

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ**

Ústav strojírenské technologie

**OPTIMALIZACE PROCESU SVAŘOVÁNÍ NÁSADY A
VÝLOŽNÍKU ZEMNÍHO RYPADLA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Alexander Sedláček

Studijní obor:

Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.

Praha 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Bc. Alexandra SEDLÁČKA

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Optimalizace procesu svařování násady a výložníku zemního rypadla

Název anglicky: Optimizing welding process of handle and boom of excavator

Zásady pro vypracování:

1. Návrh parametrů svařování pro snížení ovality pouzder
2. Experimentální ověření modifikované technologie svařování
3. Měření válcovitosti a souososti svařeců, studium topologie povrchů
4. Vyhodnocení mechanických a strukturních charakteristik svarových spojů



Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.

Konzultant:

Datum zadání diplomové práce: 10. 4. 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

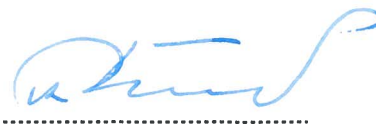
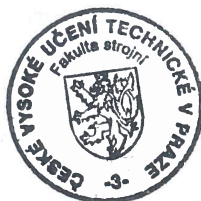
Zadání diplomové práce převzal dne: 16.6.2015



Student



Vedoucí ústavu



Děkan

V Praze

dne 10. 4. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....
Podpis

Rád bych poděkoval:

svému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Suchánkovi, CSc., za pomoc při řešení problémů v průběhu diplomové práce.

Poděkovat chci také panu Ing. Němcovi, Ph.D., IWE, panu Ing. Rusnákovi, IWE, panu Grambličkovvi, IWS a panu Dobiášovi z firmy Doosan Bobcat Manufacturing spol. s r.o. za cenné rady při řešení této práce.

ANOTACE

<i>Název práce:</i>	Optimalizace procesu svařování násady a výložníku zemního rypadla
<i>Autor:</i>	Alexander Sedláček
<i>Druh práce:</i>	Diplomová
<i>Vedoucí práce:</i>	prof. Ing. Jan Suchánek, CSc., Ústav strojírenské technologie, ČVUT v Praze

Anotace:

Diplomová práce je zaměřena na svařování násady a výložníku ve výrobním procesu pomocí metody svařování v ochranném plynu MAG. Cílem práce je eliminace obrábění funkčních ploch po svařování.

V teoretické části je popsána historie vývoje rypadel, metalurgie a deformace během svařování, doporučené technologie svařování pro konstrukční oceli, kinematika a dynamika pracovní skupiny a měření na souřadnicových měřicích strojích.

Praktická část se zaměřuje na svařování jednotlivých dílců tj. volbu svařovacích parametrů, konstrukce svařovacích přípravků a celkový výrobní proces. Po svařování byla provedena vizuální kontrola, pomocí souřadnicového měřicího stroje změřena odchylka od předepsané válcovitosti, vytvořeny metalografické snímky a provedena zkouška mikrotvrdosti svarových spojů.

Na závěr jsou zhodnoceny výsledky výše uvedených měření a jejich vliv na výsledek.

<i>Klíčová slova:</i>	Svařování, výrobní proces, MAG, deformace
<i>Rozsah práce:</i>	90 stran
<i>Počet obrázků:</i>	70
<i>Počet tabulek:</i>	40
<i>Počet grafů:</i>	11
<i>Počet příloh:</i>	1

ANNOTATION

Thesis title: Optimizing welding process of arm and boom of excavator
Author: Alexander Sedláček
Type of work: Master
Supervisor: prof. Ing. Jan Suchánek, CSc., Institute of Manufacturing Technology CTU in Prague

Annotation:

Master thesis is focused on the welding Arm and Boom in manufacturing process with method MAG. Target this thesis is elimination machining of bushing after welding process. The theoretical part is focused on the history excavators, metalurgy, deformation after welding, recommended welding methods for this application, dynamics and kinematics of work group and a little bit of measurement on the coordinate measuring machines. Practical part is focusing on the welding arm and boom, welding parameters, welding fixtures and completely manufacturing process. After welding of samples, it was VT and measurement of cylindricality, and metallography. On the metallography patterns was measure hardness test and welding join for test macrostructure. On the end is conclusion, evaluation of results and effect on process in manufacturing.

Key words: Welding, cylindricality, MAG, metallography patterns
Scope of work: 90 pages
Number of pictures: 70
Number of tables: 40
Number of graphs: 11
Number of appendix: 1

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. HISTORIE	9
3. FYZIKÁLNÍ, METALURGICKÉ A METALOGRAFICKÉ ZÁKLADY SVAŘOVÁNÍ	11
3.1. SVAŘOVÁNÍ JAKO SUPERPOZICE TEPLOTNÍHO A DEFORMAČNÍHO ÚČINKU.....	11
3.2. ZÁKLADNÍ ZDROJE TEPLA PŘI JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍCH SVAŘOVÁNÍ.....	11
4. DOPORUČENÉ TECHNOLOGIE PRO SVAŘOVÁNÍ KONSTRUKČNÍ OCELI VYUŽÍVAJÍCÍ JAKO ZDROJ TEPLA ELEKTRICKÝ OBLOUK.....	13
4.1. SVAŘOVÁNÍ OBALENOU ELEKTRODOU - MMA	15
4.2. SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH - MIG / MAG	16
4.3. SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH - WIG (TIG)	17
4.4. SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM.....	18
5. VNESENÉ TEPLLO JAKO ZDROJ PRO SVAŘOVÁNÍ.....	19
6. NAPĚTÍ A DEFORMACE PŘI SVAŘOVÁNÍ	21
7. MECHANIKA PRACOVNÍ SKUPINY	22
8. MĚŘENÍ NA SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJÍCH.....	24
9. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
9.1. STUDIE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE A FUNKČNOSTI DÍLŮ	27
9.2. POPIS VÝROBNÍHO PROCESU VÝLOŽNÍKU.....	30
9.2.1. STEHOVÁNÍ VÝLOŽNÍKU	30
9.2.2. SVAŘOVÁNÍ VÝLOŽNÍKU	32
9.3. POPIS VÝROBNÍHO PROCESU NÁSADY.....	33
9.3.1. STEHOVÁNÍ NÁSADY	33
9.3.2. SVAŘOVÁNÍ NÁSADY	35
9.4. NÁVRH TEPELNÉHO PŘÍKONU – VÝLOŽNÍK	38
9.5. MĚŘENÍ VÁLCOVITOSTI PO SVAŘOVÁNÍ - VÝLOŽNÍK.....	40
9.6. VIZUÁLNÍ KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ - VÝLOŽNÍK	42
9.7. METALOGRAFIE A ZKOUŠKA TVRDOSTI – VÝLOŽNÍK.....	44

9.8. VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTI VNESENÉHO TEPLA NA DEFORMACI – VÝLOŽNÍK.....	49
9.9. NÁVRH TEPELNÉHO PŘÍKONU – NÁSADA	53
9.10. MĚŘENÍ VÁLCOVITOSTI PO SVAŘOVÁNÍ – NÁSADA.....	58
9.11. VIZUÁLNÍ KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ – NÁSADA	62
9.12. METALOGRAFIE A ZKOUŠKA TVRDOSTI – NÁSADA	66
9.13. VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTI VNESENÉHO TEPLA NA DEFORMACI – NÁSADA.....	74
10. ZÁVĚR.....	81
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	83
12. SEZNAM OBRÁZKŮ	85
13. SEZNAM TABULEK.....	87
14. SEZNAM GRAFŮ	89
15. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, JEDNOTEK A ZKRATEK	90

Příloha I.

Výsledky měření válcovitosti, metalografie a mikrotvrdomosti.

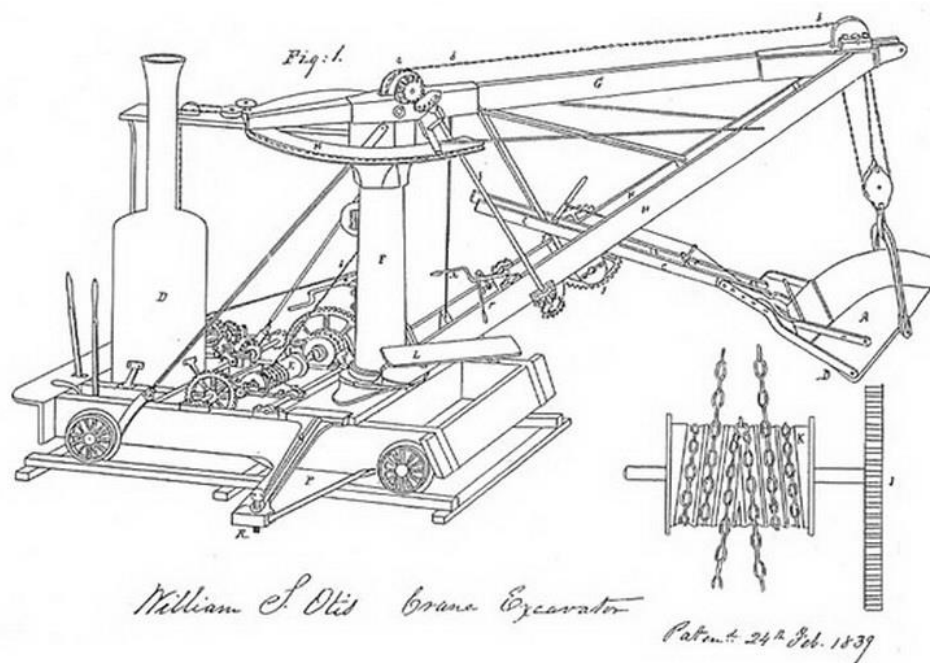
1. ÚVOD

Uspokojování dnešních potřeb lidské populace závisí na dosažitelnosti a spolehlivosti nejrůznějších strojů a zařízení. K zajištění funkce strojů a zařízení je nepostradatelná optimální konstrukce, kvalitní výroba, cyklická údržba a kvalitní opravy, které nám umožní provoz za požadovaných technických a ekonomických požadavků tak, aby jsme byli schopni dodržet kvalitu výrobního procesu, která je nedílnou součástí každého strojírenského podniku, který má cíl být se svými výrobky na trhu konkurence schopný.

Předmětem zkoumání této diplomové práce je výrobní proces konstrukce pracovní skupiny (násady a výložníku) zemního rypadla. Cílem bude optimalizovat výrobní proces svařování v pohyblivé svařovací lince s požadovanou kvalitou a přesností za co nejnižší investiční a režijní náklady, což v tomto případě znamená bez následného obrábění funkčních ploch po svařování, či omezení obrábění na určitých místech. Omezení obrábění funkčních ploch by například zjednodušilo požadavky na obráběcí stroje a jejich množství, které jsou poměrně nákladná záležitost pohybující se v řádu desítek milionů korun.

2. HISTORIE

Když pohlédneme na vývoj lidstva, zjistíme, že si člověk přizpůsobuje svět k obrazu svému. Stopy používání primitivních rypadel zaznamenali historici již ve starověkém Egyptě. První dochované výkresy rypadel pocházejí ale až z 16. století. Tato rypadla byla poháněna lidskou silou, většinou plavala po vodě a sloužila pro hloubení koryt řek.



Obrázek 1. Schématický obrázek prvního rypadla na světě, poháněného parou

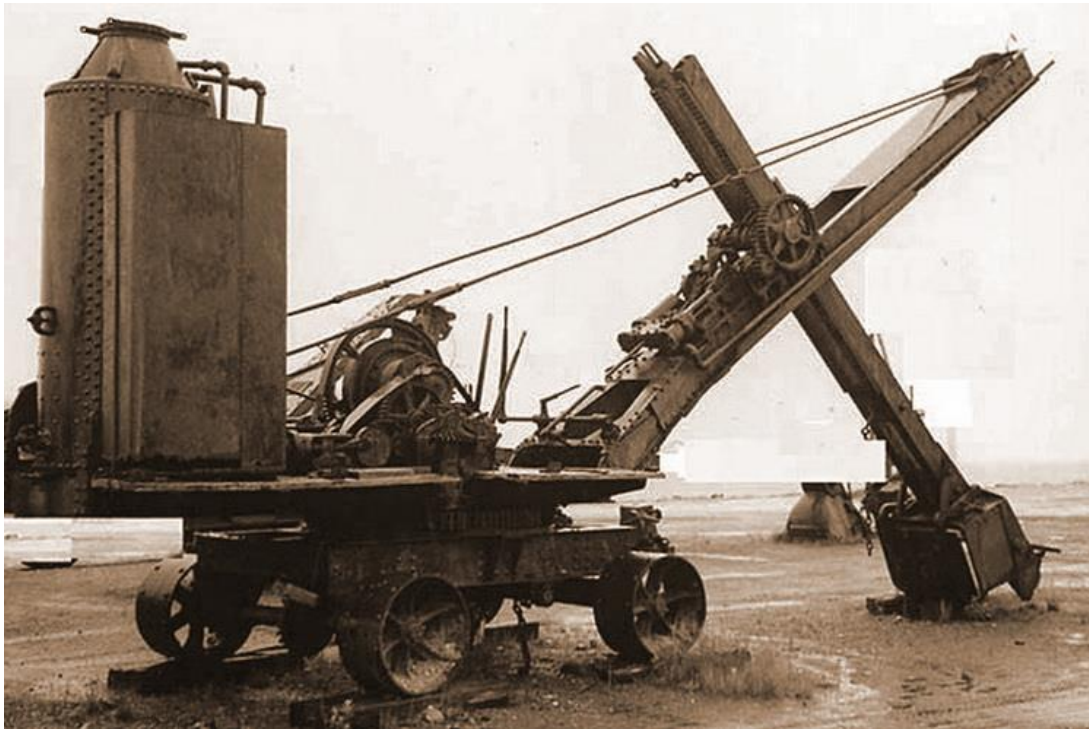
Průmyslová revoluce

Jak čím dál více lidstvo zasahuje do přírody, tak k tomu potřebuje komplikovanější nářadí, popřípadě stroje, jakým je i rýpadlo. První známky rýpadla, jak ho známe dnes, se objevily v období Průmyslové revoluce, která razantně ovlivnila lidskou společnost. V té době obvyklá manuální práce přešla na strojní výrobu, která razantně zvýšila produktivitu práce. Velkým přínosem k tomuto dění bylo vynalezení parního pohonu. Již v roce 1796 bylo v Anglii postaveno parní rýpadlo GRIMSHAW - jednalo se o říční rýpadlo. To bylo osazeno na pramici, kterou poháněl parní motor o výkonu 3 kW a v roce 1780 byl prvotně aplikován jako pohon pro stroje používaných v dolech.

Otisovo parní rýpadlo

V období Průmyslové revoluce vzniká první rýpadlo, a to rýpadlo lopátkové, poháněné parou. Vynalezl jej William Otis (1813 - 1839) roce 1835, ve věku 22 let. První stroj byl znám pod názvem „Částečný otoč“, protože rameno s lopatou se nemohlo otáčet 360 stupňů, jak je to u dnešních rýpadel. Tyto stroje byly konstruovány k použití na kolejích. Na konstrukci s kolejovou nápravou, na kterém byla umístěna nádrž a pohonné motory, bylo připevněno rameno s lopatou vždy na jednom konci této konstrukce.

Základní principy Otisova lopatkového stroje jsou dodnes používány u těchto druhů strojů. Parní rýpadla s otáčecím rádiusem 360 stupňů byla vynalezena v Anglii v roce 1884.



Obrázek 2. Jeřáb-rypadlo z roku 1839

V roce 1839 si William Otis stihl patentovat tzv. jeřáb - rypadlo, načež téhož roku ve svých 26 letech umírá. Jeřáb-rypadlo byl postaven na kolejovém podvozku a umožňoval veškeré výkopové práce, na které jsme stále zvyklí u lanových rypadel - zvedání, pojíždění, prohrabování, otáčení apod. Objem lžice činil 1,0 až 1,2 m³ [15].

3. FYZIKÁLNÍ, METALURGICKÉ A METALOGRAFICKÉ ZÁKLADY SVAŘOVÁNÍ

Svařovaná konstrukce vznikne svařením jednotlivých dílů, polotovarů a podskupin v celek; vzniká nerozebitelné spojení. Vlastnosti tohoto spojení je nutno posuzovat v celku. Nejsou rozhodující jen vlastnosti základního materiálu použitého pro výrobu jednotlivých dílů svařované konstrukce, nebo jen vlastnosti přídavného materiálu (svarového kovu), kterým spojujeme jednotlivé díly, neboť kromě vlivu metalurgických dějů při svařování přistupuje ještě vliv tepelně deformačního (tenzometrického) účinku svařování na vlastnosti základního materiálu. Proto je nutné vzít v úvahu vlastnosti vlastnosti všech jednotlivých částí vytvořeného spojení, tzv. svarového spoje: základního materiálu – tenzometricky ovlivněné oblasti základního materiálu – přechodové oblasti u hranice natavení – svarového kovu. Právě oblasti mezi svarem a neovlivněným základním materiálem jsou kritickými místy, pokud se týká změny vlastností v závislosti na ovlivnění svařovacím procesem (cyklem) – teplotním a deformačním účinkem [1,8,14].

3.1. SVAŘOVÁNÍ JAKO SUPERPOZICE TEPLOTNÍHO A DEFORMAČNÍHO ÚČINKU

Limitní vlastnosti svarového spoje (vznik thlin, nevyhovující vlastnosti z provozních podmínek) jsou determinovány tenzometrickým účinkem svařovacího procesu na základní materiál a svarový kov, ve většině případů se zhoršují užité vlastnosti svarového spoje. Účinek svařování nelze chápat odděleně jako teplotní a deformační cyklus, oba cykly se vzájemně podmiňují a interferují. Přitom je jasná priorita teplotního cyklu, který je u většiny technologií zdrojem deformačního cyklu. Obecně lze říci, že při všech technologiích svařování, u kterých je oblast svarového spoje vystavena tenzometrickému účinku, dochází k výraznému ovlivnění jejich mechanicko-fyzikálních vlastností. Svařováním se mění hlavně: struktura, pevnost a plasticita [1,8,14].

3.2. ZÁKLADNÍ ZDROJE TEPLA PŘI JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍCH SVAŘOVÁNÍ

Významnou úlohu z hlediska výsledků svařování má také stav, ve kterém se materiál nachází v době vzniku spojení dvou součástí a použitý druh energie na vytvoření svaru. Podle toho lze svařování rozdělit do několika skupin:

- a) *Svařování tavné*, při kterém se vhodným zdrojem tepla (např. kyslíkoacetylenový plamen, elektrický oblouk, plazma, laserový paprsek apod.) zahřeje základní a přídavný materiál až na teplotu tavení a oba materiály se vzájemně spojí. Do této skupiny patří svařování plamenem, ruční svařování elektrickým obloukem (elektrodami), automatické svařování pod tavidlem, elektrickým obloukem v ochranných atmosférách, elektrostruskové, plazmatem, elektronovým paprskem, či laserovým paprskem

- b) *Svařování za působení tepla a tlaku.* Rozsah teplot při tomto způsobu svařování je velký. Při některých technologiích se material ohřeje až na teplotu, kdy se začne tavit (např. svařování odporové bodové, švové, na lisech, stykové odtavením). Při jiných technologiích se material dostává jen do plastického stavu, jako je tomu např. u odporového stykového svařování tlakem. Jsou ale také technologie, kdy k natavení vůbec nedojde a k spojení dochází v tuhé fázi za působení teploty a tlaku, např. difúzní svařování, svařování tlakem za tepla a polotepla.
- c) *Svařování jen za působení tlaku, kdy není přiváděno žádné teplo a k spojení dojde pouze za působení tlaku* (výbuchem, tlakem za studena, svařování ultrazvukem) [1,8,14,15].

4. DOPORUČENÉ TECHNOLOGIE PRO SVAŘOVÁNÍ KONSTRUKČNÍ OCELI VYUŽÍVAJÍCÍ JAKO ZDROJ TEPLA ELEKTRICKÝ OBLOUK

Elektrický oblouk je dnes nejrozšířenějším zdrojem tepla používaným pro tavné způsoby svařování.

Je to nízkonapěťový stejnosměrný elektrický vysokotlaký výboj, který vzniká mezi jádrem elektrody a základním materiálem. Dodává teplo potřebné pro natavení základního materiálu i přídavného materiálu (jádro elektrody včetně obalu).

Oblouk při svařování hoří mezi záporným (katoda) a kladným (anoda) pólem. Elektrický oblouk může přecházet přes vzduchovou mezeru, nebo prostředím ochranného plynu (MAG MIG, WIG), když se toto prostředí stane vodivé. Vodivostí vzduchu a plynů se dosáhne ionizací, tzn. rozkladem jejich atomů na kladné a záporné částice - ionty.

Je charakterizován:

- vysokou hustotou výkonu ve sloupci EO,
- intenzivním vyzařováním v oblasti světla, tepla a ultrafialového záření,
- poměrně malým napětím na elektrodách (při svařování 10 až 50V).

Jeho výkon, geometrický tvar a teplotu EO je možné dle technologických požadavků volit v širokých mezích.

Metalurgické a fyzikální děje probíhají v oblouku velmi rychle, za vysokých teplot a jsou ovlivňovány:

- geometrickým uspořádáním systému katoda - anoda,
- chemickým složením plazmatu,
- tepelnou vodivostí plazmatu, elektrod a základního materiálu.

Jsou-li splněny základní podmínky pro stabilní hoření EO, je možno technologicky využít pro svařování toto zapojení:

1. elektroda - pól, ZM + pól (přímá polarita) - pro obalené elektrody a svařování WIG,
2. elektroda + pól, ZM - pól (nepřímá polarita) - pro obalené elektrody s bazickým obalem a metody MIG/MAG,
3. střídavý elektrický proud, polarita se mění v rytmu frekvence, používá se pro svařování obalenými elektrodami a svařování Al slitin metodou WIG [7,9].

ČÁSTI ELEKTRICKÉHO OBLOUKU

Sloupec elektrického oblouku

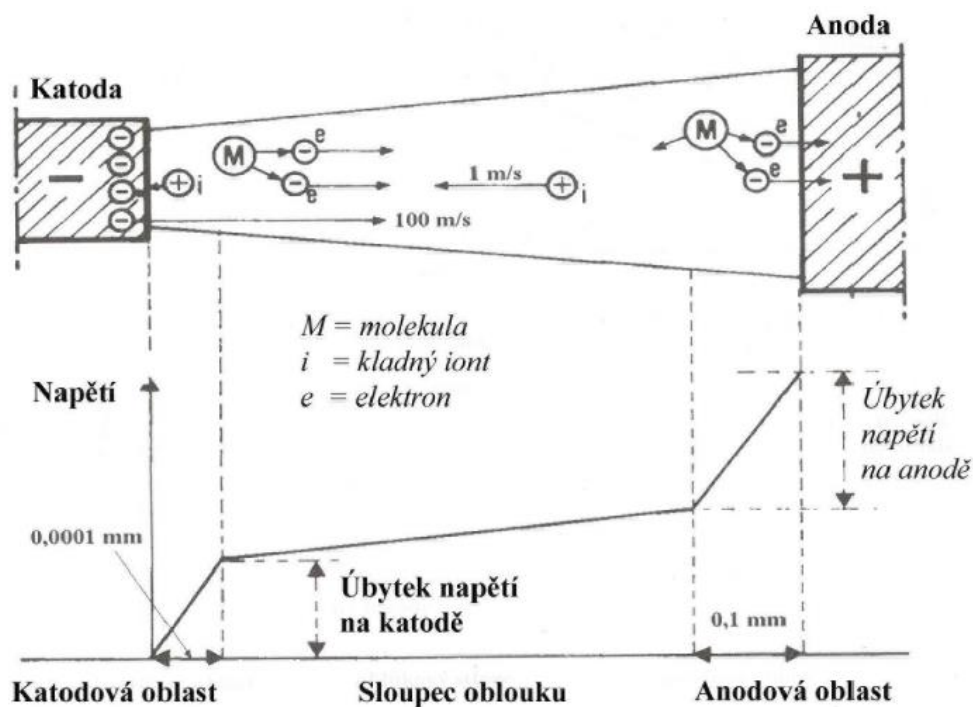
Jeho tvar je mírně rozšiřující se kužel směrem od katody k anodě - zobrazeno na obrázku 5. Elektrickou vodivost způsobuje přítomnost elektronů a aniontů, které vznikají důsledkem termické ionizace. Plazma elektrických svařovacích oblouků je většinou ve stavu "kvazineutrálním", tj. v daném objemu a okamžiku se předpokládá stejný počet kladných i záporných částic. Disociační a ionizační energie složek plazmatu se v okrajových částech oblouku uvolňuje a technologicky se tak využívá ke svařování.

