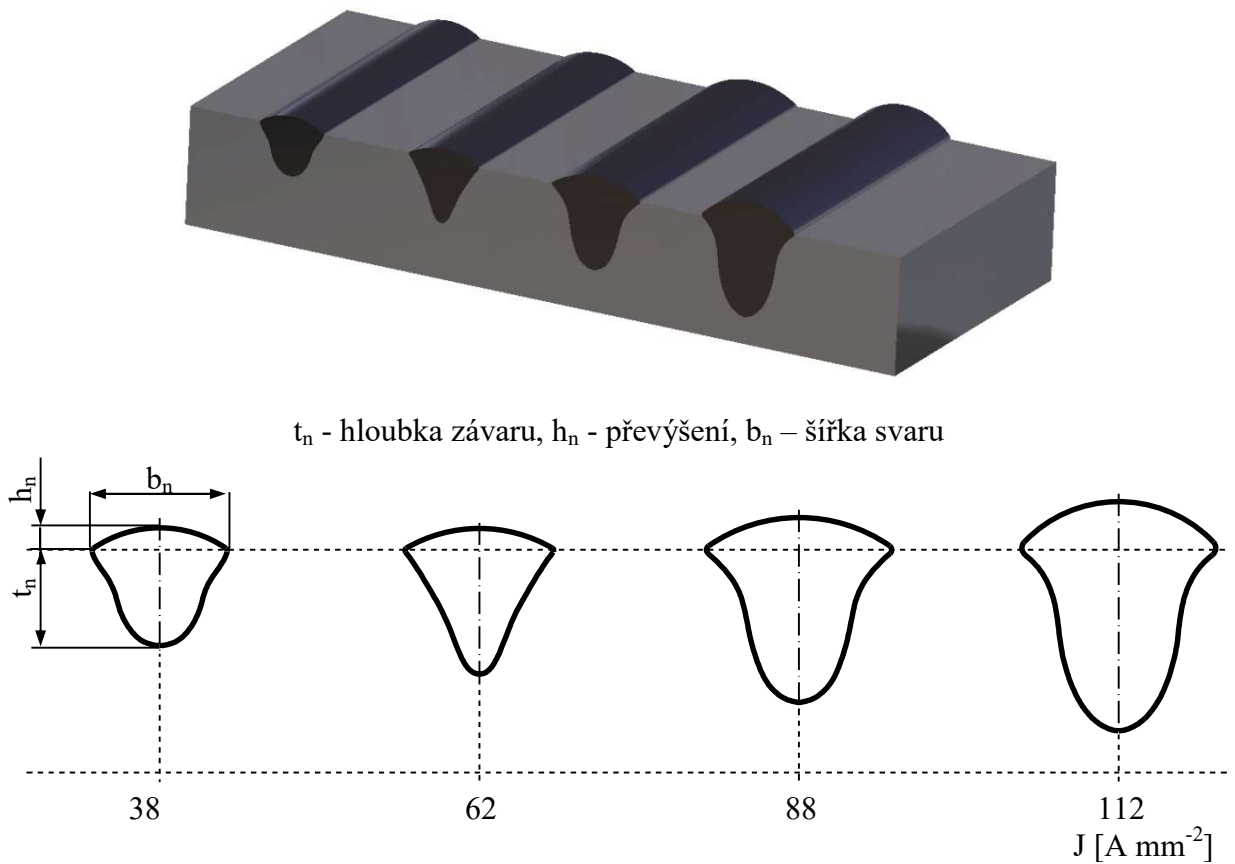
Velikost svařovacího proudu ovlivňuje geometrii svarové lázně nejvíce ze všech zmiňovaných parametrů. Se zvyšující se velikostí svařovacího proudu dochází ke zvyšování rychlosti odtavování kvůli intenzivnějšímu ohřevu přídavného materiálu. S rostoucí velikostí svařovacího proudu dochází také ke zvětšování dynamického účinku oblouku. Vliv těchto změn je graficky znázorněn na obr. 11.[3,6]



Obr. 11 Vliv svařovacího proudu na geometrii svarové lázně

Vliv velikosti proudové hustoty na geometrii svarové lázně

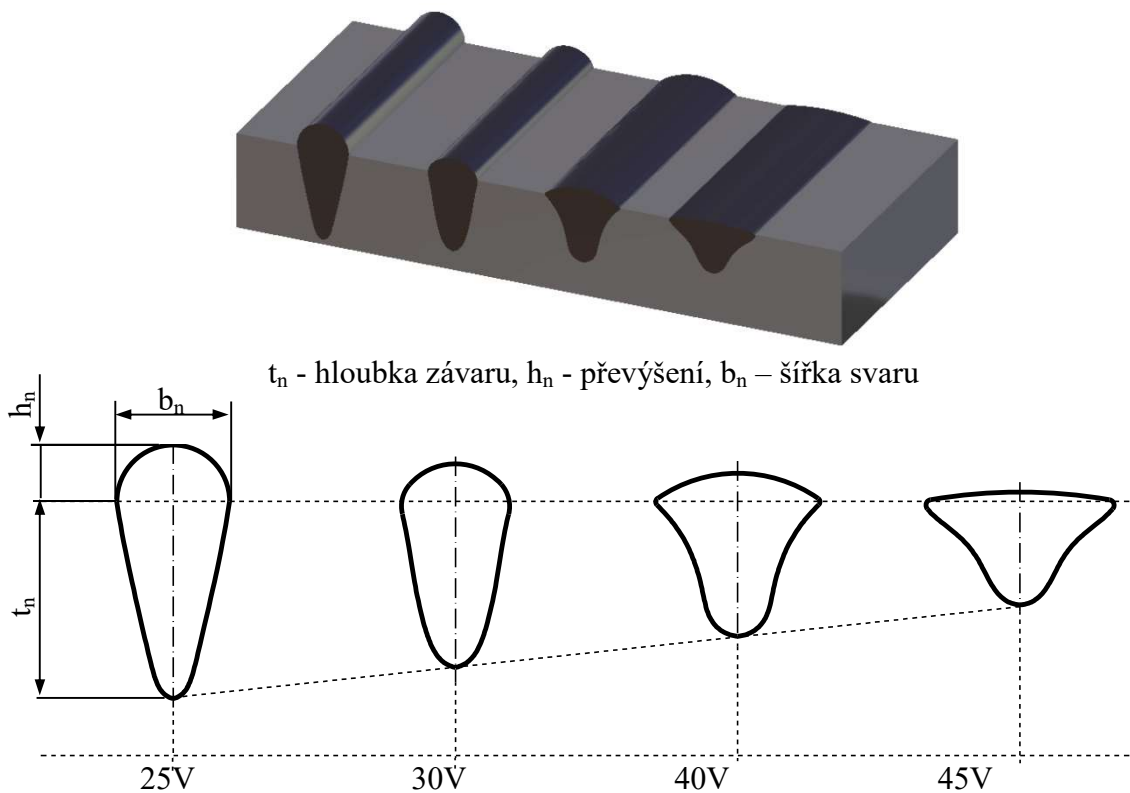
Velikost proudové hustoty je dána poměrem svařovacího proudu a plochy průřezu tavicí se elektrody. Velikost proudové hustoty má na tvar svarové lázně podobný vliv jako velikost svařovacího proudu. To, jakým způsobem ovlivňuje velikost proudové hustoty tvar svarové lázně, je graficky znázorněno na obr. 12.[3,6]



Obr. 12 Vliv proudové hustoty na geometrii svarové lázně

Vliv svařovacího napětí na geometrii svarové lázně

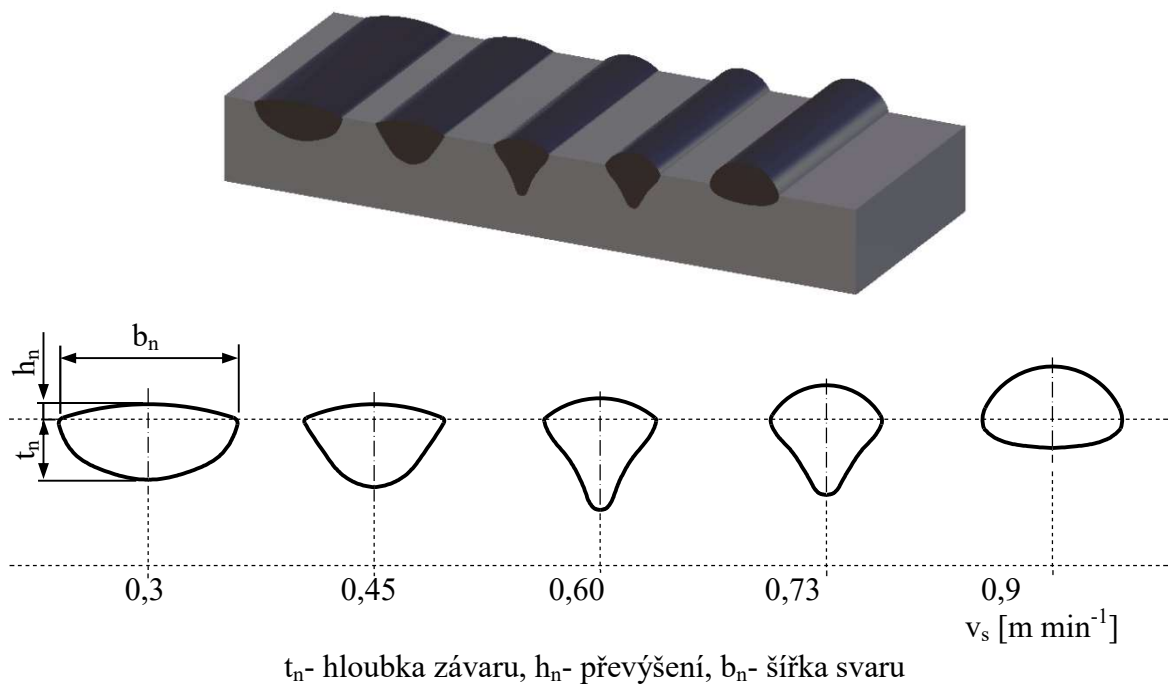
Svařovací napětí je rozdíl potenciálů mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně. Jeho velikost je ovlivňována délkou oblouku a stupněm ionizace sloupce oblouku. Velikost svařovacího napětí nelze předem nastavit, je závislé na velikosti svařovacího proudu a celkovém odporu obvodu (obvod tvoří drát elektrody, elektrický oblouk a základní materiál). Vliv velikosti svařovacího napětí na geometrii svarové lázně je znázorněn na obr. 13.[3,6]



Obr. 13 Vliv napětí na oblouku na geometrii svarové lázně

Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně

Rychlost svařování značně ovlivňuje intenzita ochlazování svaru (odvod tepla z místa svařování). Se zvyšující se rychlostí svařování je do svaru vnášena menší hodnota měrného tepla a intenzita ochlazování se zvyšuje. Tím jsou ovlivněny metalurgické a v konečném důsledku také mechanické vlastnosti svaru. Hloubka závaru se zvětšuje spolu s rychlostí svařování dokud se svařovaný materiál stačí teplem oblouku přehřívat a tedy i v dostatečném množství natavovat. Po překročení kritické rychlosti začne hloubka závaru opět klesat až do okamžiku, kdy svarové hrany přestanou být natavovány buď z části nebo úplně. Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně je znázorněn na obr. 14.[3,6]

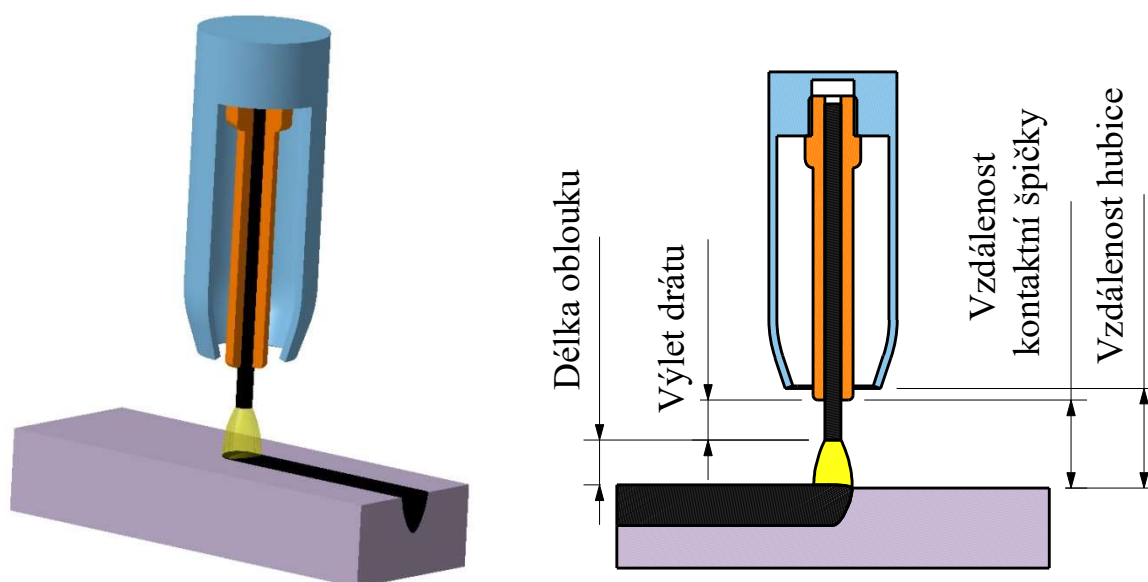


Obr. 14 Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně

Vliv velikosti výletu drátu na geometrii svarové lázně

Definice délky výletu drátu je schematicky znázorněna na obr. 15 a je do značné míry samoregulována plochou statickou charakteristikou zdroje. Její velikost lze ovlivňovat změnou vzdálenosti kontaktní špičky od základního materiálu nebo změnou rychlosti podávání drátu. Při zvětšení vzdálenosti kontaktní špičky od základního materiálu dochází ke zvětšení délky výletu drátu, což má za následek větší přehřátí drátu díky odporovému teplu. Při zvýšení rychlosti podávání dojde také ke zvětšení délky výletu – materiál se stačí dostat do větší vzdálenosti od kontaktní špičky než dojde k jeho natavení. Zvětšení délky výletu drátu změnou rychlosti podávání se děje na úkor délky oblouku.

