

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technologické a mechanické vlastnosti svarového spoje tlustých plechů

Autor: **Marcela ŠTĚRBOVÁ**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan KALOUS, CSc., IWE**

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: 28. 6. 2013

.....

podpis autora

Poděkování

U příležitosti odevzdání mé bakalářské práce děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Janu Kalousovi, CSc. IWE za jeho cenné rady a připomínky v průběhu tvorby bakalářské práce. Pracovníkům firmy TS Plzeň, a. s. Ing. Zdeňku Novému, EWE a Ing. Jaroslavu Kraftovi, EWE děkuji za jejich rady, ochotu, čas a informace při řešení praktické části bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům katedry materiálu a strojírenské metalurgie za předávání teoretických a praktických zkušeností během mého studia, paní Evě Hájkové a doc. RNDr. Dagmar Jandové, Ph.D. za pomoc při provádění experimentálních zkoušek.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za podporu v celém průběhu mého studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Štěrbová	Jméno Marcela	
STUDIJNÍ OBOR	„Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Kalous, CSc., IWE	Jméno Jan	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KMM		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Technologické a mechanické vlastnosti svarového spoje tlustých plechů		

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2013
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	24	GRAFICKÁ ČÁST	23
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato bakalářská práce se zabývá technologickými a mechanickými vlastnostmi svarového spoje tlustých plechů na horní komoře vulkanizačního lisu. Původní technologie svařování je nahrazena technologií produktivnější. V experimentální části je provedeno svaření kontrolního vzorku, vypracování WPS, experimentální zkoušky svarového spoje a ekonomické hodnocení původní a navržené technologie svařování.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Svařování, metody a technologie svařování, mechanické a technologické vlastnosti svarového spoje, WPS, experimentální zkoušky, ekonomické hodnocení technologií.

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Štěrbová	Name Marcela
FIELD OF STUDY	„Materials Engineering and Engineering Metallurgy“	
SUPERVISOR	Surname (InclusiveofDegrees) doc. Ing. Kalous, CSc., IWE	Name Jan
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Technological and mechanical properties of weld joint of thick plate.	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	24	GRAPHICAL PART	23
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the technological and mechanical properties of weld joint of thick plate on the upper Chamber of the vulkanizing press and design a new Welding Technology. The original technology of a Welding Technology is replaced by more productive something technology. The experimental part of this thesis is carried out a Welding control, development of WPS, experimental tests of weld joint and economic evaluation of the original and the proposed technology of welding.
KEY WORDS	Welding Methods and Technology, Welding, Mechanical and Technological Properties of Weld Joint, WPS, Experimental Trials, Economic evaluation of the technology.

Obsah

0 Úvod	3
0.1 Úvod do řešené problematiky	3
0.2 Profil společnosti TS Plzeň, a. s.	4
0.3 Technický popis vulkanizačního lisu	5
0.4 Technický popis komory	5
0.5 Základní pojmy ze svařování	6
0.5.1 Svařování	6
0.5.2 Druhy svarových spojů a svarů	6
0.5.3 Svařitelnost kovů	8
0.5.4 Přídavné materiály	8
0.5.5. Ochranné plyny	9
0.5.6 Svařovací zdroje	10
0.5.7 Kontrola a zkoušení jakosti svarových spojů	10
0.5.8 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	11
1 Charakteristika problémů a důvody řešení	12
1.1 Podrobné údaje ke svařování	12
1.2 Tvar a rozměry svarového spoje	13
1.3 Zkoušky svarového spoje	14
2 Návrh technologie svařování včetně vypracování WPS	16
2.1 Technologie svařování TS Plzeň, a. s.	16
2.2 Stručný popis jednotlivých technologií	16
2.2.1 Metoda 111	16
2.2.2 Metoda 121	17
2.2.3 Metoda 131	18
2.2.4 Metoda 135	19
2.2.5 Metoda 141	19
2.2.6 Metoda 311	20
3 Svaření a experimentální vyhodnocení kontrolního svarového spoje	22
3.1 Makrostruktura svarového spoje	22
3.2 Mikrostruktura svarového spoje	24
3.3 Průběh tvrdosti	31
3.4 Vizuální kontrola	36
3.5 Zkouška ultrazvukem	37
3.6 Kapilární zkouška	38
3.7 Postup svařování	39
4 Ekonomické hodnocení	41
5 Závěr	45
Seznam použitých zkratk a symbolů	46
Seznam použité literatury	47

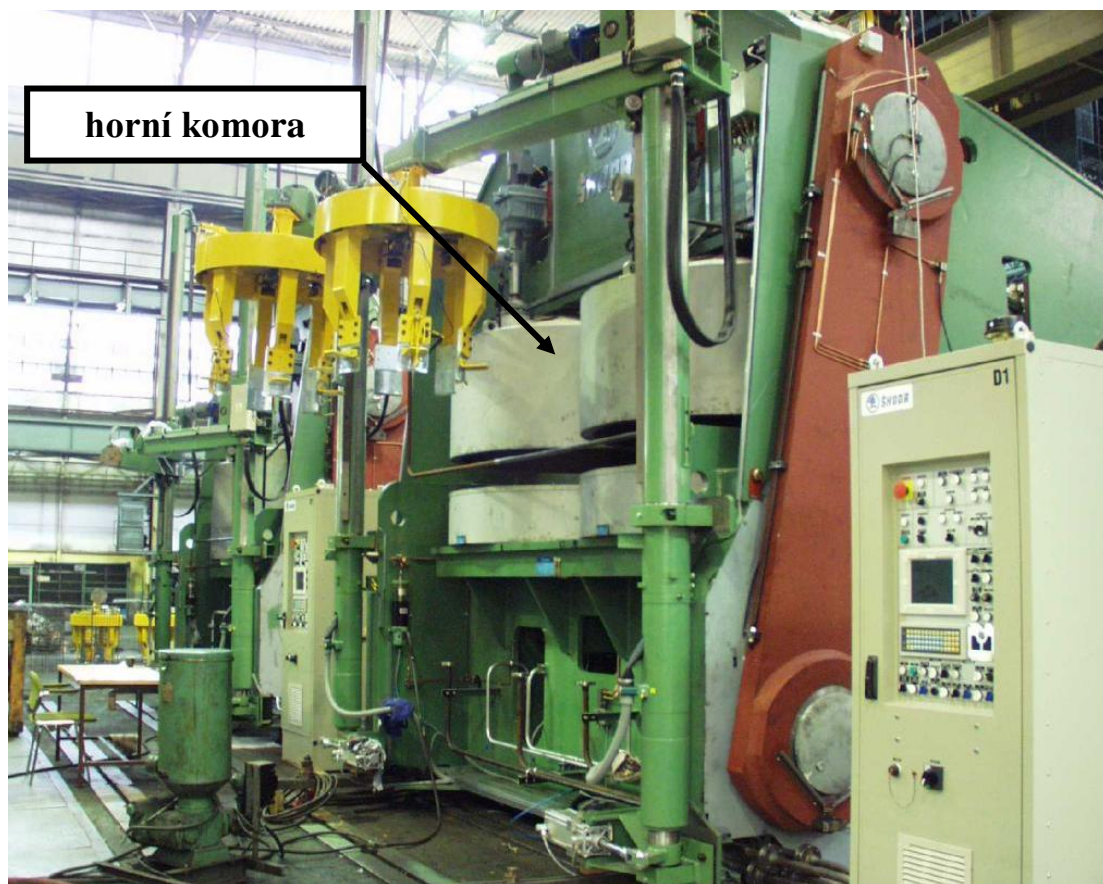
0 Úvod

Tématem bakalářské práce jsou technologické a mechanické vlastnosti svarového spoje tlustých plechů na horní komoře vulkanizačního lisu. Zadavatelem této práce je TS Plzeň, a.s. Tato společnost se zabývá komplexními službami v oblastech zařízení pro třtinové cukrovary, dodává kompletní mlýnské stanice, jednotlivé provozní soubory i samostatné stroje. Dalším odvětvím společnosti jsou hydraulické kovací, vytlačovací a speciální lisy, které najdou své uplatnění v těžkých kovárenských provozech, lisovnách mědi, hliníku, případně oceli, potravinářském průmyslu a stavebnictví a dalším neméně důležitým odvětvím jsou dodávky zařízení pro válcovny ocelí a neželezných kovů. Jde o dodávky nových válcovacích tratí, úpravárenských linek, nových strojů, náhradních dílů nebo o modernizaci a rekonstrukci již stávajících válcovacích tratí, vstupních a výstupních úseků úpravárenských linek. Posledním a pro tuto bakalářskou práci nejdůležitějším odvětvím jsou vulkanizační lisy. Jedná se zejména o vulkanizační lisy pro výrobu autoplášťů pro automobily, traktory a stavební stroje.

0.1 Úvod do řešené problematiky

V současné době roste v celosvětovém měřítku produkce osobních i nákladních automobilů a tím produkce po pneumatikách. S rychlým rozvojem tržní ekonomiky ve střední Evropě se stále zvyšuje podíl přepravovaného zboží po silnicích v rámci vnitrostátní i mezinárodní dopravy, což způsobuje další nárůst poptávky po pneumatikách. Vzniká tak konkurence mezi výrobci automobilových pneumatik. Tyto faktory nutí výrobce pneumatik u nás i ve světě modernizovat a automatizovat stávající výrobní úseky nebo zřizovat zcela nové provozy na jejich výrobu. Momentálně dochází ke stagnaci tohoto trendu z důvodu světové ekonomické krize.

Vulkanizační lisy (obr. 0-1) pro výrobu pneumatik, zejména na nákladní automobily, traktory a stavební stroje jsou v závodě TS Plzeň, a.s. jedním ze základních a důležitých článků ve výrobním procesu. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně lisu se výrobci pneumatik rozhodují pro vulkanizační lis s nejmenší cenou, nejmenšími provozními náklady, největší produktivitou bez velkých vedlejších strojních časů, největším stupněm automatizace a nejmenší poruchovostí. Aby výrobci vulkanizačních lisů obstáli v konkurenčním boji, musí se těmto požadavkům přizpůsobit i firma TS Plzeň, a. s. - divize vulkanizační lisy. Proto je snaha výrobní proces co nejvíce zautomatizovat a tím dosáhnout vyšší produktivity.



Obr. 0-1 Vulkanizační lis VL 63,5“(dvoukomorové provedení) [1]

0.2 Profil společnosti TS Plzeň, a. s.

TS Plzeň, a. s. je jedním z největších podniků těžkého strojírenství v České republice a od roku 1859 produkuje kvalitní strojírenské výrobky, které vyváží do celého světa.

Svým zákazníkům poskytuje kompletní spektrum služeb, od poradenství a úvodních studií až vypracování technické dokumentace, výrobu, dodávky, montáže a uvedení dodaného zařízení do provozu. Věnuje maximální pozornost na zajištění nejvyšší kvality svých výrobků. Od roku 1995 je držitelem certifikace systému řízení jakosti ISO 9001. Poslední recertifikační audit proběhl v tomto podniku v roce 2012 a byl vydán certifikát s platností do roku 2015.

Vysoce kvalifikovaný a zkušený tým techniků a komerčních pracovníků navrhuje a realizuje nejefektivnější řešení, založená na nejmodernějších technologiích a výsledcích výzkumu a vývoje s cílem poskytnout zákazníkům vysoký výkon, produktivitu a požadované investice návratnosti parametrů. Vysoká odbornost těchto pracovníků se projevuje při aplikaci projektů "na klíč". Tradice, mnoholeté zkušenosti, znalosti gumárenské technologie – to jsou základní faktory umožňující firmě TS Plzeň, a. s. zajistit špičkovou úroveň vulkanizačních lisů [1].

Výrobní program TS Plzeň, a. s.

- ◆ Cukrovary – zařízení pro třtinové cukrovary
- ◆ Hydraulické lisы – hydraulické lisы kovací, vytlačovací a speciální
- ◆ Vulkanizační lisы – výroba lisů pro pneu nákladních automobilů, traktorů a stavebních strojů
- ◆ Válcovny – dodávky zařízení pro válcovny ocelí a neželezných kovů [1]

0.3 Technický popis vulkanizačního lisu 63,5“

Vulkanizační lis 63,5“ (obr. 0-1) je dvoukomorový membránový lis pro formování a vulkanizaci diagonálních a radiálních pneumatik zejména pro nákladní automobily, traktory a stavební stroje. Celkové uspořádání lisu, konstrukční řešení funkčních skupin a volba ovládacích systémů odpovídá jak současným, tak i perspektivním požadavkům technologie výroby pneumatik.

Spodní části komor jsou přišroubovány k rámu lisu a horní části komor jsou připevněny k příčniku. Zvedání a sklápění horních částí parních komor je řešeno kulisovým systémem prostřednictvím táhel a excentrů. Pohon lisu je elektromotorem přes šnekovou převodovku a systém ozubených kol. Šnekový převod zajišťuje statickou samosvornost mechanismu. Ostatní pohybové mechanismy – válec řízení membrány, ovládání segmentových forem, vytrhávání a zvedání autoplášťů – jsou ovládány hydraulicky.

Výroba horní a dolní části komor je provedena v souladu s nejnovějšími standardy EU. Lis je vybaven elektromotorickým stavěním horní nosné desky pro nastavení požadované výšky formy a svěrné síly. Elektromechanický převaděč snímá aktuální velikost svěrné síly a je napojen na řídicí systém. Lis je vybaven odsáváním kondenzátu z parních komor a z horního kroužku membrány. Centrální systém automatického tukového mazání je nedílnou součástí lisu. Jak horní tak dolní komora je izolována od konstrukce lisu. Hydraulické válce mechanismů lisu jsou ovládány vodou o tlaku 1,8 – 2,0 MPa [1].

Náhodnému otevření lisu během vulkanizačního procesu je zamezeno těmito způsoby:

- ◆ mechanicky (excentrické sevření lisu)
- ◆ přerušením ovládání přívodu vzduchu
- ◆ koncovými spínači
- ◆ příslušným softwarem

Všechny elektricky řízené bezpečnostní systémy jsou napojeny na automatický řídicí systém lisu. Ovládací panel lisu je vybaven tlačítkem nouzového zastavení chodu lisu. Lis je vybaven vizuálním a zvukovým signalizačním systémem pro běžné a vynucené zastavení [1].

0.4 Technický popis komory (výkres č. TS 001 701c)

Komora lisu je zařízení umožňující vnější ohřev formy pneumatik párou. Tlak a teplota páry uvnitř komor jsou regulovány s vysokou přesností $\pm 2^\circ \text{C}$. Jsou konstruovány a vyráběny jako tlakové nádoby s certifikátem na bezpečnost obsluhy dle EU a tepelně izolovány tlakovými

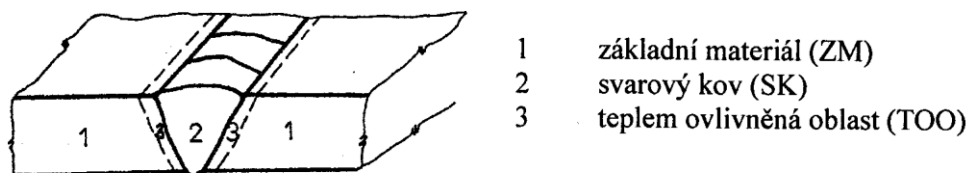
izolačními deskami pod a nad komorou a izolační sklokeramickou vatou zakrytovanou plechovým opláštěním kolem obvodu komor [1].

0.5 Základní pojmy ze svařování

0.5.1 Svařování

Svařování je výrobní proces zhotovování nerozebíratelných svarových spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci. Svařovat lze kovové i nekovové materiály, materiály podobných i různých vlastností. Pro různé typy spojů a materiálů jsou vhodné jiné metody svařování. Při svařování dojde vždy ke změně vlastností základního materiálu (fyzikální, mechanické, technologické) v okolí svarového spoje. V zásadě je jedná o dva způsoby svařování:

- ◆ svařování tavné - vykonávané místním ztavením spojovaných částí bez použití tlaku
- ◆ svařování s použitím tlaku – při něm je k dokonalému svaření dílů tlak nevyhnutelný



Obr. 0-2 Schéma svarového spoje provedeného tavným svařováním [2]

Svar je část svarového spoje, vytvořená v důsledku krystalizace roztaveného kovu (tavné svařování) nebo plastické deformace (svařování s použitím tlaku).

Teplem ovlivněná oblast (TOO) je část základního materiálu (ZM), která nebyla roztavená, ale její struktura a vlastnosti se změnily v důsledku ohřevu při tavném svařování – obr. 0-2.

Při svařování dojde ke spojení dvou nebo více základních materiálů a vznikne svarový spoj. K vytvoření svarového spoje se buď použije nebo nepoužije přídavný materiál (obalená elektroda, plný drát a ochranný plyn). Přídavný materiál je při přechodu do svarové lázně roztaven, mísí se s roztaveným základním materiálem a po ztuhnutí vytváří svarový spoj [2].