Katodová oblast

V katodové oblasti, která má velikost $l_k = 10^{-6}$ až 10^{-7} m, nastává emise elektronů, která se koncentruje do katodové skvrny. Elektrický oblouk se zužuje, hustota proudu v katodové skvrně je 10^4 až 10^5 A·cm⁻². Katodový úbytek napětí $U_k=10$ až 16 V a teplota klesá z teploty sloupce t_s na teplotu povrchu katody kolem 2 230°C [7,9].

Anodová oblast

Anodová oblast, jejíž velikost je $l_a = 10^{-5}$ až 10^{-6} m produkuje větší tepelný příkon než oblast katodová v důsledku neutralizace katodou emitovaných elektronů. Anodová oblast má větší plochu [1,7].



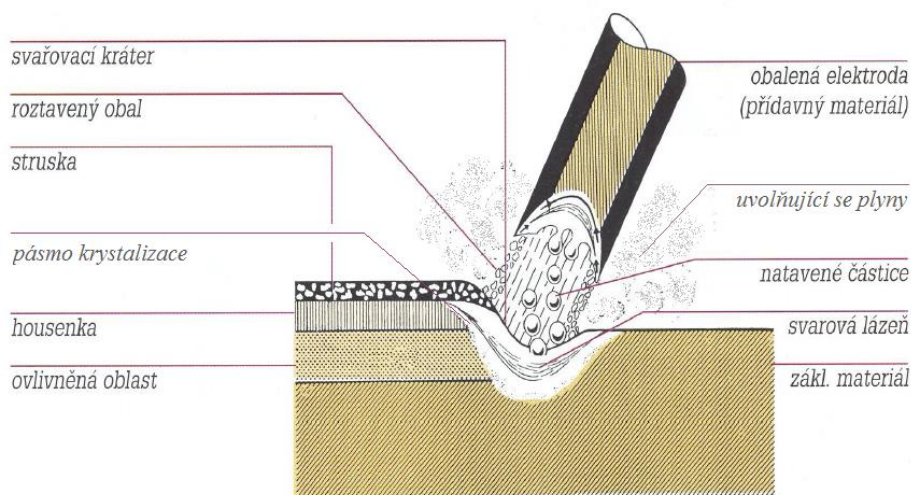
Obrázek 3. Schéma elektrického oblouku [9]

4.1. SVAŘOVÁNÍ OBALENOU ELEKTRODOU - MMA

Tato investičně nenáročná metoda si zachovává oprávněné použití tam, kde jde o obtížně mechanizovanou výrobu, kusovou či malosériovou výrobu, nebo opravy (renovace) nebo montážní práce.

Elektrický oblouk, který hoří mezi jádrem obalené elektrody (katodou) a základním materiálem (anodou), vytváří svarovou lázeň. Svarový kov vznikne z nataveného základního a přídatného materiálu z odtaveného jádra obalené elektrody. Před účinky atmosféry chrání svarovou lázeň plyny, které se uvolňují z obalu elektrody působením elektrického oblouku. Současně s postupným odtavováním elektrody se natavuje základní materiál v tzv. pásmu tavení, kde současně nastává důsledkem snížení rozpustnosti plynů jejich vylučování. Celý proces tvorby svaru je velice složitý, ovlivněný mnoha vlivy a charakterizovaný krátkou dobou průběhu. [1,2,7]

Polohy svařování:	všechny polohy (omezení pouze druhem elektrod)
Druh základního materiálu:	nelegované, nízkolegované i vysocelegované oceli, Ni, Cu, Al a jejich slitiny (případně i další materiály)
Tloušťka základního materiálu:	2 až 100 mm
Svařovací proud:	50 až 450 A
Napětí na oblouku:	15 až 40 V
Druh svařovacího proudu:	stejnoseměrný, střídavý
Průměr elektrod:	1,6 až 8 mm (obvykle 2 – 5 mm)
Vhodná statická charakteristika zdroje:	strmá
Zdroje svařovacího proudu	
Pro střídavý proud:	-transformátory, inventory
Pro stejnosměrný proud:	- usměrňovače, inventory [2,7]



Obrázek 4. Schéma svařování obalenou elektrodou [2]

4.2. SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH - MIG / MAG

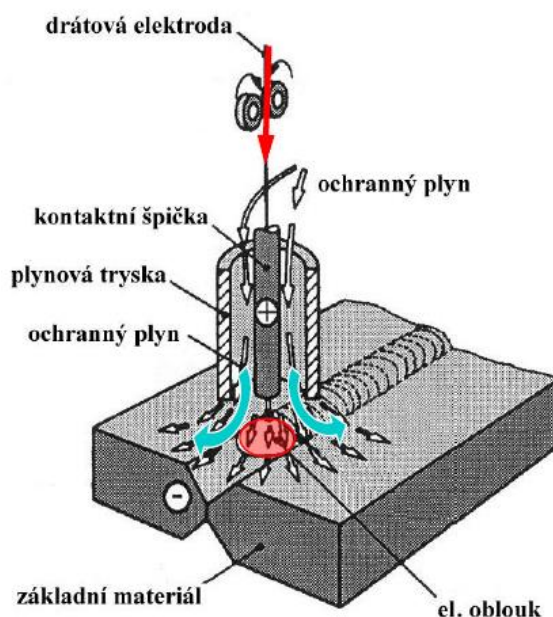
U těchto metod hoří elektrický oblouk mezi tavící se holou elektrodou a svařovaným materiálem. Oblouk je chráněn ochrannou atmosférou inertního nebo aktivního plynu. Jako přídavný materiál se používá drát navinutý na cívce, podávaný pomocí kladek hnaných elektromotorem do svařovací hubice. Tím lze svařovat dlouhé svarové housenky bez nutnosti přerušení procesu.

U metody MIG (Metal Inert Gas) se používají inertní plyny, nejčastěji argon, helium a směsi Ar, He a CO₂. Inertní plyn nereaguje s materiálem, a proto se metoda MIG používá nejčastěji pro navařování neželezných kovů.

Metoda MAG (Metal Activ Gas) využívá aktivní plyny a to hlavně CO₂, nebo směsi CO₂, Ar a O₂. Vlastnost této metody spočívá v tom, že aktivní plyny se podílejí na chemických reakcích při procesu svařování [1,4,7].

Polohy svařování:	všechny
Tloušťka zákl. materiálu :	0.8 až 40 mm
Druh základního materiálu :	MAG : nelegované a nízkolegované oceli MIG : vysocelegované ocele, Al, Cu, Ni a jejich slitiny
Přenos kovu :	Zkratový : IS = 40 až 190 A UEO = 16 až 21 V Sprchový : IS = 120 až 500 A UEO = 20 až 36 V
Druh svařovacího proudu :	Stejnosemřný (polarita nepřímá – elektroda na + pólu)
Průměry svařovacích drátů :	0,6 až 2,6 mm (obvykle od 0,8 do 1,2 mm)
Poloautomatický proces	- stat. charakteristika zdroje - plochá
Zdroje svařovacího proudu:	- točivé stroje (dynamo+motor) - usměrňovače, invertory

[1,4,7]



Obrázek 5. Princip metody MIG/MAG [4]

4.3. SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH - WIG (TIG)

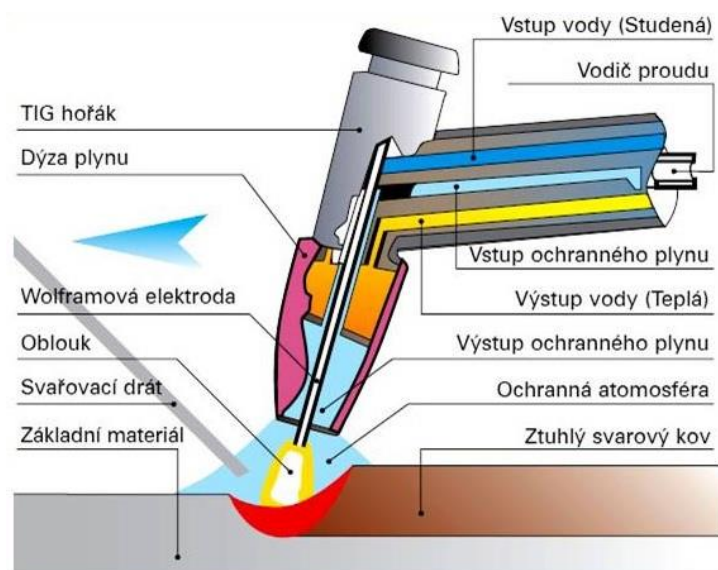
U metody tavného svařování WIG (Wolfram Inert Gas), označované někde také TIG (Tungsten Inert Gas) hoří oblouk mezi netavící se čistou wolframovou elektrodou, nebo s aktivující přísadou a svařovaným základním materiálem.

Jako ochranná atmosféra se používá inertní plyn, nejčastěji Ar, He nebo jejich směs. Podle potřeby může být použit přídavný materiál, který je ve formě drátu, tyčinky, nebo pásku a přivádí se do oblouku ručně (stejně jako u svařování plamenem).

Svařovací hořáky jsou chlazené, a to buď vzduchem, nebo vodou. Touto metodou se dají svařovat legované a vysokolegované ocele, slitiny Al, Mg, Cu, Ni, Ti, Ag, a Co (Stelity) [1,5,7].

Polohy svařování:	všechny
Tloušťka základního materiálu:	0.5 až 10 mm
Druh základního materiálu:	legované ocele, Al, Mg, Cu, Ni, Ti, Ag a jejich slitiny
Druh svařovacího proudu:	Stejnoseměrný (polarita přímá i nepřímá) i střídavý
Rozsah svařovacího proudu:	10 až 500 A
Průměry wolframových elektrod:	1 až 8 mm (obvykle od 2 do 4 mm)
Průměr přídavného materiálu:	0,8 – 4 mm (délka 1m) plné, plněné 0,6 – 2,4 mm (cívky)
Používané ochranné plyny:	inertní (Ar, He)
Vhodná statická cha. zdroje:	strmá
Zdroje svařovacího proudu	
Pro střídavý proud:	-transformátory
Pro stejnosměrný proud:	- usměrňovače - invertory

[1,5,7]



Obrázek 6. Schéma navařování metodou WIG (TIG) [5]

4.4. SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM

Tavné automatizované svařování, při kterém je využíván jako zdroj tepla elektrický oblouk, hořící pod vrstvou práškového tavidla, jehož část se taví a vytváří strusku. Přídavný materiál se používá ve formě drátu, plněného drátu nebo páskových elektrod.

Oproti ručnímu svařování elektrickým obloukem má tato metoda několikanásobně větší produktivitu a vysokou kvalitu svaru.

Tavidlo se zde přivádí ve formě prášku nebo granulátu podél elektrody. Svařování pod tavidlem lze rozdělit na jednoobloukové a víceobloukové. Na promísení svarového a základního kovu má velký vliv vzájemná poloha součástí a elektrody, napětí na oblouku, případně použití pomocné elektrody. U elektrody skloněné dopředu tlak oblouku neodhání tekutý kov a hloubka závaru je nižší, šířka návaru větší. U elektrody skloněné dozadu je tomu naopak [1,3,7].

Poloha svařování:	PA (vodorovná shora), do úžlabí – nebo mírně skloněná cca do 7° od této polohy, případně poloha PB
Minimální ekonom. délka svaru:	1000 mm
Rozsah tloušťek zákl. materiálu:	3 až 100 mm, případně i více (úzký úkos)
Rozsah svařovacího proudu:	200 až 2000 A (extrémně i 4000 A)
Rozsah napětí na oblouku:	20 až 50 V
Rozsah svařovacích rychlostí:	15 až 120 m/hod (výkon navaření 2–100 kg/hod)
Druh svařovacího proudu:	střídavý i stejnosměrný
Průměr přídavného materiálu:	2 až 8 mm (je možné použít i průměr 1,6 mm a extrémně i 13 mm), případně pásky
System regulace zdroje:	CC (proudová) i CV (napěťová)
Druh základního materiálu:	všechny druhy konstrukčních ocelí, vysokolegované oceli, slitiny Ni, Al, Cu

[1,3,7]



Obrázek 7. Technologie svařování pod tavidlem [3]

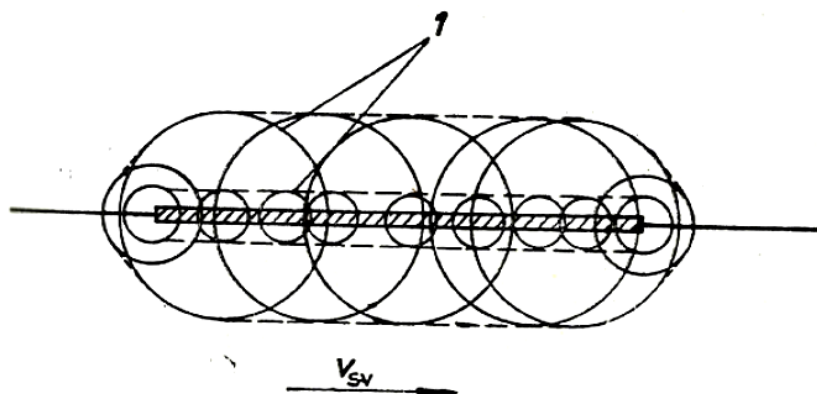
5. VNESENÉ TEPLA JAKO ZDROJ PRO SVAŘOVÁNÍ

V předchozích kapitolách bylo pojednáno o zdrojích tepla v souvislosti s konkrétním způsobem svařování, např.: plamen, elektrický oblouk, laser apod. Pro zjednodušení výpočtů tepelných procesů při svařování je nutné provést určitou schematizaci tepelných zdrojů a zařazení do skupin podle těchto hledisek:

1. Podle rozložení tepla:
 - a. Bodový zdroj, je uvažován při svařování materiálů velkých tlouštěk (trojrozměrný útvar),
 - b. přímkový zdroj, je uvažován při svařování tenkých plechů (dvourozměrný útvar),
 - c. plošný zdroj, vznikne při svařování tyčí malého průměru (jednorozměrný útvar).
2. podle doby působení
 - a. Okamžitý zdroj tepla, působí velmi krátce, např. stehování, někdy bodové a průvarkové svařování,
 - b. trvale působící zdroj tepla, působí delší dobu na základní materiál, izotermy mají tvar soustředných kružnic se středem.
3. podle polohy vůči sledovanému bodu základního materiálu:
 - a. Nepohyblivý zdroj tepla (bodové, průvarkové svařování apod.),
 - b. pohyblivý zdroj tepla (nejčastější případ),
 - c. rychle se pohybující zdroj tepla (automatické svařování pod tavidlem v ochranných atmosférách apod.).

Ve většině případů tavného svařování je využíváno bodového, nebo bodového rychle se pohybujícího zdroje tepla. Vlastní svařovací proces si potom můžeme představit jako množství bodových tepelných zdrojů, s konstatním tepelným výkonem, působících postupně na jednotlivé objemové elementy základního materiálu během celého svařování.

Dále se předpokládá, že tepelně fyzikální vlastnosti svařovaného materiálu se s teplotou nemění, a že teplo každého tepelného zdroje se šíří v materiálu nezávisle na působení ostatních tepelných zdrojů, ovšem tepla těchto jednotlivých zdrojů se superponují. To si můžeme názorně představit tak, že kolem každého tohoto zdroje tepla vznikají koncentrické kružnice, které se postupně s jeho pohybem vytvářejí – můžeme vidět na obr. 8. Proto tedy izotermy vzniklého teplotního pole při působení bodového pohyblivého zdroje tepla jsou součtové hodnoty teplot každého zdroje tepla v daném okamžiku. Tepelný příkon (vnesené teplo) se počítá dle vztahu (1) [1,8,14].



Obrázek 8. Schéma svařovacího procesu jako množství bodových zdrojů tepla, I -izotermy, v - rychlost svařování [1]

$$Q = \frac{P}{v_{sv}} = \eta \cdot \frac{I \cdot U \cdot 60}{v_{sv} \cdot 1000} \text{ [kJ/mm]} \quad (1)$$

Q = Tepelný příkon	[kJ/mm]
U = Napětí	[V]
I = Proud	[A]
v = rychlost svařování	[mm/min]
η = tepelný součinitel	[-]

Tepelný součinitel η

MMA	0,8
MAG	0,8
SAW	1,0
TIG	0,6

6. NAPĚTÍ A DEFORMACE PŘI SVAŘOVÁNÍ

Při svařování konstrukcí vznikají napětí, která při přechodu z elastického stavu do plastického způsobují deformace svařovaných dílů. Deformace konstrukce nepříznivě ovlivňují dodržení předepsaných rozměrů svařovaných konstrukcí. Přesnost konstrukce je dána přesností výroby jednotlivých konstrukčních prvků, ze kterých je konstrukce sestavena a svařena. K dosažení nejvyšší přesnosti svařované konstrukce je nutno zvýšit přesnost přípravy před svařováním. Velký vliv na konečnou přesnost svařené konstrukce mají deformace. Vnitřní napjatost velmi úzce souvisí se vznikem poruch a trhlin ve svařované konstrukci. K deformaci dochází při překročení meze elasticity oceli svařované konstrukce, z čehož vyplývá, že nejvyšší hladina vnitřních napětí je určena právě touto mezí. To znamená, že došlo-li k deformaci konstrukce, musela být překročena mezní hladina elasticity (meze kluzu oceli). Obecně lze konstatovat, že čím je hladina napětí při přechodu elastické deformace nižší, tím je například při lineární závislosti i náchylnost ke vzniku poruch ve svařované konstrukci menší.

Vznik napětí a následné deformace při svařování není možné zcela vyloučit avšak lze je vhodnými opatřeními v konstrukční a technologické přípravě výroby podstatně snížit. Jejich velikost je dána především konstrukčním uspořádáním svařence, tj. jeho tuhostí, tvarem a velikostí použitých svarových spojů, jejich umístěním, druhem použité technologie svařování, parametry svařování a tepelnám příkonem svařování.

Obecně celkové prodloužení a smrštění svarového spoje závisí na součiniteli tepelné roztažnosti, na teplotě, na volné délce svarového spoje. Prodloužení lze tedy počítat ze vzorce (2). [1,8,14].

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \quad (mm) \quad (2)$$

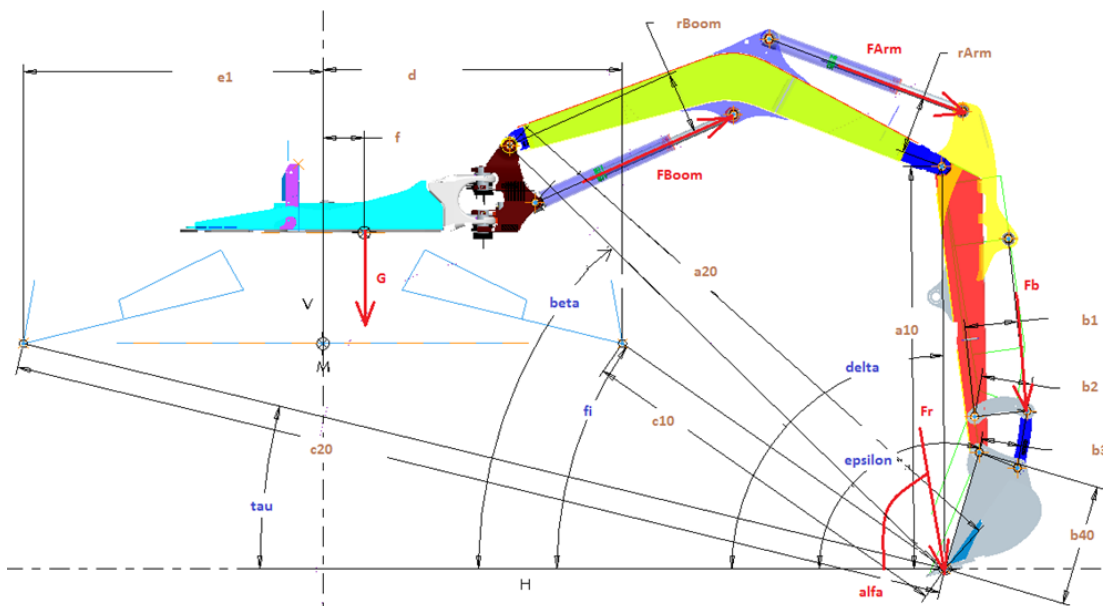
kde:

- Δl = prodloužení (smrštění) [mm],
- l = původní délka svarového spoje [mm],
- ΔT = gradient teploty [K, °C],
- α = součinitel tepelné roztažnosti [$mm \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$].

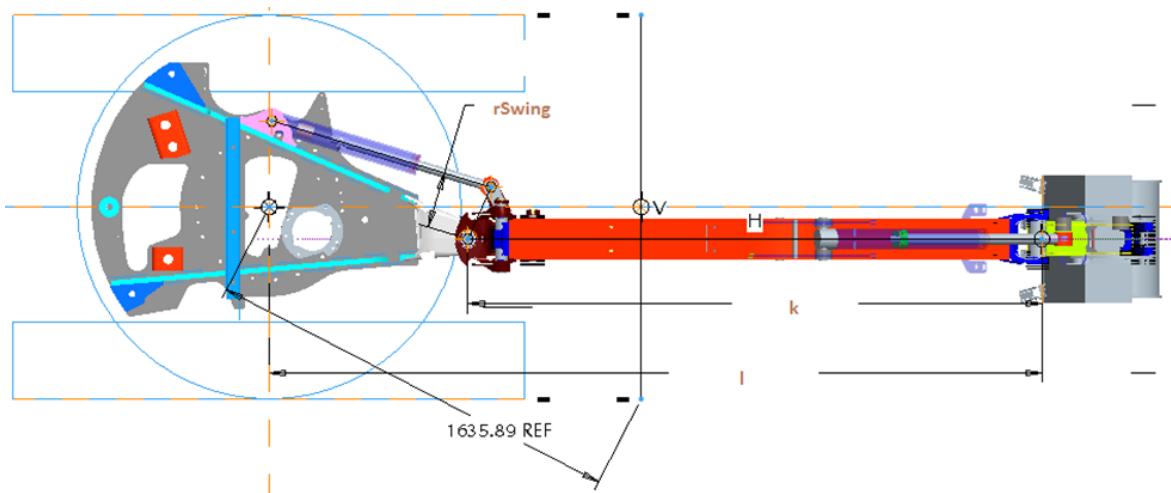
7. MECHANIKA PRACOVNÍ SKUPINY

Mechanika je součástí fyziky. Zabývá se však jen její úzkou částí zahrnující mechaniku tuhých těles (dělenou na statiku, kinematiku a dynamiku), mechaniku poddajných těles (pružnost a pevnost) a mechaniku tekutin (hydromechaniku a termomechaniku) [17].

V této kapitole bude více přiblížena první část, což je mechanika tuhých těles jakožto první etapa konstruktéra při návrhu mechanismu. Je to nepostradatelná součást v návrhu konstrukce a mechanismů zemního stroje. Na začátku vývoje je navržen kinematické schéma obr. 18 vycházejícího z požadovaných pracovních dosahů stroje na jehož základě, je možné určit maximální síly, které mohou v reálném prostředí nastat, resp. vzniknout od práce vykonávané zemním strojem. Příklad rozkladu sil pracovní skupiny stroje je uveden na obr. 9,10.