Zvětšením délky výletu drátu dochází k ohřevu odporovým teplem, to způsobuje pokles svařovacího proudu. Vliv poklesu svařovacího proudu na geometrii svarové lázně je popsán výše.[6,9]



Obr. 15 Schématické znázornění volné délky drátu

Doporučenou vzdálenost hořáku (kontaktní špičky) od materiálu je možné určit dle vzorce (2) pro zkratový přenos kovu a vzorce (3) pro bezzkratový přenos kovu. Jak již bylo uvedeno výše, vzdálenost hořáku od místa svařování má, při daných procesních parametrech, přímý vliv na délku oblouku a tedy i na délku výletu drátu.[6]

$$L_p = (10 \cdot d) + 1 \quad (2)$$

$$L_p = (10 \cdot d) + 3 \quad (3)$$

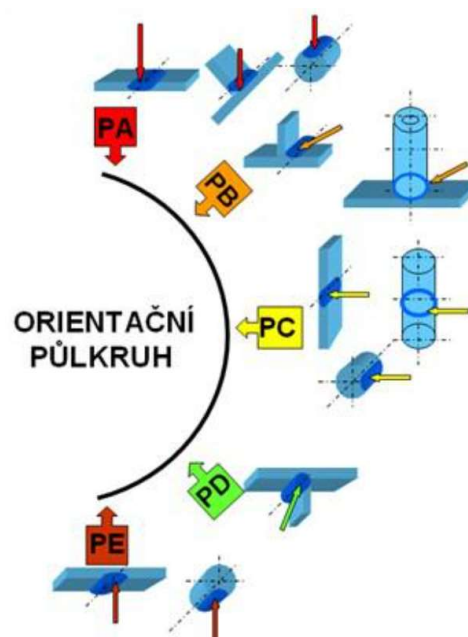
Kde značí:

L_p	vzdálenost kontaktní špičky od materiálu	[mm]
d	průměr drátu	[mm]

2.3.4 Svařovací polohy

Pomocí svařovacích poloh je definováno, v jaké pozici se nachází svařovací hořák vůči základnímu materiálu. Základní svařovací polohy (obr. 16) jsou definovány normou ČSN EN ISO 6947. Podle svařovací polohy lze odvodit v jakém směru působí síly působící na natavený materiál (gravitační síla, síla povrchového napětí atd., více v kapitole 2.3.1). V ideálním případě udržuje svarovou lázeň na požadovaném místě kombinace gravitační síly a síly povrchového napětí, v tomto případě se hovoří o nevynucených svařovacích polohách. Za základních svařovacích poloh patří do této skupiny polohy PA a PB. U typů svařovacích poloh, kdy má gravitační síla tendenci způsobovat stékání nebo odkapávání materiálu svarové lázně, se jedná o vynucené svařovací polohy. Ze základních svařovacích poloh to jsou polohy PC, PD a PE. Je zřejmé, že nejvýhodnější je svařování v nevynucených polohách. Svařenec tedy bývá, pokud je to možné, polohován tak, aby bylo umožněno svařování v polohách PA a PB.

Při ručním svařování ve vynucených polohách bývá nutná větší zručnost svářeče, než při svařování v polohách PA a PB. Při metodách automatického svařování bývají vynucené polohy obtížně realizovatelné, případně se mohou stát místy potenciálních vad.[6]



Obr. 16 Základní svařovací polohy

2.4 Automatické metody svařování

V oblasti svařování je při sériové výrobě průmyslový robot přímým výkonným členem výrobního systému. Průmyslový robot je automatické manipulační zařízení. Svařovací roboty se používají ve skupinovém nasazení v pružných výrobních linkách nebo ve formě robotizovaných pracovišť, které jsou napojeny na dopravní a manipulační systém. Svařovací roboty mají různá konstrukční uspořádání, která se volí podle účelu jejich použití a požadované přesnosti.[11]

2.4.1 Druhy vad svaru

Automatizace procesu svařování pak s sebou nese sekundární problém a tím je vznik vad při svařování. Robot je pouze výkonným členem, který vykonává činnosti podle programu. Kvalita procesu proto závisí na kvalitě přípravy celého procesu a na udržení jeho stability. To je však problematické zejména z důvodu výrobních tolerancí dílů, které jsou vzájemně spojovány. Z toho pak plynou vady způsobené procesem svařování.

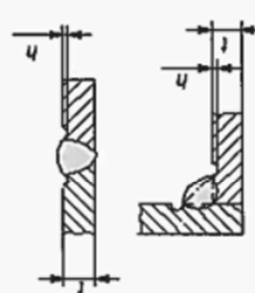
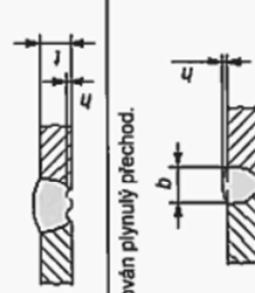

Klasifikací geometrických vad při svařování kovových materiálů se zabývá norma ČSN EN ISO 6520-1 (pro tavné svařování). V této normě jsou pouze popsány typy vad – tedy odchylky od ideálního svaru. Norma neuvažuje jejich vliv na mechanické ani jiné vlastnosti výsledného svaru.[12]

Vzhledem k tomu, že při svařování se vady objevují, je třeba stanovit jejich přípustnost. Proto se zavádí norma ČSN EN ISO 5817, která definuje přípustné množství definované vady. Tato norma zavádí tři stupně kvality (B, C a D), přičemž stupeň B odpovídá nejvyššímu požadavku na kvalitu zhotoveného svaru. Na obr. 17 je ukázka z normy ČSN EN ISO 5817, tato část normy konkrétně definuje přípustnost zápalů, vrubu k kořeni a nadměrné převýšení tupého svaru.[13]

Dle charakteristických rysů, jako je např. tvar vady nebo její umístění, dělí norma ČSN EN ISO 5817 vady svaru do šesti skupin:

- trhliny
- dutiny
- pevné vměstky
- studené spoje a neprůvary
- vady tvaru a rozměru
- jiné vady

Stupeň přípustnosti v jakém má být svar zhotoven určuje zpravidla dohoda mezi zhotovitelem svaru a zákazníkem.

Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad pro stupně kvality		
					D	C	B
1.7	5011 5012	Souvislý zápal Nesouvislé zápaly	<p>Je požadovaný plynulý přechod. Nepovažuje se za systematickou vadu.</p> 	<p>0,5 až 3 > 3</p>	<p>Krátké vady: $h \leq 0,2 t$ $h \leq 0,2 t$, ale max. 1 mm</p>	<p>Krátké vady: $h \leq 0,1 t$ $h \leq 0,1 t$, ale max. 0,5 mm</p>	<p>Nepřípustné $h \leq 0,05 t$, ale max. 0,5 mm</p>
					<p>0,5 až 3 > 3</p>	<p>Krátké vady: $h \leq 0,2 t$ $h \leq 0,2 t$, ale max. 2 mm</p>	<p>Krátké vady: $h \leq 0,1 t$ Krátké vady: $h \leq 0,1 t$, ale max. 1 mm</p>
1.8	5013	Vrub v kofení	<p>Je požadován plynulý přechod.</p> 	<p>0,5 až 3 > 3</p>	<p>Krátké vady: $h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, ale max. 10 mm</p>	<p>$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, ale max. 7 mm</p>	<p>$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, ale max. 5 mm</p>
1.9	502	Nadměrné převýšení tupého svaru	<p>Je požadován plynulý přechod.</p> 	<p>$\geq 0,5$</p>			

Obr. 17 Ukázka z normy ČSN EN ISO 5817

2.4.2 Typy vad charakteristické pro automatické metody svařování

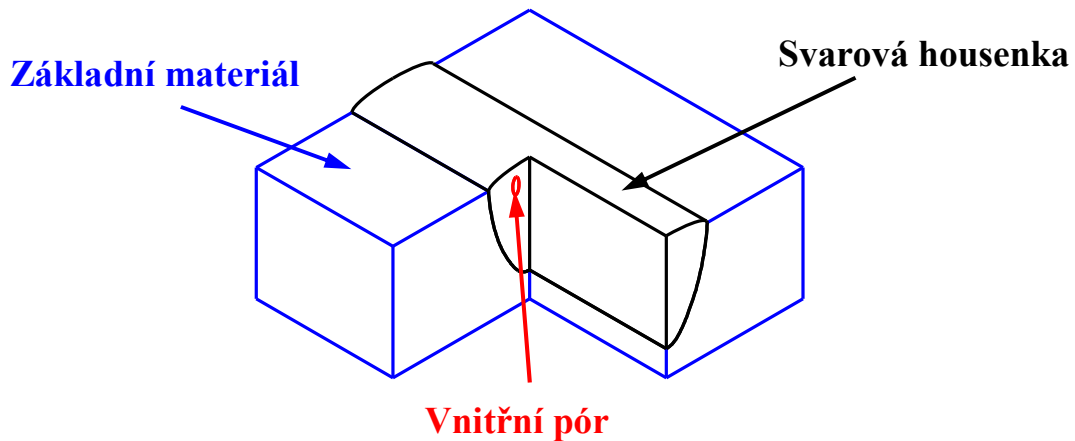
Existují typy vad, které jsou typické pro automatické metody svařování. Mezi nejčastější patří:

- pórovitost
- studený spoj
- zápal
- nadměrně převýšený svar
- vadné napojení
- nadměrná asymetrie koutového svaru

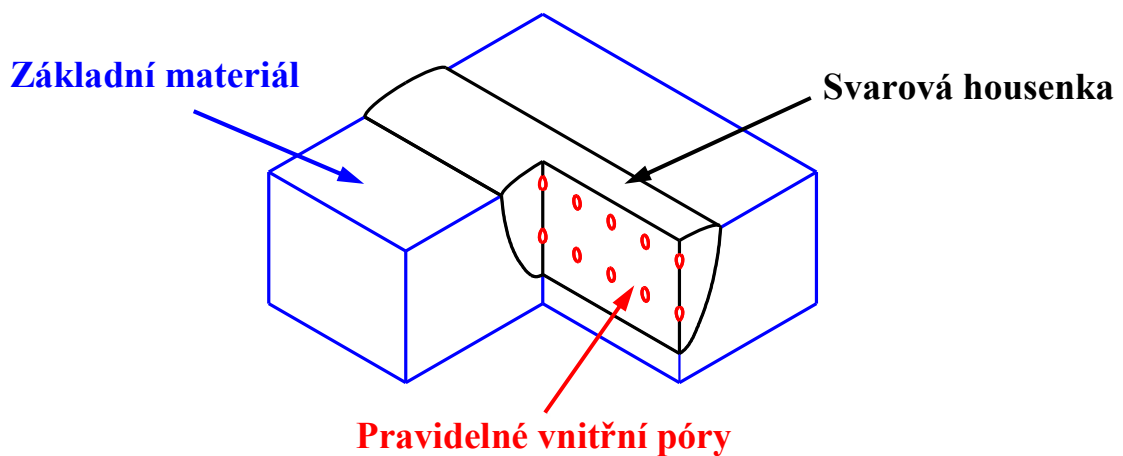
Vadám způsobeným nedostatečnou údržbou svařovacího zařízení lze předcházet častějšími kontrolami zařízení. Vady, které jsou způsobené samotnou podstatou automatických metod svařování, lze zpravidla pouze omezit na minimum volbou vhodných procesních a technologických parametrů.