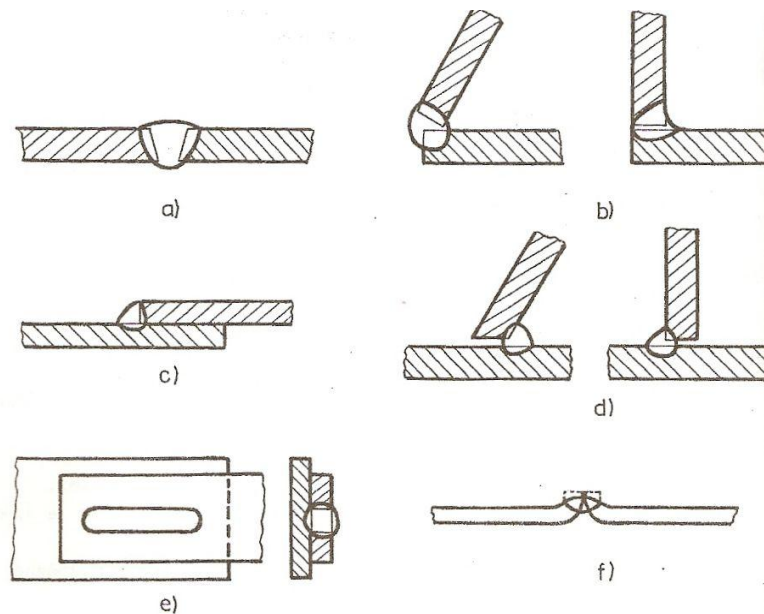
0.5.2 Druhy svarových spojů a svarů

Podle možné vzájemné polohy svařovaných dílů jsou v zásadě možné čtyři základní typy svarových spojů (obr. 0-3):

- ◆ tupý spoj – svařované díly jsou spojeny čelními plochami
- ◆ rohový a koutový spoj – svařované díly jsou umístěny pod úhlem a jsou spojeny v místě jejich okrajů
- ◆ přeplátovaný spoj – svařované díly jsou umístěny souběžně a částečně se překrývají
- ◆ spoj T – čelo jednoho dílu se přivařuje pod úhlem na povrch druhého dílu [2]

U svařovaných konstrukcí se někdy používá kombinace uvedených typů svařových spojů. V praxi se častěji hovoří o svaru.

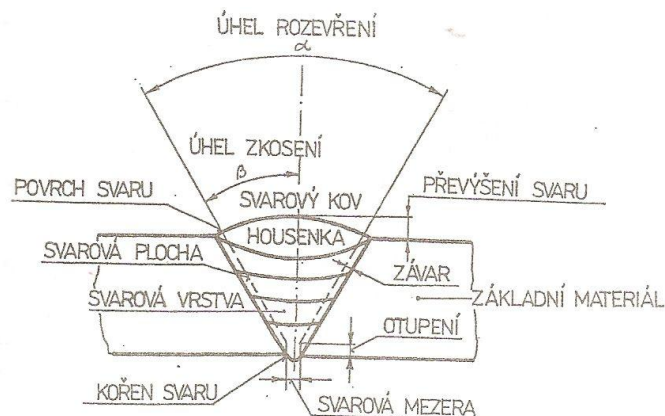
- ◆ Tupý svar – svar tupého spoje, který může mít tvar I, U, V, W nebo poloviční V, U, W.
- ◆ Koutový svar – svar rohového, přeplátovaného nebo T spoje. Podle umístění na svařované konstrukci se koutové svary dělí na jednostranné a oboustranné.
- ◆ Bodový svar – svar, kterým se svařované díly spojí v jednotlivých bodech. Uplatňuje se zejména při odporovém svařování.
- ◆ Lemový svar – vznikne roztavením olemovaných okrajů svařovaných tenkých plechů, mnohdy bez použití přídavného materiálu.
- ◆ Děrový svar – svar vyplní otvor připravený v jednom ze svařovaných dílů [2].



a) tupý spoj, tupý svar	b) rohový spoj, rohový svar	c) přeplátovaný spoj, koutový svar
d) spoj T, koutový svar	e) děrový nebo žlábkový svar	f) lemový svar

Obr. 0-3 Příklady svařových spojů a svarů [2]

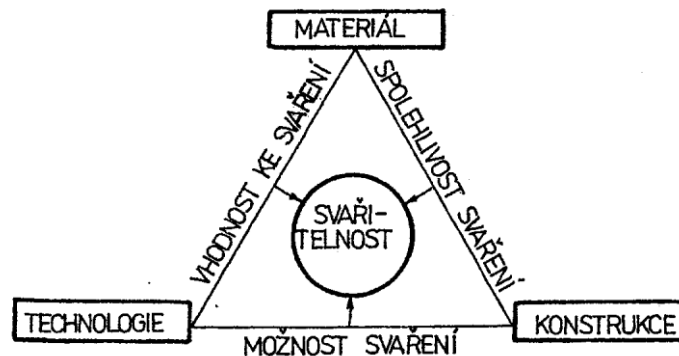
Terminologie svařových spojů a svarů je normalizována – obr. 0-4.



Obr. 0-4 Názvosloví tavného tupého svaru [2]

0.5.3 Svařitelnost kovů

Svařitelnost je komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu vytvořit svarový spoj nebo návar požadovaných vlastností při určitých metalurgických, konstrukčních a technologických možnostech s cílem dosažení jeho předepsané jakosti, spolehlivosti a životnosti. Jednotlivé vlivy působící na svařitelnost udává obr. 0-5.



Obr. 0-5 Vlivy působící na svařitelnost [2]

- ◆ Svařitelnost metalurgická – vhodnost kovu ke svařování. Zabezpečuje ji:
 - chemické složení základního a přídavného materiálu
 - jakost a čistota hutních surovin, metalurgický způsob výroby, způsob a stupeň desoxidace oceli
 - způsob lití a tváření polotovarů pro svařování
 - tepelné zpracování (zajistí před svařením optimální pevnost a houževnatost a vyrovná nerovnoměrnosti ve struktuře a sníží vnitřní napětí)

- ◆ Svařitelnost konstrukční – konstrukční spolehlivost svarového spoje. Zabezpečuje ji:
 - tloušťka materiálu
 - tvar svaru a svarových ploch
 - tuhost svarového spoje
 - rozložení a počet svarů

- ◆ Svařitelnost technologická – technologická možnost svařování. Zabezpečuje ji:
 - způsob svařování
 - přídavný materiál
 - měrný tepelný příkon svařování
 - postup svařování
 - předehřev před svařením, dohřev a tepelné zpracování svařence [2]

0.5.4 Přídavný materiál

Přídavný materiál (PM) se používá pro vyplnění svarové mezery. Bývá ve formě svařovacího drátu v závislosti na tloušťce svařovaného materiálu. Pro metody obloukového svařování se používají PM ve formě plného drátu a plněného drátu (trubičkové dráty). Dráty jsou navinuty na drátěných nebo plastových cívkách [3].

◆ Elektrody

Nejčastěji používáme tavné elektrody (obr. 0-6). Ty mohou být obalené - používané pro stejnosměrný i střídavý proud nebo se používají holé tavné elektrody, trubičkové elektrody – svařovací dráty pouze pro svařování v ochranné atmosféře nebo pod tavidlem. Poslední možností jsou netavné elektrody – uhlíkové nebo wolframové, které slouží jen jako prostředek k vytvoření oblouku a neslouží k vytvoření svarového kovu. Rozhodující vliv na jakost svaru při ručním svařování má průměr elektrody, svařovací proud, délka oblouku a rychlost svařování [3].

Správné skladování a sušení elektrod se odráží na kvalitě svarového kovu. Elektrody se skladují v suchých a dobře větraných prostorách a v původních neporušených obalech s nejnižší dovolenou teplotou skladování +10°C a maximální relativní vlhkostí 50%. Navlhle elektrody je nutno vysušovat dle doporučení výrobce [4].



Obr. 0-6 Obalené elektrody [5]

0.5.5 Ochranné plyny

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Ochranné plyny mají také významný vliv na:

- ◆ typ přenosu kovu v oblouku
- ◆ přenos tepelné energie do svaru
- ◆ chování tavné lázně
- ◆ hloubku závaru
- ◆ rychlost svařování.

Při volbě ochranného plynu spolurozhodují technické a ekonomické ukazatele. V současné době jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem, které přinášejí řadu výhod:

- ◆ minimální tvorba strusky
- ◆ malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody

- ◆ lepší vzhled povrchu svaru
- ◆ velmi dobrý profil svaru a hluboký závar
- ◆ plynulý přechod svaru do ZM
- ◆ malá TOO při vysokých rychlostech svařování
- ◆ možnost použití sprchového přenosu kovu v oblouku [3].

Při svařování metodou MIG/MAG se používají technické plyny: argon (Ar), oxid uhličitý (CO₂), helium (He), kyslík (O₂) a jejich směsi.

Při řešení bakalářské práce (viz WPS), při svařování metodou MAG, byl použit nejběžnější směsný plyn ve složení Ar+8 až 25% CO₂ (M21 dle ČSN EN ISO 14175). Je nákladnější než CO₂, ale poskytuje klidnější a měkčí hoření oblouku, lepší vzhled svarové housenky a nižší rozstřík svarového kovu. Použití směsného plynu zvyšuje hodnoty vrubové houževnatosti svarového kovu [24].

0.5.6 Svařovací zdroje

Svařovací zdroj je nezbytnou součástí při svařování elektrickým obloukem, která dodává elektrickou energii požadovaných vlastností pro jeho zapálení a stabilní hoření.

Hlavní požadavky na svařovací zdroje:

- ◆ Umožnění regulace elektrického napětí a elektrického proudu
- ◆ Odolnost při vzniku krátkodobých zkratů
- ◆ Stálost výkonu
- ◆ Dostatečná účinnost

Svařovací zdroje mohou dodávat stejnosměrný proud - DC (svařovací dynama), usměrněný proud (svařovací usměrňovače, inventory), střídavý proud - AC (svařovací transformátory) [3].

0.5.7 Kontrola a zkoušení jakosti svarových spojů

Ověřování jakosti svarů je důležitou činností. Některé konstrukce vyžadují 100% kontrolu svarů. Provádí se tyto kontroly:

- ◆ Před svařováním – nutno provést posouzení konstrukčního návrhu a technických podkladů svařované konstrukce, svařitelnosti základního materiálu, volbu přídatného materiálu, kontrolu přípravy svaru – úkosy, slícování, apod.
- ◆ Během svařování – nutno provést odborný dílenský dozor zaměřený na dodržení předehřevu, svařovacích parametrů – průměru elektrod, svařovacího proudu, provedení namátkové kontroly svarů, apod.

- ◆ Po svařování – rozměrová a vizuální kontrola svarů, čistota svarů – odstranění rozstříku, zkoušky mechanických vlastností svarových spojů, metalografické, technologické a defektoskopické zkoušky svarů [3].

0.5.8 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Svařování patří mezi práce se zvýšeným nebezpečím, to znamená, že při nich hrozí větší nebezpečí úrazu – popálením, elektrickým proudem, otravou, zadušením, poškozením zraku a trvalého poškození zdraví, požáru, výbuchu a jiná nebezpečí než při jiných činnostech. Je třeba při svářečských pracích používat předepsané ochranné pracovní prostředky [3].

Důležité aspekty pro bezpečnost a ochranu zdraví svářečů:

- ◆ Povinnosti zaměstnavatele

Povinností zaměstnavatele je zajistit, aby svářečská pracoviště vyhovovala po všech stránkách bezpečnostním a hygienickým předpisům, tj. musí zabezpečit dobré klimatické podmínky svářečských pracovišť, oddělení svářečských boxů pevnými nebo přenosnými ochrannými kryty, vybavení svářečských boxů odsáváním exhalátorů, správné osvětlení, pravidelné prohlídky, údržbu a opravy svařovacích agregátů, bezpečnostní označení pracovišť, poskytnout svářečům odpovídající periodické preventivní lékařské prohlídky [3].

- ◆ Způsobilost svářeče

Svařovat může jen osoba způsobilá pro tuto práci, to znamená, že má platný průkaz svářeče. Pro získání průkazu svářeče platí norma ČSN EN 287 (ČSN 050705). Zaměstnavatel je povinen vést evidenci osob s platným svářečským oprávněním v rámci své organizace a na požádání kontrolních orgánů státní správy (inspektorátu bezpečnosti práce) tento seznam včetně oprávnění předložit ke kontrole. Průkazy svářeče jsou celostátně evidovány [3].

1 Charakteristika problému a důvody řešení

1.1 Podrobné údaje ke svařování

Pro svařování byla předepsána metoda 111 [11]. Základní materiál (ZM) je uhlíková ocel S 355 (11523) a její specifikace je v tab. 1-2. Přídavný materiál (PM) byl použit od firmy ESAB E-B121 (bazická elektroda). Parametry svařování jsou uvedeny v tab. 1-3 [1]. S ohledem na tloušťku a chemické složení (tab. 1-1) byla teplota přehřevu 180°C. Přehřev byl proveden hořáky acetylen – vzduch (centrální rozvod) od firmy Linde.

Chemické složení:

Ocel	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Nb [%]
S355	0,20	0,50	0,90-1,65	0,030	0,025	0,05

Tabulka 1-1 Chemické složení oceli [6]

Základní materiál:

S	355	J2	G3	N
oceli pro ocelové konstrukce	min. mez kluzu (Re) [MPa]	nárazová práce [J] 27J zkušební teplota [°C] J2 -20	uklidněná ocel	normalizačně válcováno nebo normalizačně žháno

Tabulka 1-2 Specifikace základního materiálu [6]

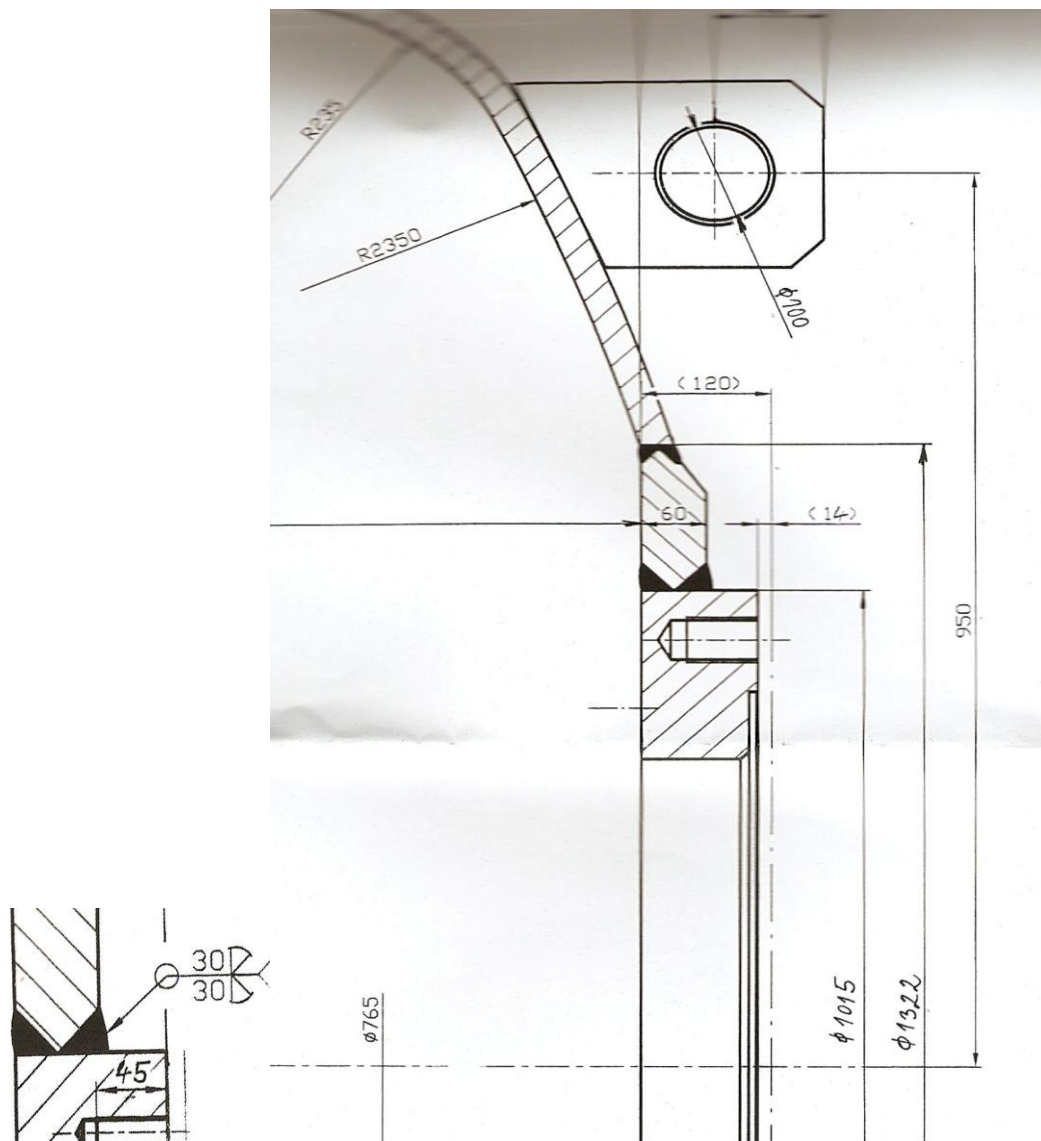
Parametry:

Housenka [číslo]	Proces	Průměr před. drátu [mm]	Proud [A]	Druh proudu
1 – 2	111	2,5	85 – 95	DC + =
3 – 6	111	3,2	95 – 110	DC + =

Tabulka 1-3 Parametry svařování [1]

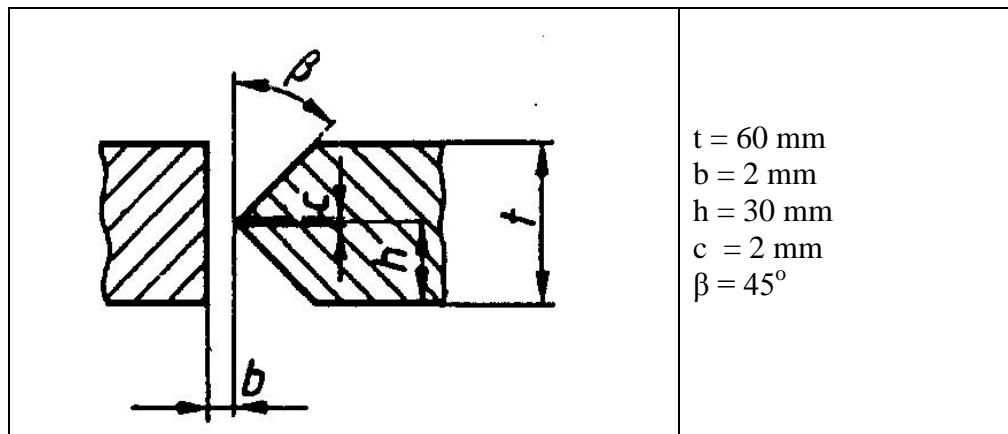
1.2 Tvar a rozměry svarového spoje komory

Detail svaru z výkresu (KOMORA HORNÍ Ts 001 701 c) je na obr. 1-1.