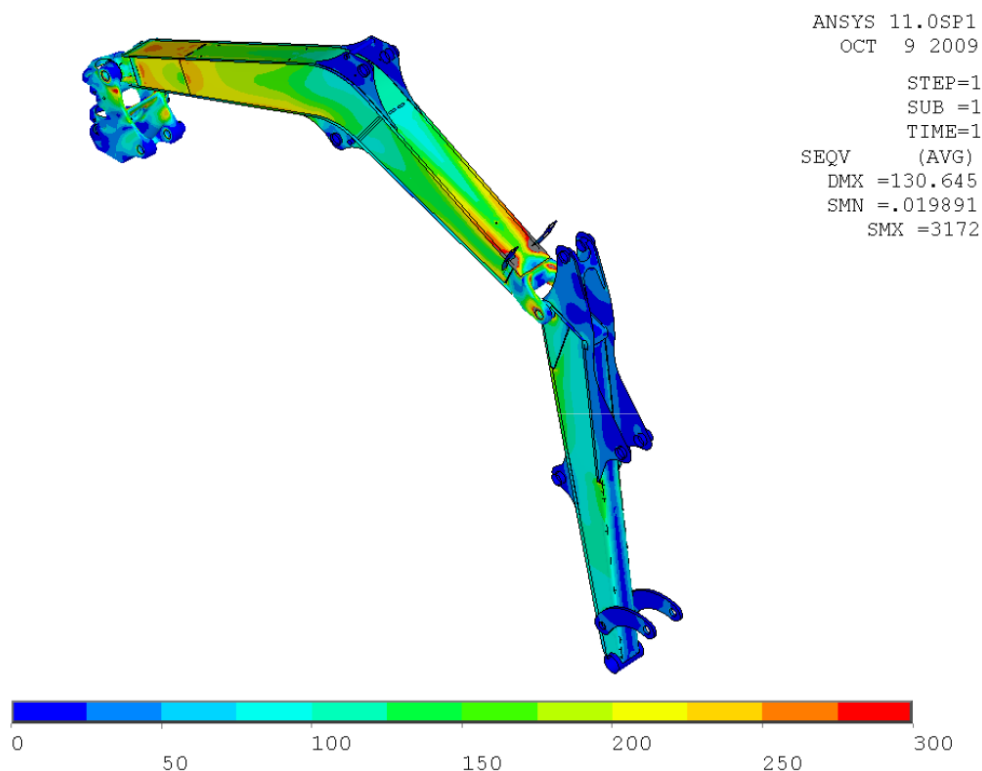
Obrázek 9. Schéma rozkladu sil pracovní skupiny



Obrázek 10. Schéma pracovní skupiny

Když jsou známy výše uvedené požadavky na kinematiku a síly působící na svařence během výkonu práce stroje, je možné zadat simulaci pro pevnostní výpočet struktur – odsimulovat pracovní zatížení. Na obr. 11 je graficky znázorněn výpočet struktury rámu, otočového odlitku, výložníku a násady rypadla posuzovaného v této práci.

Aby bylo možno ve této prvotní části vývoje navrhnout takové řešení, je nezbytné znát veškeré kvalitativní a funkční požadavky, které mají v další etapách vývoje zásadní vliv na ekonomičnost a vyrobiteľnost stroje.



Obrázek 11. Pevnostní výpočet struktur pracovní skupiny

8. MĚŘENÍ NA SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJÍCH

Souřadnicové měřicí stroje patří k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem strojírenské měřicí techniky. Umožňují rychlou a přesnou kontrolu složitých obrobků a přispívají tak k zabezpečení kvality výroby a tím i zvyšování konkurenceschopnosti strojírenských produktů.

Překotný vývoj Souřadnicových měřících strojů (CMM - Coordinate Measuring Machines), souvisí se zpřesňováním a zrychlováním výrobního procesu, se kterým musí měřicí, resp. kontrolní technika držet krok. Například průměrně každých 10 až 15 let se přesnost výroby zvyšuje o jeden stupeň (IT), rovněž se zvyšuje řezná rychlost při obrábění apod. CMM se vyvíjeli od 50. let 20. století za účelem komplexního měření součásti pro zjišťování rozměru, tvaru a vzájemné polohy geometrických prvků na součásti. CMM jsou odvozeny z hlediska metrologie od měřících mikroskopů, z hlediska konstrukce (technologicky) od NC frézek. Nasazení prvních CMM (v Evropě v roce 1964) se omezovalo na metrologickou laboratoř, ale poměrně rychle se však začaly prosazovat také v dílenském prostředí, kde se rychle uplatňovaly jejich přednosti proti tehdy konvenční měřicí technice. Výrobci CMM tedy museli řešit s tímto přechodem řadu nových problémů, zejména jak se vypořádat s nepříznivými dílenskými podmínkami, jako je kolísání okolní teploty, chvění a otřesy způsobené výrobním zařízením v okolí či nepříznivý vliv chladicích tekutin. Tato změna vedla jednak ke vzniku jednoduchých CMM, které mohou obsluhovat i operátoři výrobních strojů, ale jednak také ke změnám konstrukce složitých CMM s ohledem na dílenské prostředí. Dalším neopomenutelným krokem ve světě měření byla změna způsobu snímání měřených rozměrů. Zatímco u prvních CMM bylo snímání především dotykové, začaly se prosazovat stále častěji optické snímací hlavy, které dnes umožňují rychlejší snímání měřených rozměrů a tím i zvýšení rychlosti měření, ovšem za cenu nižší přesnosti. Tyto tendence vedly ke vzniku kategorie multisenzorových CMM.

S rozvojem CMM se v dnešním průmyslu uplatňují i další disciplíny. Jednou z nich je reverzní inženýrství. Při něm lze snímáním prostorových souřadnic reálného objektu, jehož rozměry a tvar přesně neznáme (například opotřebované lisovací formy), převést měřené hodnoty po jejich transformaci do digitálního modelu objektu.

Uvedené vývojové tendence vedly k rychlému zavádění CMM do strojírenství. Ve velkých strojírenských organizacích, resp. podnicích automobilového průmyslu, jde o desítky CMM, integrovaných často do výrobního procesu. I v malých, popř. středních podnicích s přesnou výrobou pracuje alespoň jeden CMM.

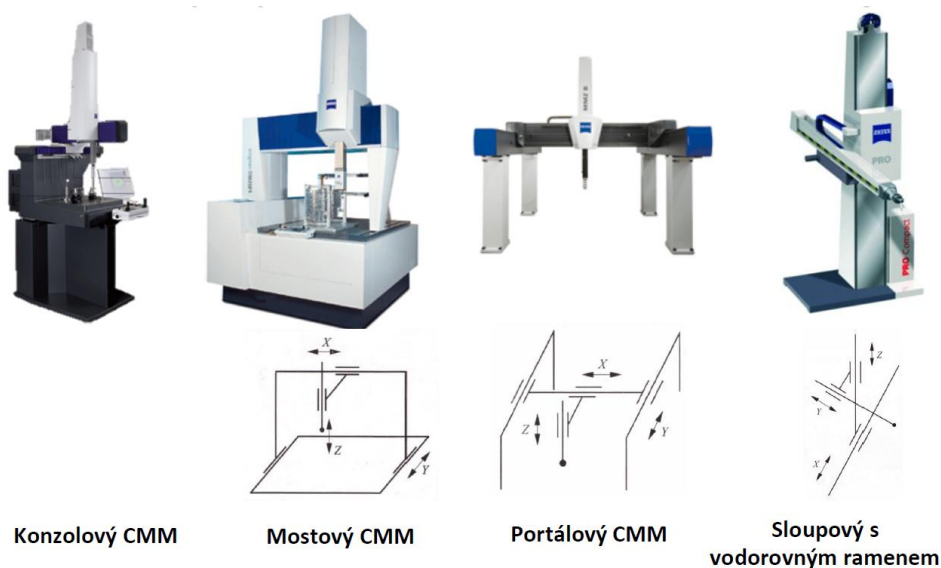
Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že se stanoví základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti se měří formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Bod se popisuje v nepohyblivém např. kartézském souřadnicovém prostoru, který je pevně spojen s rámem stroje. Z jednotlivých měřených bodů se vypočítávají geometrické prvky (elementy). Z těchto geometrických prvků je poté možné vyjádřit např. charakteristiky rozměrové a geometrické tolerance.[21]

Postup kontroly součásti na CMM

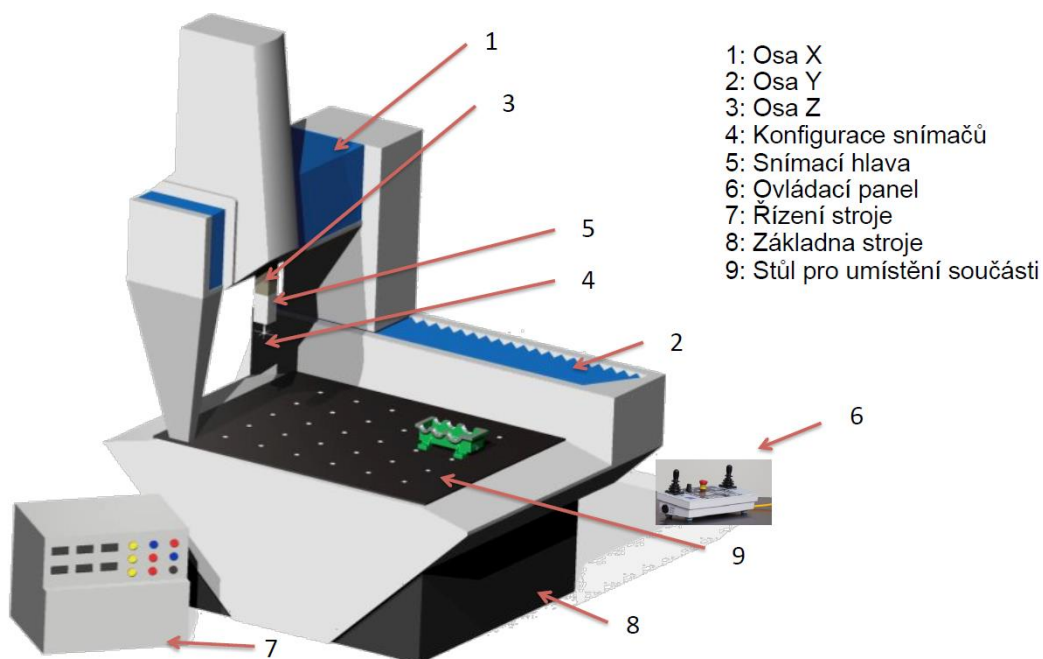
- a. Analýza výkresové dokumentace
- b. Definování upnutí
- c. Konfigurace a kalibrace snímacího systému
- d. Vyrovnání součásti
- e. Extrakce bodů a definování geometrických prvků
- f. Výpočet charakteristik – rozměrové a tvarové specifikace (metoda výpočtu, filtrace...)
- g. Vyhodnocení měření a tvorba protokolů

Tabulka 1. Zdroje variability systému měření

Výsledek měření				
Měřicí stroj	Měřená součást	Okolní prostředí	Strategie měření	Obsluha stroje
Parametry přesnosti	Teplota součásti	Teplota okolí a její kolísání	Výběr snímačů	Kvalifikace a vyškolení
Měřicí rozsah	Ušpinění	Teplotní gradienty	Měřicí metoda	Vyrovnání součásti
Senzorika	Materiál	Vibrace podlahy	Výběr filtrů	Upnutí součásti
Měřicí SW	Elasticita	Znečištění kovovými, prachovými částicemi	Poloha a orientace součásti	Kalibrace snímačů
Konstrukční provedení	Plasticita	Výskyt oleje, chladičí emulze ve vzduchu atd.	Metoda vyhodnocení atd.	Kolize
Korekce reziduálních chyb	Tvarové odchylky atd.			



Obrázek 12. Kartézsky uspořádané souřadnicové měřicí stroje [18]



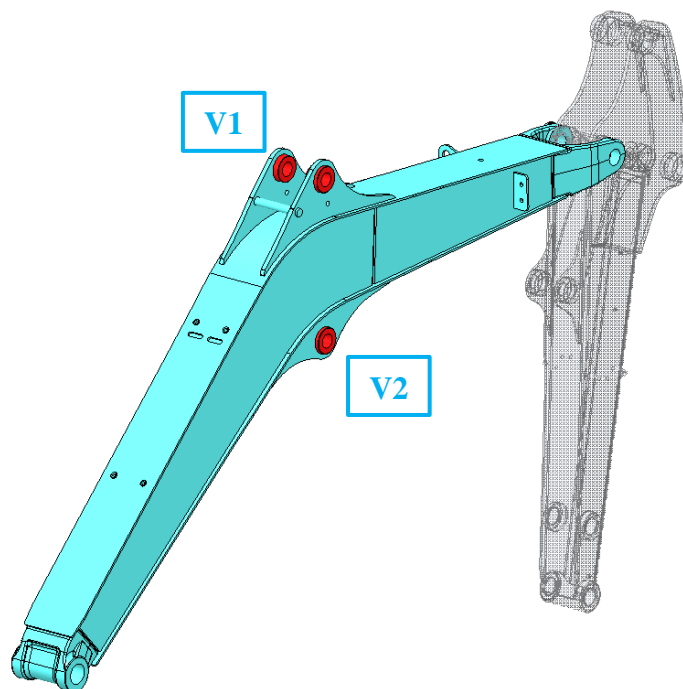
Obrázek 13. Souřadnicové měřicí stroje - typické uspořádání [18]

9. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Předmětem experimentální části této práce byla optimalizace svařovacích parametrů a svařovacího procesu výložníku a násady zemního rypadla tak, aby během svařování nevznikaly velké deformace a tím velké odchylky od předepsané válcovitosti zkoumaných návarků ve svařencích. Počet zkoumaných svařenců řídí systém Gage R&R. Gage R&R je měřicí analytický systém, který dokáže za správně určených okrajových podmínek určit hodnotu statistického vzorku. Vzhledem k časové náročnosti požadavku vzešlého z tohoto systému, byl stanoven počet vzorků na 5 kusů výložníku a 5 kusů násady.

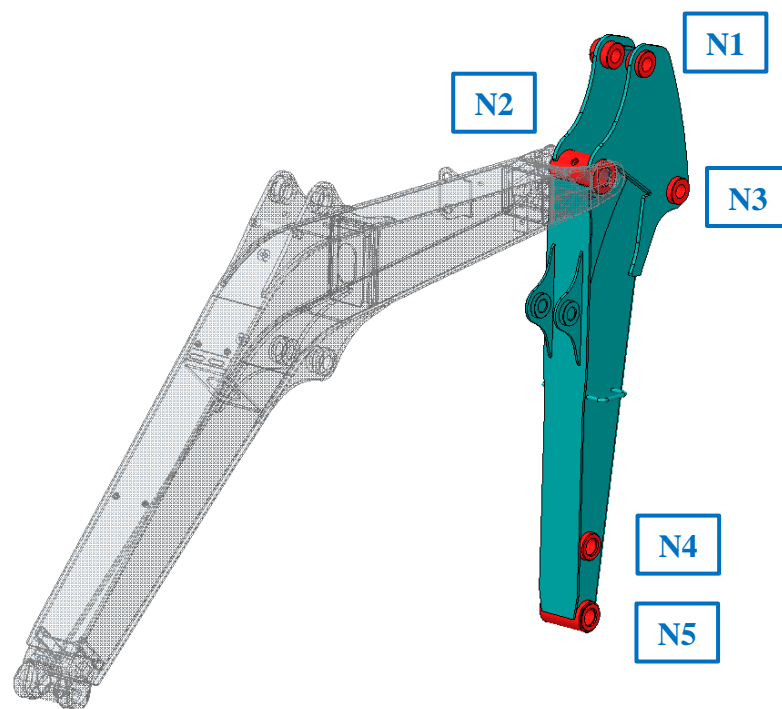
9.1. STUDIE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE A FUNKČNOSTI DÍLŮ

Na svařenci výložníku byly zkoumány dva návarky označené V1 a V2 zobrazené na obr.14. Na návarek V1 je namontován čep a hydraulický válec násady, který propojuje a ovládá pomocí návarku N1 násadu. Návarek V2 je určený pro válec výložníku a druhá strana válce je připojena k rámu stroje. Tímto válcem se ovládá výložník ve směru nahoru a dolů. Spojení výložníku, násady a příslušných válců je znázorněno na obr. 17.



Obrázek 14. Zkoumané návarky na svařenci výložníku

U svařence násady bylo zkoumáno 5 návarků označených N1, N2, N3, N4 a N5 které jsou zobrazené na obr. 15. Návarek N2 slouží jako připojovací bod k výložníku. Přes tento bod (návarek) je dle rozkladu sil na obr. 9, 10 přenášena největší síla vznikající od kopání, či zvedání zavěšeného břemene. Kolem bodu N2 se utváří trajektorie všech ostatních bodů násady. Na návarek N3 je připojen hydraulický válec ovládající lžici, nebo jiné přídatné zařízení. Návarek N4 a N5 je jsou připojovací body pro lžici, která je na těchto bodech zavěšena. Kinematické křivky a jsou znázorněny na obr. 18.



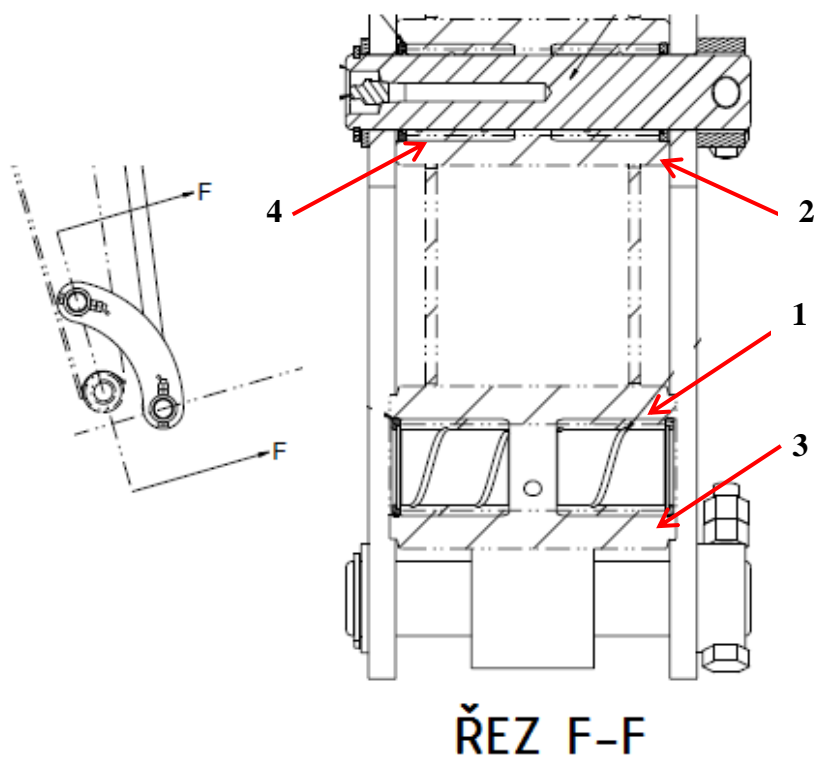
Obrázek 15. Zkoumané návarky na svařenci násady

Pro pochopení funkčnosti pracovní skupiny a jednotlivých návarků následovala studie výkresové dokumentace. Posuzovány byly jednotlivé výkresy svařenců včetně jejich výsledného montážního výkresu (výřez znázorněn na obr. 16), ve kterém jsou nakresleny a všechny díly (lisovaná pouzdra, čepy, prachovky) vstupující do montážního celku, na které může mít vliv kvalita funkčních ploch a výrobní přesnost svařenců.

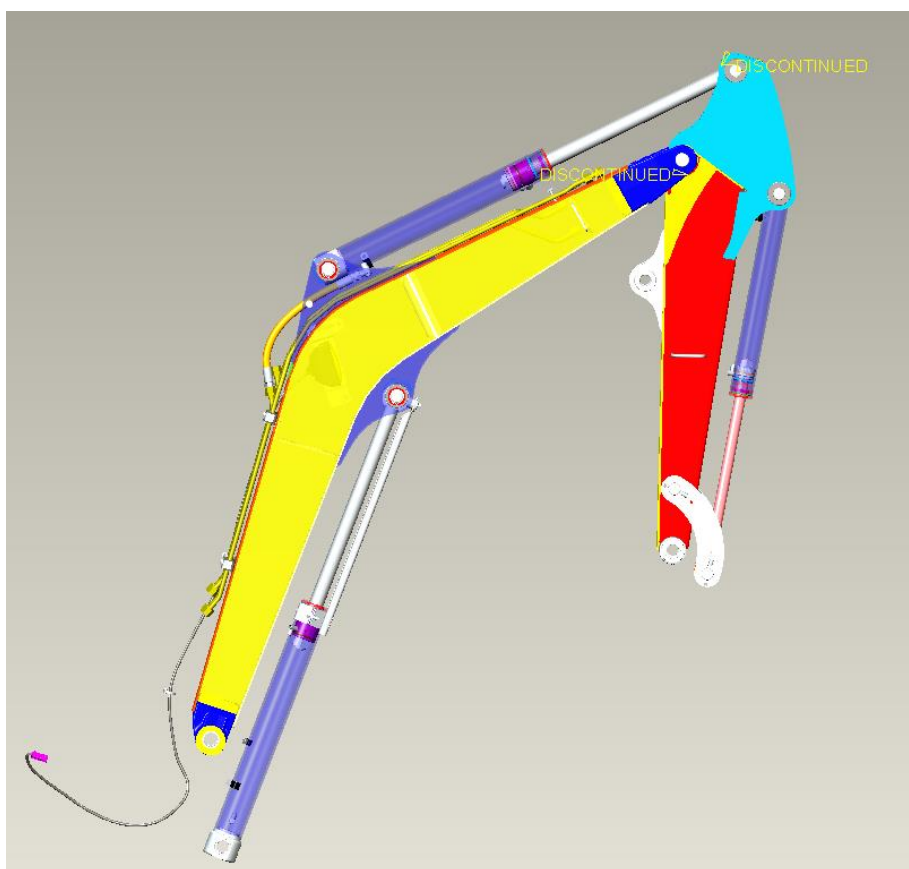
Na základě těchto studií byly stanoveny povolené odchylky válcovitosti návarků pro výložník a pro násadu. Hodnoty povolených odchylek jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Povolené odchylky válcovitosti návarků

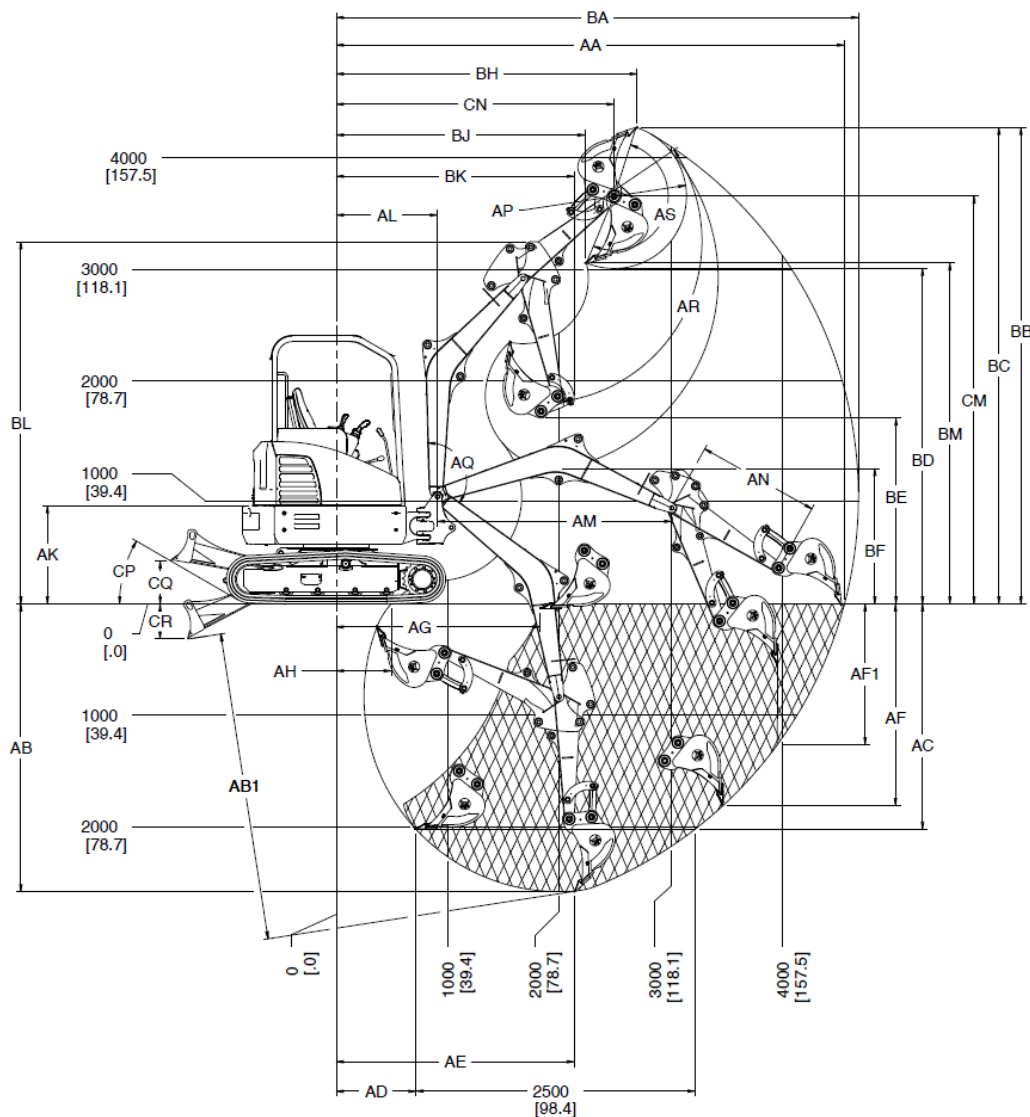
Výložník	povolená odchylka [mm]	poznámka
V1L	0,1	
V1P	0,1	
V2L	0,1	
V2P	0,1	
Násada	povolená odchylka [mm]	poznámka
N1L	0,1	
N1P	0,1	
N2	0,03	lisování pouzder
N3L	0,1	
N3P	0,1	
N4	0,03	lisování pouzder
N5	0,03	lisování pouzder