Pórovitost

Pórovitost je dána množstvím pórů. Pór je dutina oblého tvaru, zpravidla kulovitého, která je vyplněná plynem. Dutina je buď vnitřní nebo vnější na povrchu. Vzniká v případě, kdy svarová lázeň zatuhne dříve než stačí uniknout plyny vzniklé při svařování. Příčinou vzniku těchto plynů může být například mastnota na povrchu základního materiálu nebo nedostatečná ochrana svarové lázně ochranným plynem. Vliv pórů na pevnost svarového spoje spočívá ve zmenšení nosného průřezu svaru. Vzhledem k tomu, že je dutina oblá, nedochází ke vzniku vrubu. Vliv pórovitosti na výslednou pevnost svarového spoje je tedy malá a závisí na celkové ploše pórů v daném průřezu. Kromě již zmíněných důvodů může být pórovitost svarů při automatických metodách svařování způsobena ulpělými nečistotami v hubici svařovacího hořáku, které způsobují nerovnoměrné proudění ochranného plynu. V krajním případě je ochranný plyn natolik ovlivněn, že dochází k jeho turbulentnímu proudění a nasávání okolní atmosféry do svařované oblasti. Další příčinou pórovitosti může být nedostatečné odmaštění základního materiálu po obrábění, kdy se zbytky olejové emulze vlivem zvýšené teploty začnou odpařovat. Na obr. 18 a obr. 19 je schematicky zobrazena vnitřní pórovitost.[12,13]



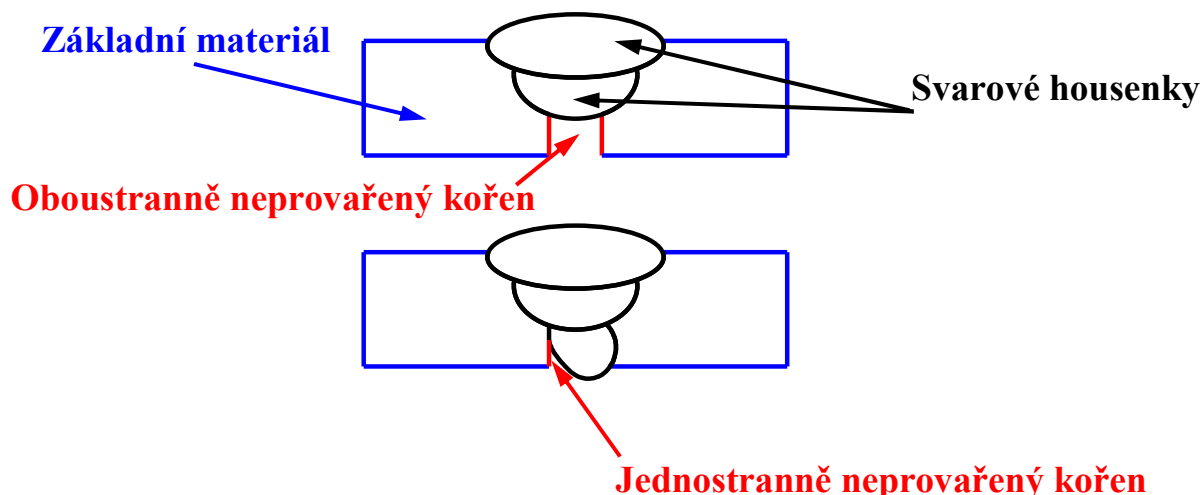
Obr. 18 Vnitřní pór



Obr. 19 Rovnoměrná vnitřní pórovitost

Studený spoj

Studený spoj patří k nebezpečným vadám, protože ho doprovází silný vrubový účinek. Ke vzniku studeného spoje dochází při neúplném natavení jednoho nebo obou základních materiálů, to má za následek, že nedojde ke spojení základního materiálu s roztaveným přídavným materiálem. Nejčastěji vzniká v místě kořene svaru při nastavení nízkého svařovacího proudu nebo při malé svarové mezeře, kdy nedojde k zatečení taveniny do oblasti kořene svaru. Na obr. 20 je schematicky zobrazen neprovařený kořen.[12,13]

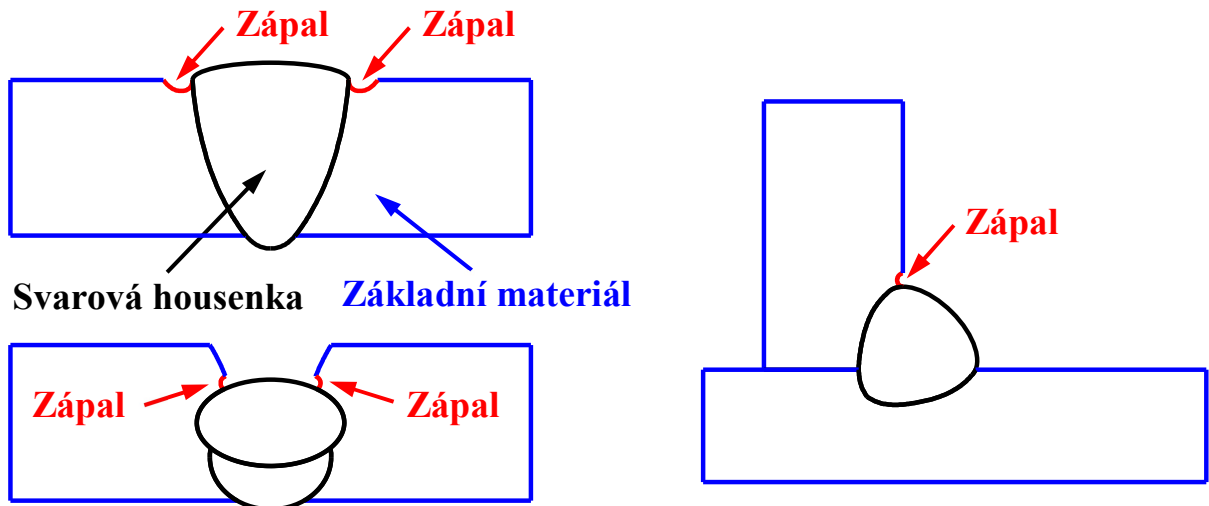


Obr. 20 Neprovařený kořen

Ke vzniku studených spojů může dojít také při nevhodném způsobu napojení housenky. Někdy je tato vada nazývána „Vadné napojení“. Vadné napojení vzniká při nevhodném napojování nového svaru na již provedený svar. Při ručním svařování se správné napojení provádí tak, že po vybroušení konce housenky, na kterou se má nový svar napojit, svářeč vytvoří svarovou lázeň s mírným odstupem od staré housenky, po natavení základního materiálu se „vrátí“ k vybroušenému konci a teprve po jeho natavení začne vytvářet novou housenku. Tento proces je pro metody automatického svařování obtížné realizovat, proto při napojování nového svaru často vznikají vady typu vadné napojení.[12,13]

Zápal

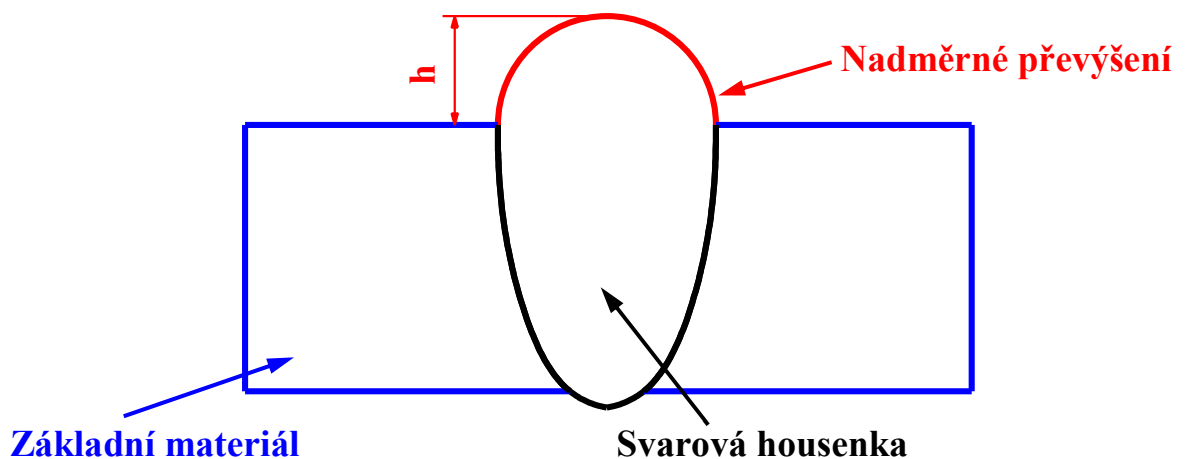
Zápal vzniká na okraji povrchu svaru, kdy na rozdíl od studeného spoje, dojde k nadměrnému natavení a odebrání základního materiálu, přičemž natavený materiál nevyplní vzniklou propadlinu. Jedná se o vnější vadu svaru, je tedy lehce odhalitelná vizuální kontrolou. Při zápalu dojde ke vzniku vrubu, což má značný vliv na pevnost svaru, zejména při dynamickém namáhání výsledného svařence. Při metodách automatického svařování bývá příčinou vzniku zápalu nastavení vysoké hodnoty svařovacího proudu. Na obr. 21 je schematicky zobrazen zápal pro případ tupého i koutového svaru.[12,13]



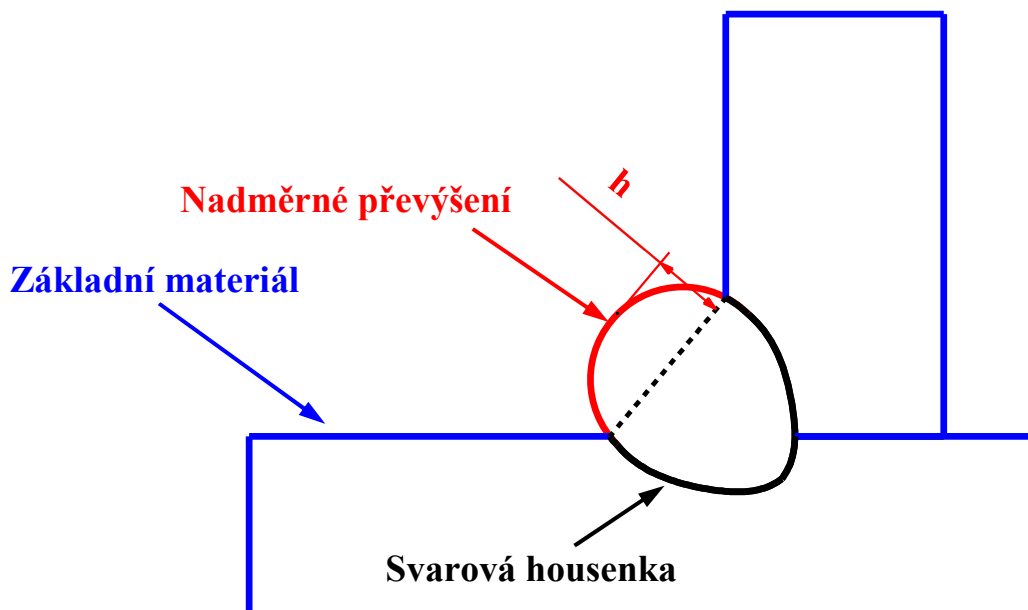
Obr. 21 Zápal

Nadměrně převýšený svar

Důvodem vzniku nadměrně převýšeného svaru při automatických metodách svařování bývá velká vzdálenost svařovacího hořáku od základního materiálu, resp. velká volná délka drátu. Příčinou velké vzdálenosti svařovacího hořáku od základního materiálu bývá špatný přístup ke svaru kvůli nevhodné konstrukci upínacího přípravku. Nebezpečí nadměrně převýšeného svaru spočívá v možném vzniku vrubu na rozhraní mezi základním materiálem a housenkou. Na obr. 22 a obr. 23 jsou schematicky zobrazeny nadměrně převýšené svary pro případ tupého nebo koutového svaru.[12,13]



Obr. 22 Nadměrně převýšený tupý svar

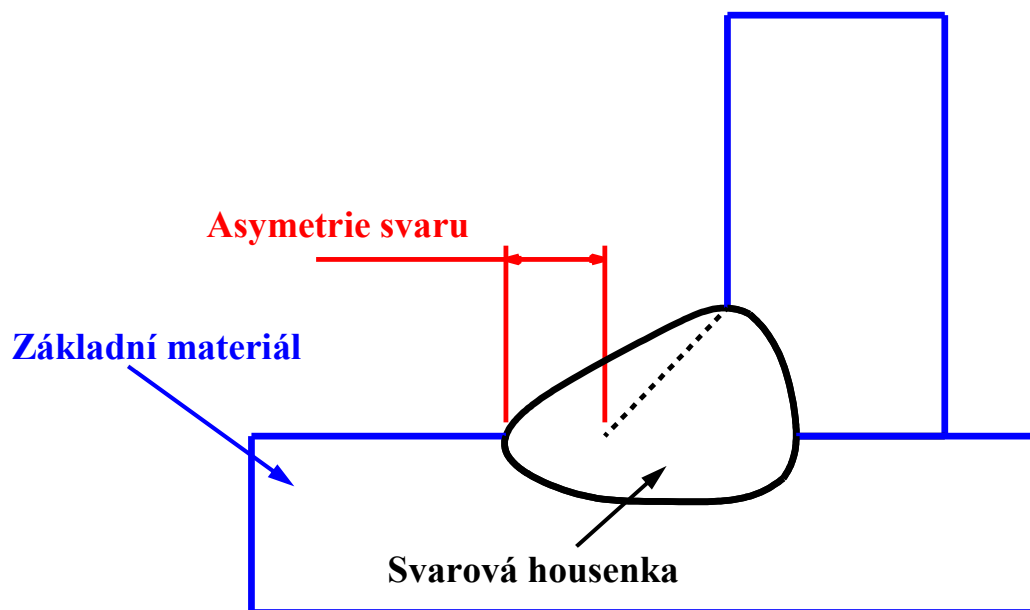


Obr. 23 Nadměrně převýšený koutový svar

Nadměrná asymetrie koutového svaru

Vada asymetrie koutového svaru vzniká, když dojde k výrazné odchylce průřezu housenkou od pomyslného rovnoramenného trojúhelníka (obr. 24).