Obr. 1-1 Detail svaru [1]

Svar je navržen konstruktérem jako (tupý) oboustranný převýšený $\frac{1}{2}$ V – svar nebo-li převýšený K–svar a svaření metodou 111 (ruční svařování obalenou elektrodou). Rozměry svaru jsou uvedeny na obr. 1 -2; na obr. 1-3 je doporučení dle normy [7].



Obr. 1-2 Tvar svarové plochy dle ČSN EN 29692[7]

Rozměry v mm

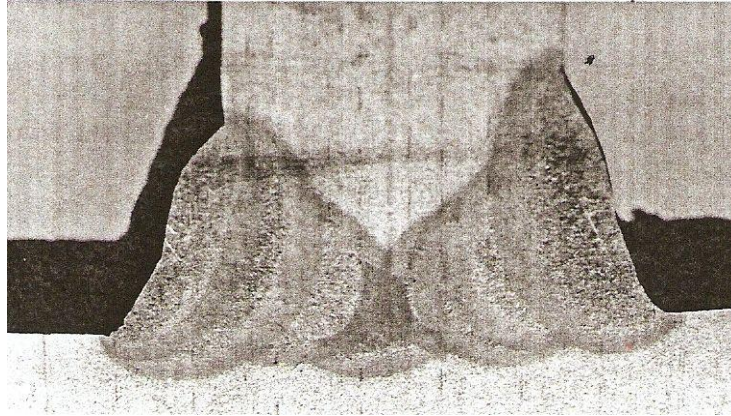
Číslo	Svar				Zobrazení	Řez	Tvar svarové plochy				Doporučená metoda svařování ³⁾ (Podle ISO 4063)	Poznámka
	Tloušťka materiálu t	Pojmenování svaru	Značka (podle ISO 2553)	Úhel ¹⁾ α, β			Rozměry			Výška úkosu h		
							Mezera b	Otupení c				
2.4.4	$t > 10$	Oboustranný $\frac{1}{2}$ V - svar (K - svar)	K	$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$c \leq 2$	$h = \frac{t}{2}$ nebo $h = \frac{t}{3}$	111 131 135 141	Tento tvar svarové plochy může být i nesymetrický, podobně jako oboustranný V - svar			

Obr. 1-3 Tvary a rozměry svarových ploch dle ČSN EN 29692 [7]

1.3 Zkoušky svarového spoje

Konstruktor předepsal a byly provedeny následující zkoušky svarového spoje.

- ◆ Makrostruktura svarového spoje – obr. 1-4
Bylo provedeno posouzení svarového spoje. Na svarovém spoji nebyly zjištěny žádné nečistosti ani jiné vady.



Obr. 1-4 K-svar

- ◆ Zkouška tvrdosti dle Vickerse HV10 ČSN ISO 6507-1 [8]
ZM: 142 – 157 HV
TOO: 148 – 172 HV
Svarový kov: 179 – 205 HV
Hodnoty vyhovují.

- ◆ Vizuální kontrola dle ČSN EN 25817 [9]
Vizuální kontrolou nebyly zjištěny žádné nepřipustné indikace.

- ◆ Kapilární zkouška dle ČSN 01 5016 [10] – 100%
Nebyly zjištěny žádné nečelistvosti.

2 Návrh technologie svařování včetně vypracování WPS

Mým úkolem a cílem bakalářské práce je nahradit stávající technologii svařování 111 - ruční obloukové svařování obalenou elektrodou. Navrhuji tuto technologii nahradit technologií produktivní, tj. použít technologii poloautomatického svařování 135 (MAG) [11].

Variantní řešení problematiky

Varianty řešení této bakalářské práce vychází z technologického vybavení pro svařování v závodě TS Plzeň, a.s.[1]

2.1 Technologie svařování TS Plzeň, a. s.

- ◆ 111 - ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
- ◆ 121 - automatické svařování pod tavidlem
- ◆ 131(MIG) - poloautomatické svařování v ochranné atmosféře inertního plynu
- ◆ 135(MAG) - poloautomatické svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu
- ◆ 141(WIG/TIG) - poloautomatické svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
- ◆ 311(kyslík - acetylen) - svařování plamenem [11]

2.2 Stručný popis jednotlivých technologií

2.2.1 Metoda 111 (Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou)

Obloukové svařování využívá k natavení základního materiálu elektrický oblouk (obr. 2-1). Ten hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem a roztaví kov elektrody i základní materiál. Roztavený kov elektrody přechází sloupcem oblouku do tavné lázně a promíšením tohoto přídatného materiálu a nataveného základního materiálu vzniká svarový spoj.

Používané elektrody se skládají z kovového jádra a obalu. Liší se nejen průměrem, tloušťkou nalisovaného obalu, ale především druhem obalu [12].

Úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do tavné lázně některé přídatné prvky (Cr, Ni, Mo, W a jiné) [3].

Druhy obalů: - stabilizační
- rutilové a kombinace s ostatními,
- kyselé,
- bazické,
- organické (např. celulózový obal),
- se solí halových prvků,
- zvláštní.

Výhody:

- ◆ zařízení je relativně jednoduché a přenosné
- ◆ metoda nevyžaduje externí zařízení plynového hospodářství, ochrannou vrstvu vytváří obal elektrody

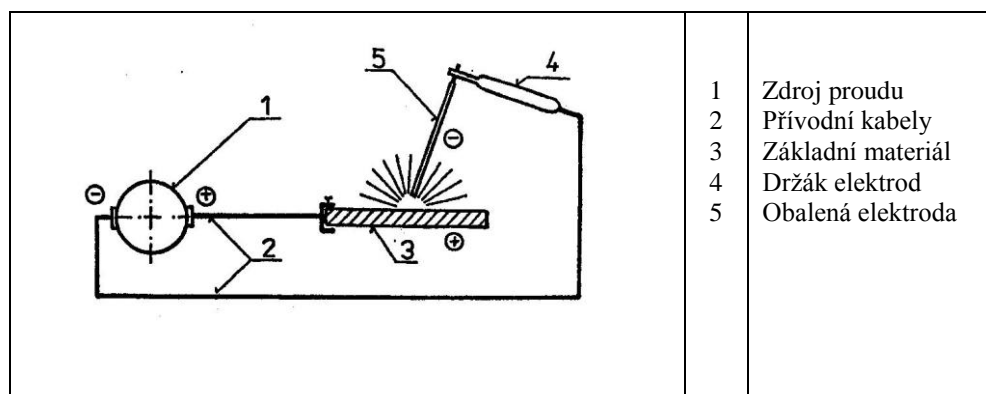
- ◆ proces je relativně nenáchylný na povětrnostní podmínky (odfouknutí plynu)
- ◆ proces může být použitý i v podmínkách s nižším nárokem na přístup
- ◆ různorodá použitelnost v oblasti druhů materiálů (uhlíková ocel, slitiny, nerez, litina, hliník)
- ◆ možnost svařovat v polohách

Nevýhody:

- ◆ nutnost odstranění strusky z povrchu materiálů
- ◆ nízká produktivita z hlediska častých výměn elektrod
- ◆ metoda není vhodná na povrchově upravené materiály jako Ti, Zn z důvodů vysokého vneseného tepla
- ◆ metodu nelze aplikovat na reaktivní prvky, titanium, zirkonium, tantalum, colombium z důvodů reakce a kontaminace kyslíkem

Oblast využití:

- ◆ pro svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysoce legovaných materiálů
- ◆ pro svařování ocelových konstrukcí
- ◆ pro svařování tlakových nádob nebo v lodním průmyslu[13]



Obr. 2-1 Schéma zapojení pro obloukové svařování [2]

2.2.2 Metoda 121 (Svařování pod tavidlem s drátovou elektrodou)

Jedná se o obloukové svařování, při kterém se používá jeden nebo více drátů s plným průřezem, nebo drátů plněných, nebo páskových elektrod (obr. 2-2). Oblouk hoří pod vrstvou práškového tavidla, jehož část se taví a vytváří na tuhoucím svarovém kovu odstranitelnou strusku. Může nebo nemusí být přidán legující kov ve formě prášku.

Tavidlo musí plnit základní funkce:

- chránit svarovou lázeň před účinky atmosféry,
- podporovat stabilitu hoření oblouku,
- příznivě působit na tvorbu a formování svarové housenky,
- metalurgicky působit na chemické složení svarového kovu,
- zpomalovat chladnutí svarového kovu,
- vzniklá struska musí být snadno odstranitelná [12].

Výhody:

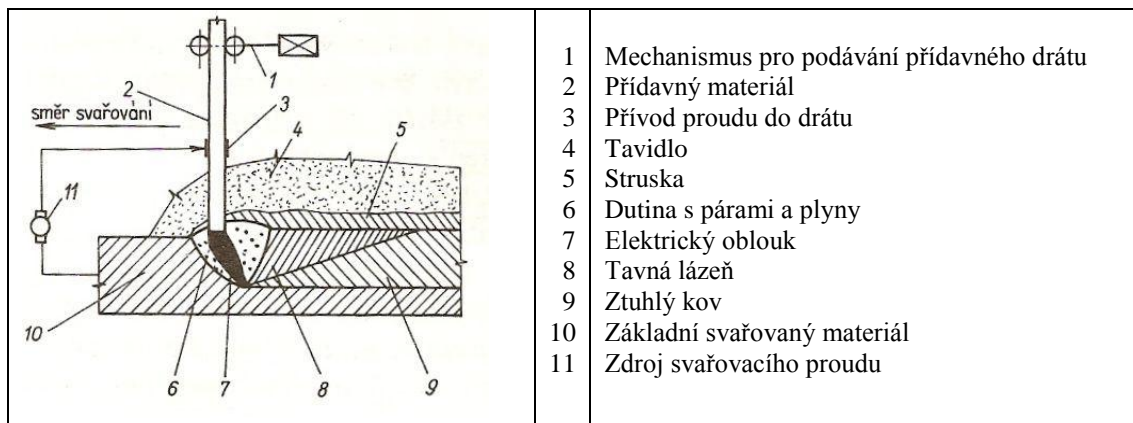
- ♦ vysoká produktivita
- ♦ vysoká jakost svaru s minimem vad
- ♦ malé tepelné ovlivnění ZM
- ♦ možnost provádět svary plněnou elektrodou

Nevýhody:

- ♦ vysoká pořizovací cena
- ♦ nutnost polohovat svařenec (možno svařovat jen v poloze PA, PB)
- ♦ vyšší nároky na obsluhu

Oblast využití:

- ♦ při svařování velmi dlouhých svarů (stavba lodí, mostů, tlakové nádoby z plechů větších tloušťek) [17]



Obr. 2-2 Vznik svarového spoje při automatickém svařování pod tavidlem [14]

2.2.3 Metoda 131 (MIG – Metall Inert Gas)

Jedná se o obloukové svařování tavící se elektrodou pod ochrannou přiváděného inertního plynu (obr. 2-3). Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce a podávacím mechanismem je podávána do svařovací hubice. Ochranný plyn je obvykle argon, helium nebo jejich směs. Inertní plyny pouze chrání svarovou lázeň a nevstupují do reakcí, které probíhají ve svarové lázni. Tato metoda je často používána nejen pro svařování korozivzdorných ocelí, ale i pro svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů.

Výhody:

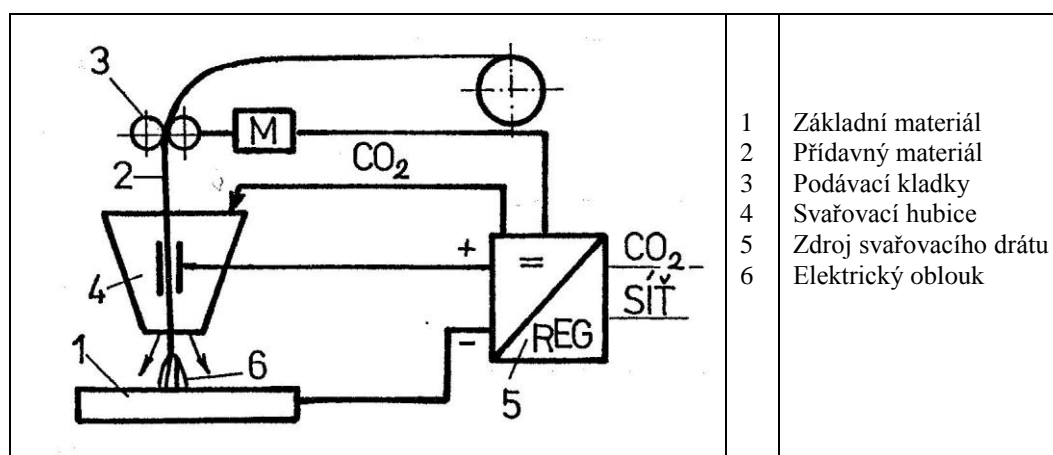
- ♦ vysoká svařovací rychlost = vyšší produktivita
- ♦ nižší nároky na čištění strusky
- ♦ oblouk i svarová lázeň je jasně viditelná
- ♦ umožňuje svařování ve všech svařovacích polohách
- ♦ odstranění prostoje na výměnu klasických elektrod

Nevýhody:

- ◆ svařovací zdroj je náročnější na obsluhu
- ◆ pořizovací cena je vyšší
- ◆ relativně vysoké vyzářené teplo do prostoru

Oblast použití:

- ◆ nízko i vysoce legované oceli
- ◆ korozivzdorné materiály
- ◆ hliník a hliníkové slitiny
- ◆ měď a slitiny mědi [13]



Obr. 2-3 Princip svařování metodou MIG/MAG [2]

2.2.4 Metoda 135 (MAG – Metall Activ Gas)

Jedná se o obloukové svařování, kdy elektroda (drát) se taví pod ochranou přiváděného plynu, který se aktivně účastní procesů v elektrickém oblouku (obr. 2-3). Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce. Drát je podáván podávacím mechanismem do hořáku. Aktivní plyn je obvykle CO_2 , nebo směsné plyny (směsi CO_2 , argonu, kyslíku apod.). Svařování MAG se používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysoce legovaných ocelí. Metodami MIG/MAG lze s výhodou svařovat pulsním obloukem (pulsním proudem), čímž dostáváme definovaný přenos kapek kovu obloukem.

Výhody, nevýhody a oblast svařování je stejná jako u metody 131 MIG.

2.2.5 Metoda 141 (WIG/TIG - Wolfram Inert Gas/Tungsten Inert Gas)

Jedná se o ruční svařování, při kterém se používá netavící se elektroda čistě wolframová nebo s aktivující přísadou (obr. 2-4). Elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny inertním plynem. Podle potřeby může být použit přídavný materiál. Při této metodě svařování se přídavný materiál obvykle přidává ve formě drátu. Inertní plyn je nejčastěji argon, helium nebo jejich směs.

Při svařování se používá:

- střídavý proud pro hliník, hořčík a jejich slitiny,
- stejnosměrný proud pro ocel, měď, titan a jejich slitiny.

Metoda WIG/TIG se používá především pro svařování Cr-Ni ocelí, hliníku, hořčíku, titanu a dalších neželezných kovů.

Výhody:

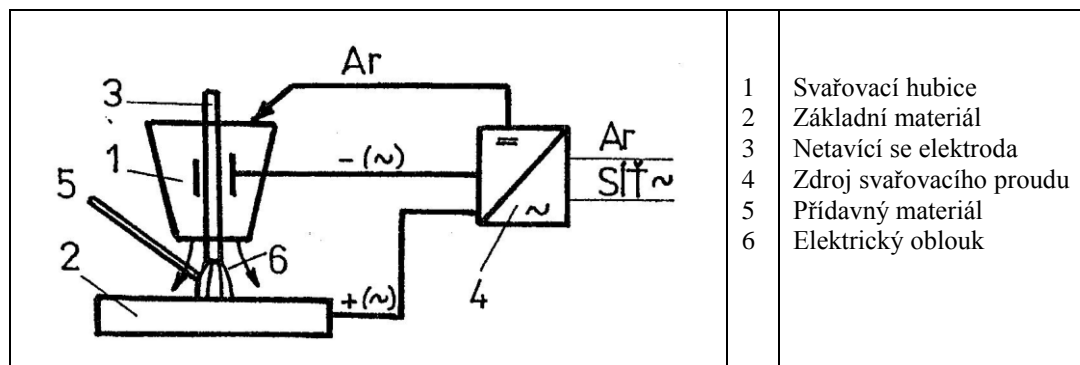
- ♦ poskytuje účinnou ochranu svarové lázně v inertním ochranném plynu
- ♦ poskytuje koncentrovaný paprsek
- ♦ možnost svařovat s přídavným drátem i bez něj
- ♦ po svaření není třeba svar dodatečně upravovat (ostrahování strusky)
- ♦ lze svařovat i v místech s nižší dostupností

Nevýhody:

- ♦ nízká produktivita ve srovnání s jinými metodami

Oblast použití:

- ♦ lodní průmysl
- ♦ elektrárenský průmysl
- ♦ petrochemický a chemický průmysl
- ♦ potravinářský průmysl [13]



Obr. 2-4 Schéma a princip metody WIG [2]

2.2.6 Metoda 311 (kyslík – acetylén)

Jedná se o tavné svařování, při kterém teplo potřebné pro svařování se získává spalováním hořlavého plynu s kyslíkem (obr. 2-5). Plamenové svařování je proces, který využívá tepla získaného spalováním hořlavého plynu, smíšeného s kyslíkem ve zvláštním hořáku. Nejčastěji se jako hořlavý plyn používá acetylén C_2H_2 [12].