Obrázek 16. Výřez montážního výkresu - 1.návarek N5, 2.návarek N4, 3.pouzdro pro N5, 4.pouzdro pro N4



Obrázek 17. Obrázek modelu montážní sestavy pracovní skupiny



Obrázek 18. Kinematické schéma

9.2. POPIS VÝROBNÍHO PROCESU VÝLOŽNÍKU

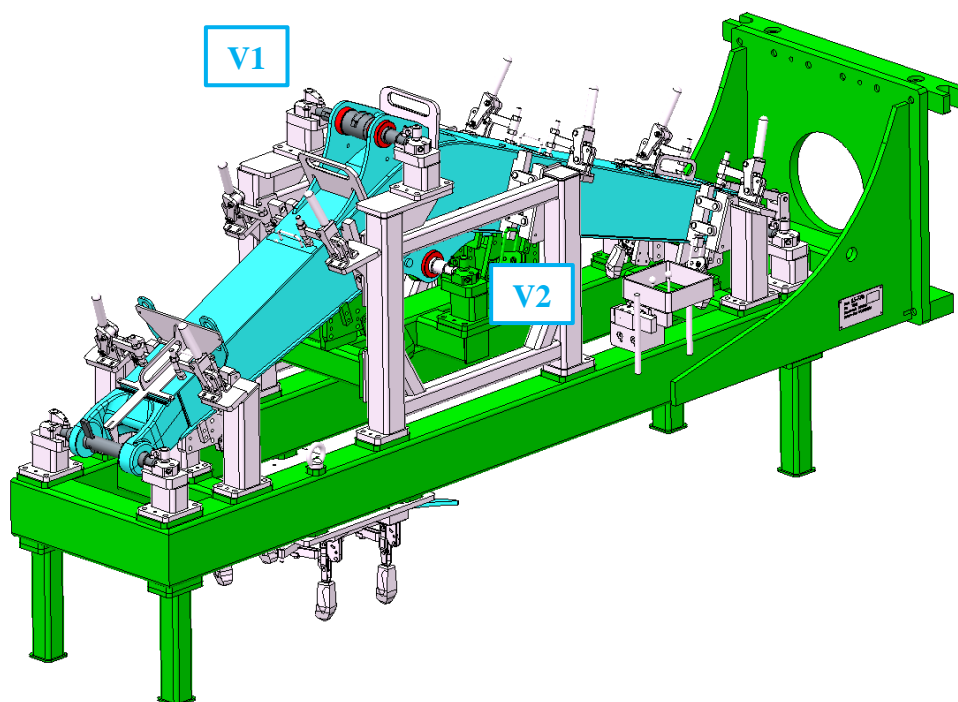
9.2.1. STEHOVÁNÍ VÝLOŽNÍKU

Ve standardním výrobním procesu, je svařenec zprvu nastehován ve stehovacím přípravku, který pomůže rychleji a přesněji utvořit výsledný tvar svařence v požadovaných rozměrech a tolerancích polohy.

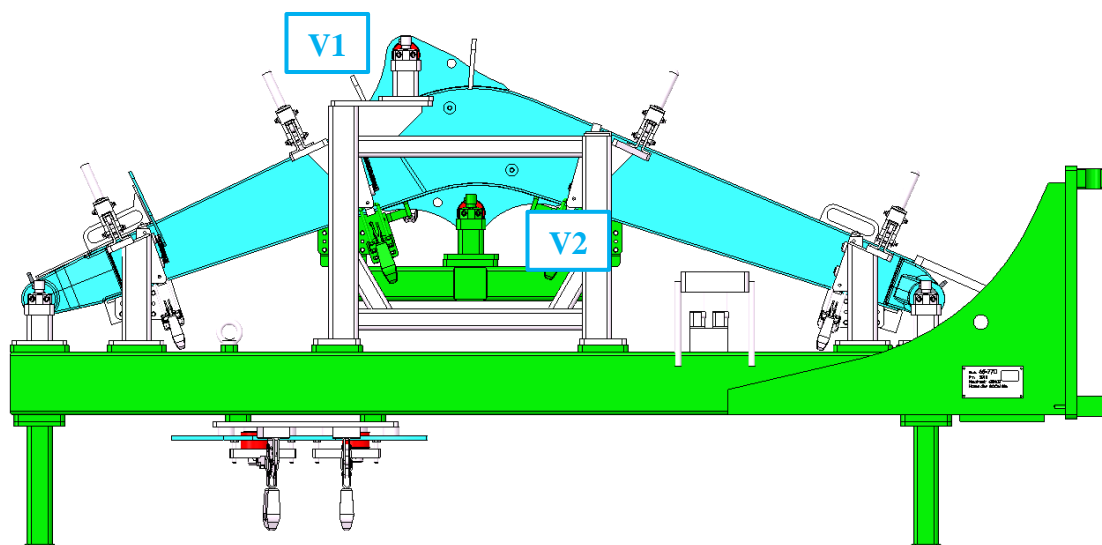
Stehovací přípravek pro svařenec výložníku je uveden na obr. 19, 20, 21. Rozteče funkčních děr jsou drženy v přípravku pomocí čepů s vymezovacími vložkami, uložených v prizmatech, zajištěných hydraulickými upínkami. Navazující díly (plechy) jsou poskládány do přípravku, tak aby se dotýkaly svých určených dorazů, stykových ploch, které zaručují správný tvar výsledného svařence. Po založení dílu, bodování, svaření vnitřku výložníku a dozaložení s nastehováním je sestava svařence připravena pro svařování robotem.

Tabulka 3. Svařovací parametry stehování

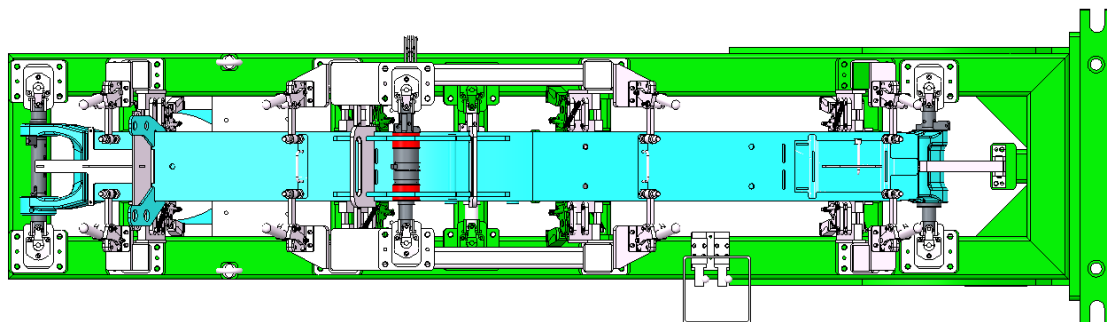
Svařovací parametry stehování			
Metoda:	135	Přenos:	KO
Základní materiál:	S 235	Plyn:	M21
Přídavný materiál:	OK 12.51	Průtok [l/min]:	12
I_{SV} [A]:	234	V_D [m/min]:	5,5
U_{SV} [V]:	21,2	V_{SV} [m/min]:	0,12



Obrázek 19. Stehovací přípravek pro výložník ISO pohled



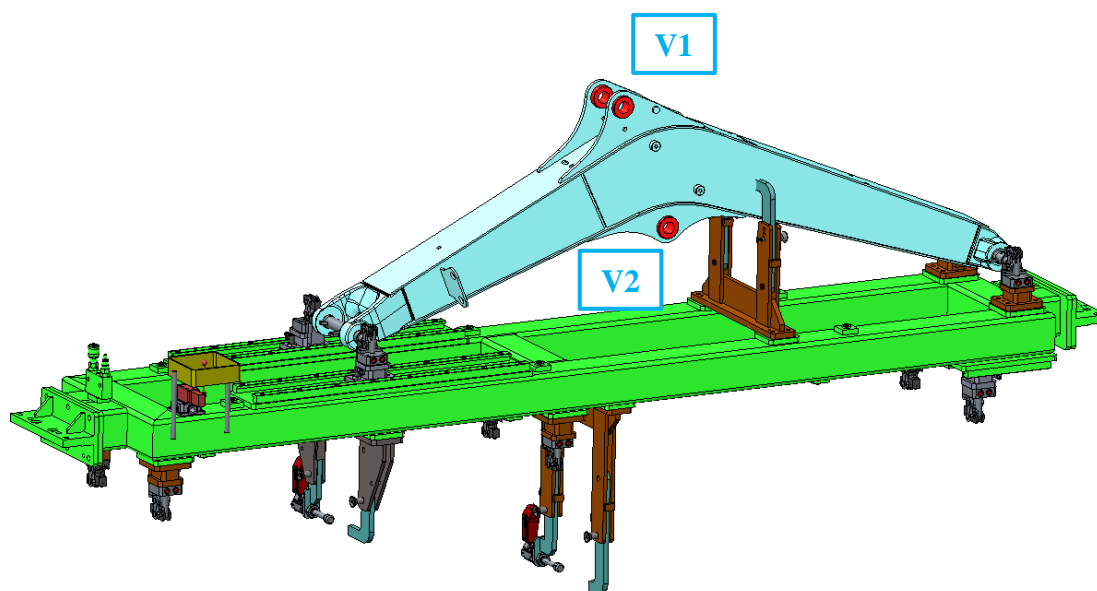
Obrázek 20. Stehovací přípravek pro výložník - boční pohled



Obrázek 21. Stehovací přípravek pro svařenec výložníku – půdorys

9.2.2. SVAŘOVÁNÍ VÝLOŽNÍKU

Ve stehovacím přípravku je vytvořena figura svařence a díly vstupující do sestavy jsou k sobě nastehovány. Další operací je samotné svařování, v tomto případě robotické. Nabodovaný svařenec výložníku se upne za koncové body do robotického přípravku obr.22 a mezi „uši“ výložníku (návarky V1 a V2) se umístí čepy s rozpěrnými válci, které zajistí, že vznikem napětí během svařování nedojde k deformacím - ke stažení uší k sobě, směrem dovnitř. Jelikož se figura výložníku deformuje vlivem vneseného tepla, jsou v první řadě svařeny příčné, podélné svary výložníku a návarky V1 a V2 se svařují na úplný závěr, aby bylo docíleno požadované souososti. Na obr. 27 je zobrazeno robotické svařovací pracoviště, které je totožné pro svařenec násady i výložníku.



Obrázek 22. Robotický svařovací přípravek pro výložník

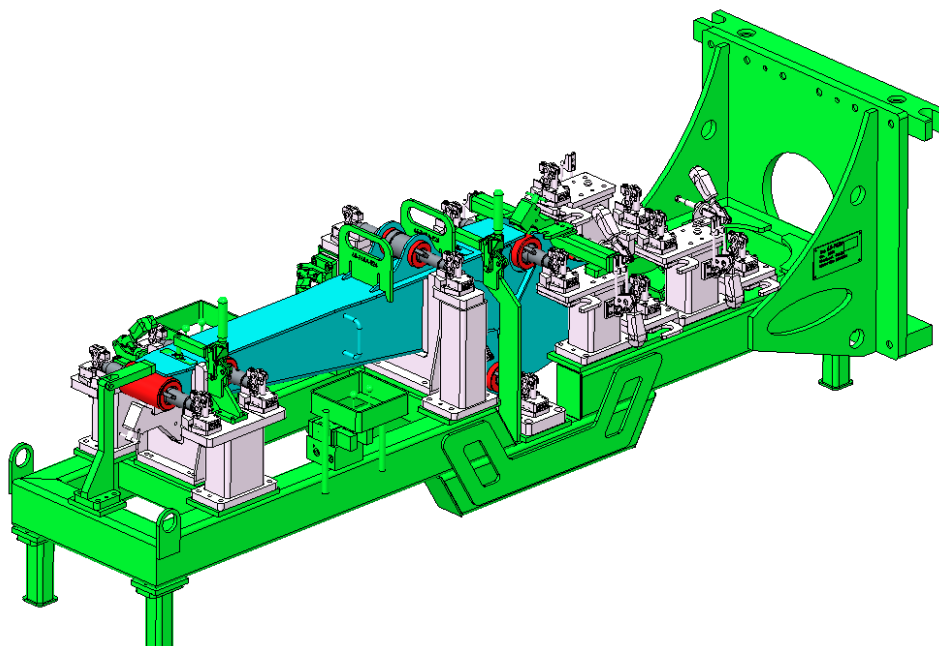


Obrázek 23. Robotické pracoviště výložníku

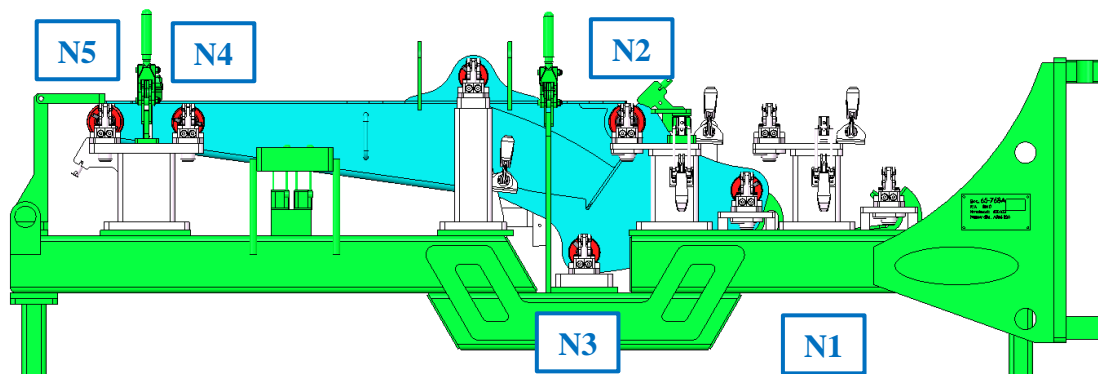
9.3. POPIS VÝROBNÍHO PROCESU NÁSADY

9.3.1. STEHOVÁNÍ NÁSADY

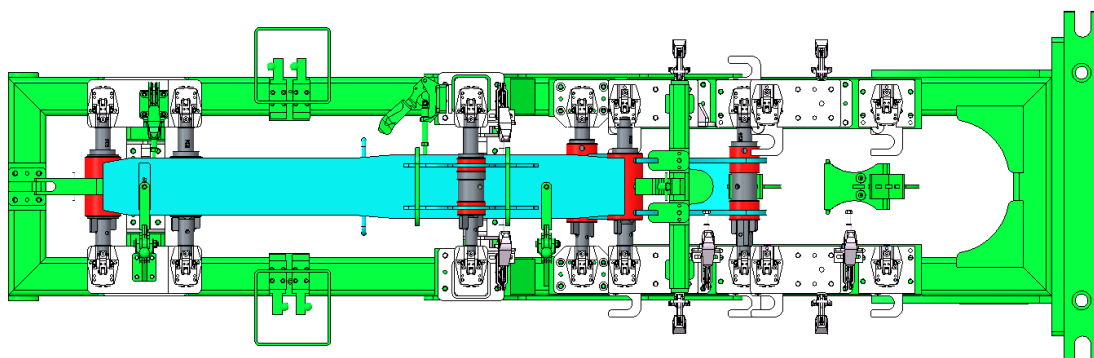
V případě svařence násady je postup výroby stejný. Rozteče funkčních děr jsou drženy v přípravku pomocí čepů s vymezovacími vložkami, uložených v prizmatech, zajištěných hydraulickými upínkami – obr. 23, 24, 25. Navazující díly (plechy) jsou poskládány do přípravku, tak aby se dotýkaly svých určených dorazů, stykových ploch, které zaručují správný tvar výsledného svařence. Po založení dílu, bodování, svaření vnitřku násady a dozaložení s nastehováním je sestava svařence připravena pro svařování robotem.



Obrázek 24. Stehovací přípravek svařence násady - ISO pohled



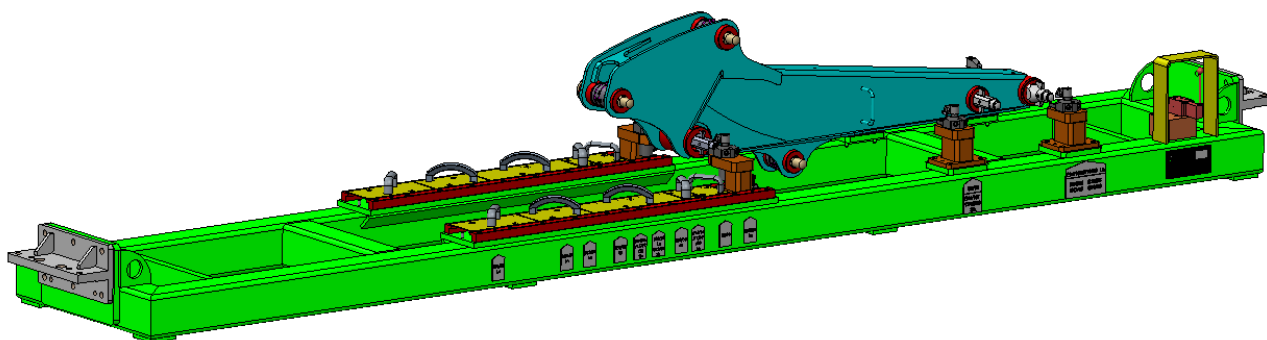
Obrázek 25. Stehovací přípravek násady - boční pohled



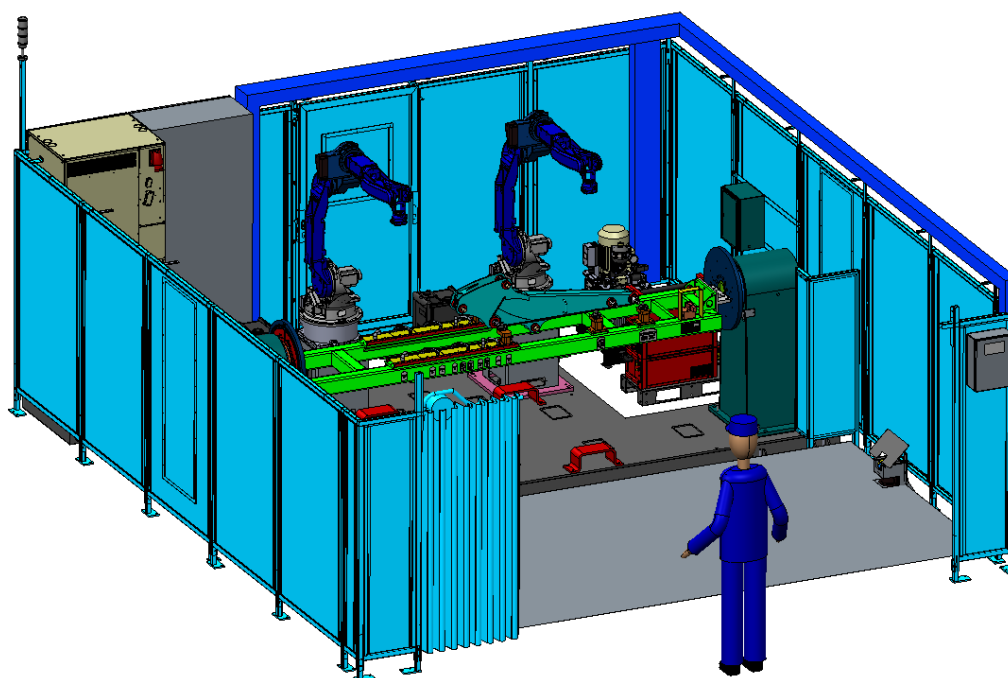
Obrázek 26. Přípravek pro stehování násady – půdorys

9.3.2. SVAŘOVÁNÍ NÁSADY

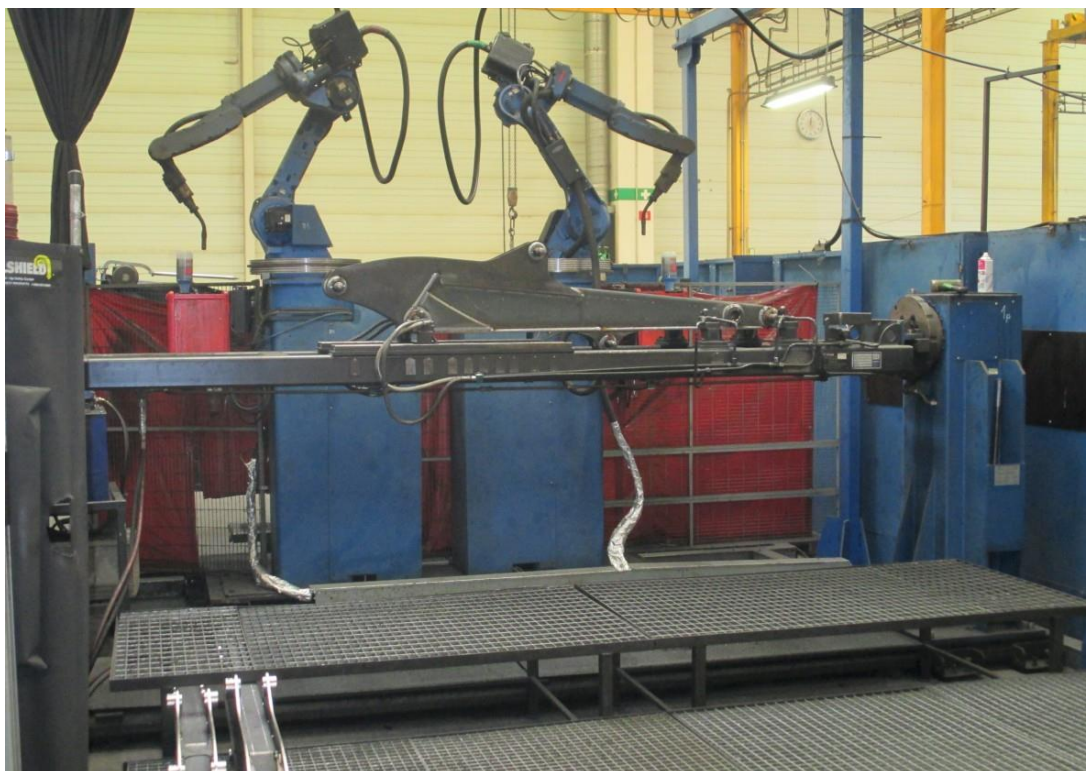
Ve stahovacím přípravku je vytvořena figura svařence a díly vstupující do sestavy jsou k sobě nastehovány. Další operací je samotné svařování, v tomto případě robotické. Nabodovaný svařenec násady se upne za koncové body do robotického přípravku obr.26 za návarky N2 a N5 pomocí vymezovacích a upínacích čepů s rozpěrnými válci, které zajistí, že vznikem napětí během svařování nedojde k deformacím - ke stažení uší k sobě, směrem dovnitř. Jelikož se figura výložníku deformuje vlivem vneseného tepla, jsou v první řadě svařeny příčné, podélné svary výložníku a návarky N1 až N5 se svařují na úplný závěr, aby bylo docíleno požadované souososti. Na obr. 27 je zobrazeno robotické svařovací pracoviště, které je totožné pro svařenec násady i výložníku.