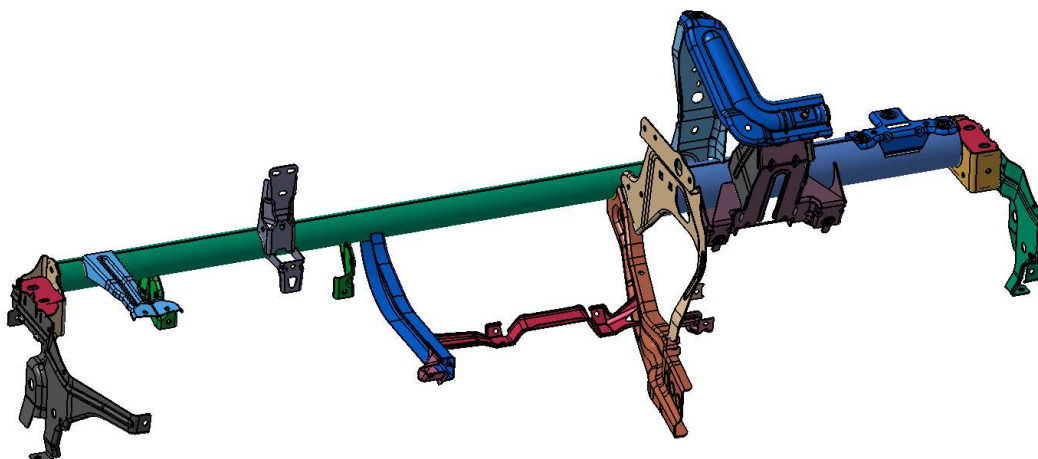
Asymetrický koutový svar bývá u metod automatického svařování způsoben špatným pozicováním svařovaných dílů, případně nevhodným úhlem hořáku vůči místu svařování. Hořák svařovacího robotu totiž obvykle pouze opisuje dráhu, která je pevně dána souřadnicemi v řídicím programu zařízení. Pokud dojde k posunutí základního materiálu oproti zamýšlené poloze, robot kopírující zadanou dráhu vytvoří svar na špatném místě. Špatné pozicování bývá způsobeno vůlí upínacího přípravku nebo vůlí svařovaného dílu, nejčastěji však jejich kombinací. Dalším důvodem vzniku může být velký rozdíl mezi tloušťkami svařovaných materiálů, v tom případě dochází k nerovnoměrnému odvodu tepla, což může doprovázet vznik asymetrie koutového svaru.[12,13]



Obr. 24 Asymetrie koutového svaru

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

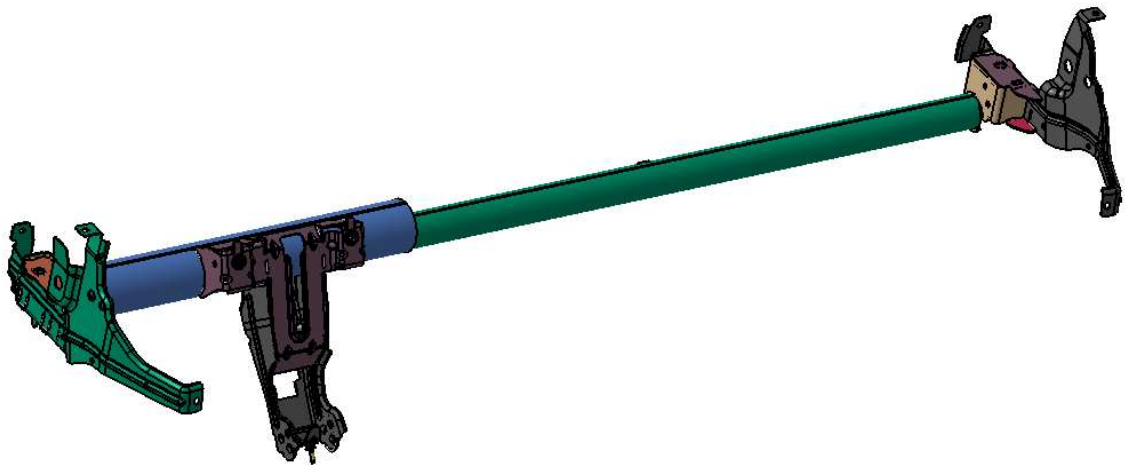
Experimentální část práce se věnuje konstrukčnímu návrhu svařovacího přípravku centrálních nosičů pro Škoda Fabia určeného ke kontrole a případným opravám svarů po robotickém svařování. Jde o návrh 3 různých konstrukčních řešení a jejich porovnání se stávajícím přípravkem používaným ve firmě Matador. Centrální nosiče jsou svařovány automaticky, přičemž mohou vznikat vady svarů. Navíc je u nich vyžadována 100% vizuální kontrola přítomnosti svaru a kvality jeho provedení. Tato kontrola a oprava má být realizována na zmiňovaném svařovacím přípravku. Oprava je prováděna ručním svařováním metodou MAG. Na obr. 25 je zobrazen centrální nosič palubní desky vozu Škoda Fabia, jehož upnutí je předmětem řešení bakalářské práce.



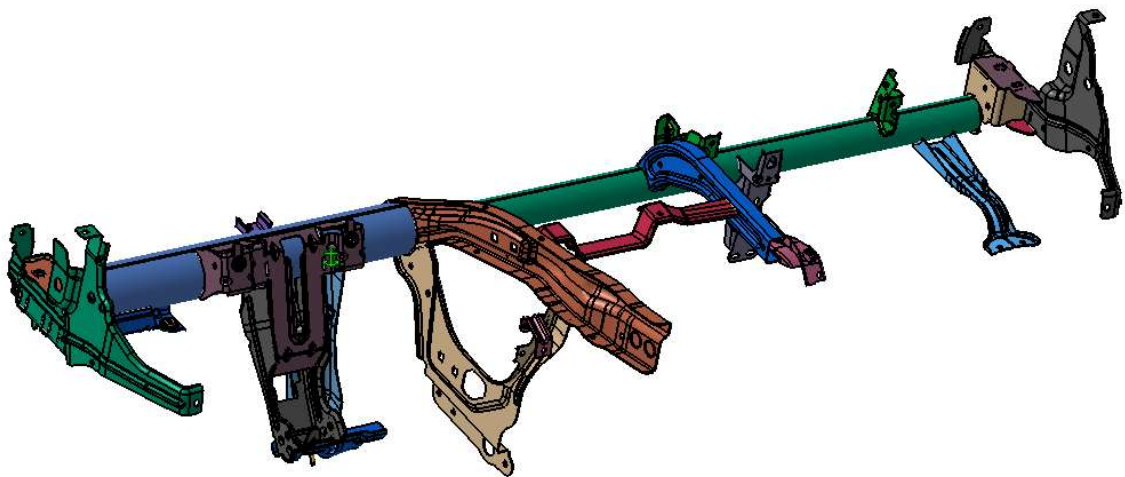
Obr. 25 Centrální nosič pro palubní desku vozu Škoda Fabia

3.1 Proces automatického svařování ve firmě Matador

Proces automatického svařování centrálního nosiče probíhá ve dvou krocích. Svařování je rozděleno do dvou kroků kvůli komplikovanosti výrobku, která neumožňuje upnutí všech dílčích součástí svařence v jednu přípravku v jeden okamžik. V prvním kroku se z jednotlivých dílů svaří hlavní části centrálního nosiče (obr. 26). V druhém kroku se na připravený svařenec přivaří další drobné součásti a úchyty, tím vznikne výsledný výrobek (obr. 27).



Obr. 26 Stav centrálního nosiče po provedení první svařovací operace



Obr. 27 Stav centrálního nosiče po provedení druhé svařovací operace

Svařování probíhá na otočném stole, na kterém jsou proti sobě umístěné dva totožné upínací přípravky. Obsluha do jednoho z nich zakládá a upíná jednotlivé díly, zatímco na protějším probíhá automatické svařování. Jakmile obsluha upne všechny dílčí kusy do přípravku a proběhne svaření centrálního nosiče na protějším přípravku robotem, dojde k automatickému otočení stolu. Tím se přípravek s upnutými kusy dostane do svařovací komory a robot opět začne svařovat. Mezitím obsluha vyjme svařenou centrální tyč z přípravku a začne opět zakládat do přípravku jednotlivé dílčí komponenty. Princip tohoto procesu je stejný pro první i druhý krok svařování. Interval pro výrobu jednoho centrálního nosiče je přibližně 210 sekund. Na obr. 28 je zachycen svařovací přípravek umístěný na otočném stole, ve kterém je upnutý již svařený centrální nosič.



Obr. 28 Upínací přípravek pro svařování centrálního nosiče

Po provedení obou svařovacích operací je centrální nosič umístěn na skladovací stojan, po jehož zaplnění se výrobky přemístí na pracoviště určené k vizuální kontrole jakosti provedených svarů.

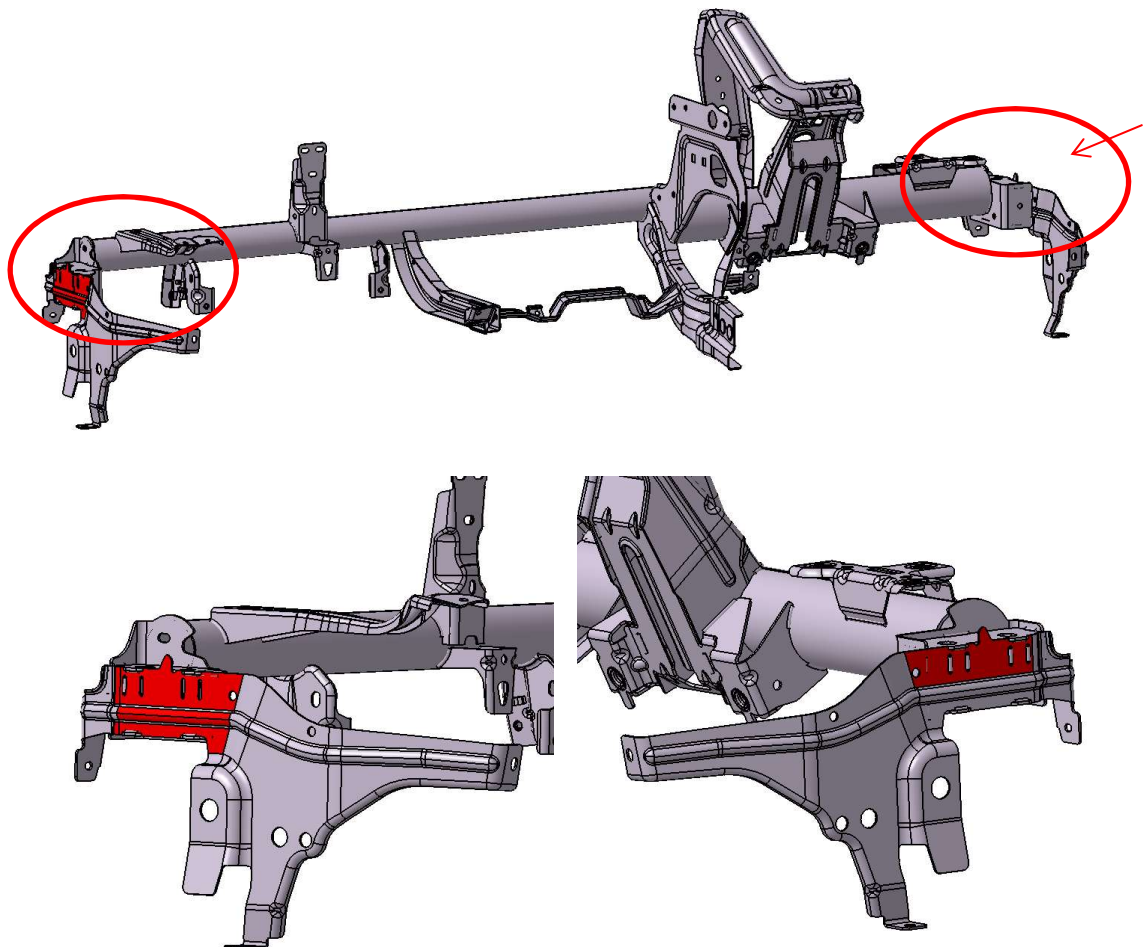
3.2 Kontrola centrálního nosiče

Přípravek pro vizuální kontrolu výsledného svařence centrálního nosiče je umístěn v prostoru ručního svařovacího pracoviště. Svářeč vyjme svařený centrální nosič ze skladovacího stojanu umístěného vedle svařovacího pracoviště a upne jej do svařovacího přípravku. Tento přípravek umožňuje jednoduché polohování centrálního nosiče. Svářeč postupně otáčí centrální nosič v přípravku a kontroluje veškeré svarové spoje. V případě nálezu vady svaru, pokud je to možné, provede její opravu opětovným svařováním. Po překontrolování a opravení všech svarů pracovník centrální nosič vyjme a umístí jej na skladovací stojan na druhé straně tohoto svařovacího pracoviště. Tím končí cyklus kontroly jednoho centrálního nosiče. Aktuální doba odebrání, založení a upnutí svarku je v řádu sekund, vyjmutí a založení do stojanu na opravené kusy trvá opět řádově několik sekund. Tyto doby by neměly být pro navrhované přípravky výrazně delší. Jeden centrální

nosič je průměrně kontrolován 150 sekund, přičemž je tato doba značně ovlivněná počtem opravovaných vad (špatně nastavený svařovací robot v předchozích operacích má tedy velký vliv na dobu kontroly).