Výhody:

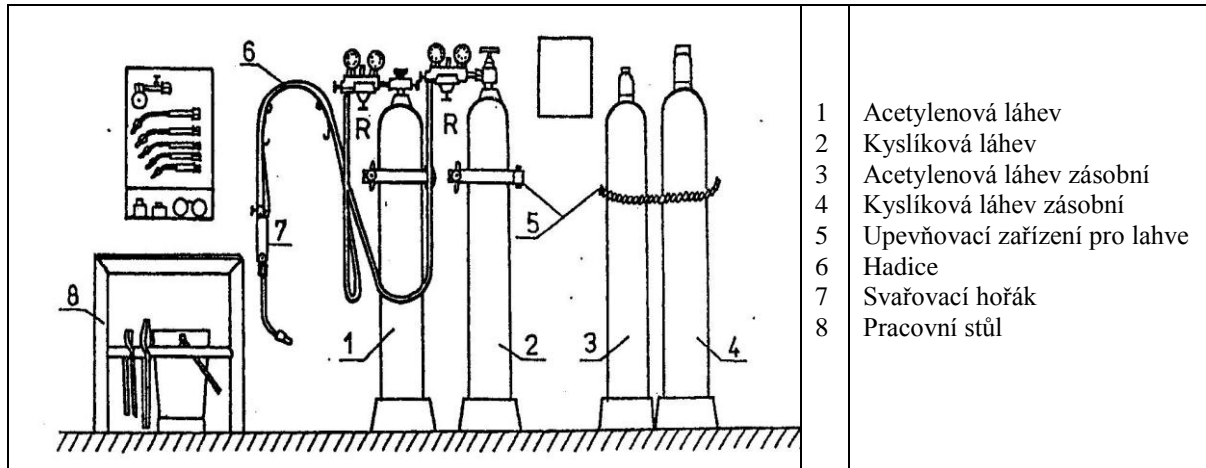
- ♦ lze dosáhnout vysoké teploty plamene okolo $3200^{\circ}C$

Nevýhody:

- ♦ kyslík může být nebezpečný – styk s olejem vede k explozi (rychlé oxysličení oleje)
- ♦ chránit láhve před ohřátím a slunečními paprsky

Oblast využití:

- ◆ strojírenská výroba
- ◆ řezání kyslíkem – příprava polotovarů – dělení materiálu, vytváření tvarových řezů
- ◆ svařování plamenem – v opravárenském průmyslu a instalatérství
- ◆ ohřev a rovnání plamenem – výroba svařovaných ocelových konstrukcí [13]



Obr. 2-5 Pracoviště svářeče plamenem s kyslíkovou a acetylenovou lahví [2]

Na základě prověření technologického zařízení pro poloautomatické svařování a možnosti použití stávajících přípravků (svařovací stůl aj.) navrhuji použít technologii svařování 135 (MAG). Kvalifikace svářečů a pracovníků svářečského dozoru bude zajišťovat firma TS Plzeň, a.s.

3 Svaření a experimentální vyhodnocení kontrolního svarového spoje

Experimentální část bakalářské práce obsahuje svaření vzorku metodou 135 (MAG) podle příslušné WPS (TS-1/13) a následné provedení experimentálních zkoušek.

Výhody vybrané varianty:

- ◆ Vysokoproudová hustota (100 až 400 A/mm² svařovacího drátu) na rozdíl od ručního svařování (10 až 20 A/mm²)
- ◆ Velká rychlost svařování
- ◆ Vysoké využití tepla oblouku kolem 80 až 90%

Nevýhody:

- ◆ Potřeba aktivního plynu

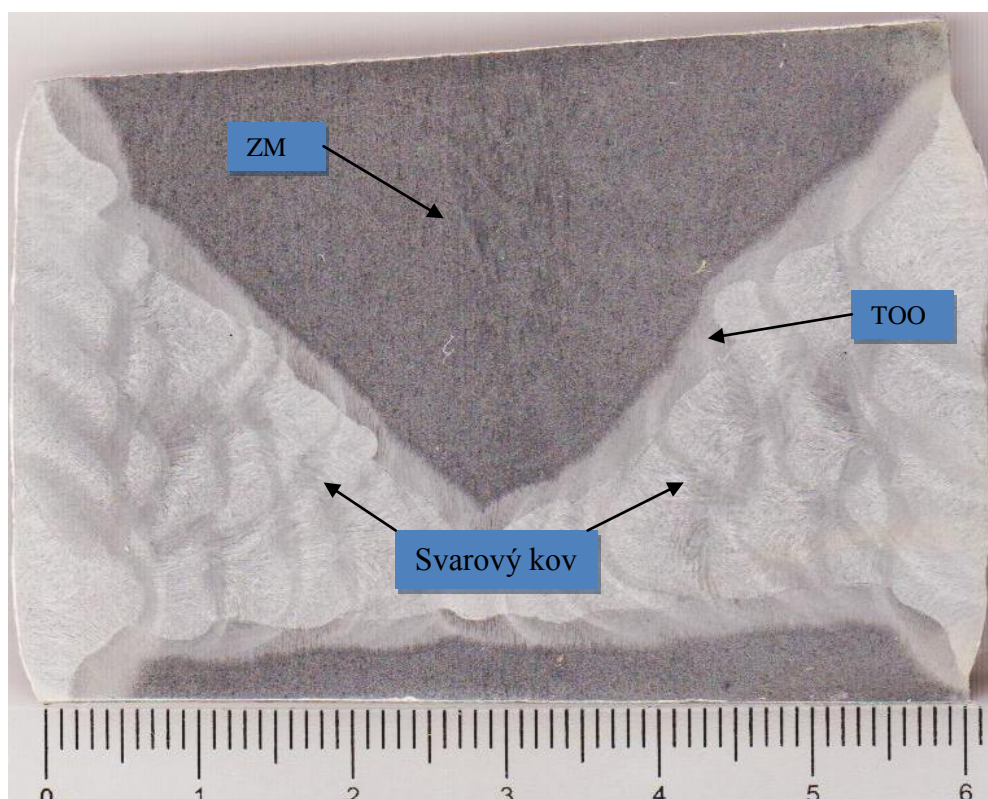
3.1 Makrostruktura svarového spoje

Makrostruktura je struktura pozorovatelná pouhým okem nebo při zvětšení až 30x (50x). Užití: hrubé licí vady, vady ve svarových spojích, průběh deformačních vláken u tvářených součástí atd. Příprava vzorku není náročná - broušení a leptání [15].

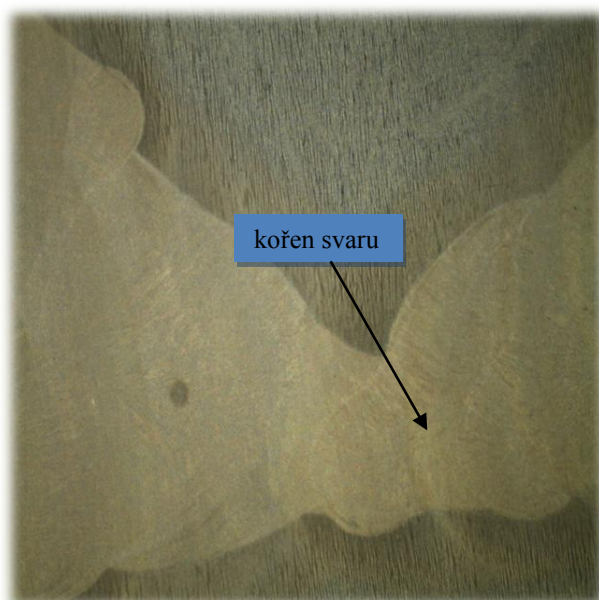
Zkoušky makrostruktury umožňují posoudit kvalitu svarového spoje z hlediska charakteru a velikosti TOO, vzhledu svaru a ZM. Ve svaru je viditelná skladba jednotlivých housenek. Základní materiál má řádkovitou strukturu.

Postup práce:

- a) očištěný povrch zkušební vzorku byl vybroušen a vyleštěn,
- b) naleptání povrchu vzorku (Nital: HNO₃ + etanol) po jedné straně po dobu 5 sekund tak, aby byla patrná hranice natavení, tepelně ovlivněná oblast a způsob kladení housenek,
- c) zkouška postupu je zdokumentována snímkem makrostruktury,
- d) na závěr bylo provedeno vyhodnocení makrostruktury – obr. 3-1, 3-2, 3-3, 3-4.



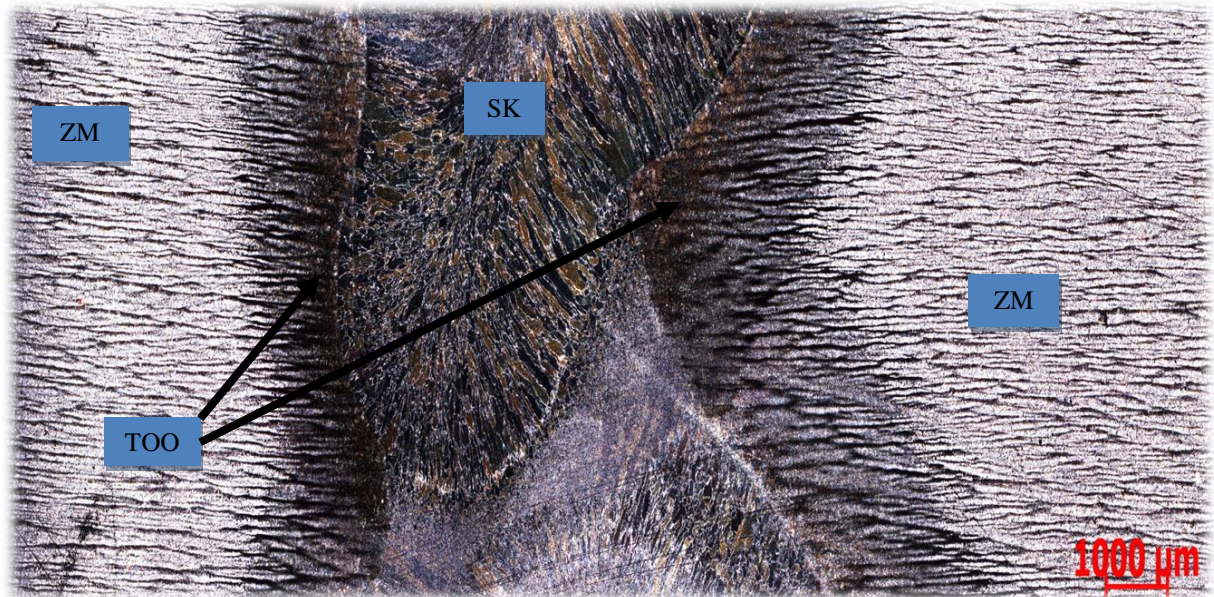
Obr. 3-1 Makrostruktura



Obr. 3-2 Detail kořene



Obr. 3-3 Makrostruktura



Obr. 3-4 Detail kořene svarového spoje

Vyhodnocení makrostruktury:

- ◆ TOO rozsah 2 až 3 mm
- ◆ Nebyla zjištěna žádná vada
- ◆ Svarový spoj vyhovuje stupni kvality „B“ dle ČSN EN ISO 5817

(Stupeň kvality B odpovídá nejvyššímu požadavku na kvalitu zhotoveného svaru.) [9]

3.2 Mikrostruktura svarového spoje

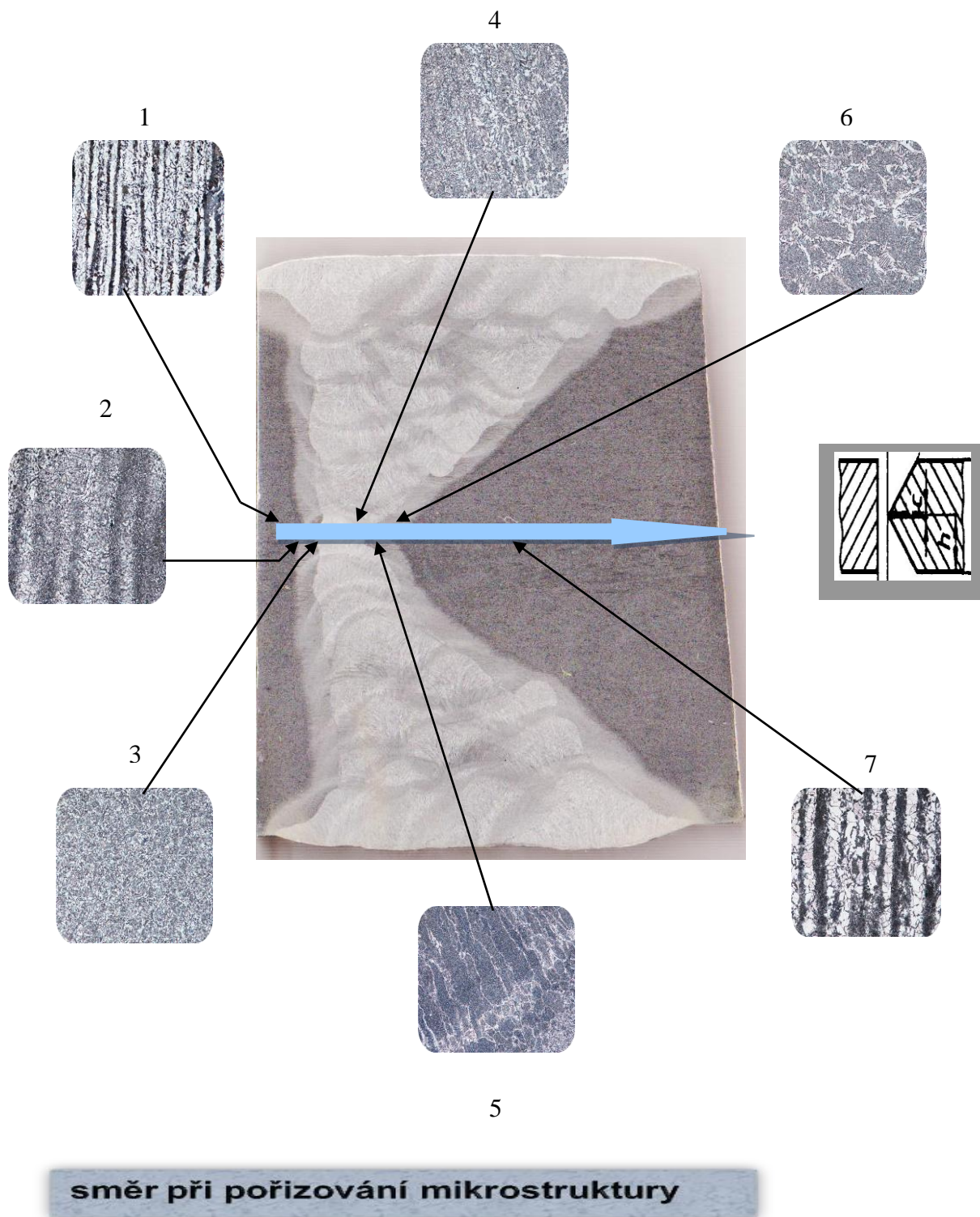
Mikrostruktura je struktura pozorovatelná ve světelných a elektronových mikroskopech. Světelné mikroskopy mají zvětšení 50 až 1000x, řádkovací (skenovací) elektronové mikroskopy (ŘEM) mají zvětšení řádově 10 až 10^3 (10^5). Lze pozorovat jednotlivá zrna a objekty o rozměru řádově mikrometry [15].

Mikrostrukturní rozbor byl proveden na světelném a elektronovém řádkovacím mikroskopu (ŘEM) při různém zvětšení v charakteristických místech svaru v naleptaném stavu – obr. 3-5 až obr. 3-12.

Na snímcích můžeme pozorovat jemnozrnnou strukturu základního materiálu, který je tvořen feritem a perlitem. Tepelně ovlivněná oblast je tvořena feritem a bainitem ve formě jehlic a oblast svarového kovu má feriticko-karbidickou strukturu.