Obrázek 27. Robotický svařovací přípravek násady



Obrázek 28. Model robotického pracoviště pro svařenec násady a výložníku



Obrázek 29. Robotické pracoviště násady

Tabulka 4. Technické údaje svařovacího robota MA 2010 [13]

Technické údaje MA 2010		
Řízené osy	6	
Nosnost	10 kg	
Maximální dosah	2010 mm	
Opakovatelnost	±0.08 mm	
Hmotnost	280 kg	
Požadavky na výkon	2.0 kVA	
Vhodný pro	Obloukové svařování	
Maximální rychlost	S-osa	197 ° /sec
	L-osa	190 ° /sec
	U-osa	210 ° /sec
	R-osa	410 ° /sec
	B-osa	410 ° /sec
	T-osa	610 ° /sec



Obrázek 30. Fotografie použitého svařovacího robota [13]

Tabulka 5. Technické údaje svařovacích zdrojů v robotickém pracovišti [11]

Technické údaje Transynergic 5000	
Síťové napětí	3 x 400 V
Tolerance síťového napětí	-1
Frekvence sítě	50 / 60 Hz
Síťové jištění	35 A
Trvalý primární proud (100 %)	18 - 29,5 A
Trvalý primární výkon (kVA)	13,1 kVA
Účinník	0,99
Účinnost	90%
Rozsah svařovacího proudu MIG/MAG	3 - 500 A
Rozsah svařovacího proudu WIG	3 - 500 A
Rozsah svařovacího proudu elektrody	10 - 500 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	40 % ED při 500 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	100 % ED při 360 A
Napětí naprázdno	70 V
Pracovní napětí MIG/MAG	14,2 - 39,0 V
Pracovní napětí WIG	10,1 - 30,0 V
Pracovní napětí elektrody	20,4 - 40,0 V
Krytí	IP 23
Rozměry: d x š x v	625/290/475 mm
Hmotnost	35,2 kg

9.4.NÁVRH TEPELNÉHO PŘÍKONU – VÝLOŽNÍK

Návrh tepelného příkonu, nebo-li vneseného tepla do svařence vycházel z nastavených parametrů ze současné výroby a byl vždy nastavován za pomoci synergie svařovacího zdroje – tzn. že k příslušného svařovacímu proudu bylo synergicky přiřazeno napětí a rychlost podávání drátu. Plus byla k ovlivnění vneseného tepla nastavována svařovací rychlost. Stejným způsobem tomu tak bylo při návrhu svařovacích parametrů při svařování násady.

Tabulka 6. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.1

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
0V1A	OUT L	247	25,5	0,8	45	0,672	65,0	204,20	137,19
0V1A	OUT P	247	25,5	0,8	45	0,672	65,0	204,20	137,19
0V1A	IN L	247	25,5	0,8	40	0,756	65,0	204,20	154,34
0V1A	IN P	247	25,5	0,8	40	0,756	65,0	204,20	154,34
0V1B	TUPL V1B	247	25,5	0,8	56	0,540	65,0	204,20	36,75
0V1B	TUPL V1B	247	25,5	0,8	56	0,540	65,0	204,20	36,75
0V2A	OUT L	247	25,5	0,8	38	0,796	65,0	204,20	162,46
0V2A	OUT P	247	25,5	0,8	42	0,720	65,0	204,20	146,99
0V2A	IN L	247	25,5	0,8	42	0,720	65,0	204,20	146,99
0V2A	IN P	247	25,5	0,8	30	1,008	65,0	204,20	205,79
0V2B	TUPL V2B	247	25,5	0,8	58	0,521	65,0	204,20	26,61
0V2B	TUPL V2B	247	25,5	0,8	58	0,521	65,0	204,20	26,61

Tabulka 7. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.2

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
1V1A	OUT L	217	24,4	0,8	42	0,605	65,0	204,20	123,57
1V1A	OUT P	217	24,4	0,8	42	0,605	65,0	204,20	123,57
1V1A	IN L	217	24,4	0,8	37	0,687	65,0	204,20	140,27
1V1A	IN P	217	24,4	0,8	37	0,687	65,0	204,20	140,27
1V1B	TUPL V1B	217	24,4	0,8	53	0,480	65,0	204,20	32,64
1V1B	TUPL V1B	217	24,4	0,8	53	0,480	65,0	204,20	32,64
1V2A	OUT L	217	24,4	0,8	35	0,726	65,0	204,20	148,28
1V2A	OUT P	217	24,4	0,8	39	0,652	65,0	204,20	133,07
1V2A	IN L	217	24,4	0,8	39	0,652	65,0	204,20	133,07
1V2A	IN P	217	24,4	0,8	27	0,941	65,0	204,20	192,22
1V2B	TUPL V2B	217	24,4	0,8	55	0,462	65,0	204,20	23,59
1V2B	TUPL V2B	217	24,4	0,8	55	0,462	65,0	204,20	23,59

Tabulka 8. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.3

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
2V1A	OUT L	232	24,9	0,8	45	0,616	65,0	204,20	125,83
2V1A	OUT P	232	24,9	0,8	45	0,616	65,0	204,20	125,83
2V1A	IN L	232	24,9	0,8	40	0,693	65,0	204,20	141,56
2V1A	IN P	232	24,9	0,8	40	0,693	65,0	204,20	141,56
2V1B	TUPL V1B	232	24,9	0,8	56	0,495	65,0	204,20	33,70
2V1B	TUPL V1B	232	24,9	0,8	56	0,495	65,0	204,20	33,70
2V2A	OUT L	232	24,9	0,8	38	0,730	65,0	204,20	149,01
2V2A	OUT P	232	24,9	0,8	42	0,660	65,0	204,20	134,82
2V2A	IN L	232	24,9	0,8	42	0,660	65,0	204,20	134,82
2V2A	IN P	232	24,9	0,8	30	0,924	65,0	204,20	188,74
2V2B	TUPL V2B	232	24,9	0,8	58	0,478	65,0	204,20	24,41
2V2B	TUPL V2B	232	24,9	0,8	58	0,478	65,0	204,20	24,41

Tabulka 9. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.4

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
3V1A	OUT L	262	26,0	0,8	51	0,641	65,0	204,20	130,92
3V1A	OUT P	262	26,0	0,8	51	0,641	65,0	204,20	130,92
3V1A	IN L	262	26,0	0,8	46	0,711	65,0	204,20	145,15
3V1A	IN P	262	26,0	0,8	46	0,711	65,0	204,20	145,15
3V1B	TUPL V1B	262	26,0	0,8	62	0,527	65,0	204,20	35,90
3V1B	TUPL V1B	262	26,0	0,8	62	0,527	65,0	204,20	35,90
3V2A	OUT L	262	26,0	0,8	44	0,743	65,0	204,20	151,75
3V2A	OUT P	262	26,0	0,8	48	0,681	65,0	204,20	139,10
3V2A	IN L	262	26,0	0,8	48	0,681	65,0	204,20	139,10
3V2A	IN P	262	26,0	0,8	36	0,908	65,0	204,20	185,47
3V2B	TUPL V2B	262	26,0	0,8	64	0,511	65,0	204,20	26,08
3V2B	TUPL V2B	262	26,0	0,8	64	0,511	65,0	204,20	26,08

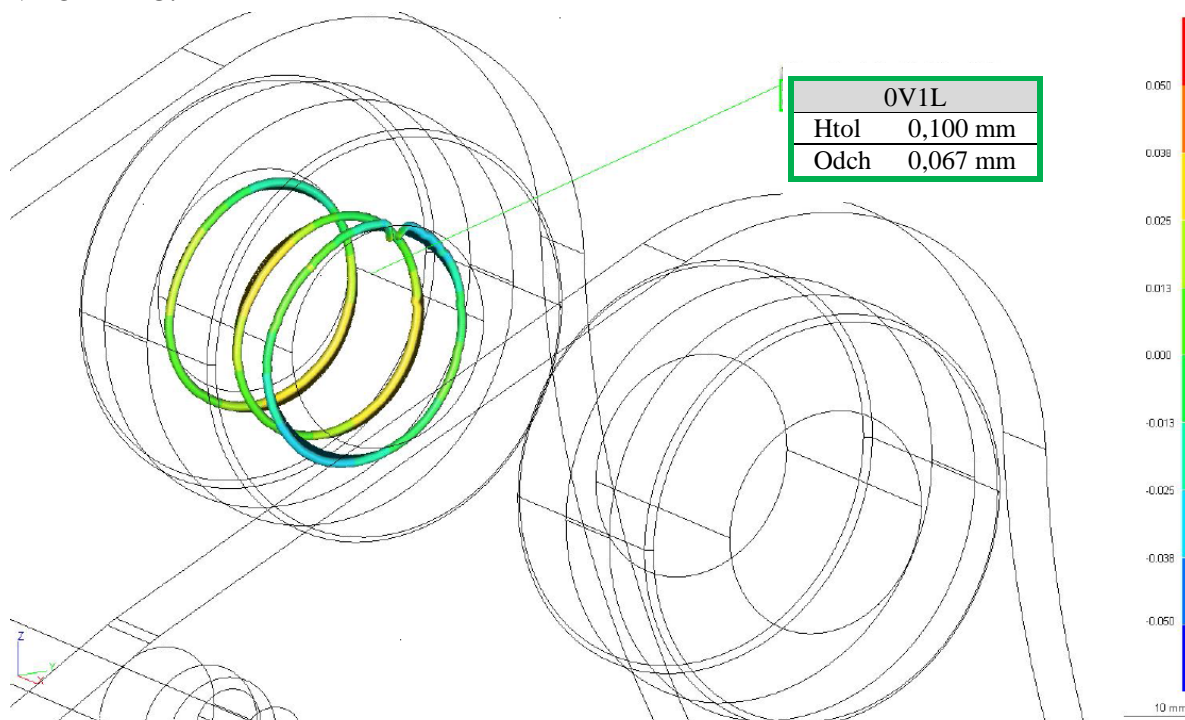
Tabulka 10. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.5

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr ϕD [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
4V1A	OUT L	277	26,5	0,8	51	0,691	65,0	204,20	141,08
4V1A	OUT P	277	26,5	0,8	51	0,691	65,0	204,20	141,08
4V1A	IN L	277	26,5	0,8	46	0,766	65,0	204,20	156,41
4V1A	IN P	277	26,5	0,8	46	0,766	65,0	204,20	156,41
4V1B	TUPL V1B	277	26,5	0,8	62	0,568	65,0	204,20	38,68
4V1B	TUPL V1B	277	26,5	0,8	62	0,568	65,0	204,20	38,68
4V2A	OUT L	277	26,5	0,8	44	0,801	65,0	204,20	163,52
4V2A	OUT P	277	26,5	0,8	48	0,734	65,0	204,20	149,90
4V2A	IN L	277	26,5	0,8	48	0,734	65,0	204,20	149,90
4V2A	IN P	277	26,5	0,8	36	0,979	65,0	204,20	199,86
4V2B	TUPL V2B	277	26,5	0,8	64	0,551	65,0	204,20	28,11
4V2B	TUPL V2B	277	26,5	0,8	64	0,551	65,0	204,20	28,11

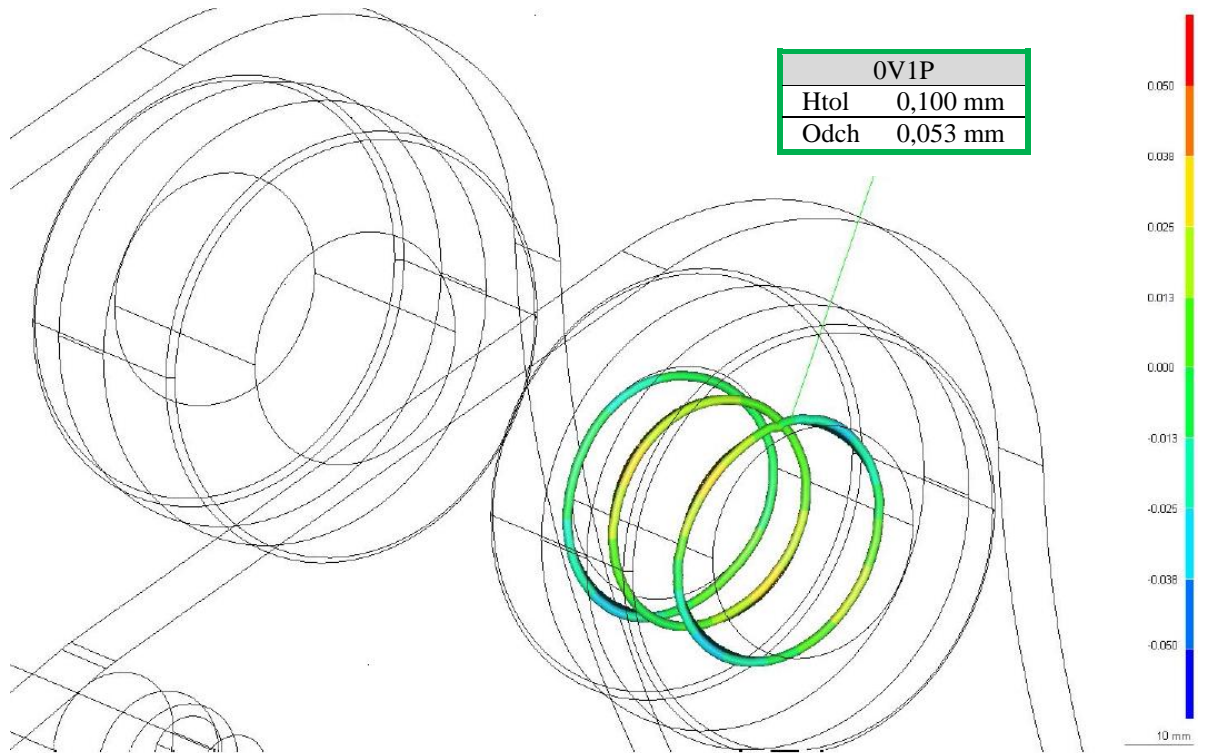
9.5. MĚŘENÍ VÁLCOVITOSTI PO SVAŘOVÁNÍ - VÝLOŽNÍK

Měření odchylky od předepsané válcovitosti na svařenci výložníku probíhalo na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss MMZ-T s měřicím rozsahem X2100, Y4400, Z1600, MPE 2,8+L/400 μm .

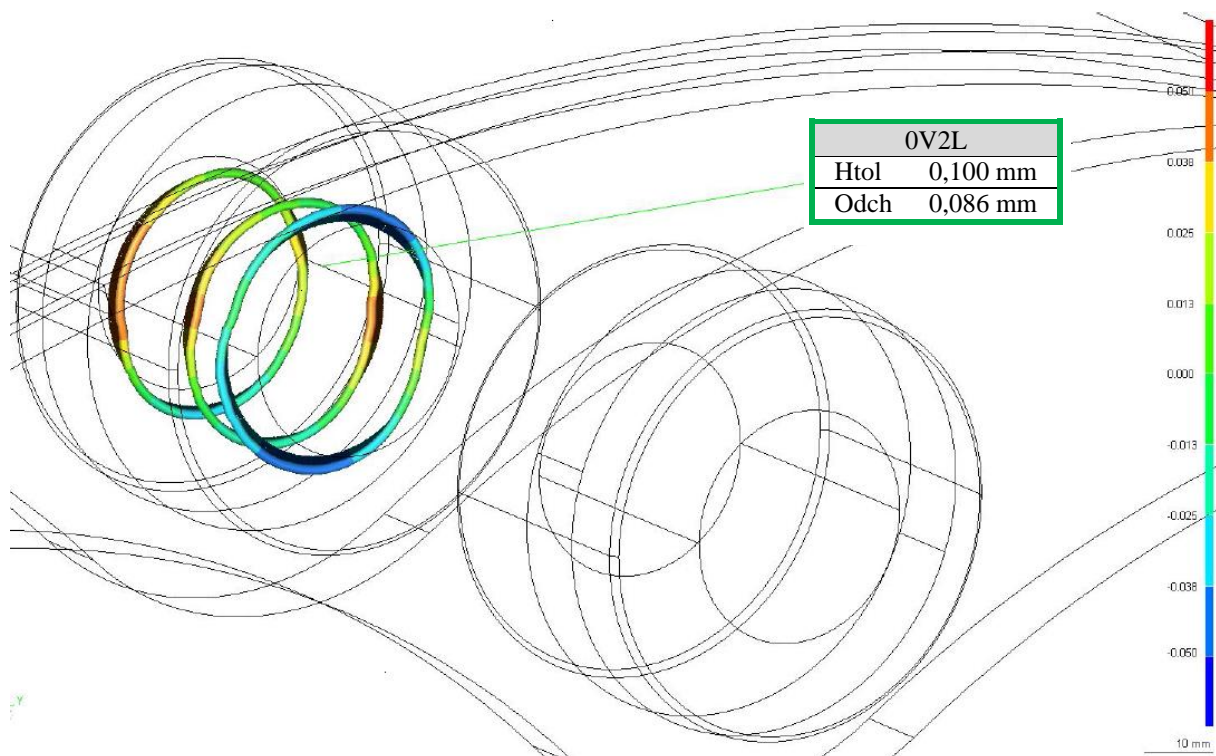
VZOREK Č.1



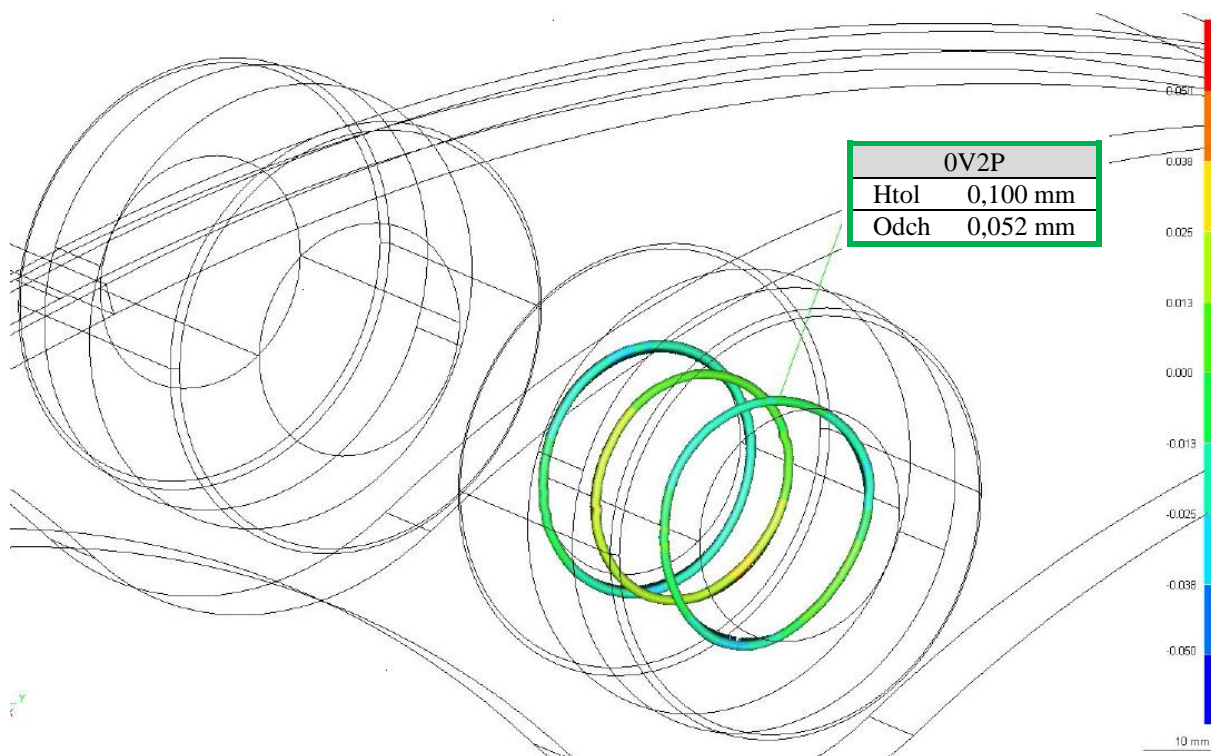
Obrázek 31. Topologie válcovitosti po svařování - 0V1L



Obrázek 32. Topologie válcovitosti po svařování - 0V1P



Obrázek 33. Topologie válcovitosti po svařování - 0V2L



Obrázek 34. Topologie válcovitosti po svařování - 0V2P

9.6. VIZUÁLNÍ KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ - VÝLOŽNÍK

Na níže uvedených fotografiích jsou znázorněny svary jednotlivých návarků. Pro znázornění svarových spojů jsou uvedeny fotografie pouze z jednoho svařence.

VZOREK Č.1



Obrázek 35. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V11



Obrázek 36. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0VIP



Obrázek 37. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V1L a 0VIP



Obrázek 38. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V2L



Obrázek 39. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V12 a 0V2P

Vizuální kontrola výše uvedeného svařence násady byla uznána jako vyhovující. Ostatní svarové spoje na dalších svařencích byly kontrolovány na základě metalografických snímků.

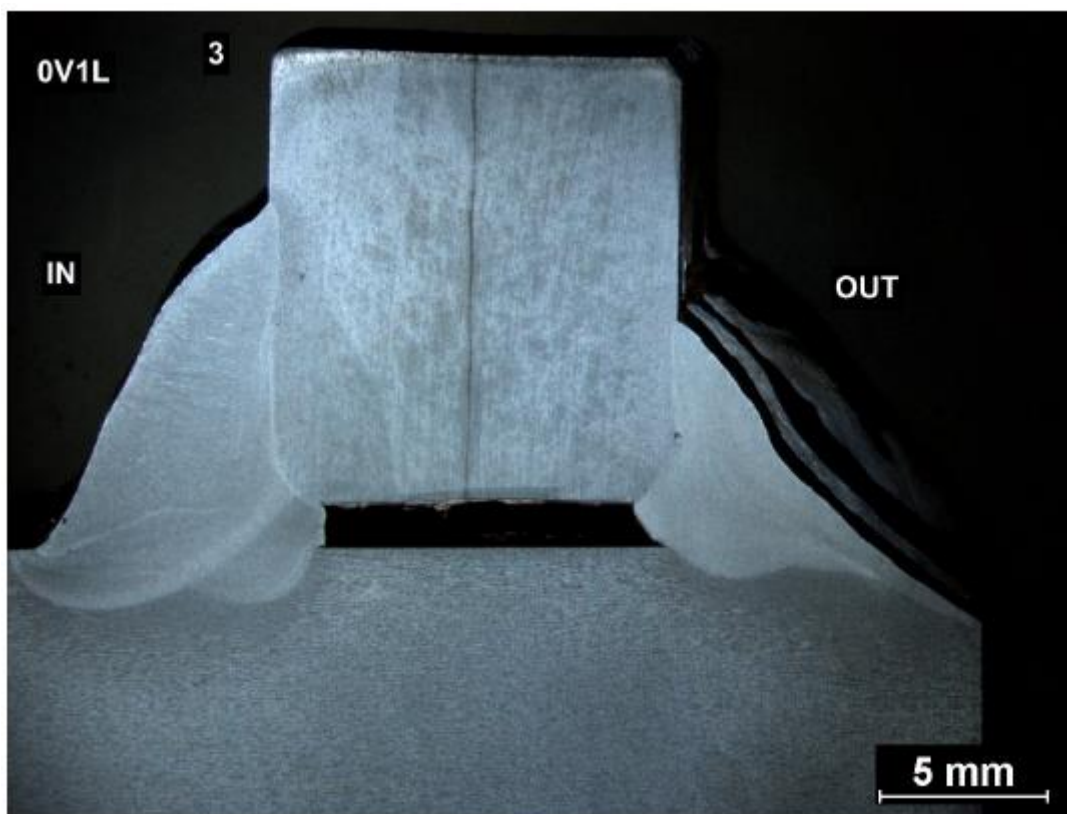
9.7. METALOGRAFIE A ZKOUŠKA TVRDOSTI – VÝLOŽNÍK

Metalografické vzorky byly pořízeny ve spolupráci s ústavem materiálové inženýrství na fakultě strojní Českého vysokého učení v Praze.