3.2.1 Oblasti nejčastějších vad svaru

Na kvalitu svaru má mimo jiné vliv svařovací poloha a vhodný přístup svařovacího hořáku, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách. Tyto dva vlivy jsou stále stejné pro všechny svařované centrální nosiče - pro všechny se používá stejný přípravek a stejný postup svařování. V oblastech, kde nejsou vhodné podmínky pro vytvoření svaru, se často opakují stejné typy vad (propálení materiálu, studený spoj atd.). Místa, ve kterých se nejčastěji opakují vady, jsou zvýrazněna červeně na obr. 29. Jedná se o konce centrálního nosiče. Svařování musí robot na těchto plochách provádět v poloze PC, proto zde často vznikají vady.



Obr 29 Oblasti častého výskytu svarových vad

3.3 Konstrukční návrh přípravku

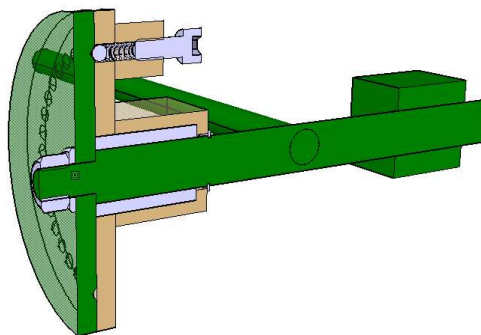
Návrh konstrukčního přípravku by měl vycházet z následujících požadavků firmy Matador. Přípravek musí umožňovat polohování alespoň v jedné ose, aretaci v jakékoliv natočené poloze s několikastupňovým krokem, snadnou vizuální kontrolu všech svarů na jedno upnutí a dostatečný prostor pro přístup svařovacího hořáku v okolí nejlépe všech svarů pro případ, že bude nutné opravit nalezenou vadu. Dle dalších požadavků firmy Matador musí být upínání centrálního nosiče a následná obsluha manuální s použitím přiměřených manipulačních sil a bez nutnosti použití mechanizace. Přípravek nesmí jakkoliv poškozovat upínané kusy. Nesmí docházet k poškrábání povrchu, deformaci materiálu vlivem velkých upínacích sil, poškození závitů naváděcími kolíky atd.

Hlavním kritériem pro navrhovaný přípravek je co nejkratší doba zakládání, upínání a kontroly centrálního nosiče s nízkými nároky na manuální zručnost svářeče. Dále by měl být brán ohled na nízkou poruchovost, délku servisních intervalů a snadnou údržbu, resp. opravu či výměnu dosedacích částí přípravku.

Veškeré použité komponenty by měli být vybírány s ohledem na prostředí svařovacího pracoviště. Zejména by se měly používat nehořlavé materiály, případně takové materiály, u kterých nehrozí vznícení od odletujících kapek kovu.

Hlavní rotace bude u všech konstrukčních návrhů probíhat kolem podélné osy centrálního nosiče. Tento způsob polohování je nejvhodnější vzhledem k délce centrálního nosiče i vzhledem k rozměrům a možnostem svařovacího pracoviště. Způsob aretace bude na základě požadavku zástupce firmy Matador stejný jako na stávajícím přípravku. Celý mechanismus je vyráběný interně v rámci firmy Matador a je vyhovující jak z hlediska obsluhy, tak z hlediska životnosti. Tento aretační mechanismus umožňuje rotaci kolem jedné osy s minimálním odporem a aretaci v jakékoliv poloze s krokem přibližně 10° (obr. 30).

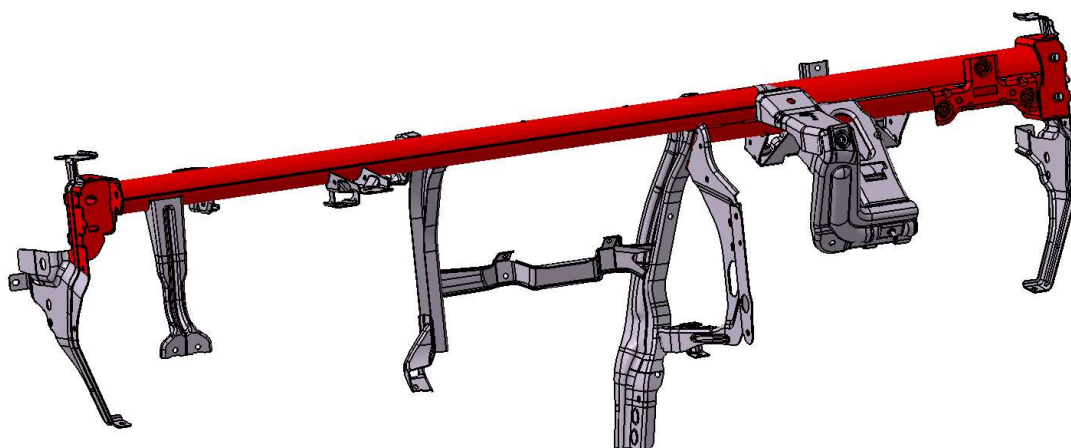
Možnosti upínání jsou kvůli tuhosti jednotlivých částí centrálního nosiče omezené. Oblasti, které jsou dostatečně tuhé, aby umožnily vhodné upnutí, jsou zvýrazněny červeně na obr. 31, jedná se o trubky, které tvoří nosný základ celého centrálního nosiče a o jejich zakončení.



Obr. 30 Řez aretačním mechanismem

Základní kritéria pro variantní návrh přípravku:

- Co nejkratší doba kontroly
- Co nejlepší přístup svařovacího hořáku ke svarům
- Vhodná svařovací poloha (PA, příp. PB)



Obr. 31 Plochy vhodné pro upínání

3.3.1 Aktuální přípravek



Obr. 32 Aktuálně používaný přípravek

Na obr. 32 je aktuální svařovací přípravek pro kontrolu centrálního nosiče. Největší výhodou tohoto přípravku je jednoduchost. Na jedné straně je centrální nosič volně položen na stavitelné podpěře, na druhé straně je pomocí upínky pevně uchycen k aretačnímu mechanismu, který umožňuje rotaci kolem podélné osy a aretaci v jakékoliv obecné poloze (dříve zmiňovaný obr. 30). Způsob upínání ale není ideální, protože upínka částečně zakrývá některé z kontrolovaných svarů (obr. 33, obr. 34) a neumožňuje tedy ani snadný přístup hořáku v případě, že je třeba tyto svary opravit. Konkrétně tyto svary patří k nejčastěji kontrolovaným. Další nevýhodou stávající konstrukce přípravku je to, že umožňuje rotaci pouze kolem jedné osy, tudíž je nutné svary na čele nosiče svařovat v polohách PB a PC. Na obr. 35 je upínka aktuálního přípravku bez založeného kusu. Výhody a nevýhody stávajícího přípravku jsou následující:

Nevýhody

- špatný přístup k některým svarům
- zdržení kvůli špatnému přístupu
- svařování ve vynucených polohách

Výhody

- jednoduchost
- vysoká životnost

- zaběhlý provoz
- velmi nízké náklady na výrobu přípravku



Obr. 33 Obtížně přístupné svary



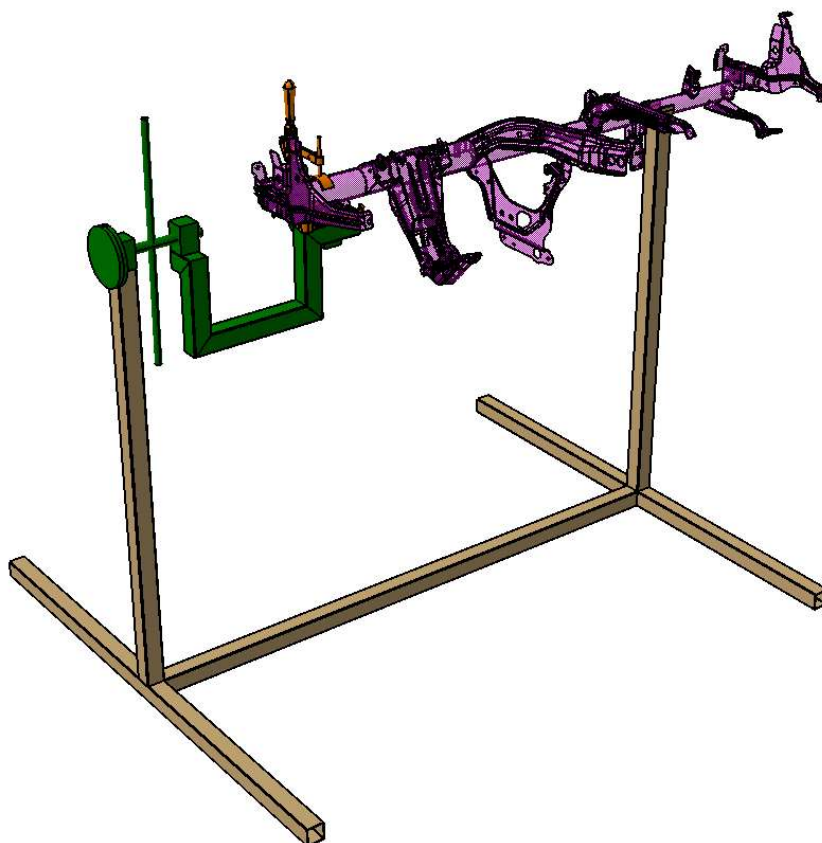
Obr. 34 Obtížně přístupné svary



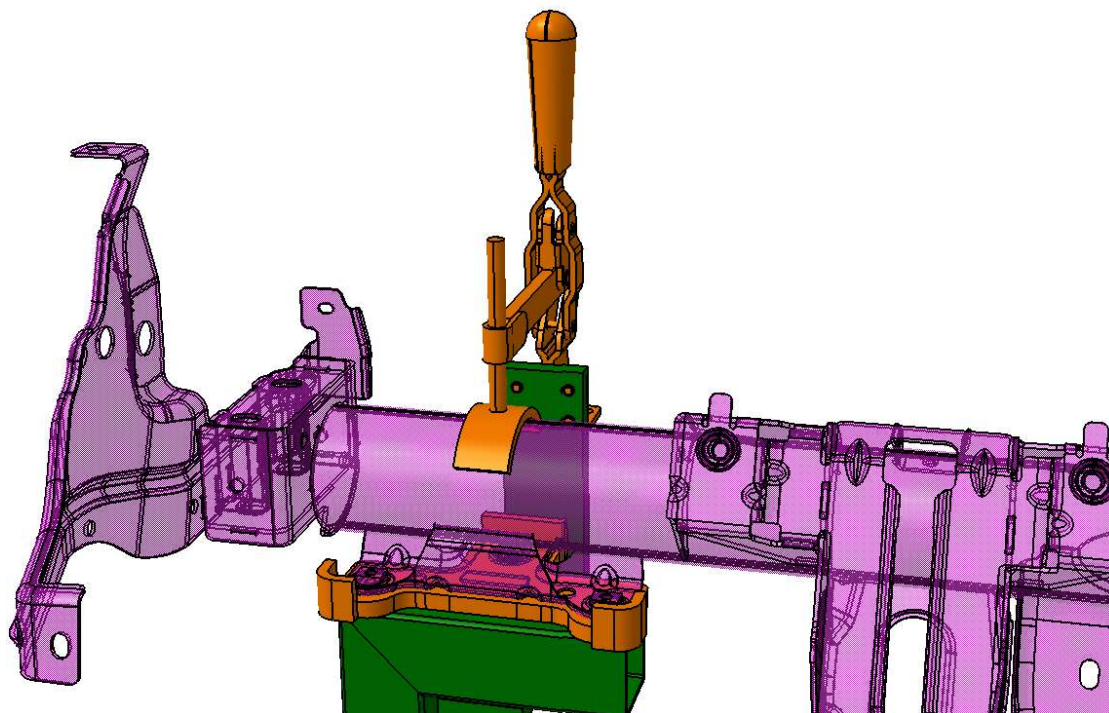
Obr. 35 Systém upínání aktuálního přípravku