Postup práce:

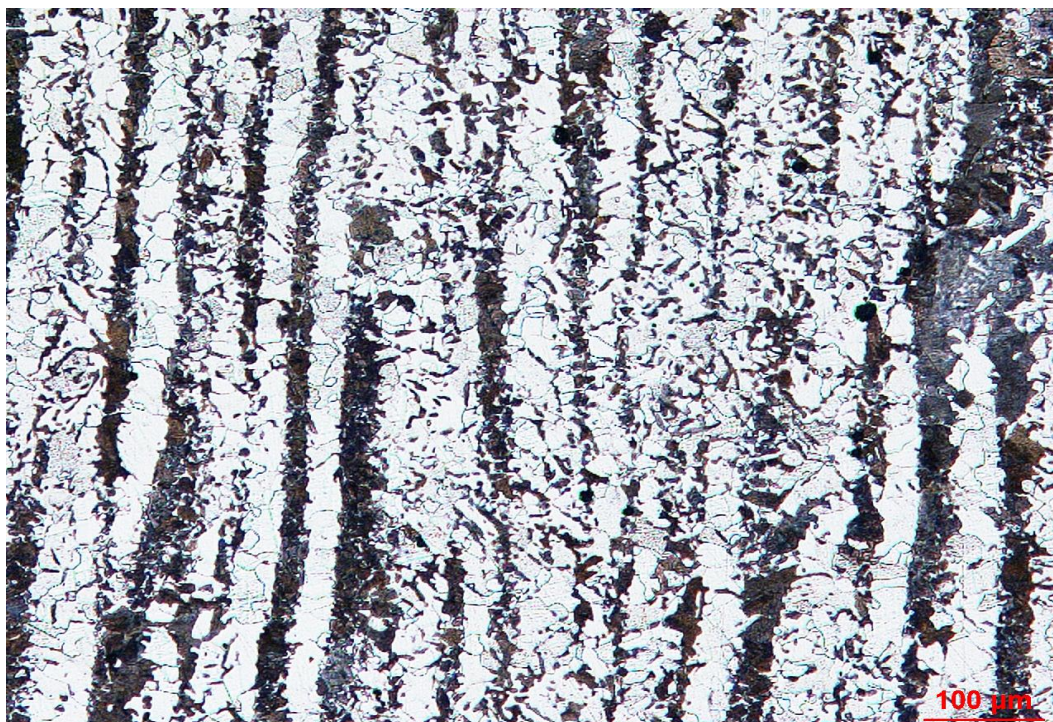
- a) očištěný povrch vzorku byl vybroušen
- b) vyleštění
- c) naleptání povrchu vzorku (Nital (HNO_3 + etanol), doba leptání 5 sekund)
- d) nafocení mikrostruktury
- e) vyhodnocení



Obr. 3-5 Mikrostruktura svarového spoje

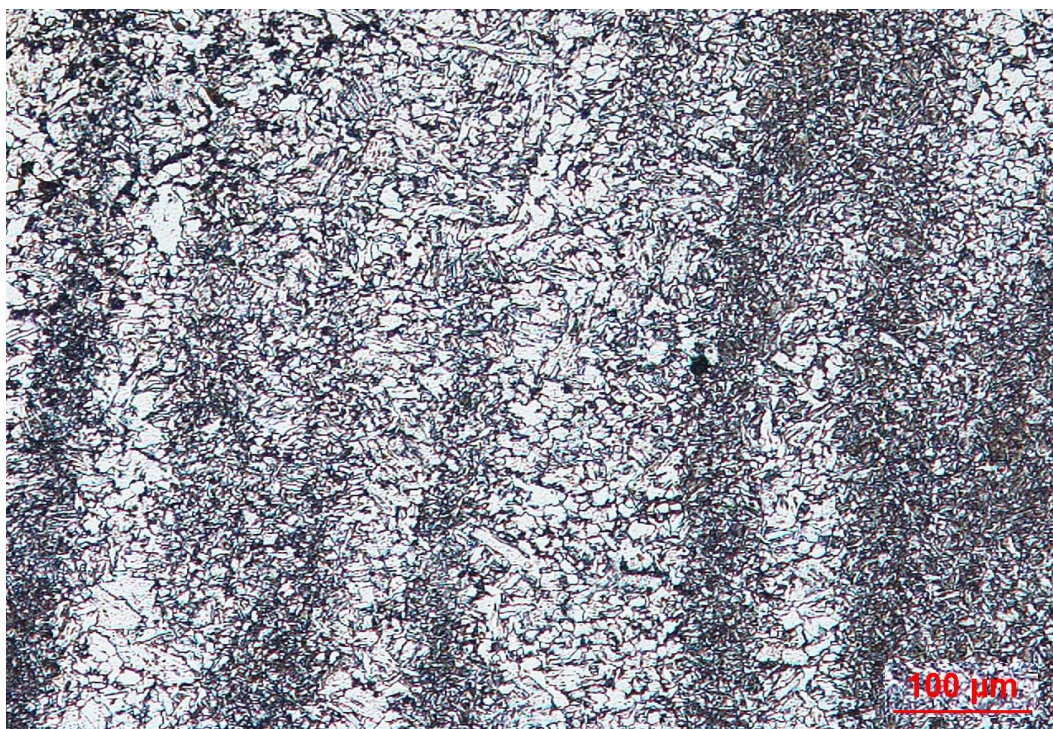
Mikrostruktura svarového spoje

1



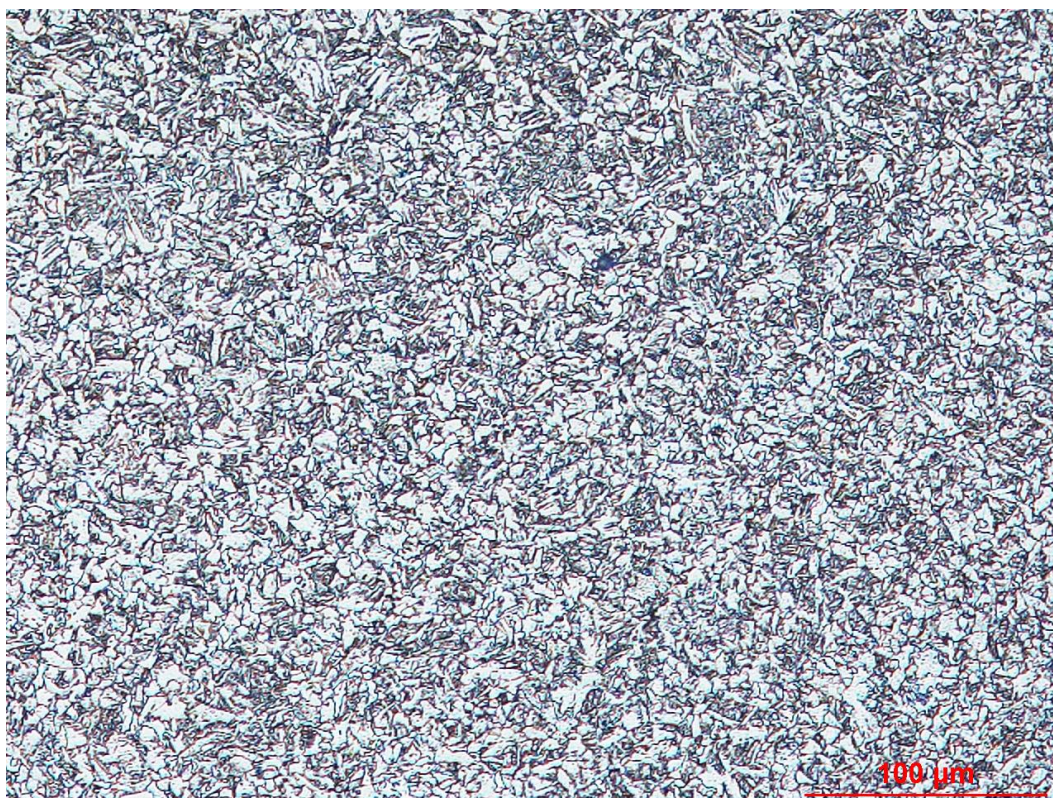
Obr. 3-6 ZM – zvětšeno 200x

2



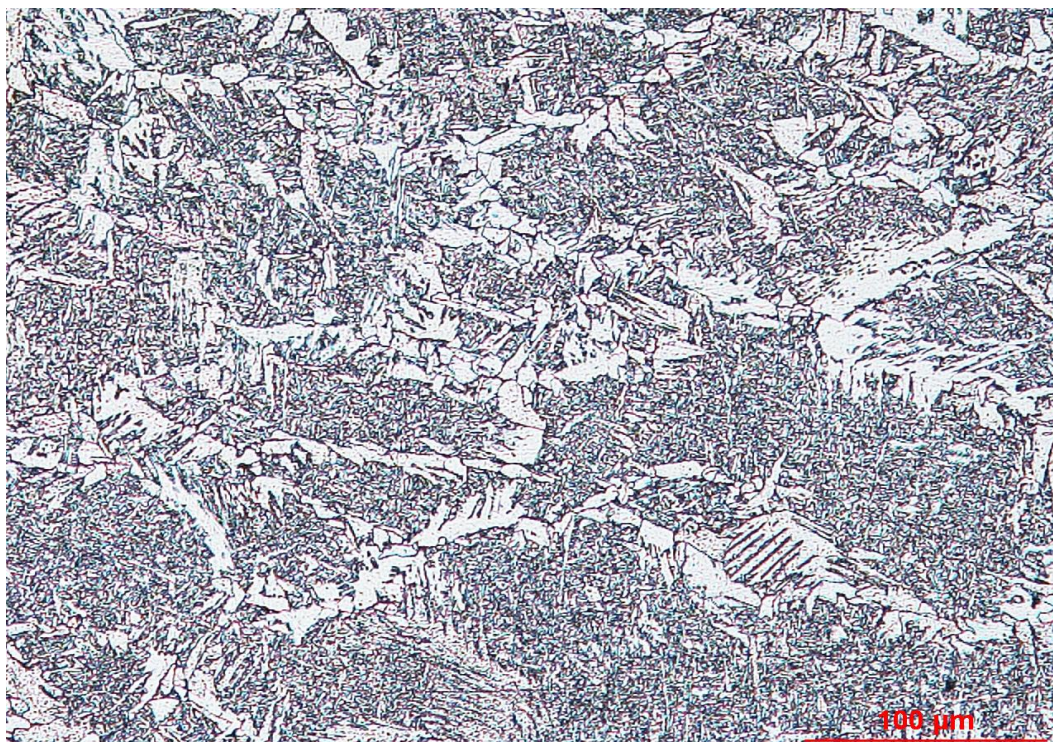
Obr. 3-7 Přejchod ze ZM do TOO – zvětšeno 200x