Pro pořízení metalografických snímků byl použit světelný mikroskop Carl Zeiss NEOPHOT 32, NIKON SMZ 1500 . Vzorky byly naleptány přípravkem Niptal.

Následně byla změřena tvrdost vzorků pomocí mikrotvrdoměru LECO. Měření probíhalo se zatížením HV1 a bylo vyhodnoceno dle ČSN EN ISO 9015-2 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 2: Zkoušení mikrotvrdoměry svarových spojů.

VZOREK Č.1



Obrázek 40. Metalografický snímek spoje 0V1L

Tabulka 11. Hodnoty mikrotvrdomosti svarového spoje 0V1L

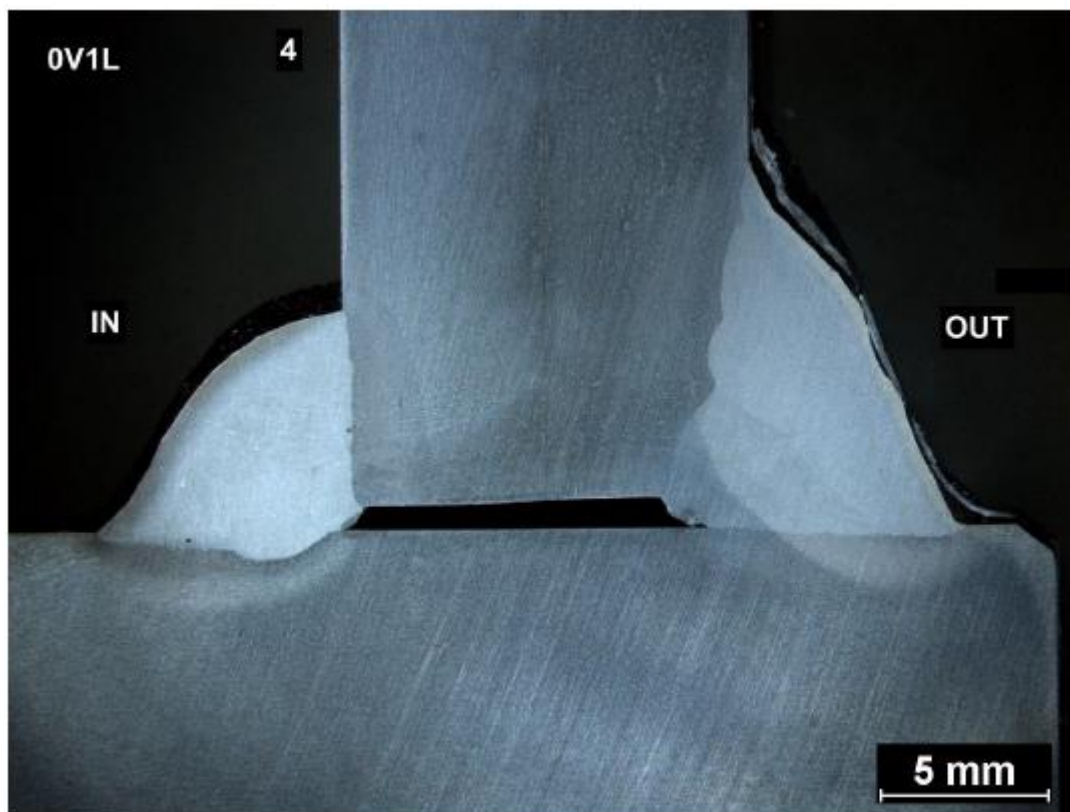
		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
160	156	238	181	199		
170	164	226	202	174		
157	169	215	213	178		

		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
152	184	212	204	194		
154	175	208	209	169		
169	179	223	213	200		

Vnější svar návarku je geometricky větší než svar vnitřní. Vnější svar má ostřejší přechod, může se zde vytvořit vrub. Svary jsou nesymetrické.

Průvar na straně návarku je vyhovující. Na straně plechu je průvar nižší, ale akceptovatelný.

Segregační pásmo, které je vidět na snímku na plechu se vytvoří během válcování plechu - není to vada materiálu.



Obrázek 41. Metalografický snímek spoje 0V1L

Tabulka 12. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V1L

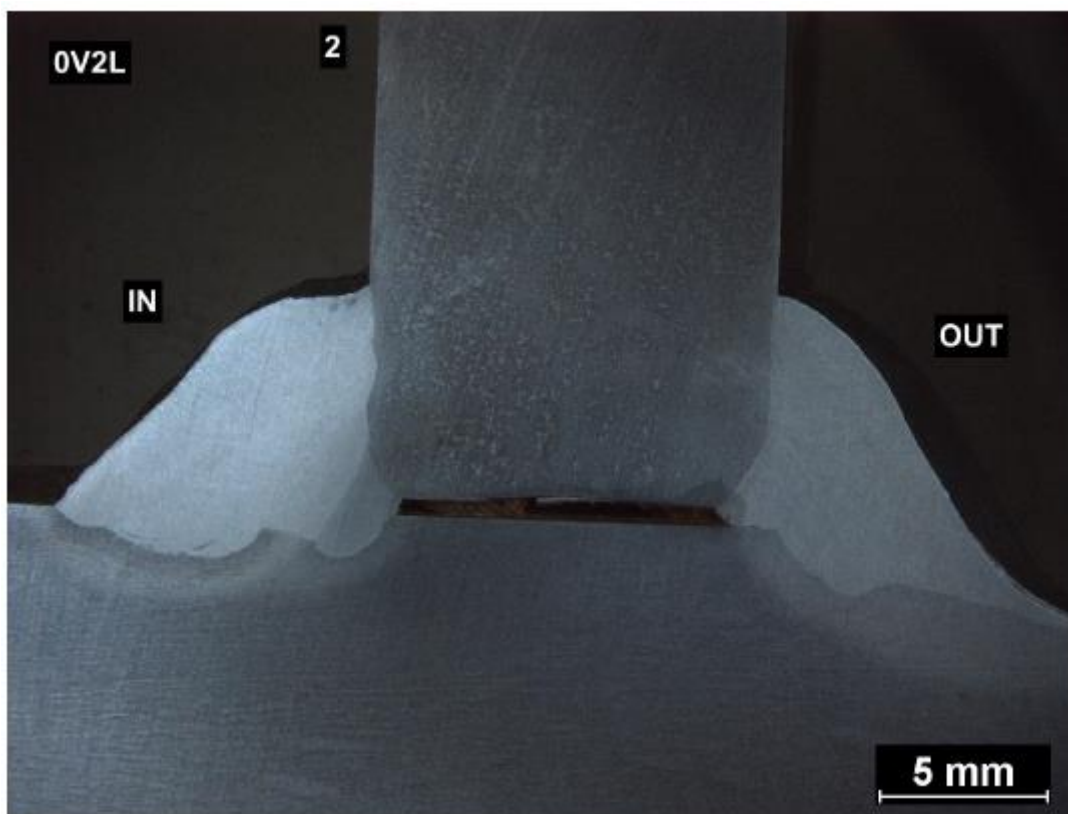
		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
174	210	249	272	198		
174	192	250	276	203		
168	193	268	263	194		

		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
178	179	231	206	210		
175	176	228	205	191		
180	177	224	224	198		

Vnější svar návarku je geometricky větší než svar vnitřní.

Přechod u vnitřního svaru je ostrý – nebezpečí vzniku vrubu.

Průvary jsou vyhovující.



Obrázek 42. Metalografický snímek spoje 0V2L

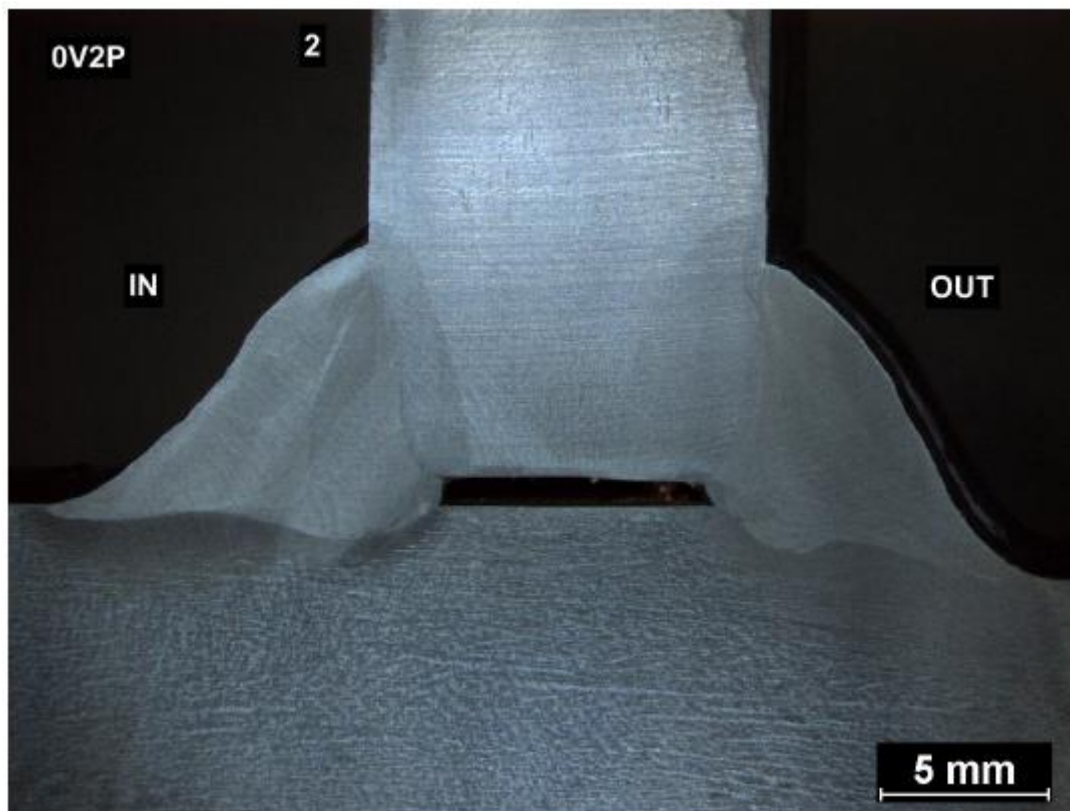
Tabulka 13. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V2L

		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
172	189	260	219	206		
167	190	246	223	195		
168	201	260	220	201		

		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
163	176	211	190	184		
170	164	207	187	188		
168	171	211	167	185		

Vnitřní svar je vysoký s dobrým průvarem.

Vnější svar má ostrý přechod, může se zde vytvořit vrub.



Obrázek 43. Metalografický snímek spoje 0V2P

Tabulka 14. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V2P

		IN		
ZM	TOO	SK	TOO	ZM
177	174	223	223	212
172	178	225	218	208
168	168	235	237	206

		OUT		
ZM	TOO	SK	TOO	ZM
172	179	215	198	179
175	173	213	184	185
169	182	220	183	170

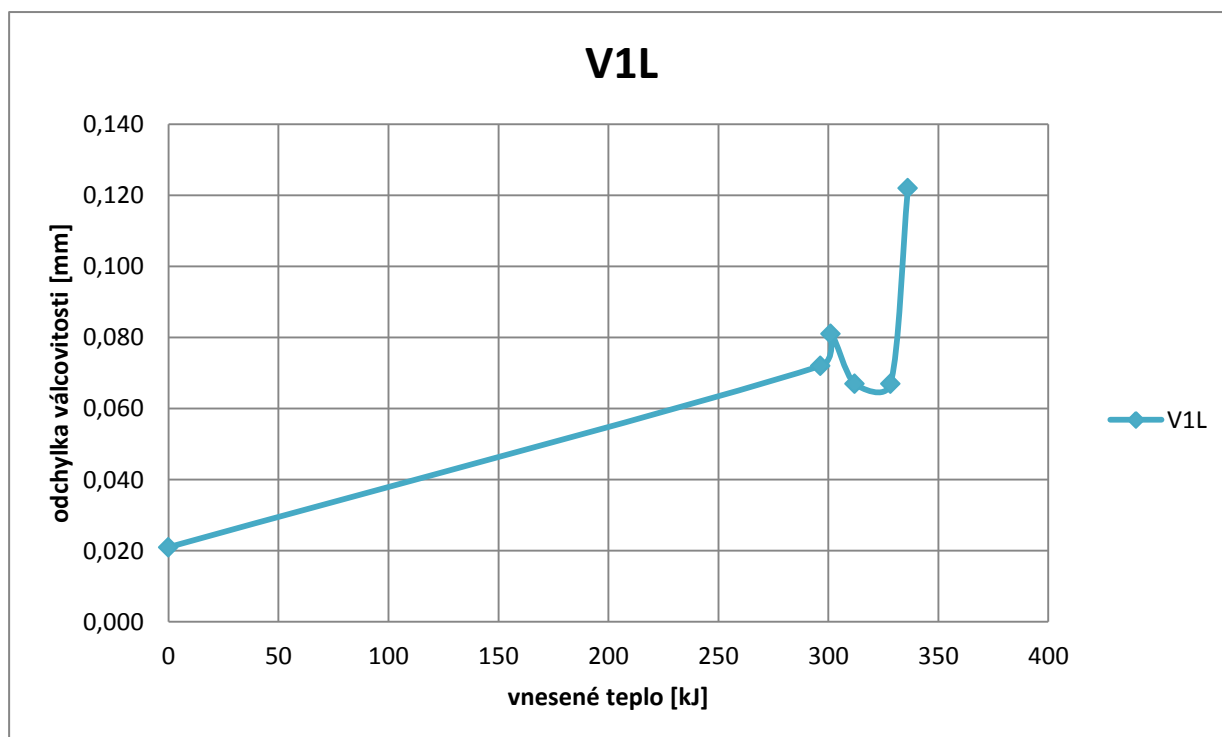
Svary jsou velikostně v pořádku, průvary jsou vyhovující. Horní přechody mezi svarovým spojem a materiálem jsou ostré – možné eliminovat přenastavením úhlu svařovací hubice.

9.8. VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTI VNESENÉHO TEPLA NA DEFORMACI – VÝLOŽNÍK

Na základě nastavených svařovacích parametrů, je možné určit vnesené teplo dle vztahu (1) v kap. 5. Tato hodnota je ale pouze poměr energie (vneseného tepla) vůči vzdálenosti (délce svarového spoje). To znamená, že číslo které se tímto způsobem spočítá je vnesené teplo na 1mm délky svaru. Aby bylo možné zjistit celkové vnesené teplo do svařence je nutné určit celkovou délku svarových spojů ovlivňující zkoumaný předmět. Pro jednotlivé návarky byly spočteny celkové délky svarových spojů a tím určeno celkové vnesené teplo ovlivňující vznik napětí a deformací návarků. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 15 až 18. Závislost těchto parametrů je uvedena pro každý návarek zvlášť v grafech 1 až 4.

Tabulka 15. Celkové vnesené teplo do návarků V1L s příslušnou hodnotou odchytky válcovitosti

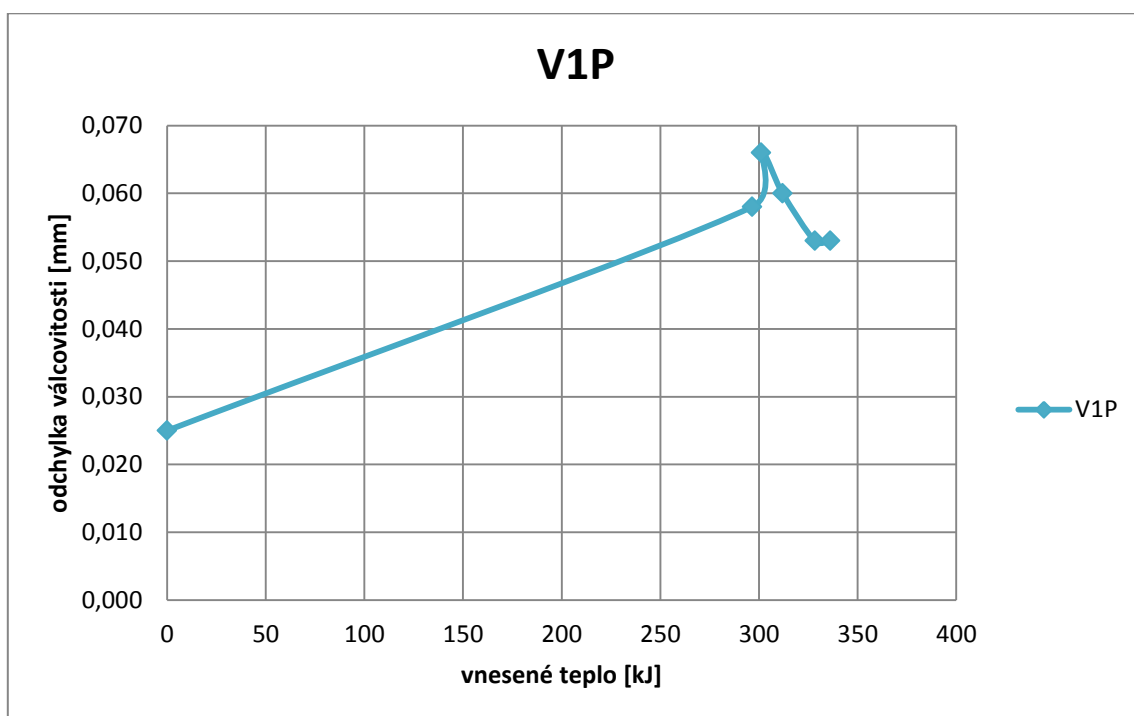
V1L		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
5V1B	0	0,021
1V1B	296,47	0,072
2V1B	301,08	0,081
3V1B	311,96	0,067
V1B	328,28	0,067
4V1B	336,17	0,122



Graf 1. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V1L

Tabulka 16. Celkové vnesené teplo do návarků V1P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

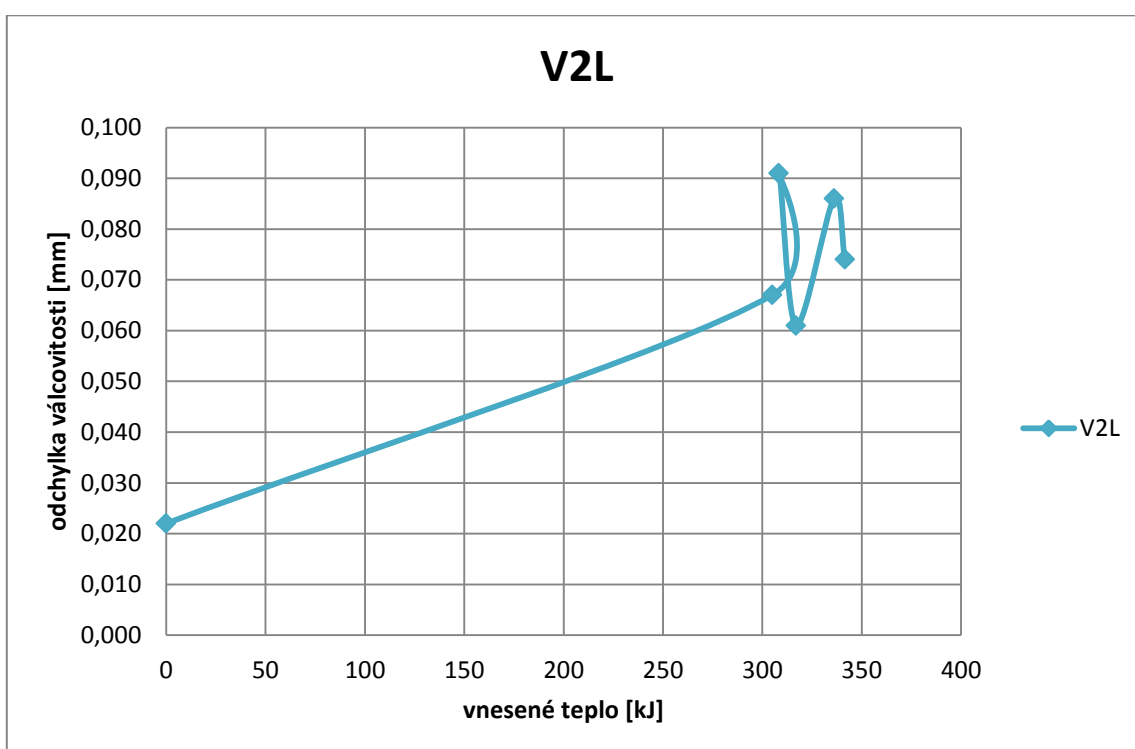
V1P		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
5V1B	0	0,025
1V1B	296,47	0,058
2V1B	301,08	0,066
3V1B	311,96	0,060
V1B	328,28	0,053
4V1B	336,17	0,053



Graf 2. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V1P

Tabulka 17. Celkové vnesené teplo do návarků V2L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

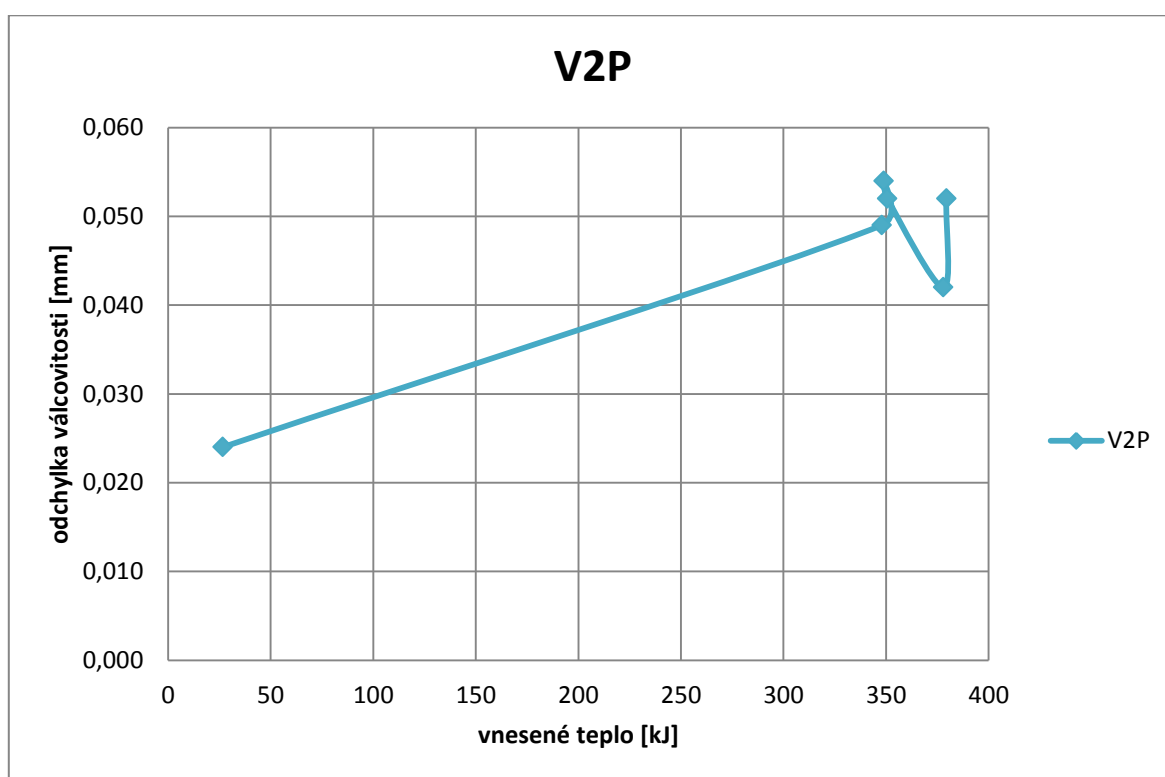
V2L		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
5V2B	0	0,022
1V2B	304,94	0,067
2V2B	308,23	0,091
3V2B	316,93	0,061
V2B	336,06	0,086
4V2B	341,52	0,074



Graf 3. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V2L

Tabulka 18. Celkové vnesené teplo do návarků V2P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

V2P		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
5V2B	26,61	0,024
2V2B	347,96	0,049
1V2B	348,87	0,054
3V2B	350,65	0,052
4V2B	377,86	0,042
V2B	379,39	0,052



Graf 4. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V2P

9.9. NÁVRH TEPELNÉHO PŘÍKONU – NÁSADA

Při návrhu tepelného příkonu u svařence násady byl zvolen stejný postup. Nastavení tepelného příkonu se určilo na základě svařovacího proudu, který se nastavoval po 15A a svařovací rychlosti +/- 3cm/min dle požadovaného vneseného tepla.