3.3.2 Konstrukční návrh č. 1

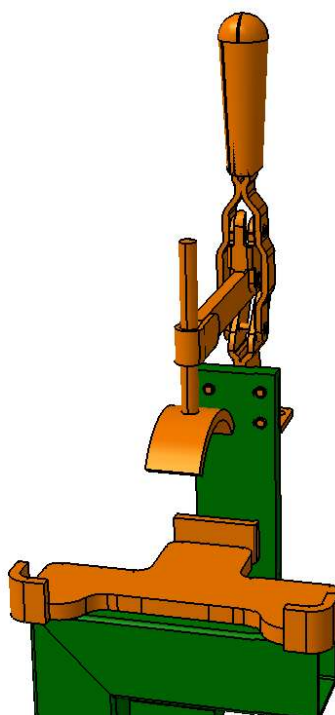
Konstrukční návrh č. 1 ukázaný na obr. 36 je inspirován stávajícím přípravkem. Aretace v obecné poloze je realizovaná stejným mechanismem jako u stávajícího přípravku. Rozdíl spočívá v místě upínání centrálního nosiče (obr. 37, obr. 38). Při tomto způsobu upínání je umožněn pohodlný přístup svařovacího hořáku k nejčastěji opravovaným svarům.



Obr. 36 Konstrukční návrh č. 1

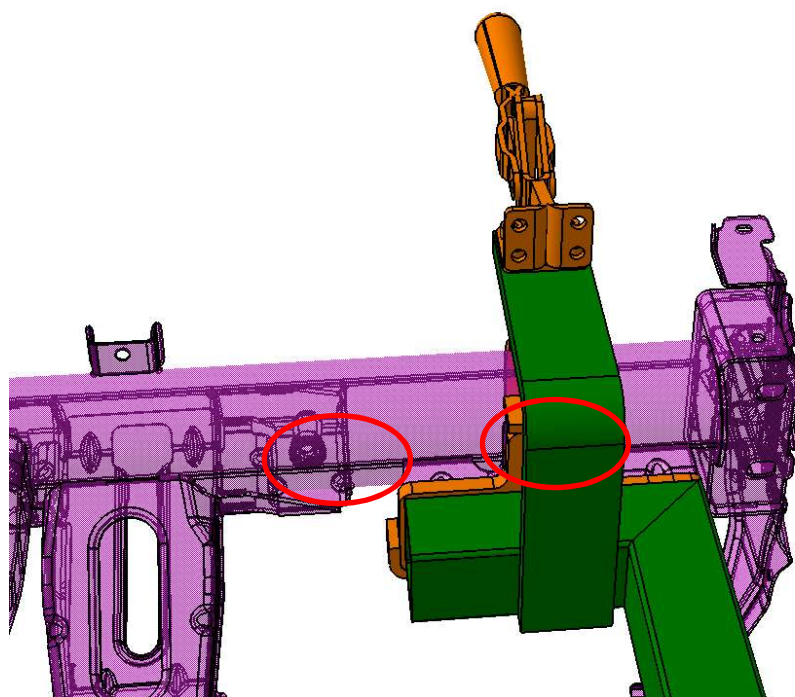


Obr. 37 Detail způsobu upínání



Obr. 38 Detail způsobu upínání bez centrálního nosiče

Ke svarům na obr. 39 je lehce omezený přístup, nicméně v případě nutnosti opravy konstrukční řešení nebrání opravení svaru. Tento návrh přípravku umožňuje rotaci pouze kolem jedné osy, tudíž je nutné svary umístěné na čele nosiče svařovat v poloze PB, nebo ve vynucené poloze PC. Předpokládaná doba kontroly je v průměru 150 sekund



Obr. 39 Svary s omezeným přístupem

Nevýhody

- svařování ve vynucených polohách

Výhody

- jednoduchá záměna za aktuální přípravek
- jednoduchost
- vysoká životnost
- velmi nízké náklady na výrobu přípravku

Cenová kalkulace přípravku podle konstrukčního návrhu č. 1 v sobě zahrnuje náklady na materiál, zámečnické práce jako je řezání, svařování a montáž, náklady na práškové lakování a také dopravu materiálu a přípravku. Kalkulovaná cena při externí výrobě tohoto přípravku je 7 100 Kč, jak je zřejmé z tabulky na obr. 40.

Ceny bez DPH **Cenová kalkulace - konstrukční návrh 1**
kalkulace pro 1 ks
aretační mech. a upínku dodá fa Matador vlastní

Materiál:		Množství	Cena
	Jekl 40x40	12 m	1 080 Kč
	Plochá ocel 40x8	1 m	140 Kč
	Tyč pr. 16	1 m	90 Kč
	Spojovací materiál, ostatní hutní mat. do 1 m	-	450 Kč
Materiál celkem:			1 760 Kč

Zámečnické práce - kompletace		Pracovníků	hod.	
	Řezání mat, začistění před svařováním	1	2,0	1 000 Kč
	Příprava mat. před svařováním, svařování	1	2,0	1 000 Kč
	Kompletace s upínkou a aretačním mechanismem, seřízení	1	3,0	1 500 Kč
Zámečnické práce celkem:				3 500 Kč

Kooperace	Práškové lakování			1 350 Kč
Kooperace celkem:				1 350 Kč

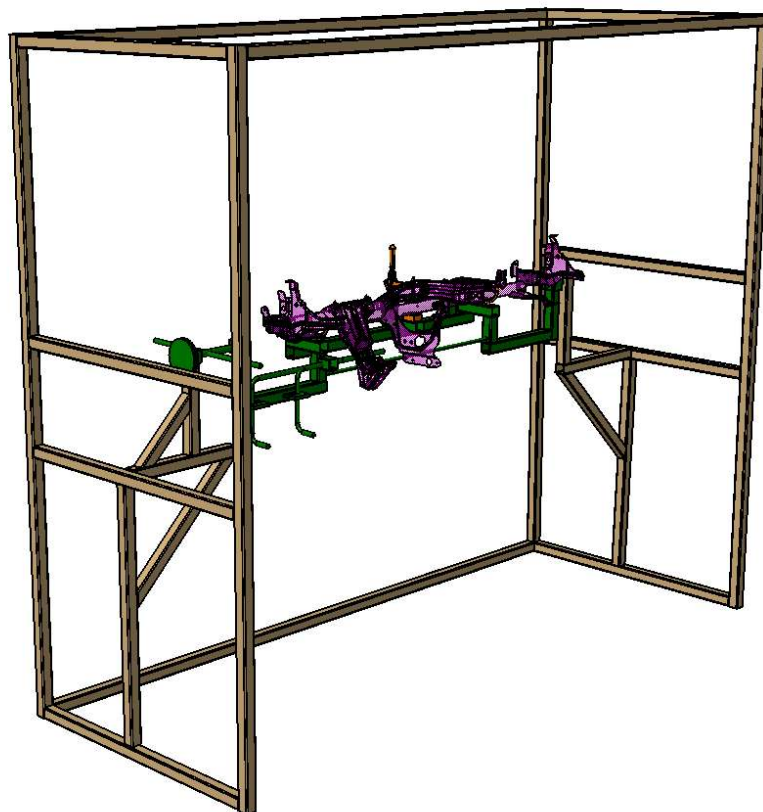
Doprava		km	
	Svoz materiálu	40	280 Kč
	(Dodání)	30	210 Kč
Doprava celkem:			490 Kč

Zakázka celkem:			7 100 Kč
------------------------	--	--	-----------------

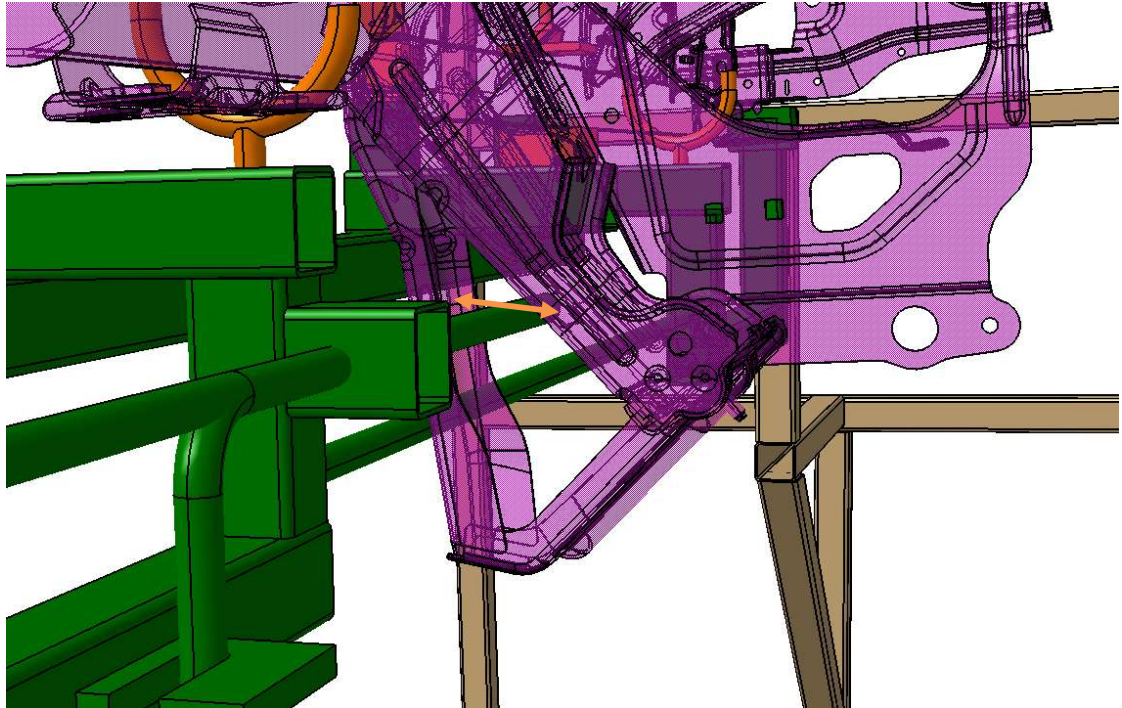
Obr. 40 Cenová kalkulace Konstrukčního návrhu č. 1

3.3.3 Konstrukční návrh č. 2

Konstrukční návrh č. 2 ukázaný na obr. 41 počítá se zabudováním do stěn svařovacího pracoviště. Uchycení k přípravku není pevné, ale je s vůlí (obr. 42). Centrální nosič je proti rotaci zajištěn s vůlí pomocí posuvné tyče, která je uchycena k rámu přípravku.

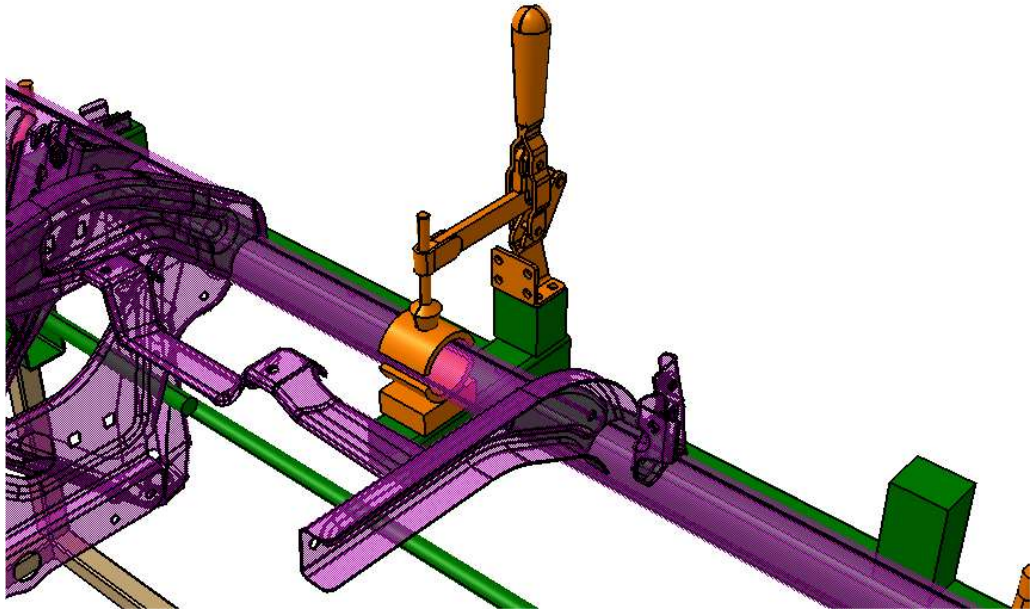


Obr. 41 Konstrukční návrh č. 2



Obr. 42 Vůle při otáčení

Aretace rámu přípravku je realizovaná stejným mechanismem jako stávající stav. Způsob upínání (obr. 43) umožňuje pohodlný přístup ke všem kontrolovaným svarům. Konstrukce přípravku je rozměrnější a složitější v porovnání s aktuální verzí, lze tedy předpokládat, že obsluha, resp. otáčení nosiče, bude pro svářeče komplikovanější v porovnání s aktuální verzí. Taktéž vůle při otáčení nosiče pravděpodobně nebude přispívat ke komfortu obsluhy. Při svařování na tomto přípravku bude nutné svařování ve vynucené poloze PC. Předpokládaná doba kontroly v tomto přípravku je vzhledem ke složitějšímu upínání přibližně 180 sekund.