3



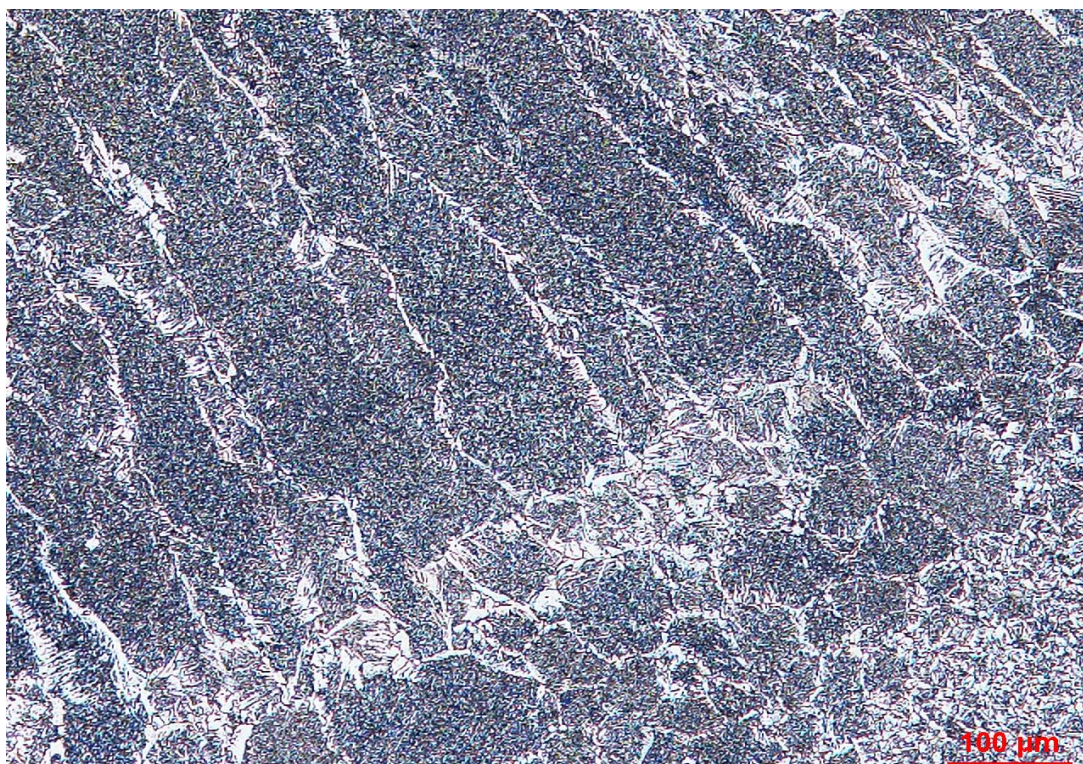
Obr. 3-8 TOO – zvětšeno 200x

4



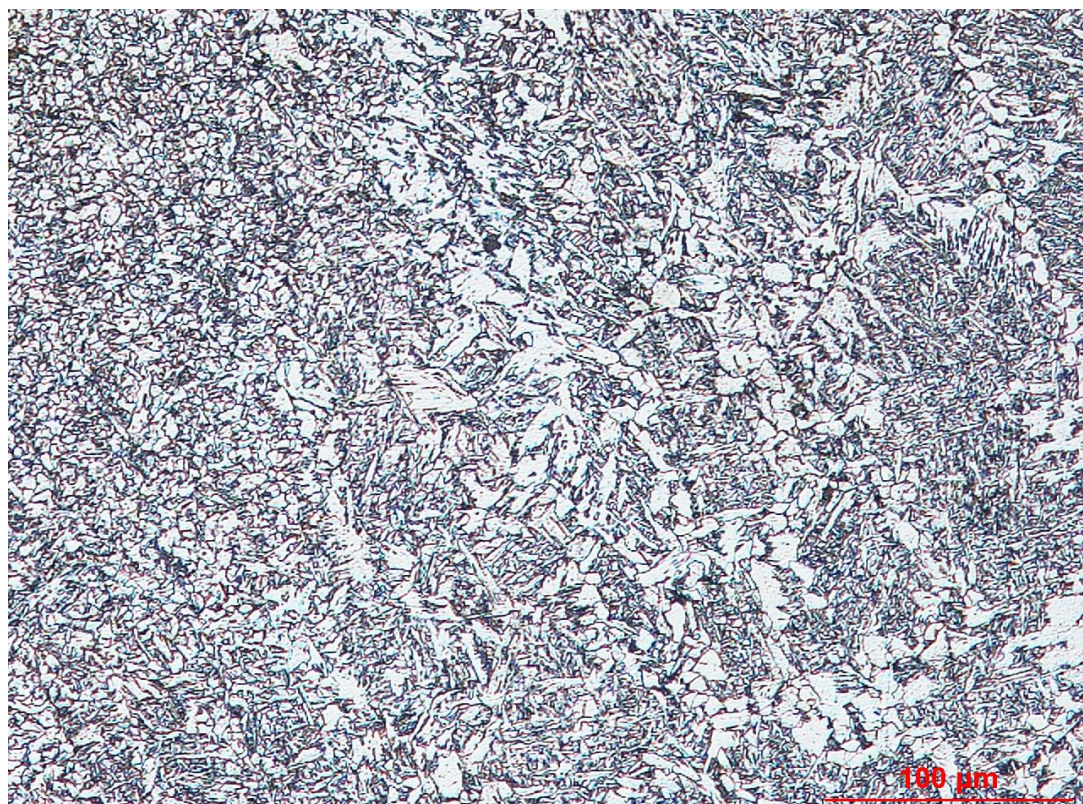
Obr. 3-9 SK – zvětšeno 200x

5



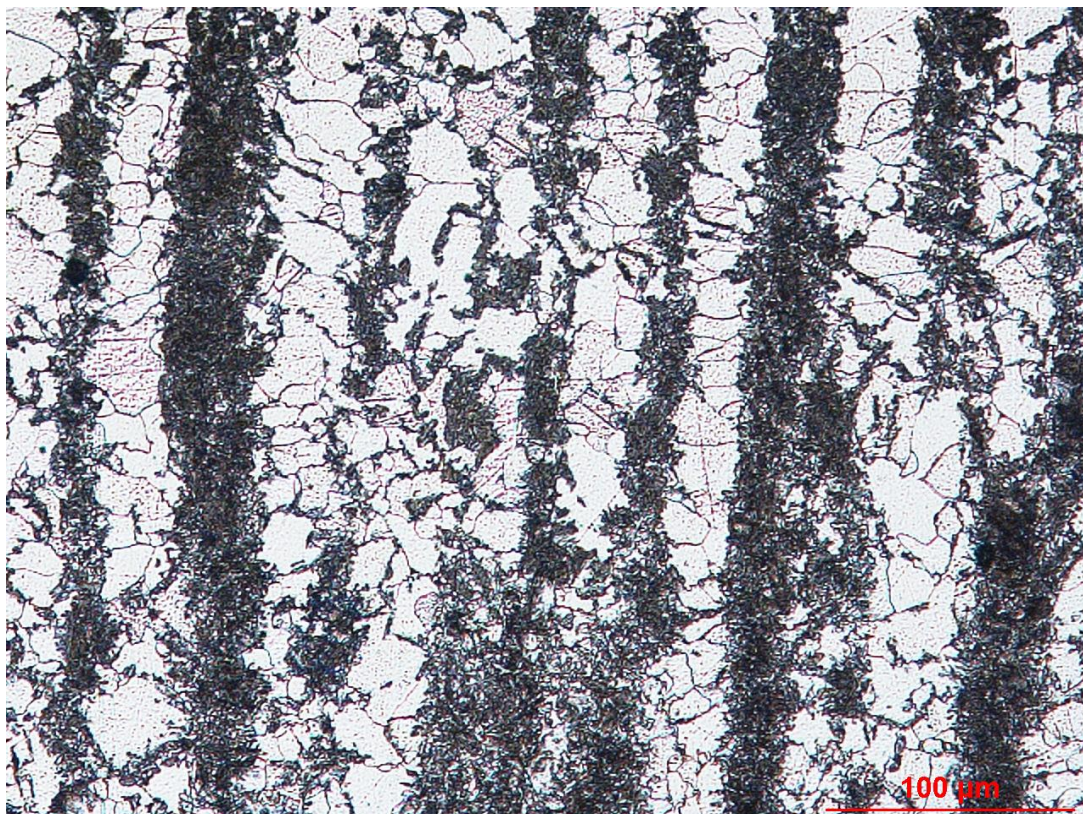
Obr. 3-10 SK s TOO zvětšeno 200x

6



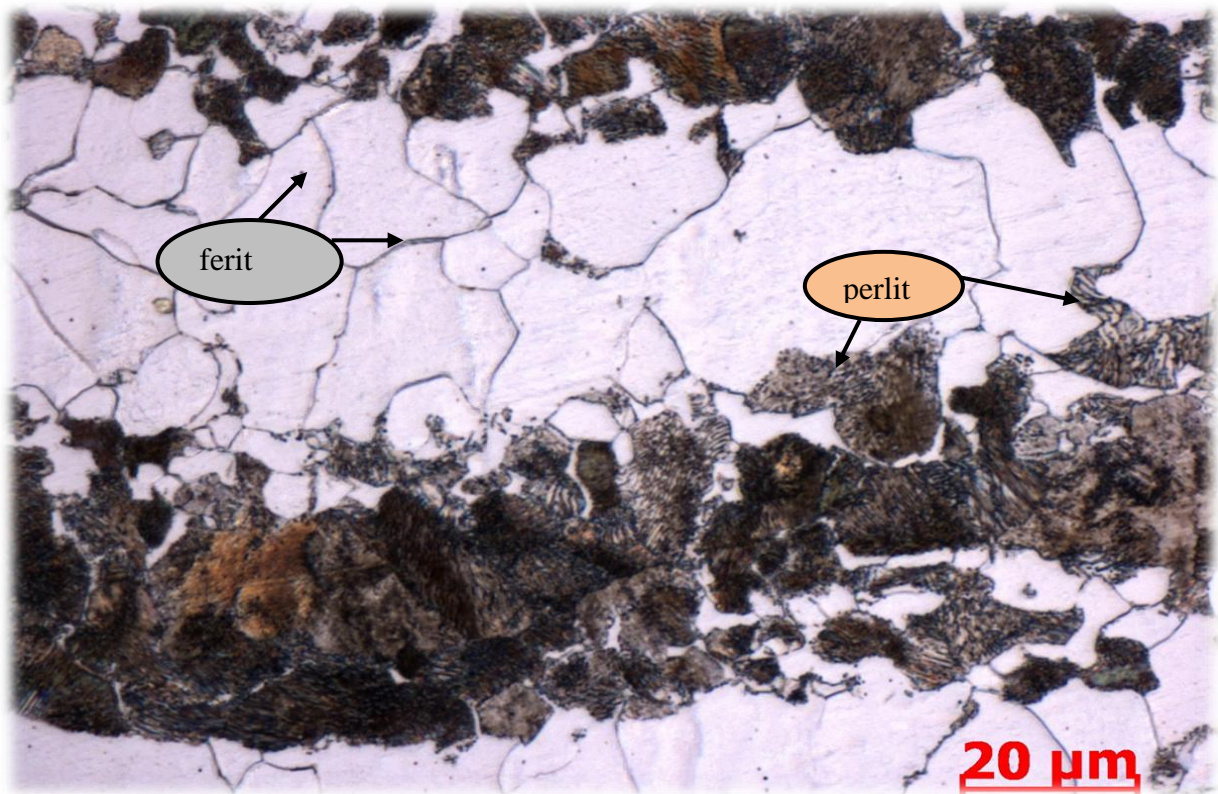
Obr. 3-11 TOO – zvětšeno 200x

7

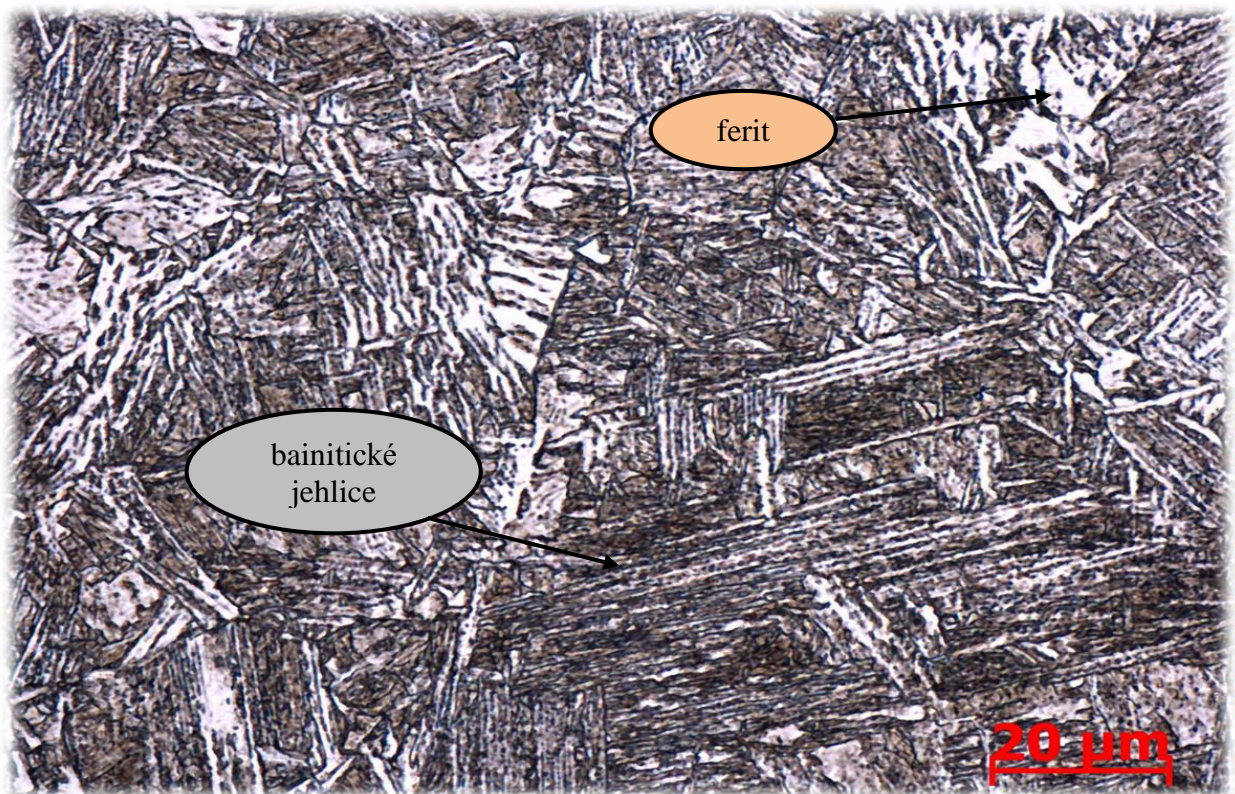


Obr. 3-12 ZM – zvětšeno 200x

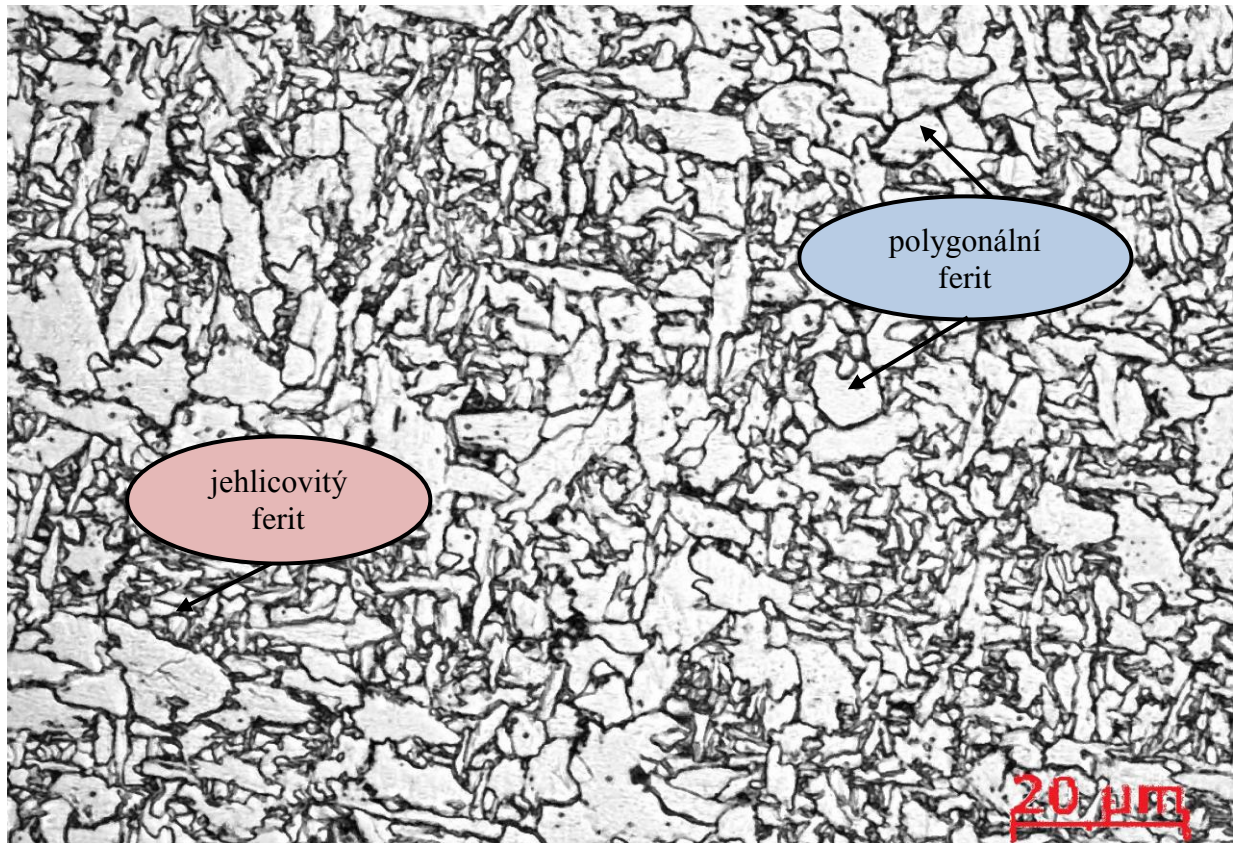
Mikrostruktura svarového spoje při zvětšení 500x



Obr. 3-13 ZM feriticko-perlitická struktura – zvětšeno 500x



Obr. 3-14 TOO jehlicovitá feriticko-bainitická struktura – zvětšeno 500x



Obr. 3-15 SK feriticko-karbidická struktura – zvětšení 500x

Vyhodnocení mikrostruktury svarového spoje

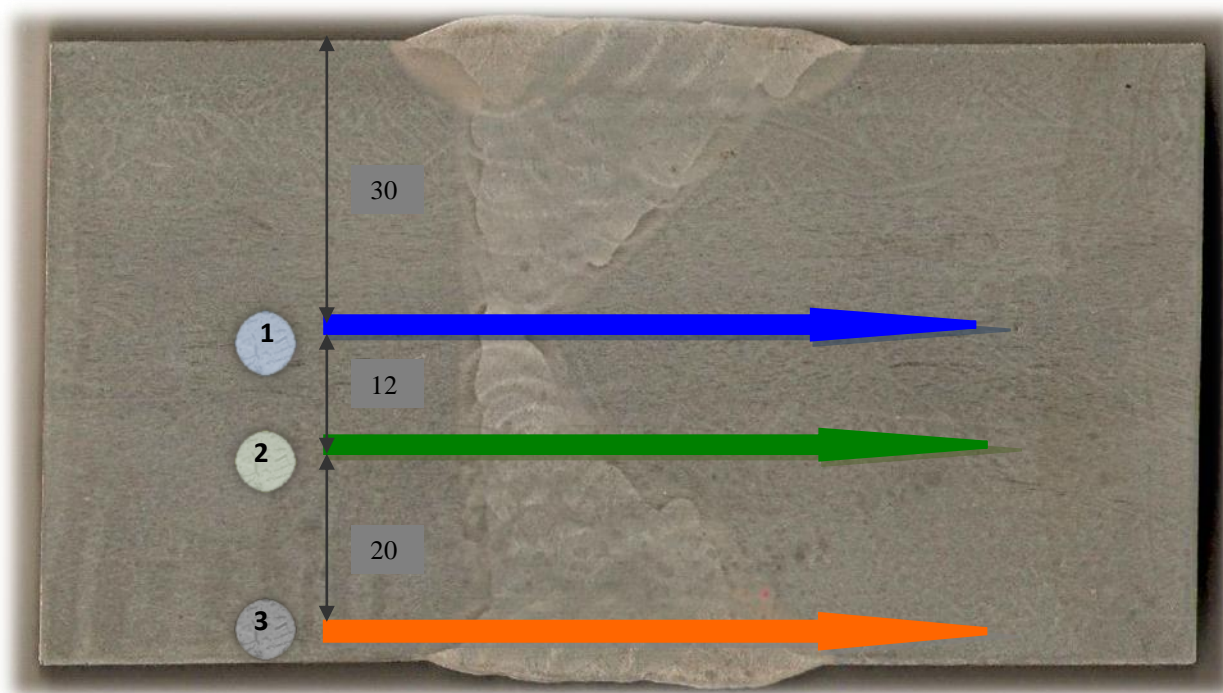
- ◆ Feriticko-perlitická vyřádkovaná struktura ZM přechází bez výraznějšího zhrubnutí TOO do svarového kovu, který má feriticko-perlitickou strukturu liciho charakteru – obr. 3-13 až 3-15.

3.3 Průběh tvrdosti

Tvrlost je v principu odpor materiálu proti lokální plastické deformaci, která je vyvolána zatěžováním indentoru [15].

Podstatou tvrdosti je vlačování diamantového hrotu do materiálu. Zkouška byla prováděna formou řady vtisků – vytvoří se tzv. průběh tvrdosti. Zkušební vzorek je metalografický výbrus v naleptaném stavu. Vtisky byly provedeny ve třech vodorovných liniích obr. 3-16. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3-1,3-2,3-3 a znázorněny jsou v grafech 3-1, 3-2, 3-3.

Pro měření tvrdosti bylo použito zkušebního zařízení UHL VMHT umístěné v laboratoři KMM. Průběh tvrdosti byl proveden při zatížení 2000 g (HV2) po dobu 10 sekund, rychlostí 40 μm/s, při zvětšení 10x. Vzdálenost mezi jednotlivými vtisky byla 1 mm.