Tabulka 19. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.1

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr \varnothing [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
ON1L	IN	247	25,5	0,8	40	0,756	65,00	204,20	154,34
ON1L	OUT	247	25,5	0,8	45	0,672	65,00	204,20	137,19
ON1L	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,00	17,50	11,91
ON1P	IN	247	25,5	0,8	40	0,756	65,00	204,20	154,34
ON1P	OUT	247	25,5	0,8	45	0,672	65,00	204,20	137,19
ON1P	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,00	17,50	11,91
ON2	1. vrstva L	277	25,3	0,8	32	1,051	85,00	267,04	131,78
ON2	2. vrstva L	277	25,3	0,8	25	1,346	85,00	267,04	168,68
ON2	1. vrstva P	277	25,3	0,8	35	0,961	85,00	267,04	120,48
ON2	2. vrstva P	277	25,3	0,8	27	1,246	85,00	267,04	156,18
ON2	OUT L	277	25,3	0,8	48	0,701	85,00	267,04	63,94
ON2	OUT P	277	25,3	0,8	45	0,748	85,00	267,04	68,20
ON2	IN L	277	25,3	0,8	40	0,841	85,00	267,04	76,73
ON2	IN P	277	25,3	0,8	45	0,748	85,00	267,04	68,20
ON2	IN L	234	21,2	0,8	35	0,680	85,00	267,04	85,29
ON2	IN P	234	21,2	0,8	35	0,680	85,00	267,04	85,29
ON2	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	85,00	100,00	68,03
ON2	LOW	277	25,3	0,8	45	0,748	85,00	115,00	85,97
ON3L	-	247	25,5	0,8	40	0,756	65,00	204,20	308,68
ON3P	-	247	25,5	0,8	40	0,756	65,00	204,20	308,68
ON4A	-	277	25,3	0,8	45	0,748	68,00	213,63	319,39
ON4B	-	247	25,5	0,8	50	0,605	68,00	213,63	71,76
ON4	-	234	21,2	0,8	35	0,680	68,00	213,63	290,68
ON5A	-	277	25,3	0,8	45	0,748	76,00	238,76	356,96
ON5B	-	277	25,3	0,8	50	0,673	76,00	238,76	89,24
ON5	-	234	21,2	0,8	35	0,680	76,00	238,76	324,88
ON5U	UP	277	25,3	0,8	35	0,961	76,00	125,80	120,91
ON5L	LOW	277	25,3	0,8	40	0,841	76,00	95,00	79,89

Tabulka 20. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.2

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr \varnothing [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
2N1L	IN	227	24,7	0,8	43	0,626	65,0	204,20	127,81
2N1L	OUT	227	24,7	0,8	48	0,561	65,0	204,20	114,49
2N1L	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
2N1P	IN	227	24,7	0,8	43	0,626	65,0	204,20	127,81
2N1P	OUT	227	24,7	0,8	48	0,561	65,0	204,20	114,49
2N1P	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
2N2	1. vrstva L	292	26,3	0,8	35	1,053	85,0	267,04	132,03
2N2	2. vrstva L	292	26,3	0,8	28	1,317	85,0	267,04	165,03
2N2	1. vrstva P	292	26,3	0,8	38	0,970	85,0	267,04	121,60
2N2	2. vrstva P	292	26,3	0,8	30	1,229	85,0	267,04	154,03
2N2	OUT L	292	26,3	0,8	51	0,723	85,0	267,04	65,94
2N2	OUT P	292	26,3	0,8	48	0,768	85,0	267,04	70,07
2N2	IN L	292	26,3	0,8	43	0,857	85,0	267,04	78,21
2N2	IN P	292	26,3	0,8	48	0,768	85,0	267,04	70,07
2N2	IN L	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
2N2	IN P	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
2N2	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	100,00	68,03
2N2	LOW	277	25,3	0,8	45	0,748	85,0	115,00	85,97
2N3L	-	227	24,7	0,8	43	0,626	65,0	204,20	255,62
2N3P	-	227	24,7	0,8	43	0,626	65,0	204,20	255,62
2N4A	-	292	26,3	0,8	48	0,768	68,0	213,63	328,12
2N4B	-	227	24,7	0,8	53	0,508	68,0	213,63	60,27
2N4	-	234	21,2	0,8	35	0,680	68,0	213,63	290,68
2N5A	-	292	26,3	0,8	48	0,768	76,0	238,76	366,72
2N5B	-	292	26,3	0,8	53	0,696	76,0	238,76	92,26
2N5	-	234	21,2	0,8	35	0,680	76,0	238,76	324,88
2N5U	UP	277	25,3	0,8	35	0,961	76,0	125,80	120,91
2N5L	LOW	277	25,3	0,8	40	0,841	76,0	95,00	79,89

Tabulka 21. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.3

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
5N1L	IN	272	26,3	0,8	52	0,660	65,0	204,20	134,84
5N1L	OUT	272	26,3	0,8	57	0,602	65,0	204,20	123,01
5N1L	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
5N1P	IN	272	26,3	0,8	52	0,660	65,0	204,20	134,84
5N1P	OUT	272	26,3	0,8	57	0,602	65,0	204,20	123,01
5N1P	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
5N2	1. vrstva L	337	29,0	0,8	44	1,066	85,0	267,04	133,65
5N2	2. vrstva L	337	29,0	0,8	37	1,268	85,0	267,04	158,94
5N2	1. vrstva P	337	29,0	0,8	47	0,998	85,0	267,04	125,12
5N2	2. vrstva P	337	29,0	0,8	39	1,203	85,0	267,04	150,78
5N2	OUT L	337	29,0	0,8	60	0,782	85,0	267,04	71,33
5N2	OUT P	337	29,0	0,8	57	0,823	85,0	267,04	75,09
5N2	IN L	337	29,0	0,8	52	0,902	85,0	267,04	82,31
5N2	IN P	337	29,0	0,8	57	0,823	85,0	267,04	75,09
5N2	IN L	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
5N2	IN P	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
5N2U	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	100,00	68,03
5N2L	LOW	277	25,3	0,8	45	0,748	85,0	115,00	85,97
5N3L	-	272	26,3	0,8	52	0,660	65,0	204,20	269,68
5N3P	-	272	26,3	0,8	52	0,660	65,0	204,20	269,68
5N4A	-	337	29,0	0,8	57	0,823	68,0	213,63	351,63
5N4B	-	272	26,3	0,8	62	0,554	68,0	213,63	65,73
5N4	-	234	21,2	0,8	35	0,680	68,0	213,63	290,68
5N5A	-	337	29,0	0,8	57	0,823	76,0	238,76	393,00
5N5B	-	337	29,0	0,8	62	0,757	76,0	238,76	100,36
5N5	-	234	21,2	0,8	35	0,680	76,0	238,76	324,88
5N5U	UP	277	25,3	0,8	35	0,961	76,0	125,80	120,91
5N5L	LOW	277	25,3	0,8	40	0,841	76,0	95,00	79,89

Tabulka 22. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.4

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
6N1L	IN	247	25,5	0,8	52	0,581	65,0	204,20	118,72
6N1L	OUT	247	25,5	0,8	57	0,530	65,0	204,20	108,31
6N1L	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
6N1P	IN	247	25,5	0,8	52	0,581	65,0	204,20	118,72
6N1P	OUT	247	25,5	0,8	57	0,530	65,0	204,20	108,31
6N1P	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
6N2	1. vrstva L	277	25,3	0,8	44	0,765	85,0	267,04	95,84
6N2	2. vrstva L	277	25,3	0,8	37	0,909	85,0	267,04	113,97
6N2	1. vrstva P	277	25,3	0,8	47	0,716	85,0	267,04	89,72
6N2	2. vrstva P	277	25,3	0,8	39	0,863	85,0	267,04	108,13
6N2	OUT L	277	25,3	0,8	60	0,561	85,0	267,04	51,15
6N2	OUT P	277	25,3	0,8	57	0,590	85,0	267,04	53,84
6N2	IN L	277	25,3	0,8	52	0,647	85,0	267,04	59,02
6N2	IN P	277	25,3	0,8	57	0,590	85,0	267,04	53,84
6N2	IN L	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
6N2	IN P	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
6N2U	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	100,00	68,03
6N2L	LOW	277	25,3	0,8	45	0,748	85,0	115,00	85,97
6N3L	-	247	25,5	0,8	52	0,581	65,0	204,20	237,45
6N3P	-	247	25,5	0,8	52	0,581	65,0	204,20	237,45
6N4A	-	277	25,3	0,8	57	0,590	68,0	213,63	252,15
6N4B	-	247	25,5	0,8	62	0,488	68,0	213,63	57,87
6N4	-	234	21,2	0,8	35	0,680	68,0	213,63	290,68
6N5A	-	277	25,3	0,8	57	0,590	76,0	238,76	281,81
6N5B	-	277	25,3	0,8	62	0,543	76,0	238,76	71,97
6N5	-	234	21,2	0,8	35	0,680	76,0	238,76	324,88
6N5U	UP	277	25,3	0,8	35	0,961	76,0	125,80	120,91
6N5L	LOW	277	25,3	0,8	40	0,841	76,0	95,00	79,89

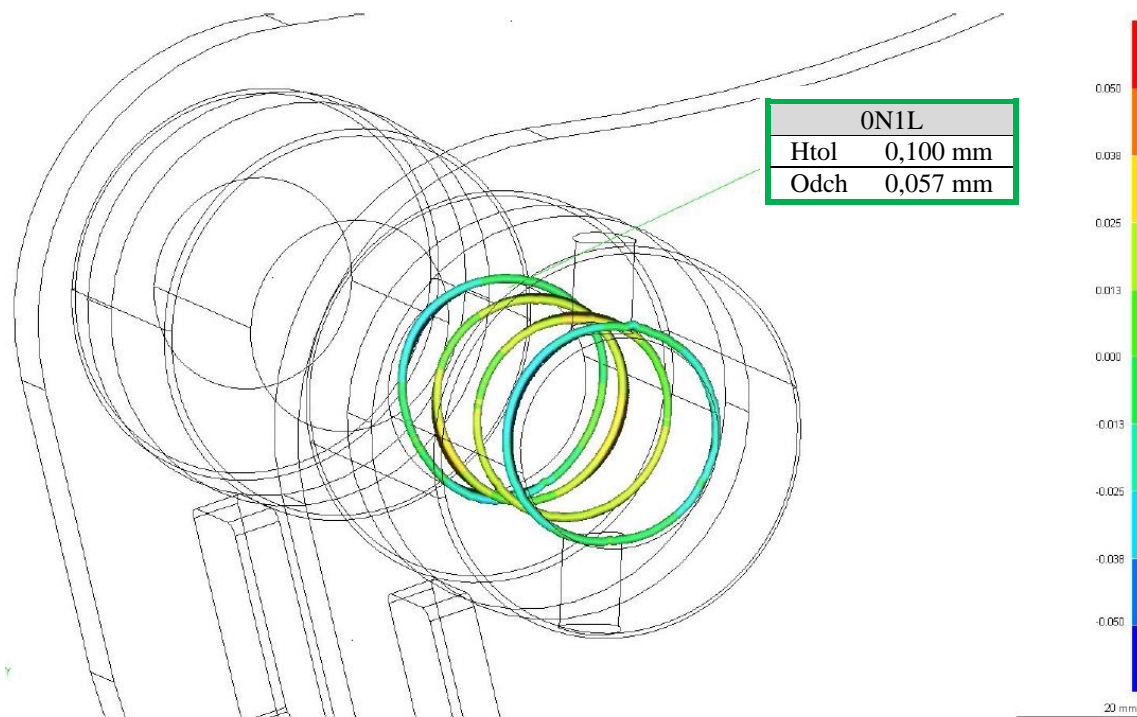
Tabulka 23. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.5

označení návarku	poloha	proud I [A]	napětí U [V]	účinnost η [-]	rychlost svař. v [cm/min]	vnes. teplo q [kJ/mm]	průměr $\varnothing D$ [mm]	obvod O / délka [mm]	TEPLO / SVAR [kJ]
7N1L	IN	257	25,8	0,8	52	0,612	65,0	204,20	124,98
7N1L	OUT	257	25,8	0,8	57	0,558	65,0	204,20	114,02
7N1L	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
7N1P	IN	257	25,8	0,8	52	0,612	65,0	204,20	124,98
7N1P	OUT	257	25,8	0,8	57	0,558	65,0	204,20	114,02
7N1P	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	65,0	17,50	11,91
7N2	1. vrstva L	292	26,3	0,8	44	0,838	85,0	267,04	105,02
7N2	2. vrstva L	292	26,3	0,8	37	0,996	85,0	267,04	124,89
7N2	1. vrstva P	292	26,3	0,8	47	0,784	85,0	267,04	98,32
7N2	2. vrstva P	292	26,3	0,8	39	0,945	85,0	267,04	118,49
7N2	OUT L	292	26,3	0,8	60	0,614	85,0	267,04	56,05
7N2	OUT P	292	26,3	0,8	57	0,647	85,0	267,04	59,00
7N2	IN L	292	26,3	0,8	52	0,709	85,0	267,04	64,68
7N2	IN P	292	26,3	0,8	57	0,647	85,0	267,04	59,00
7N2	IN L	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
7N2	IN P	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	267,04	85,29
7N2U	UP	234	21,2	0,8	35	0,680	85,0	100,00	68,03
7N2L	LOW	277	25,3	0,8	45	0,748	85,0	115,00	85,97
7N3L	-	257	25,8	0,8	52	0,612	65,0	204,20	249,97
7N3P	-	257	25,8	0,8	52	0,612	65,0	204,20	249,97
7N4A	-	292	26,3	0,8	57	0,647	68,0	213,63	276,31
7N4B	-	257	25,8	0,8	62	0,513	68,0	213,63	60,92
7N4	-	234	21,2	0,8	35	0,680	68,0	213,63	290,68
7N5A	-	292	26,3	0,8	57	0,647	76,0	238,76	308,82
7N5B	-	292	26,3	0,8	62	0,595	76,0	238,76	78,86
7N5	-	234	21,2	0,8	35	0,680	76,0	238,76	324,88
7N5U	UP	277	25,3	0,8	35	0,961	76,0	125,80	120,91
7N5L	LOW	277	25,3	0,8	40	0,841	76,0	95,00	79,89

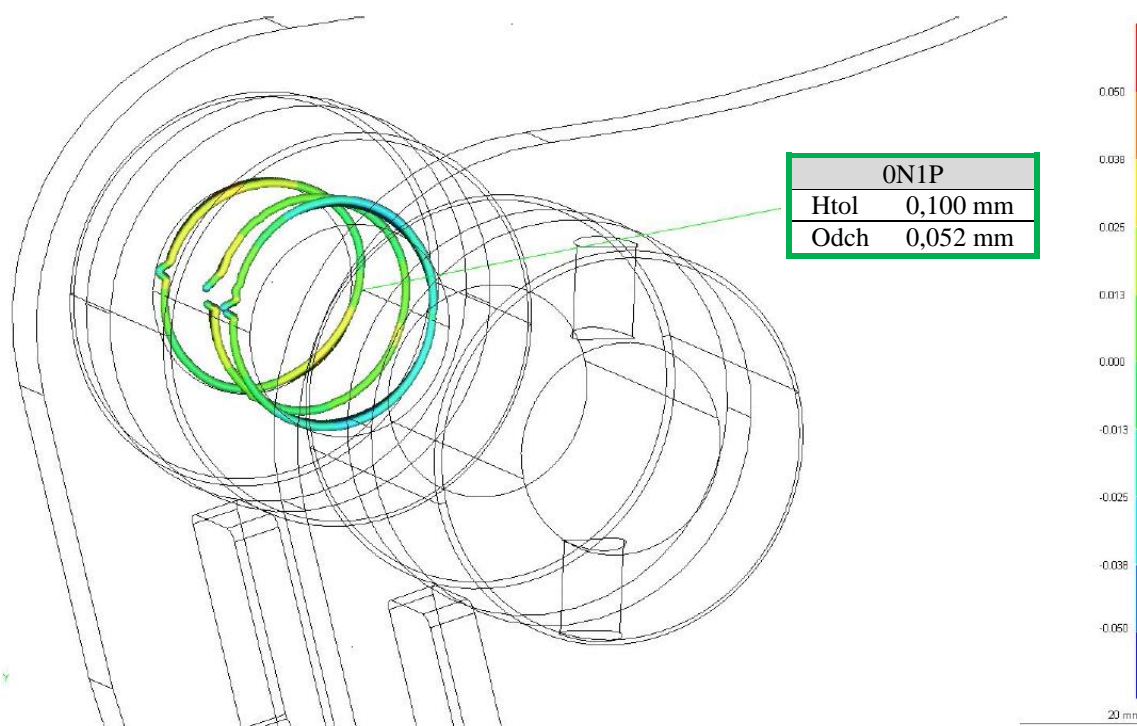
9.10. MĚŘENÍ VÁLCOVITOSTI PO SVAŘOVÁNÍ – NÁSADA

Měření odchylky od předepsané válcovitosti na svařenci výložníku bylo provedeno na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss MMZ-T s měřicím rozsahem Carl Zeiss Prismo, měř rozsah X850, Y1200, Z650, MPE 2,7+L/300 μm .

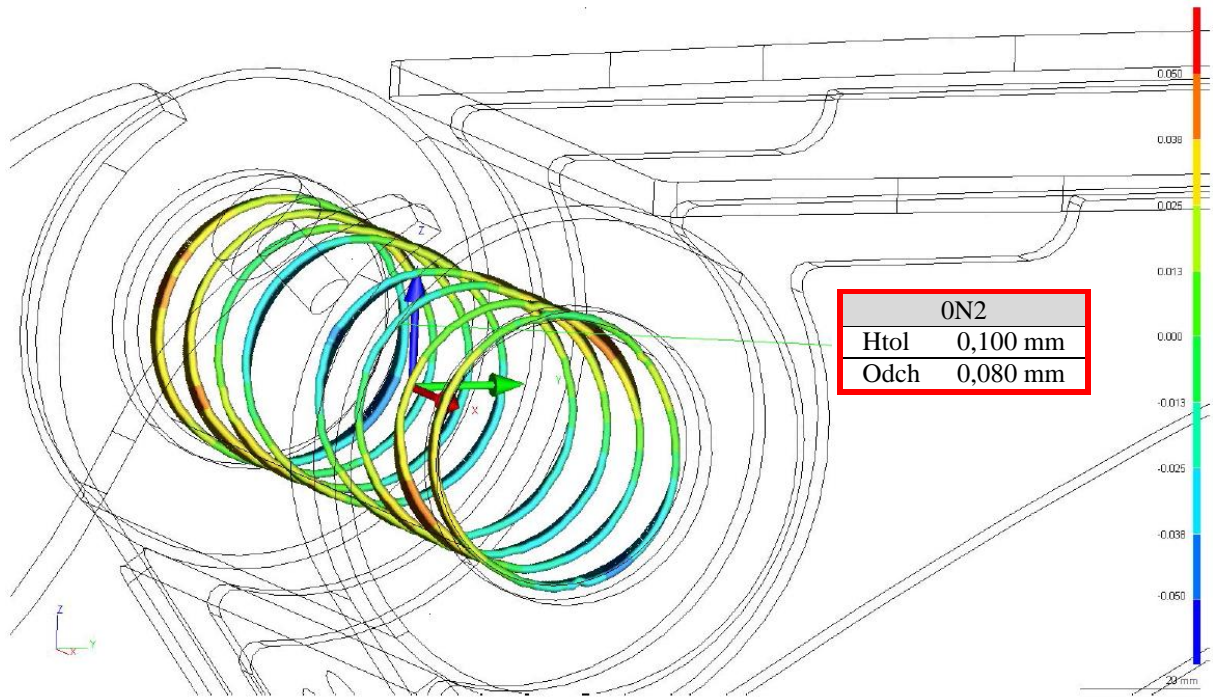
VZOREK Č.1



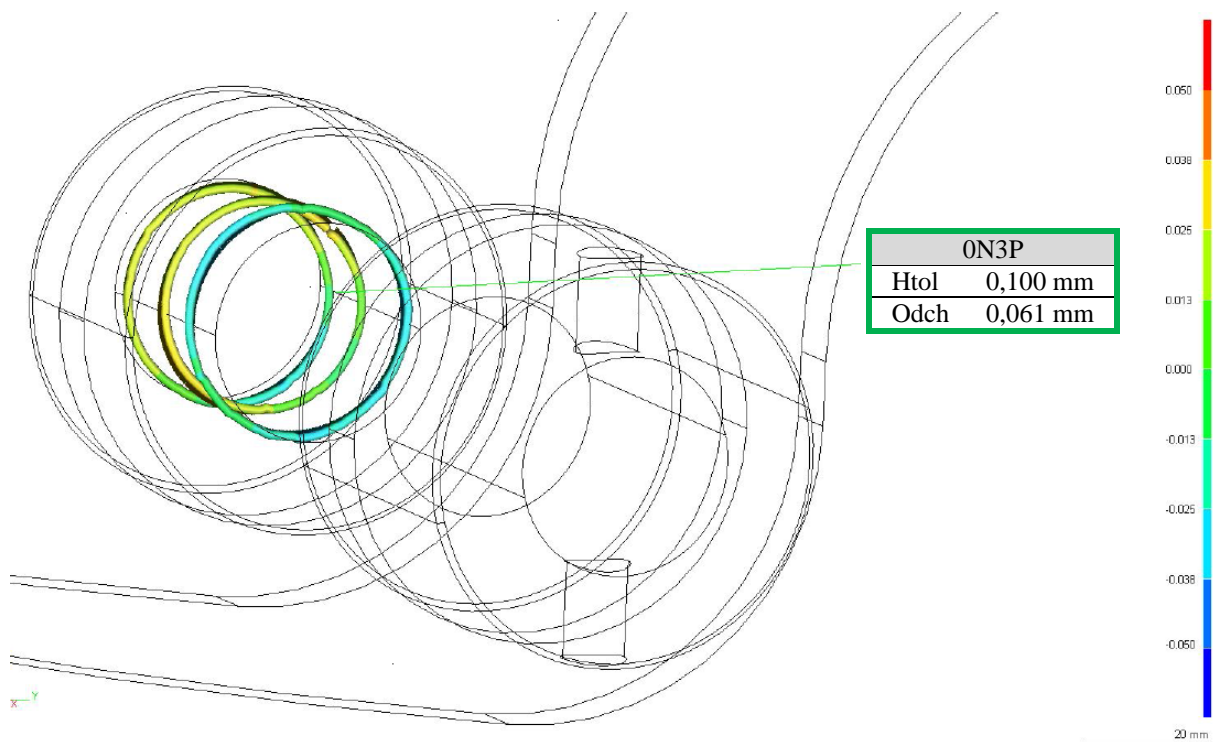
Obrázek 44. Topologie válcovitosti po svařování – 0N1L