Obr. 43 Detail upínání

Nevýhody

- nekomfortní obsluha přípravku
- svařování ve vynucených polohách
- velký zásah do svařovacího pracoviště

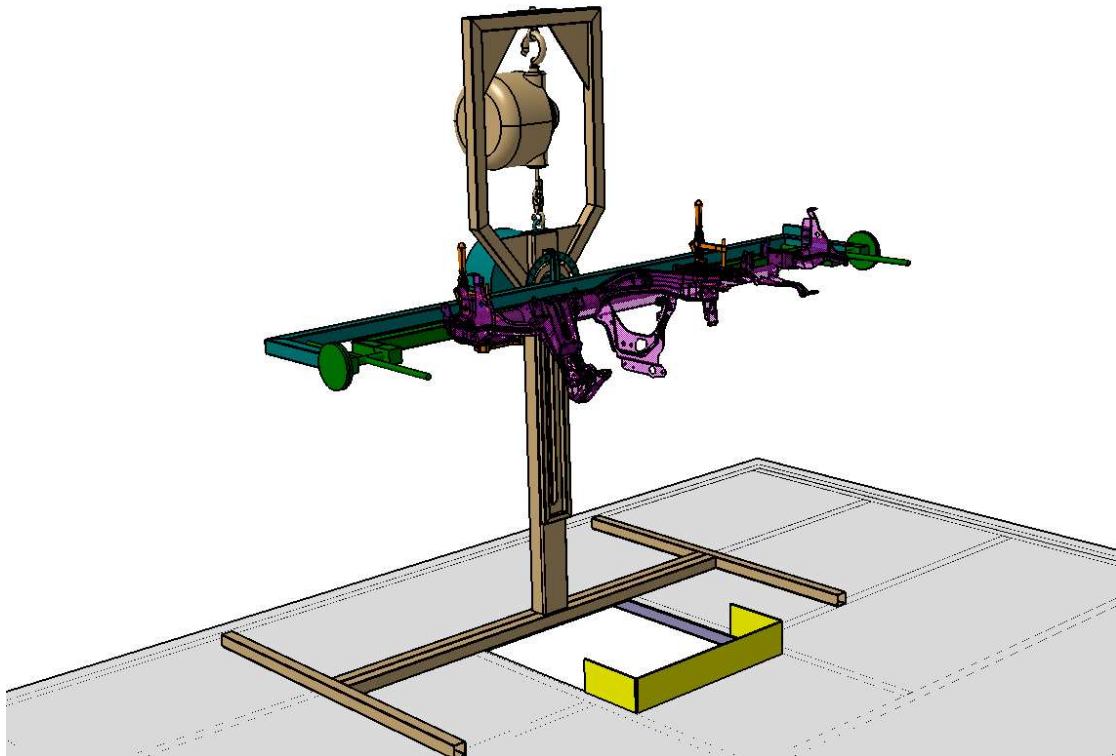
Výhody

- jednoduchost
- přístup svařovacího hořáku ke všem svarům
- vysoká životnost

Cenová kalkulace přípravku podle Konstrukčního návrhu č. 2 v sobě zahrnuje, stejně jako u Konstrukčního návrhu č. 1, náklady na materiál, zámečnické práce a náklady na práškové lakování a také na dopravu materiálu a přípravku. Kalkulovaná cena při externí výrobě tohoto přípravku je 18 600 Kč, jak je zřejmé z tabulky na obr. 44.

3.3.4 Konstrukční návrh č. 3

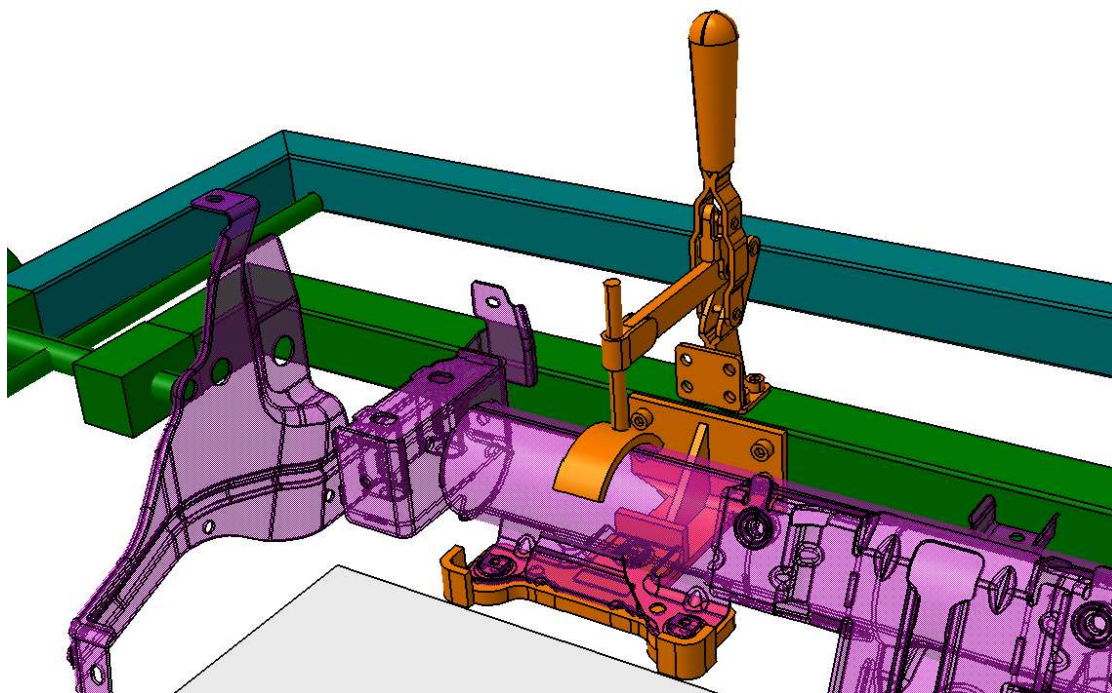
Konstrukční návrh č. 3 ukázaný na obr. 45 klade maximální důraz na komfort svářeče při svařování a také na možnost svařování v neoptimálnější poloze PA. Veškeré svary je možné provádět ve vzpřímeném postoji svářeče. To je umožněno polohováním ve dvou osách. V obou osách je aretace realizována stejným mechanismem jako na aktuální verzi přípravku. Dále přípravek umožňuje posuv centrálního nosiče ve svislém směru, aby byly svary na čelní straně nosiče při jeho naklopení do svislé polohy snadno dosažitelné (délka centrálního nosiče je přibližně 1500 mm, v případě uvedení nosiče do svislé polohy by tedy svařování konců nosiče muselo být prováděno minimálně v této výšce).



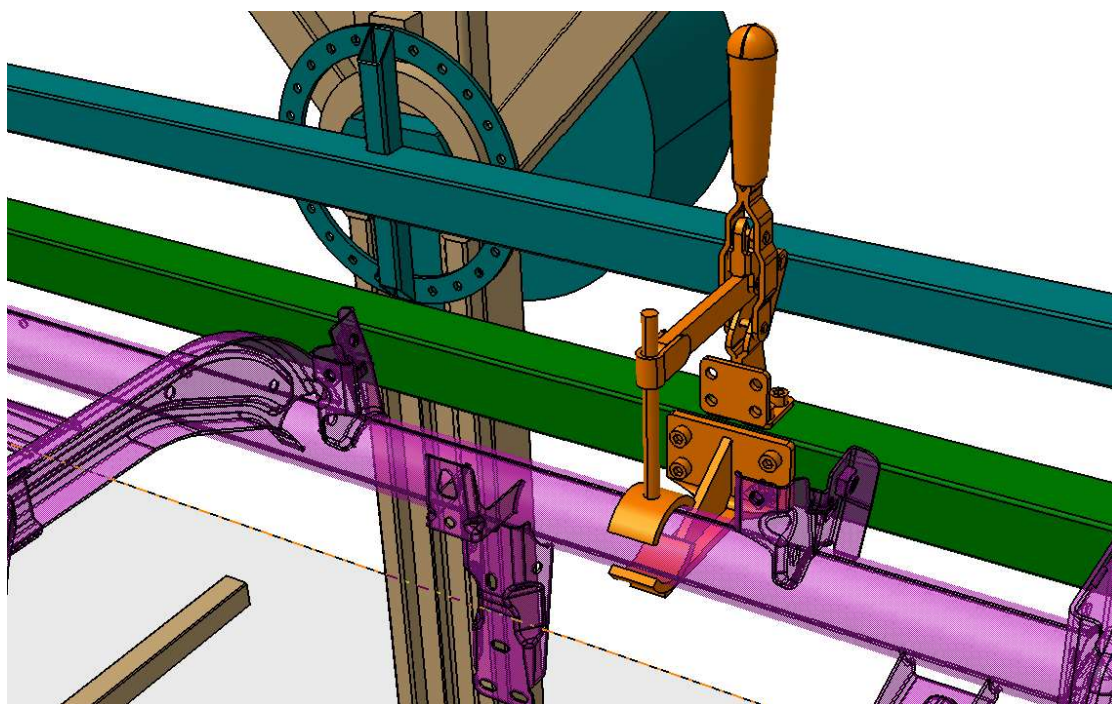
Obr. 45 Konstrukční návrh č. 3

Způsob upnutí je znázorněn na obr. 46 a obr. 47. Centrální nosič má po upnutí do přípravku 3 stupně volnosti (2x rotace, 1x translace), což bude komplikovat polohování, pravděpodobně bude nutné pro polohování výrobku používat obě ruce, zatímco všechny ostatní konstrukční návrhy počítají s jednoručním ovládním bez nutnosti odkládat svařovací hořák z druhé ruky. Translace centrálního nosiče ve svislém směru je možná jen pokud je natočen do svislé polohy. Mechanismus zajišťující tuto vlastnost přípravku je zobrazen

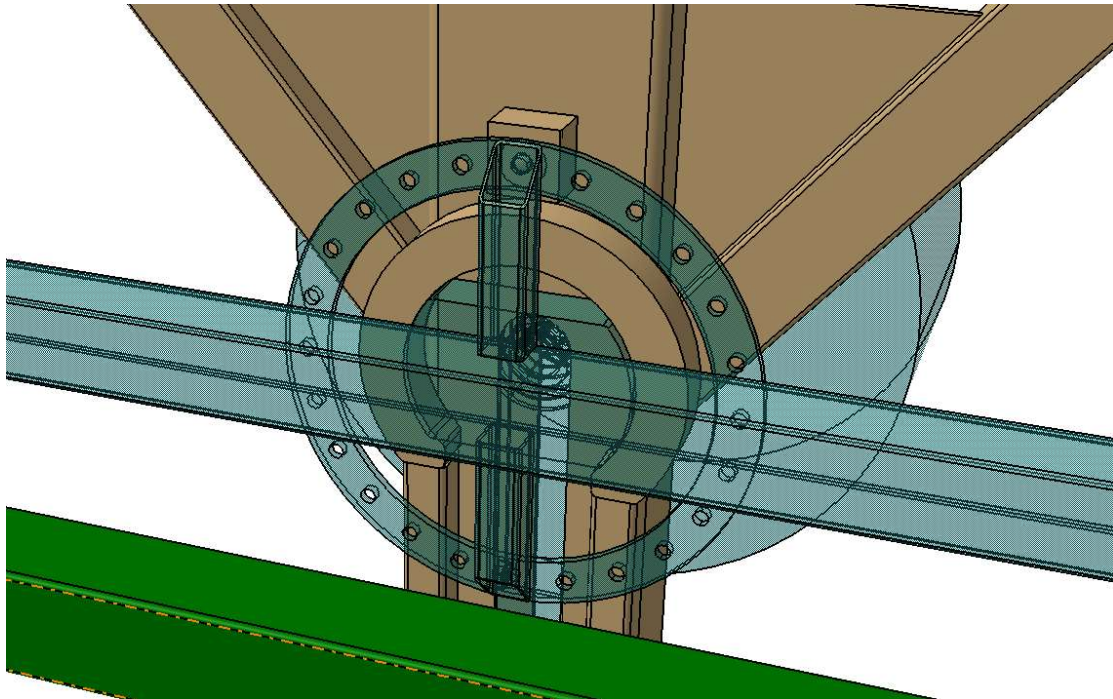
na obr. 48. Aby nedocházelo ke vzpříčení kamene ve svislém vedení vlivem nerovnoměrného zatížení, je kámen vyvažován protizávažím (obr. 49).