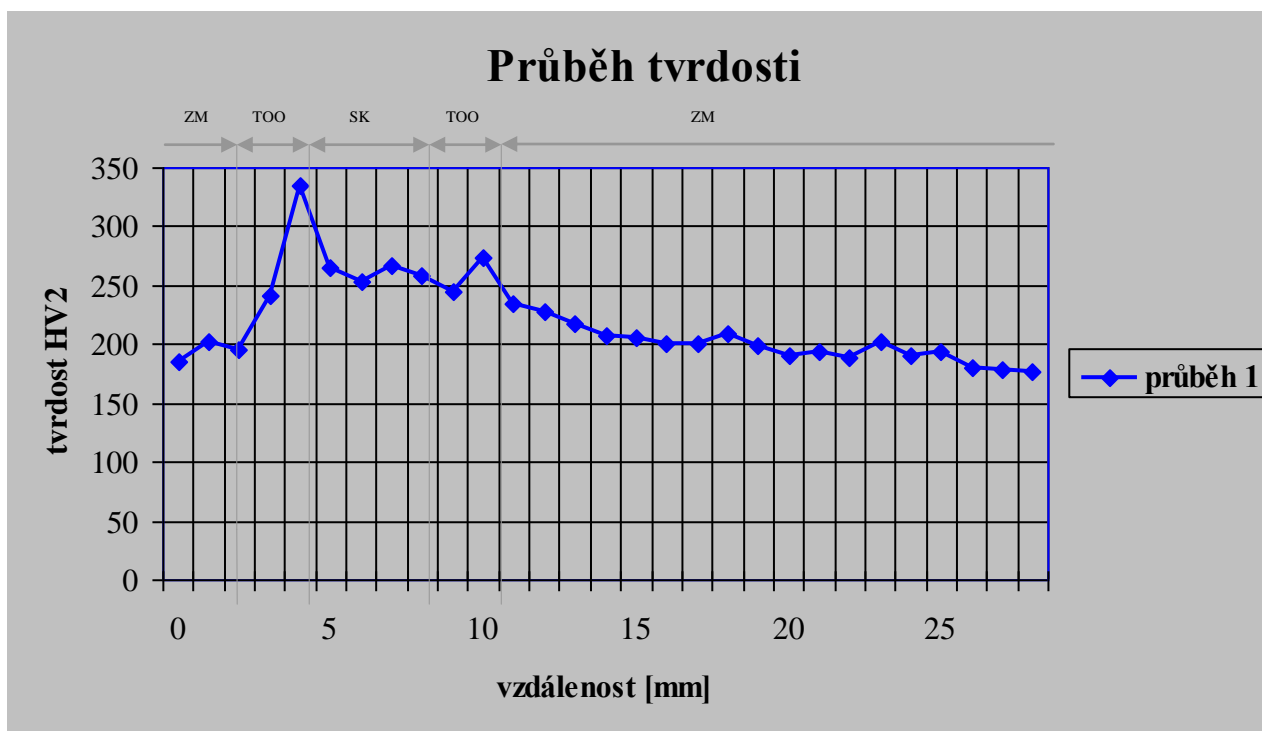


Obr. 3-16 Linie znázorňující pozice vtisků

Naměřené hodnoty:

D1 [μm]	D2 [μm]	HV2		D1 [μm]	D2 [μm]	HV2
136,70	146,24	185		130,98	137,92	205
137,22	133,75	202		137,74	134,27	201
138,78	136,88	195		134,10	138,44	200
125,26	122,30	242		134,10	132,19	209
106,55	104,09	334		135,14	137,92	199
116,43	120,22	265		136,18	143,12	190
120,07	122,30	253		139,82	137,40	193
116,95	119,18	266		140,86	138,96	189
119,03	120,22	259		136,70	133,75	203
122,67	123,86	244		141,38	137,40	191
116,43	116,58	273		139,82	137,40	193
124,74	126,47	235		143,46	143,64	180
126,82	128,03	228		143,46	144,16	179
130,98	130,63	217		142,94	147,28	176
133,06	133,75	208				

Tabulka 3-1 Průběh tvrdosti oblastí 1

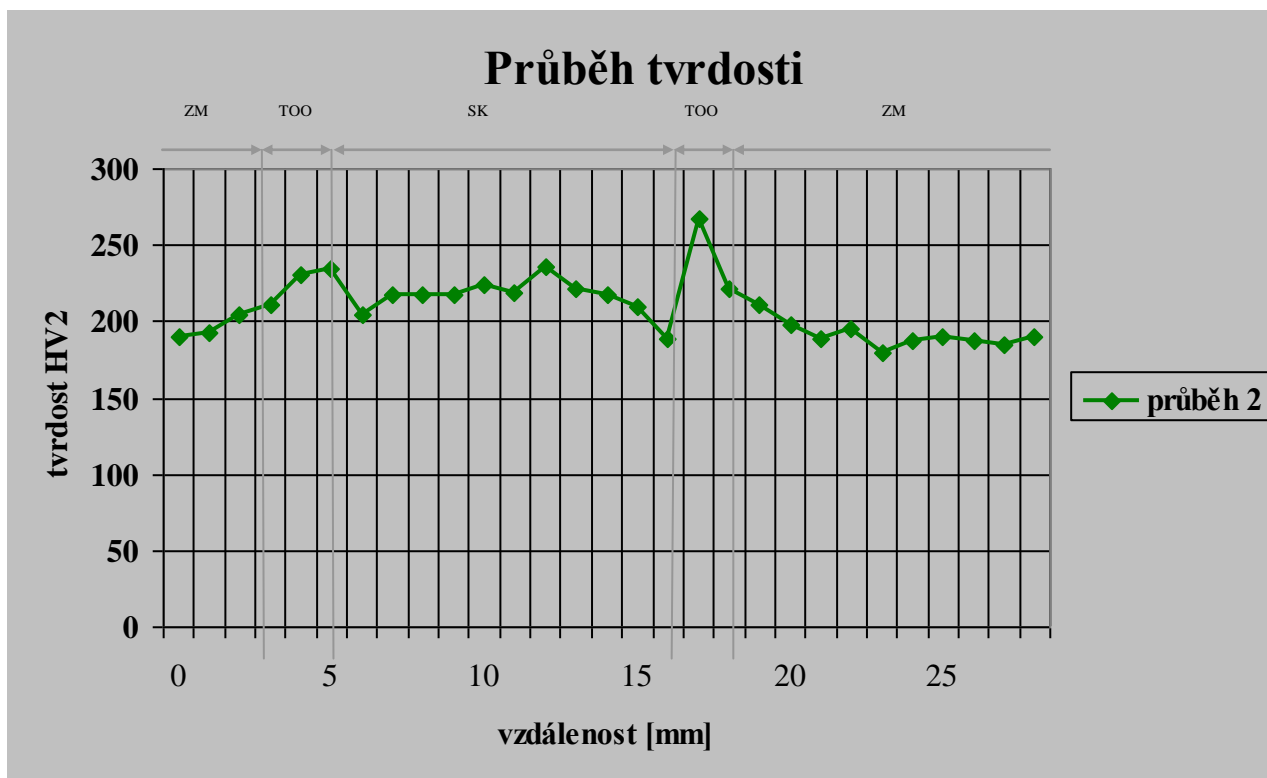


Graf3-1 Průběh tvrdosti oblastí 1

Naměřené hodnoty:

D1 [μm]	D2 [μm]	HV2		D1 [μm]	D2 [μm]	HV2
136,18	143,12	190		132,54	133,75	209
139,30	138,44	192		138,78	141,04	189
136,70	132,71	204		116,95	118,66	267
136,18	129,07	211		128,38	130,11	222
129,42	124,39	230		131,50	133,75	211
126,82	124,91	234		135,66	137,92	198
134,62	135,31	204		139,30	141,04	189
128,90	131,67	218		133,58	142,08	195
130,98	129,59	218		145,53	142,60	179
130,98	129,59	218		134,62	147,28	187
130,46	126,99	224		138,78	140,52	190
131,50	128,55	219		138,26	143,64	187
125,26	125,43	236		145,53	137,40	185
129,94	128,55	222		137,74	141,56	190
130,46	130,11	218				

Tabulka 3-2 Průběh tvrdosti oblastí 2

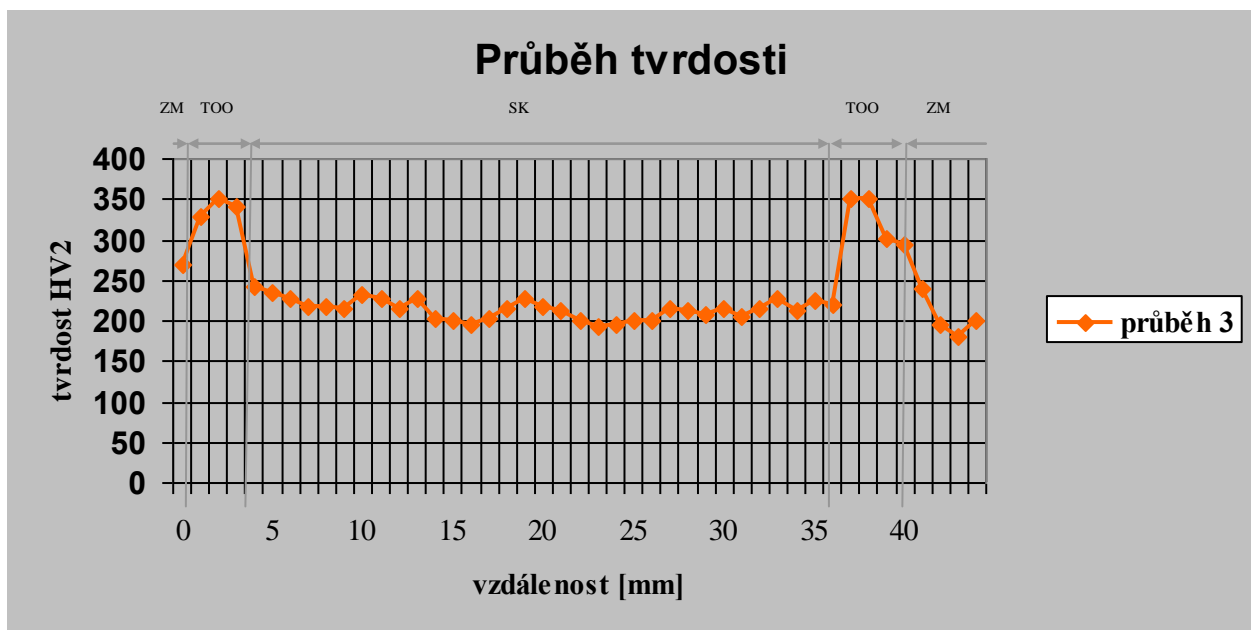


Graf 3-2 Průběh tvrdosti oblastí 2

Naměřené hodnoty:

D1 [μm]	D2 [μm]	HV2		D1 [μm]	D2 [μm]	HV2
116,43	118,66	268		140,86	137,40	192
107,07	105,13	329		137,74	138,44	195
106,28	104,44	350		140,86	131,67	200
105,51	103,05	341		137,22	135,83	199
122,15	125,95	241		133,58	129,07	215
125,78	125,95	234		132,54	131,15	213
129,94	125,43	227		135,66	131,15	208
133,06	128,55	217		129,94	132,19	216
133,58	128,03	217		134,10	134,79	205
128,38	134,27	215		132,54	130,63	214
126,30	126,99	231		129,94	125,95	227
126,82	128,03	228		132,54	131,67	213
129,42	133,75	214		128,38	129,07	224
127,34	127,51	228		131,50	128,55	219
135,66	134,79	203		103,91	100,44	350
136,70	134,79	201		102,87	101,49	350
136,70	138,44	196		110,19	111,37	302
135,14	135,31	203		110,19	115,02	293
133,06	130,11	214		124,22	124,91	239
124,22	131,67	227		140,34	135,83	195
130,46	130,11	218		146,05	140,52	181
132,02	132,71	212		139,82	132,19	201
136,70	135,83	200				

Tabulka 3-3 Průběh tvrdosti oblastí 3



Graf 3-3 Průběh tvrdosti oblastí 3

Vyhodnocení průběhu tvrdosti:

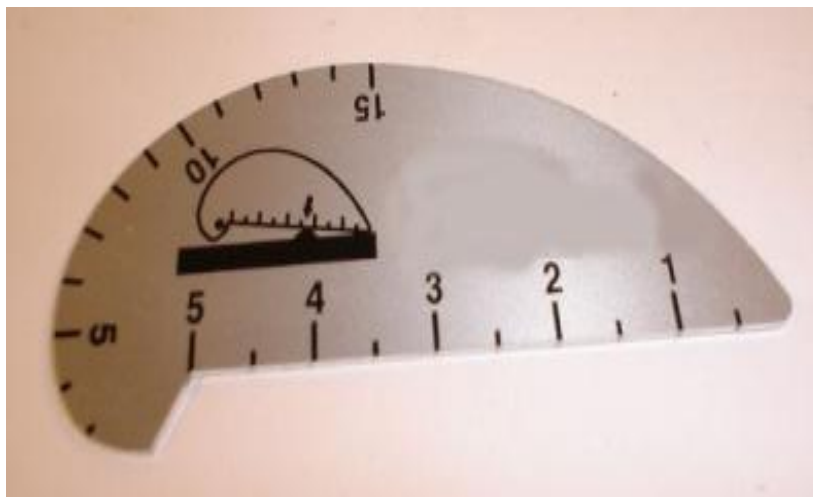
- ♦ Ve všech třech oblastech je patrné zvýšení tvrdosti na linii ztavení; největších hodnot nabývá v TOO. Naměřená tvrdost nepřesahuje hodnoty 350 HV.

3.4 Vizualní kontrola

Vizuální kontrola je jednou z nejjednodušších nedestruktivních metod. Používá se na zjišťování povrchových necelistvostí (trhlin, koroze, porózity, odkrytých staženin a ředin), porušení prvků ocelových konstrukcí, pro hodnocení charakteru, druhu a rozsahu těchto vad. Vizualní kontrolu se provádí na materiálu a svarech, na výrobcích, odlitcích a výkovecích v souladu s platnými normami EN, ISO, DIN, ASME dle požadavku zákazníka. Na tupé a koutové svary se používají měrky nebo posuvné měřítko – obr. 3-17, 3-18.

Rozdělení dle provedení:

1. metoda přímá - zkoušený povrch se prohlíží pouhým okem popř. lupou, zrcátkem. Podmínkou pro použití této metody je dobrá zraková schopnost pracovníka kontroly a dostatečné osvětlení kontrolovaného povrchu.
2. metoda nepřímá - pomocí optických zařízení - endoskopů, světelných vláken. Používá se v případě, že nelze použít přímou vizualní kontrolu z důvodů nepřístupnosti nebo nebezpečnosti [16].



Obr. 3-17 Jednoduchá měrka pro tupé i koutové svary [17]



Obr. 3-18 Digitální posuvné měřítko pro koutové svary [17]

Vyhodnocení vizuální kontroly:

- ♦ kontrola svaru vizuální metodou vyhovuje, svar je shodný s požadavky dle ČSN EN ISO 5817 st. B [9].

3.5 Zkouška ultrazvukem

Další z metod nedestruktivního zkoušení je kontrola materiálu ultrazvukem, která byla provedena před i po svaření. Ultrazvuk je mechanické kmitání částic prostředí s frekvencí nad 20 000 Hz. Ultrazvukovou metodou lze zjišťovat vnitřní vady svarů a materiálu plošného charakteru (trhliny, studené spoje, kořenové neprůvary svarových spojů apod.). Touto metodou lze získat informace rovněž o poloze a velikosti vady. Zvláštním případem použití ultrazvuku je měření délek, tloušťek a některých dalších mechanických vlastností materiálů např. tvrdosti.

K vlastnímu provádění nedestruktivní kontroly ultrazvukem slouží ultrazvukové přístroje a zkušební sondy. Přístroj je opatřen obrazovkou, která umožňuje zobrazit dráhu ultrazvukových vln. K přístroji přísluší sonda, která se vede buď ručně nebo pomocí zkušební přípravku, který umožňuje průběžné zkoušení – obr. 3-19.

Firma zabezpečuje tuto zkoušku přenosnými moderními kalibrovanými ultrazvukovými přístroji USN 52 a sondami o frekvenci 4 MHz. Pro kontrolu svarů byla použita metoda impulsní odrazová [16].



Obr. 3-19 Ultrazvukový přístroj se sondou[18]

Vyhodnocení zkoušky ultrazvukem:

- ◆ Ultrazvuková zkouška plechů před svařením vyhovuje dle normy ČSN EN 10160 [19]

3.6 Kapilární zkouška

Po svaření zkušební kusu byla provedena ve firmě TS Plzeň, a. s. kapilární zkouška svarového spoje. Kapilární zkouška je metoda nedestruktivního zkoušení, kterou můžeme identifikovat vady v povrchových vrstvách materiálu (např. póry, studené spoje, trhliny). Metoda je z fyzikálního hlediska založena na tzv. kapilárních jevech (povrchové napětí, viskozita, krajový úhel, kapilární elevace a kapilární tlak) zkušebních kapalin (penetrantů a vývojek). Princip této metody spočívá ve využití vztlávanosti a smáčivosti penetrantů a jejich barevnosti [16]. Před zahájením kapilární zkoušky se povrch vzorku důkladně očistil a odmastil, a následně byla nanesena penetrace. Aplikace penetrantu se provedla nástřikem sprejem v aerosolové formě (hlavní penetrace – červený sprej) – obr. 3-20. Doba penetrace byla 10 minut. Po této době se z povrchu vzorku odstranil přebytek penetrantu. V další fázi zkoušky se aplikovala vývojka (bílý sprej) obdobným způsobem jako penetrace, která vytváří barevnou indikaci vady [10].

Název součásti:	zkušební deska TS-1
Výrobek:	svařenec
Typ penetrantu:	MR 68 (prostředek na odstranění penetrantu MR 79)
Typ vývojk:	MR 70 (prostředek na odstranění vývojk MR 79)
Způsob nanášení:	sprej
Teplota vzorku:	18°C
Stav povrchu:	neobrobený
Tepelné zpracování:	žihání



Obr. 3-20 Sprej pro kapilární zkoušku

Vyhodnocení kapilární zkoušky:

- ◆ Svarový spoj vyhovuje.

Pokud by byly v materiálu nějaké trhliny, na bílém povrchu by se objevily červeně zabarvené ve formě bodů nebo linií.

3.7 Postup svařování

Po dohodě s konzultantem s TS Plzeň, a. s. byl navržen postup svařování dle WPS – obr. 3-22 metodou 135 MAG (Metal Active Gas) při teplotě předehřevu 180°C [7].



Obr. 3-21 Svařovací zařízení KEMPPPI PS 5000 [20] (WPS TS-1/13)

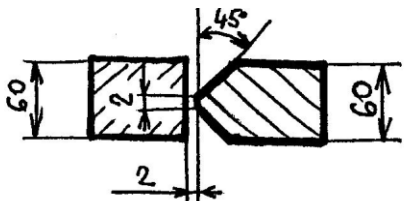
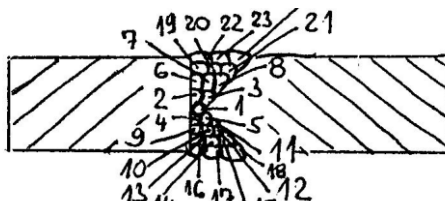
TS Plzeň, a. s.	Specifikace svařovacího postupu	Číslo dokladu WPS: WPS Reference No: TS – 1/13
	WPS Manufacturer's Welding Procedure Specification	Číslo dokladu WPQR: WPQR Reference No: TS – 1/13

Místo: Location:	Plzeň	Zkušební orgán: Examiner:	TS Plzeň, a. s.
---------------------	-------	------------------------------	-----------------

Postup svařování výrobce:
Manufacturer's Welding Procedure:

Způsob přípravy a čištění: Method of Preparation and Cleaning:	Řezáno kyslíkem, pískováno, frézováno		
Výrobce: Manufacturer:	TS Plzeň, a. s.	Specifikace ZM: Parent Material Specification:	S 355 J2 G3 N
Jméno svařeče: Welder's Name:		Tloušťka součásti [mm]: Material Thickness [mm]:	60
Svařovací proces: Welding Process:	135 (MAG)	Vnější průměr [mm]: Outsider Diameter [mm]:	---
Druh svaru: Point Type:	Oboustranný (K-svar)	Poloha svařování: Welding Position:	PA

Údaje k přípravě úkosu (výkres):/Weld Preparation Details (Sketch):

Tvar spoje: Point Design:	Postup (sled) svařování: Welding Sequences:
	

Podrobné údaje ke svařování:/Welding details:

Housenka Run	Proces Process	Prům. PM Size of Filler Mat.	Proud [A] Curr. [A]	Napětí [V] Volt [V]	Druh proudu polar. Type of Curr. polar.	Posuv drátu Wire Feed Speed	Rychlost posuvu Travel Speed	Tepelný příkon Heat Input
1 – 4	135	1,2	155	20,2	DC + =	5,1	---	---
5 – 24	135	1,2	260	29	DC + =	9,1	---	---

PM – značka, zařazení: Filler Metal Classif., TradeName:	SG2 – ČSN EN 440		
Zvláštní předpisy pro sušení: Any Special Backing or Drying:	---		
Plyn – tavíadlo: Gas – Flux:	Plyn – ČSN EN ISO 14175	Průtok plynu: Gas, FlowRate:	1/min
Ochranný plyn: Shielding:	M21 (MISON 18)	Ochranný plyn: Shielding:	11 - 13
Ochrana kořene: Backing:	---	Ochrana kořene: Backing:	---
W elektr./typ, průměr: Tungsten Electr./Type, Size	---	Další informace: Other Information:	---
Údaje o drážk/ochraně kořenu: Detail of Backgouging/backing:	---	Rozkvy (max. š. housenky) Eg. Weaving (max width of run)	---
Teplota předehřevu: Preheat Temperature:	180 °C	Oscilace/amplituda, frekvence, doba prodlevy: Oscill./Amplit.Freq., dwelltime	---
Teplota interpassu: Interpass Temperature:	---	Údaje o puls. svařování: Pulse welding data:	---
Tepelné zprac./vytvřování: Post. Weld Head Heatment (Ageing):	VSB (vibrační - odstranění napětí)	Vzdálenost kontakt. dýzy: Standoff Distance:	12 mm
Doba, teplota, postup: Time, Temperature, Method:		Svařovací zařízení: Welding Machine:	KEMPMI PS 5000
Výrobce: Manufacturer:	TS Plzeň, a. s.	Zkušební orgán: Examiner:	Ing. Kraft Jaroslav, EWE
Jméno, datum podpis: Name, Date, Signature:		Jméno, datum podpis: Name, Date, Signature:	

Obr.3-22 Postup svařování - WPS (Welding Procedure Specification) [1], [11], [21]

4 Ekonomické hodnocení

Technicko-ekonomické hodnocení technologie svařování bylo provedeno jak pro původní technologii (111), tak pro nově zvolenou technologii (135). Z údajů, které poskytla firma TS Plzeň, a. s., ceníku firmy ESAB a výpočtem byla provedena kalkulace.

Parametry, které ovlivňují ekonomiku svařování, závisí na technických podmínkách a charakteru svařenců v každém podniku. Existuje řada způsobů a ukazatelů pro ekonomické hodnocení svařování.

Výpočet jednotlivých nákladů:

- Mzdové a režijní náklady na svářeče
- Náklady na přídatný svařovací materiál
- Náklady na ochranné plyny, popřípadě tavidla

Mzdové a režijní náklady na svářeče

$$N_1 = \frac{S_{sv}}{G_{tav} \cdot t_{využ}} \quad [Kč / kg]$$

- kde S_{sv} hodinová sazba svářeče [Kč/h]
Hodinová sazba je dána mzdovými náklady + odvody z mezd + režijními náklady, ve výpočtu uvažujeme podle firmy TS Plzeň = 650,00 Kč/h.
- G_{tav} výkon vytavení svarového kovu [kg/h]
Výkon vytavení SK závisí na použité technologii svařování a na použitých parametrech svařování.
- $t_{využ}$ časové využití fondu pracovní doby pro svařování tj. podíl času hoření oblouku elektrody nebo drátu z celkové pracovní doby.
Jde o individuální parametr podniku dle charakteru výroby a dle podmínek svařování (robot, manipulátor, polohovadlo ručně řízené, programovatelné polohovadlo, manipulace s jeřábem apod.). Běžně se tento ukazatel pohybuje u ručního svařování 25 až 30%, ve výpočtu uvažujeme = 30% [22]

Náklady na přídatný svařovací materiál

$$N_2 = \frac{C_{sv}}{V_{sv}} \quad [Kč / kg]$$

- kde C_{sv} cena přídatného svařovacího materiálu [Kč/kg]
Pro metodu 111 MMA – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou je cena 45,00 – 55,00 Kč/kg, pro metodu 135 MAG – ruční svařování plným drátem (byl použit drát o \varnothing 1,2 mm SG2 (ČSN EN 440) a posuv drátu 5,1 – 9,1 m/min) je cena 29,00 – 34,00 Kč/kg.
- V_{sv} využití přídatného materiálu (elektroda nebo svařovací drát) = přeměna ve SK [%].
Závisí na použité technologii (u metody 111 = ~70% (část elektrody není využita – tzv. nedopalek), u metody 135 MAG = ~90% (rozstřík SK)) [22].

Náklady na ochranné plyny

$$N_3 = \frac{Q_{\text{plyn}} \cdot C_{\text{plyn}}}{G_{\text{tav}}} \quad [\text{Kč} / \text{kg}]$$

kde Q_{plyn} průtočné množství ochranného plynu [l/h]
Běžné hodnoty 10 až 15 l/min., ve výpočtu uvažujeme 15 l/min. = 900 l/h
 C_{plyn} cena ochranného plynu [Kč/l]
Při kalkulaci ceny je nutné brát v úvahu i náklady na pronájem lahví. Běžná cena pro směsný plyn = cca 1 480,00 Kč (50 litrová láhev/300 bar = tj. zisk 17,3 m³). Pro směsný plyn M21 (Mison 18) od firmy Linde uvažujeme běžnou cenu = 85,00 Kč/m³ (včetně pronájmu za láhev). Pro potřeby výpočtu dosazujeme cenu $C_{\text{plyn}} = \frac{1480}{17300} = 0,086 \text{ Kč} / \text{litr}$. V praxi se cena za ochranný plyn pohybuje kolem 3 – 5 % z celkové ceny za vytavený SK. Cena plynu může být nižší při použití rozvodů směsného plynu.
 G_{tav} výkon vytavení při svařování [kg/h]

Celkové náklady na 1kg vytaveného SK:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad [\text{Kč} / \text{kg}] \quad [22]$$

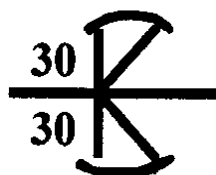
Př.	metoda	S_{sv}	G_{tav}	t_{vuz}	N_1	C_{sv}	V_{sv}	N_2	Q_{plyn}	C_{plyn}	N_3	N
1.	111 manual	650	3,1	0,3	699,0	104,6	0,7	149,4	0	0	0	848,4
2.	135 manual	650	5,9	0,3	367,2	36,5	0,9	40,6	900,0	0,086	13,1	420,9

Tab. 4-1 Příklady výpočtu nákladů na 1 kg vytaveného kovu pro metody 111 a 135 [21]

Př.	metoda	N_1 [% z N]	N_2 [% z N]	N_3 [% z N]
1.	111 manual	82,39	17,61	0
2.	135 manual	87,24	9,65	3,11

Tab. 4-2 Podíl nákladů N_1 , N_2 a N_3 na celkové ceně na kg vytaveného kovu

Z výše uvedené tabulky 4-1 vyplývá, že náklady N_1 jsou u metody 111- MMA 1,9x vyšší než u metody 135 MAG, náklady N_2 u metody 111 jsou 3,67x vyšší než u metody 135.



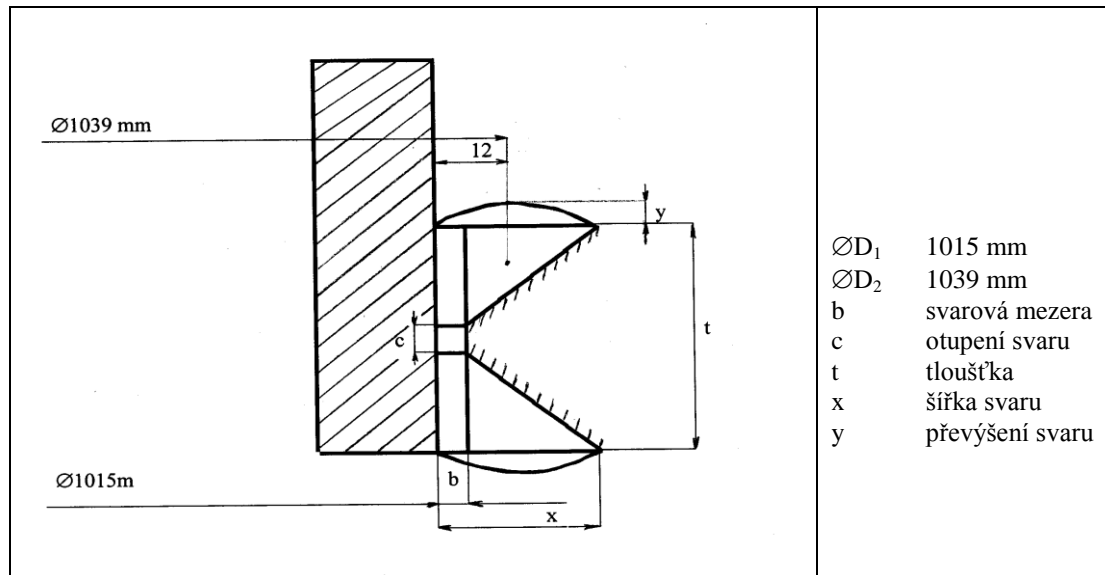
Obr. 4-1 Značení svaru na výkrese

Výpočet nákladů N_{sv} pro svar (obr. 4-1) o $\varnothing D_2 = 1039 \text{ mm}$ (dle obr. 4-2):

Norma udává pro svar daného tvaru a rozměru průměru elektrod, počet svarových vrstev, počet spotřebovaných elektrod na jeden běžný metr a hmotnost spotřebovaných elektrod. Spotřeba elektrod se vypočte ze součtu množství svarového kovu, potřebného k vyplnění průřezu svaru včetně převýšení, z přírážky na rozstřík, odpar a nevyužití konců elektrod [23].

$\varnothing D_2$	b	c	t	x	y
1 039 mm	2 mm	2 mm	60 mm	35 mm	2 mm

Tab. 4-3 Údaje pro výpočet



Obr. 4-2 Náčrt K-svaru pro výpočet celkových nákladů na svar

Délka svaru \underline{L} :

$$L = \pi \cdot D_2 = \pi \cdot 1039 = 3263 \text{ mm}$$

Šířka svaru \underline{x} :

$$x = b + \frac{t-c}{2} \cdot \text{tg} \beta + 4 = 2 + \frac{60-2}{2} \cdot 1 + 4 = 35 \text{ mm}$$

Plocha svaru \underline{S} :

$$S = t \cdot b + \frac{(t-c)^2 \cdot \text{tg} \beta}{4} + \frac{4}{3} xy = 60 \cdot 2 + \frac{58^2 \cdot 1}{4} + \frac{4}{3} 35 \cdot 2 = 1054,3 \text{ mm}^2$$

Hmotnost svaru \underline{m} :

$$m = \frac{S \cdot \pi \cdot D_2 \cdot \gamma \cdot z_1 \cdot z_2}{1000} = \frac{0,10543 \cdot \pi \cdot 10,39 \cdot 7,8 \cdot 1,1 \cdot 0,97}{1} = 28,641 \text{ kg}$$

- γ specifická hmotnost ocelového jádra elektrod
- z_1 součinitel ztrát nevyužitím konců elektrod
- z_2 součinitel ztrát rozstříkem a vypařením [23]

Celkové náklady na zavaření svaru (obr. 4-1):

Metoda 111: $N_{sv111} = m \cdot N = 28,641 \cdot 848,4 = 24\,299,00 \text{ Kč}$

Metoda 135: $N_{sv135} = m \cdot N = 28,641 \cdot 420,9 = 12\,050,00 \text{ Kč}$

Př.	Metoda	L [mm]	S [mm ²]	m [kg]	N [Kč/kg]	N _{sv} [Kč]
1	111 manual	3 263	1 054,3	28,641	848,4	24 299,00
2	135 manual				420,9	12 050,00

Tab. 4-4 Celkové náklady na zavaření svaru

Uvedené výsledky výrazně ovlivňuje charakter výroby a technické podmínky, které jsou individuální pro každou firmu.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout novou technologii svařování, posoudit technologické a mechanické vlastnosti svarového spoje tlustých plechů u horní komory vulkanizačního lisu. Původní technologie svařování metodou 111 (MMA) jsme nahradili technologií poloautomatického svařování 135 (MAG). V úvodní části byly popsány jednotlivé technologie svařování a typy zkoušek na zkušebním kusu.

V experimentální části bylo zahrnuto svaření a experimentální vyhodnocení svarového spoje. Experimentální zkoušky zahrnovaly makrostrukturu i mikrostrukturu svarového spoje, průběh tvrdosti včetně grafického znázornění, nedestruktivní zkoušky (vizuální kontrola, zkouška ultrazvukem, kapilární zkouška). Pro navrženou technologii svařování byl sestaven postup svařování – WPS.

V závěrečné části byl proveden ekonomický rozbor jak pro původní technologii svařování, tak i pro nově zvolenou technologii 135 MAG a výpočtem uvedena kalkulace. Ze všech ukazatelů je tato metoda ekonomicky výhodnější - tab. 4-4.

Z důvodu vyšších nákladů a nižší produktivity práce se postupně upouští od metody svařování obalenou elektrodou (111 MMA). Tato metoda má však své nezastupitelné místo zejména na montážích a při svařování náročných a speciálních svarových spojů.

Seznam použitých zkratk a symbolů:

ZM	Základní materiál
TOO	Teplem ovlivněná oblast
SK	Svarový kov
EU	Evropská unie
DC	Direkt Current – stejnosměrný proud
AC	Alternating Current – střídavý proud
MMA	Manual Metal Arc
MAG	Metal Activ Gas
MIG	Metal Inert Gas
WIG/TIG	Wolfram Inert Gas/Tungsten Inert Gas
ŘEM	Řádkovací elektronová mikroskopie
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for Standartization
DIN	Deutsches Institut für Normung
ASME	American Society of Mechanical Engineers
WPS	Welding Procedure Specification
HV2	Tvrдость podle Vickers při zatížení 2000g
Re	Min. mez kluzu
Obr.	Obrázek

Seznam použité literatury:

- [1] *Prospekty a materiály firmy TS Plzeň, a. s.*
- [2] KOVAŘÍK, R., ČERNÝ, F.: *Technologie svařování*. ZČU v Plzni, 2000
- [3] <http://www.techstroj.g6.cz/>
- [4] MINAŘÍK, V.: *Technologie svařování a zařízení*. Zeross–svářečské nakladatelství Ostrava, 2001
- [5] <http://www.moje-svarecka.cz/elektrody/47-elektrody-eb-121.html>
- [6] ČSN EN 10027: *Systémy označování ocelí – Část 1: Stavba značek ocelí; Část 2: Systém číselného označování*
- [7] ČSN EN 29692: *ROS, svařování v ochranných plynech a plamenové svařování – Příprava svarových ploch pro svařování oceli*
- [8] ČSN EN ISO 6507-1: *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda*
- [9] ČSN EN ISO 5817: *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality*.
- [10] ČSN 01 5016: *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení materiálu a výrobků kapilárními metodami*
- [11] ČSN EN ISO 4063: *Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování*
- [12] MINAŘÍK, V.: *Přehled metod svařování*. Zeross–svářečské nakladatelství Ostrava, 1998
- [13] <http://automig.cz/>
- [14] KUNCIPÁL, J., PILOUS, V., DUNOVSKÝ, J.: *Nové technologie ve svařování*. SNTL 1984
- [15] Studijní materiálu z předmětu KMM/ZME – Základy metalografie – ZČU v Plzni
- [16] www.controltest.cz
- [17] <http://www.svarbazar.cz>
- [18] <http://www.ndtsevis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni/ultrazvukova-metoda-ut-emat>
- [19] ČSN EN 10160: *Zkoušení ocelových plochých výrobků o tloušťce 6 mm a větší ultrazvukem (odrazová metoda)*
- [20] <http://www.westermans.com/>
- [21] ČSN EN ISO 6947: *Svařování – Pracovní polohy – Definice úhlů sklonu a otočení*
- [22] Novák, S., Mráček, J.: *Parametry, které ovlivňují náklady na svařování*. První železářská společnost Kladno
- [23] *Technicko-hospodářské normy: Normy spotřeb elektrod pro ruční obloukové svařování*. Matice Hornicko-hutnická v Praze, 1956
- [24] *Katalog přídatných svařovacích materiálů*. EsabVamberk