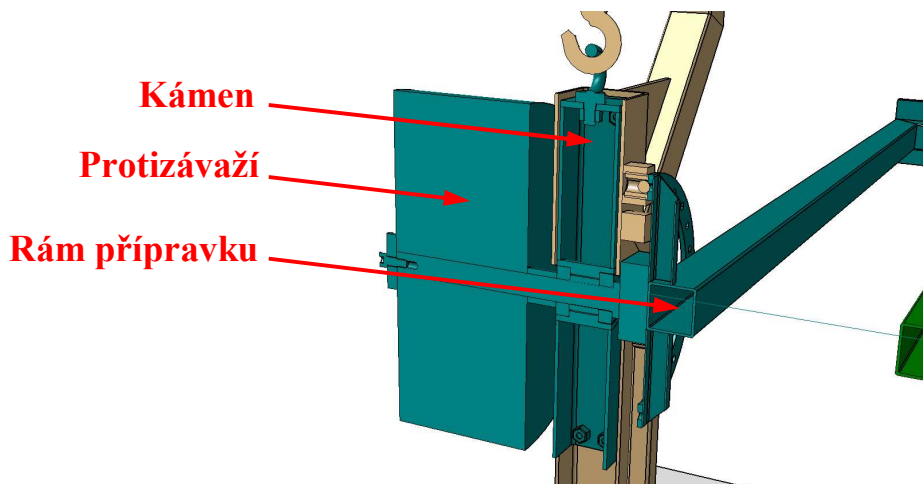
Obr. 46 Detail upínání



Obr. 47 Detail upínání



Obr. 48 Klopný mechanismus



Obr. 49 Řez mechanismem

Translace centrálního nosiče ve svislém směru lze vzhledem k jeho délce dosáhnout pouze tak, že se spodní část tyče dostane pod úroveň podlahy svařovacího pracoviště, proto je celé pracoviště umístěno na vyvýšeném podiu, které má v podlaze pod osou rotace centrálního nosiče otvor. Vyvýšením pracoviště vzniká problém s dodáváním výrobků do oblasti svařovacího pracoviště. Aby obsluha nemusela pro každý kontrolovaný kus slézat a následně vylézat několik schodů, bylo by nutné upravit stávající stojany na centrální nosiče tak, aby bylo možné odebírat kusy přímo z vyvýšeného pracoviště.

Pro snadné polohování ve svislé poloze je celá sestava svisle posuvných částí zavěšena na balancéru, který zajišťuje ovládání minimální silou.

Doba pro kontrolu na tomto přípravku bude rozhodně nejdelší ze všech návrhů, odhad je 270 sekund. Přístup ke svarům je stejný jako u Konstrukčního návrhu č. 1. Dále tento návrh jako jediný umožňuje svařování všech svarů v poloze PA.

Nevýhody

- komplikovaná konstrukce
- vyvýšené pracoviště
- složité polohování

Výhody

- svařování pouze v poloze PA
- ergonomická pozice pracovníka

Stejně jako u předchozích dvou návrhů vychází cenová kalkulace přípravku podle Konstrukčního návrhu č. 3 z nákladů na materiál, zámečnické práce, na práškové lakování a také na dopravu materiálu a přípravku. Kalkulovaná cena při externí výrobě tohoto přípravku je 77 300 Kč, jak je zřejmé z tabulky na obr. 50.

Ceny bez DPH		Cenová kalkulace - konstrukční návrh 3	
		kalkulace pro 1 ks	
		aretační mech. a upínku dodá fa Matador vlastní	
Materiál:	Jekl 40x40x2	48 m	4 320 Kč
	Plochá ocel 40x8	1 m	140 Kč
	Balancér 100-120 kg	1 ks	27 000 Kč
	Tyč pr. 16	3 m	270 Kč
	Al plech slizčkový 2000x1000	6 ks	11 600 Kč
	Spojovací materiál, ostatní hutní mat. do 1 m	-	1 200 Kč
	Materiál celkem:		
Zámečnické práce - kompletace		Pracovníků	hod.
	Řezání mat, začistění před svařováním	1	18,0
	Příprava mat. před svařováním, svařování	1	24,0
	Kompletace s upínkou a aretačním mechanismem, seřízení	1	8,0
	Instalace na místě svařovacího pracoviště	2	5,0
Zámečnické práce celkem:			30 000 Kč
Kooperace	Práškové lakování		2 300 Kč
Kooperace celkem:			2 300 Kč
Doprava		km	
	Svoz materiálu (Dodání)	40	280 Kč
		30	210 Kč
Doprava celkem:			490 Kč
Zakázka celkem:			77 320 Kč

Obr. 50 Cenová kalkulace Konstrukčního návrhu č. 3

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci experimentální části byly vypracovány 3 konstrukční návrhy, z nichž byl každý zaměřený na jedno z hodnotících kritérií:

- doba upínání
- přístup svařovacího hořáku ke svarům
- eliminace svařování ve vynucených polohách

Každý z konstrukčních návrhů byl zároveň posouzen i z hlediska finanční náročnosti na pořízení přípravku.

Konstrukční návrh č. 1

Tento návrh vychází ze stávajícího přípravku. Změna spočívá ve změně upínacího místa na centrálním nosiči, čímž dojde k výraznému usnadnění přístupu k problematickým místům na koncích centrálního nosiče, kde se dlouhodobě vyskytuje nejvíce vad. Tato varianta neřeší problém svařování ve vynucených polohách. Doba upnutí, kontroly a případné opravy je u této verze srovnatelná se stávajícím stavem. Na základě dlouhodobých zkušeností fy Matador s kontrolou a opravou centrálního nosiče hrozí nebezpečí zvýšené zmetkovitosti v důsledku nedostatečné kontroly operátorem. Tento problém je často následně řešen zařazením další kontroly, což vede ke zvýšení celkových finančních nákladů.

Konstrukční návrh č. 2

Konstrukční návrh č. 2 vyžaduje změnu uspořádání pracoviště a zásah do konstrukce kontrolního pracoviště. Varianta 2 předpokládá upnutí centrálního nosiče v místě nosných trubek, kde se nenachází svarové spoje a tím je usnadněná vizuální kontrola a přístup pro svařovací hořák. V důsledku absence tvarové fixace na trubce může dojít k protočení v přípravku (se zvyšujícím se opotřebením dosedacích ploch upínky by se riziko protočení neustále zvyšovalo). Problém s možným protočením centrálního nosiče v přípravku je řešen posuvnou tyčí zajišťující požadovanou polohu (obr. 42). Zvolený způsob fixace vykazuje velkou úhlovou vůli, která snižuje komfort operátora při polohování a případné opravě kontrolovaného dílu. V porovnání s Konstrukčním návrhem č. 1 umožňuje tato verze pohodlný přístup (vizuální i se svařovacím hořákem) ke všem kontrolovaným svarům.

Celková doba kontroly a případné opravy se předpokládá delší než u Konstrukčního návrhu č. 1. Průběh samotné kontroly lze vzhledem k pohodlnému přístupu ke všem svarům

očekávat kratší. Podobně jako u Konstrukčního návrhu č. 1 je i u tohoto návrhu nutné dále opravovat svary ve vynucených polohách se stejným nebezpečím.

Konstrukční návrh č. 3

Konstrukční návrh č. 3 řeší problematiku pracoviště v komplexním měřítku, kdy je brán zřetel na celý proces kontroly a opravy. Oproti předchozím návrhům se nejedná o částečný zásah do stávajícího pracoviště, ale o kompletní návrh nového pracoviště. Při návrhu byl kladen maximální důraz na ergonomii obsluhy pracoviště a výslednou kvalitu kontroly a opravy svarů. Z důvodu snadného přístupu ke všem svarům a umožnění svařování v nevynucených polohách bylo nutné přidat druhou osu rotace. Aby byla zajištěna stabilita centrálního nosiče při uvedení do svislé polohy, byla přidána druhá upínka. S ohledem na ergonomii pohybů obsluhy je nutné zajistit posun centrálního nosiče ve svislém směru. Tento požadavek je příčinou vyvýšení pracoviště nad úroveň podlahy. Nevýhodou Konstrukčního návrhu č. 3 jsou vysoké pořizovací náklady. Výhodami tohoto řešení spočívá ve svařování v poloze PA, což by mělo zefektivnit opravy svarů a snížit zmetkovitost oprav.

5 ZÁVĚR

V rámci řešení předkládané bakalářské práce byly vypracovány tři konstrukční návrhy zabývající se úpravou stávajícího pracoviště pro kontrolu a opravu centrálního nosiče palubní desky vozu Škoda Fabia. V návrzích byly zohledněny požadavky zadavatele fy Matador Automotive ČR, s.r.o., Liberec na dobu kontroly, snadný přístup ke svarům v průběhu kontroly a svařování v nevynucených polohách. Na základě osobních konzultací se zadavatelem v prostorách fy Matador Automotive ČR, s.r.o., Liberec byla zjištěna problematická slučitelnost všech třech kritérií do jednoho konstrukčního návrhu bez použití přídatné mechanizace. Tento případný návrh s použitím mechanizace byl ze strany zadavatele zamítnut. Při návrhu jednotlivých variant byla zohledňována všechna kritéria, ale pokaždé s jinou prioritou. Jak již bylo uvedeno v diskuzi výsledků, ekonomicky nejvýhodnější a technicky dostačující řešení nabízí Konstrukční návrh č. 1. Vzhledem k malým rozdílům v konstrukci těchto přípravků lze u tohoto návrhu předpokládat snadný přechod z aktuálního technického řešení.

Při posouzení celkových nákladů na proces kontroly a opravy centrálního nosiče se lze domnívat, že Konstrukční návrh č. 3 předkládá komplexní řešení jak z pohledu snadné kontroly tak i případné opravy a je tedy vysoký předpoklad výrazného snížení zmetkovitosti při jeho zavedení do výroby. Na základě těchto předpokladů je možné uvažovat, že finanční náklady související s delší dobou kontroly budou kompenzovány nižší zmetkovitostí.

Konstrukční návrh č. 2 představuje jistý mezistupeň mezi Konstrukčním návrhem č. 1 a Konstrukčním návrhem č. 3 a v případě uvažované inovace pracoviště ho doporučuji nezohledňovat.

Z praktického hlediska doporučuji provést úpravy pracoviště dle Konstrukčního návrhu č. 1 a vyhodnotit přínosy navrženého řešení. V případě neprokazatelných výsledků je u tohoto návrhu prakticky okamžitá možnost návratu k původnímu stavu.

LITERATURA

- [1] NOVÁK, Miroslav a Zdeněk NEKOLNÝ. *Svařování betonářských ocelí elektrickým obloukem a elektrickým odporem*. Pardubice: Dům techniky ČVTS, 1971. Knižnice svařování.
- [2] KUNCIPÁL A KOLEKTIV: *Teorie svařování*. Praha: SNTL, 1986.
- [3] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie a technologie svařování, svařovací stroje a zařízení*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1980.
- [4] IGOR PAOLETTI [online], [vyd. 14. října 2015]. Dostupné z: <http://igor.paoletti.free.fr/faq/faq-2.htm> .dne 24. 6. 2019
- [5] LIPPOLD, John C. *Welding metallurgy and weldability*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, [2015]. ISBN 9781118230701.
- [6] MORAVEC, Jaromír. *Vliv procesních parametrů na geometrii svarové lázně při svařování v ochranných atmosférách*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. ISBN 978-80-7372-805-2.
- [7] MEŠKO, J.; MIČIAN, M.: *Metódy hodnotenia stability horenia elektrického oblúka pri zvaraní v ochranných atmosférách*. Ocelové konstrukce, Poslední revize 17. 12. 2008 [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/metody-hodnotenia-stability-horenia-elektrickeho-obluka-pri-zvarani-v-ochrannych-atmosferach/> dne 24. 6. 2019
- [8] KUBÍČEK, J. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [9] KADLEC, Vladimír. *Svařování v ochranných atmosférách: příručka*. Pardubice: Dům techniky ČSVTS, 1989. ISBN 80-02-99387-X.
- [10] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [11] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Konstrukce robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7.
- [12] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.

- [13] NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výkres Konstrukčního návrhu č. 1

Příloha 2: Výkres Konstrukčního návrhu č. 2

Příloha 3: Výkres Konstrukčního návrhu č. 3