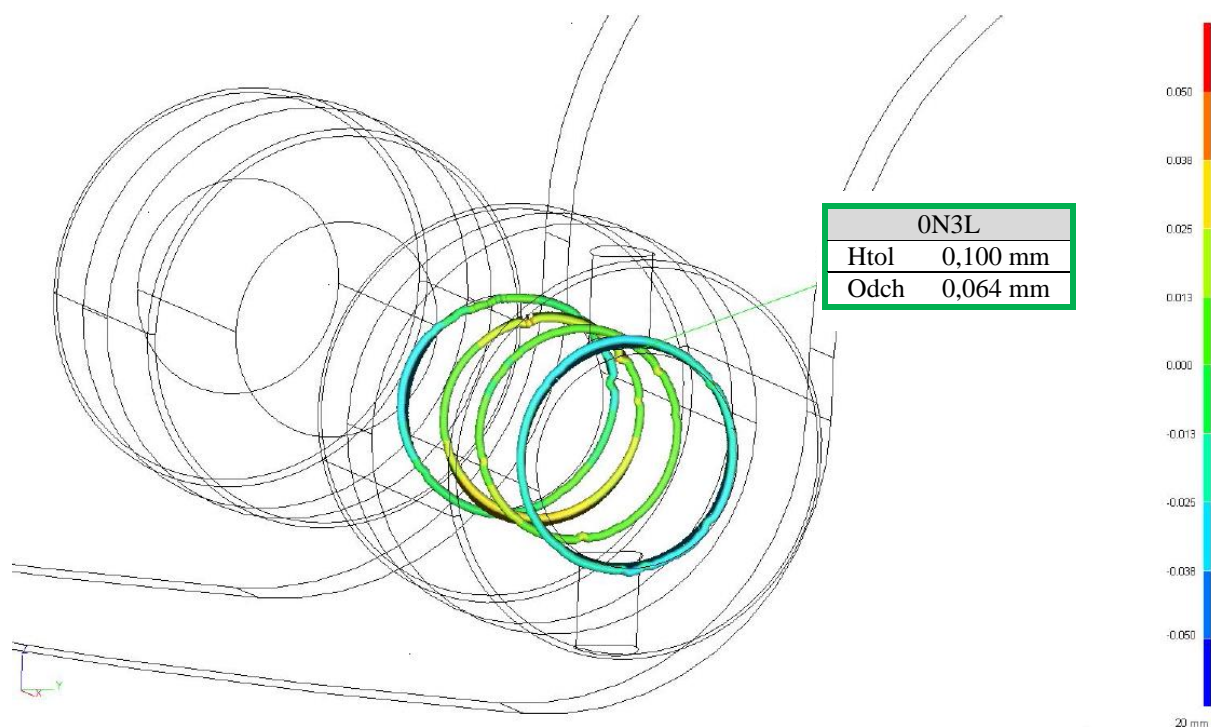
Obrázek 45. Topologie válcovitosti po svařování – 0N1P



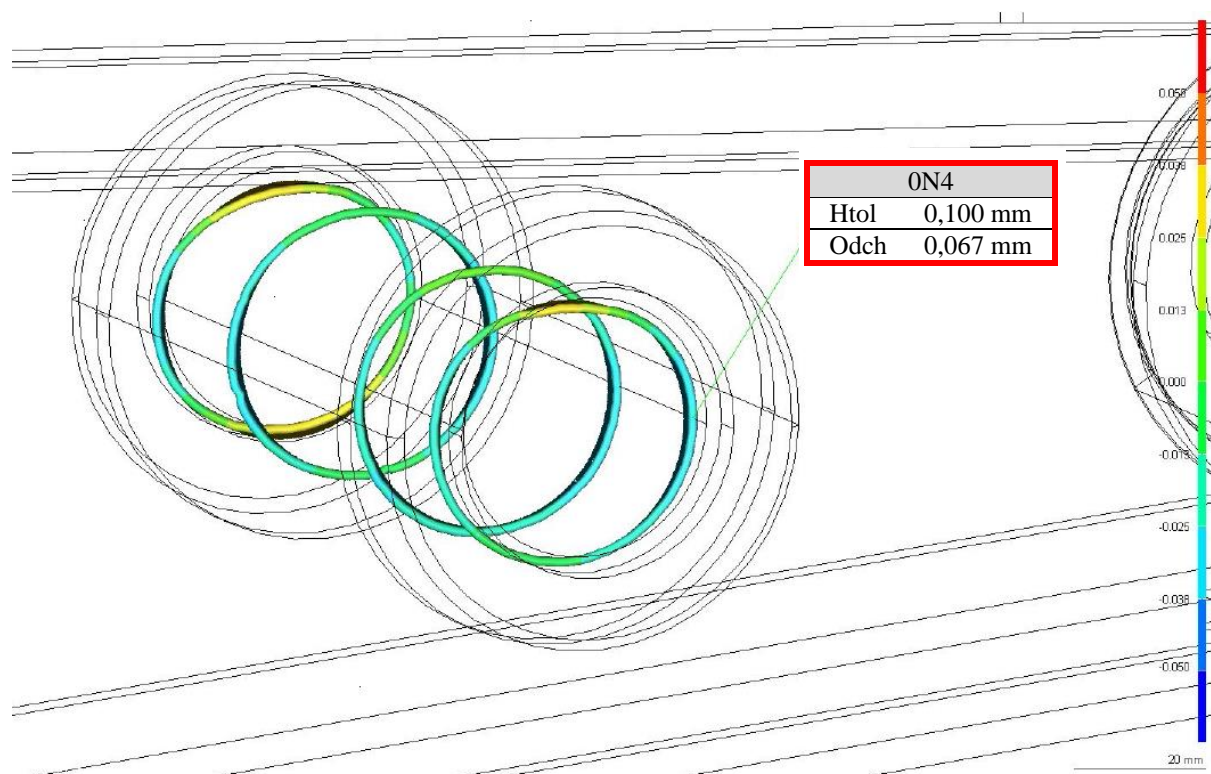
Obrázek 46. Topologie válcovitosti po svařování – 0N2



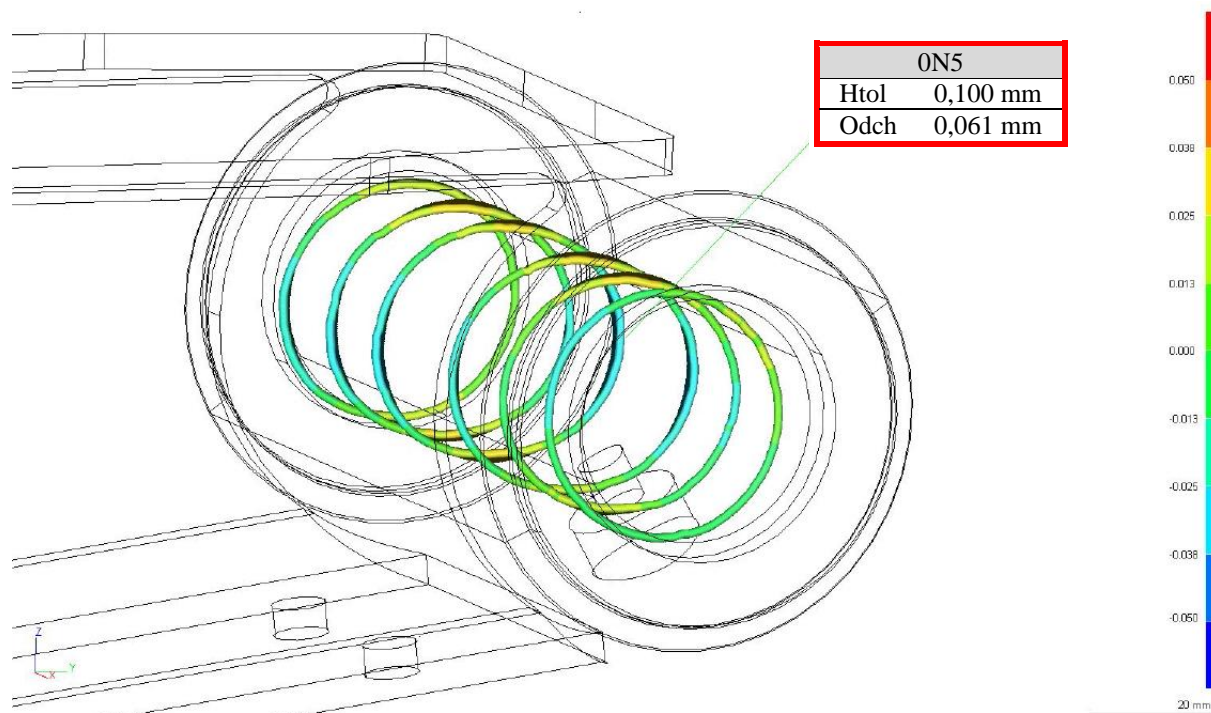
Obrázek 47. Topologie válcovitosti po svařování – 0N3P



Obrázek 48. Topologie válcovitosti po svařování – 0N3L



Obrázek 49. Topologie válcovitosti po svařování – 0N4



Obrázek 50. Topologie válcovitosti po svařování – ON5

9.11. VIZUÁLNÍ KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ – NÁSADA



Obrázek 51. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N1L



Obrázek 52. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N2



Obrázek 53. Vizualní kontrola svarového spoje návarku 0N2



Obrázek 54. Vizualní kontrola svarového spoje návarku 0N2



Obrázek 55. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3L



Obrázek 56. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3L a 0N3P



Obrázek 57. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3P



Obrázek 58. Vizuelní kontrola svarového spoje návarku 0N4

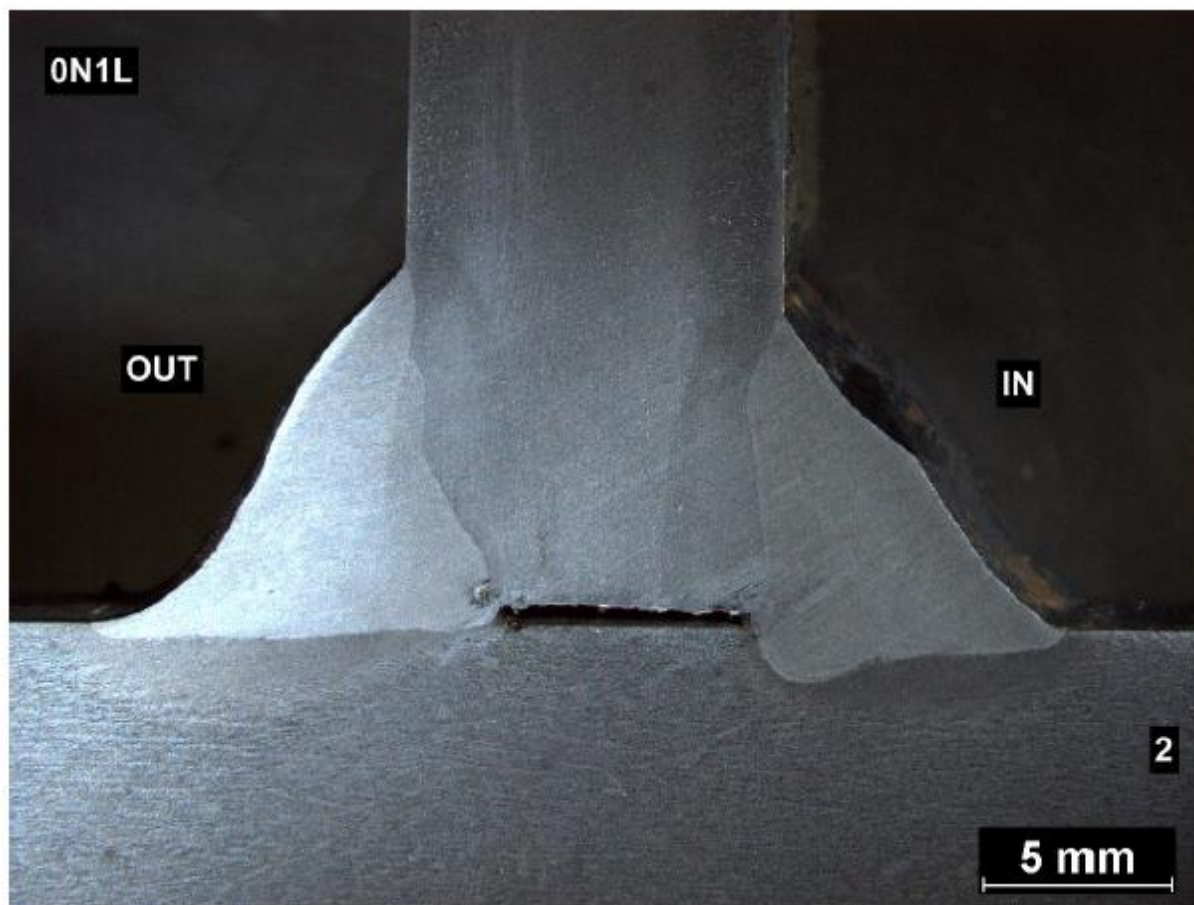


Obrázek 59. Vizuelní kontrola svarového spoje návarku 0N5



Obrázek 60. Vizuelní kontrola svarového spoje návarku 0N5

9.12. METALOGRAFIE A ZKOUŠKA TVRDOSTI – NÁSADA
VZOREK Č.1

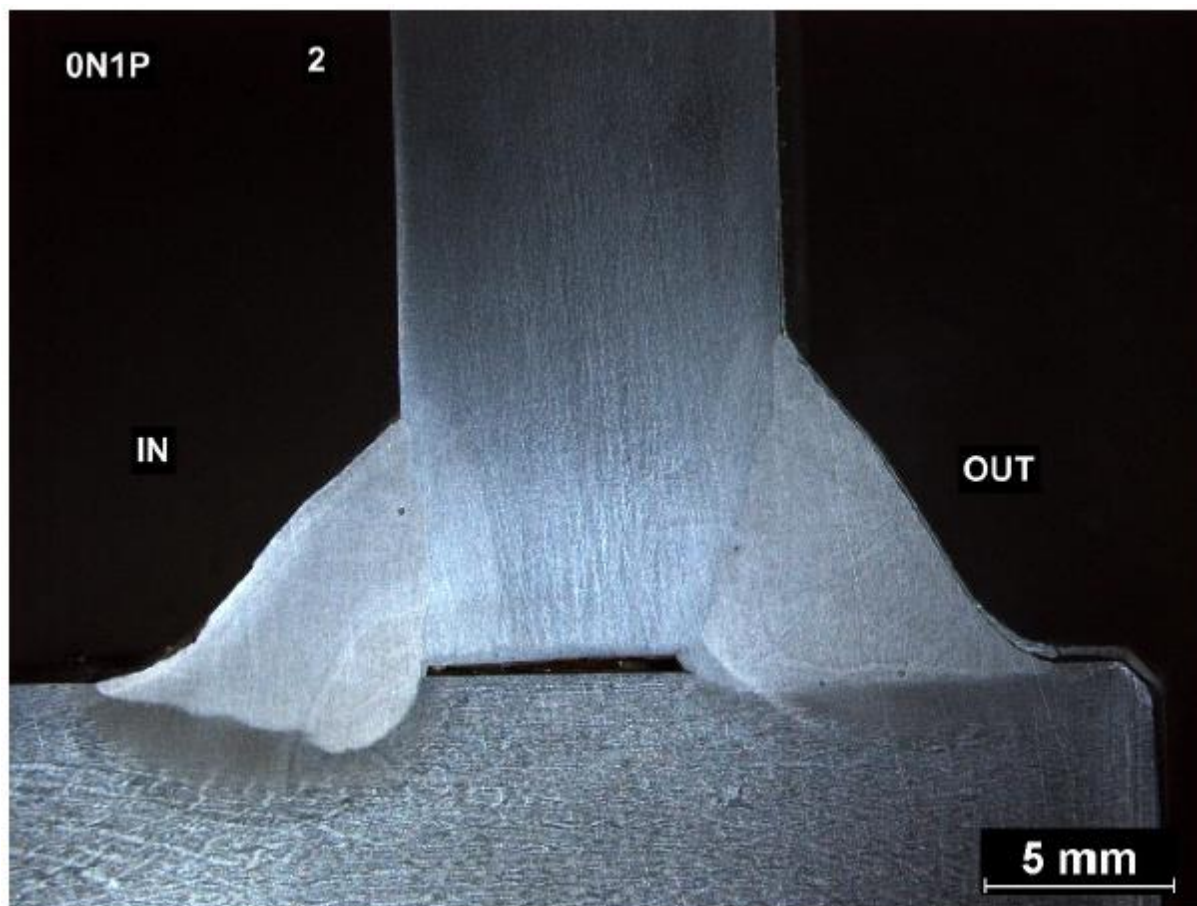


Obrázek 61. Metalografický snímek vzorku 0N1L

Tabulka 24. Hodnoty mikrotvrlosti svarového spoje 0N1L

		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
160	171	228	224	203		
161	166	230	231	203		
154	163	239	238	203		
		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
167	169	223	199	202		
160	164	218	202	211		
161	158	233	222	207		

Svarový spoj s vyhovujícími přechody svarového kovu a materiálu s dobrým průvarem.



Obrázek 62. Metalografický snímek vzorku 0N1P

Tabulka 25. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N1P

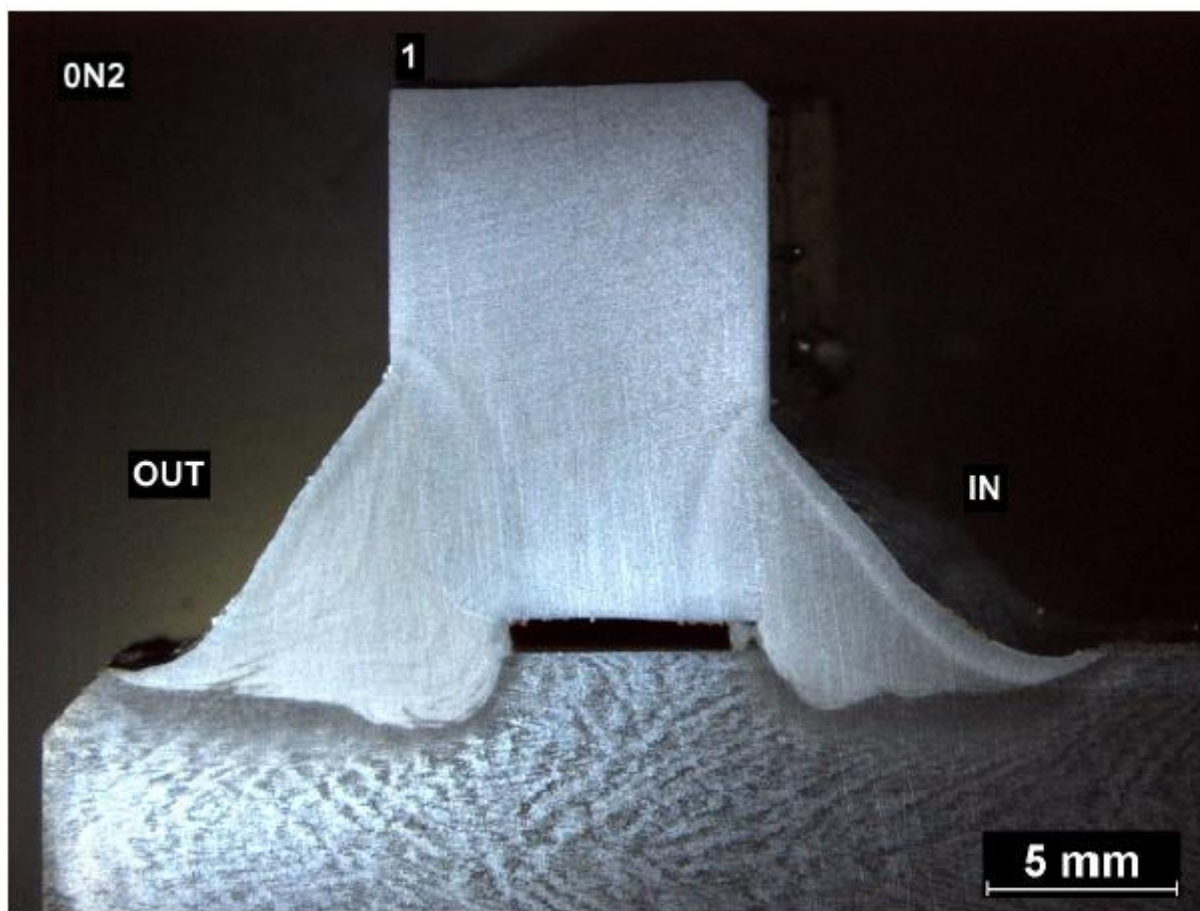
		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
151	197	249	362	207		
163	184	242	318	197		
150	169	237	262	206		

		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
146	175	231	230	184		
148	172	239	235	176		
140	167	239	209	180		

Svarový spoj s vyhovujícími průvary.

Vnitřní svar má větší TOZ a je nesymetrický, plus obsahuje pór.

Vnější svar má vyhovující TOZ, ale také obsahuje póry.



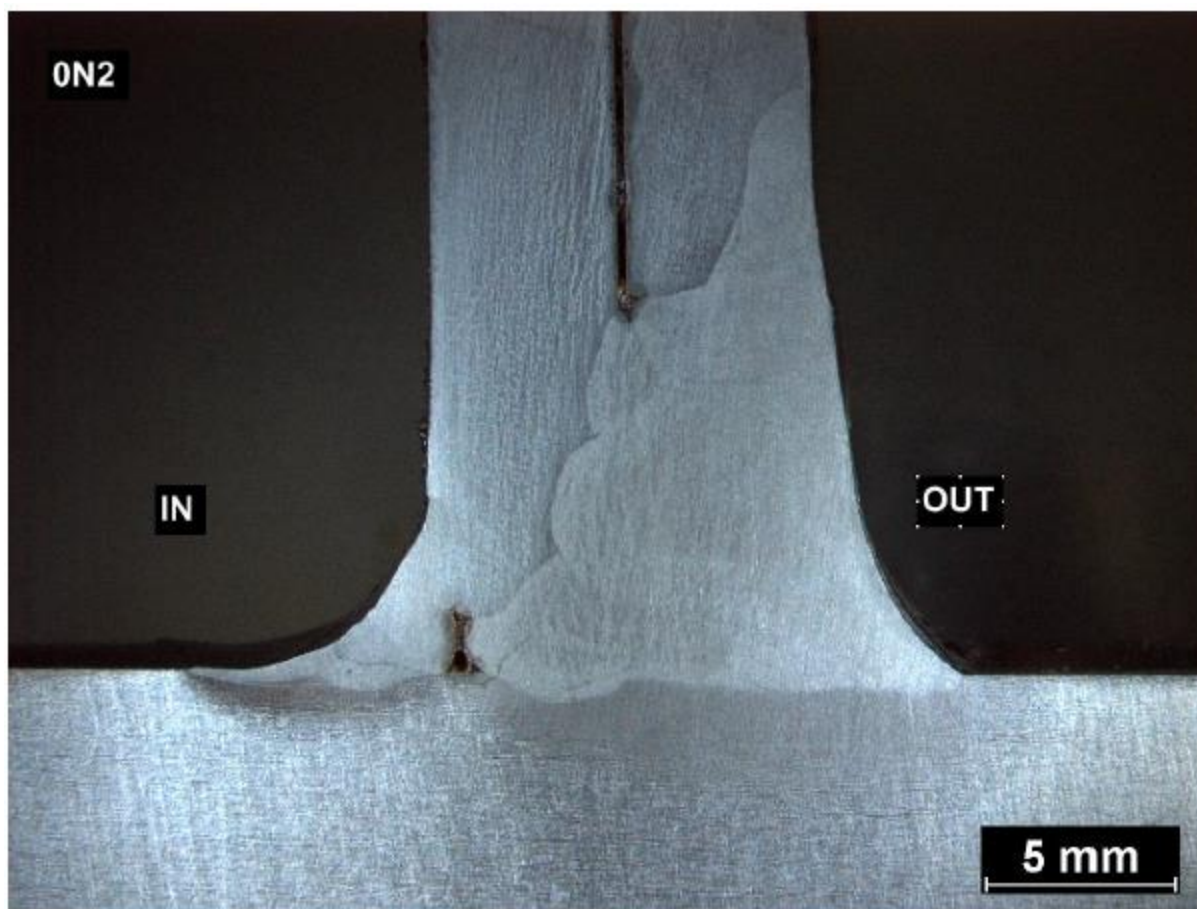
Obrázek 63. Metalografický snímek vzorku 0N2

Tabulka 26. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N2

		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
156	174	229	311	176		
164	170	236	349	180		
163	172	232	309	174		

		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
159	174	228	258	171		
168	168	225	268	176		
161	185	226	228	167		

Vnější svar má vyhovující průvar i tvar, je symetrický.
Na vnitřním svaru se vytvořil zápal, průvar je vyhovující.



Obrázek 64. Metalografický snímek vzorku 0N2

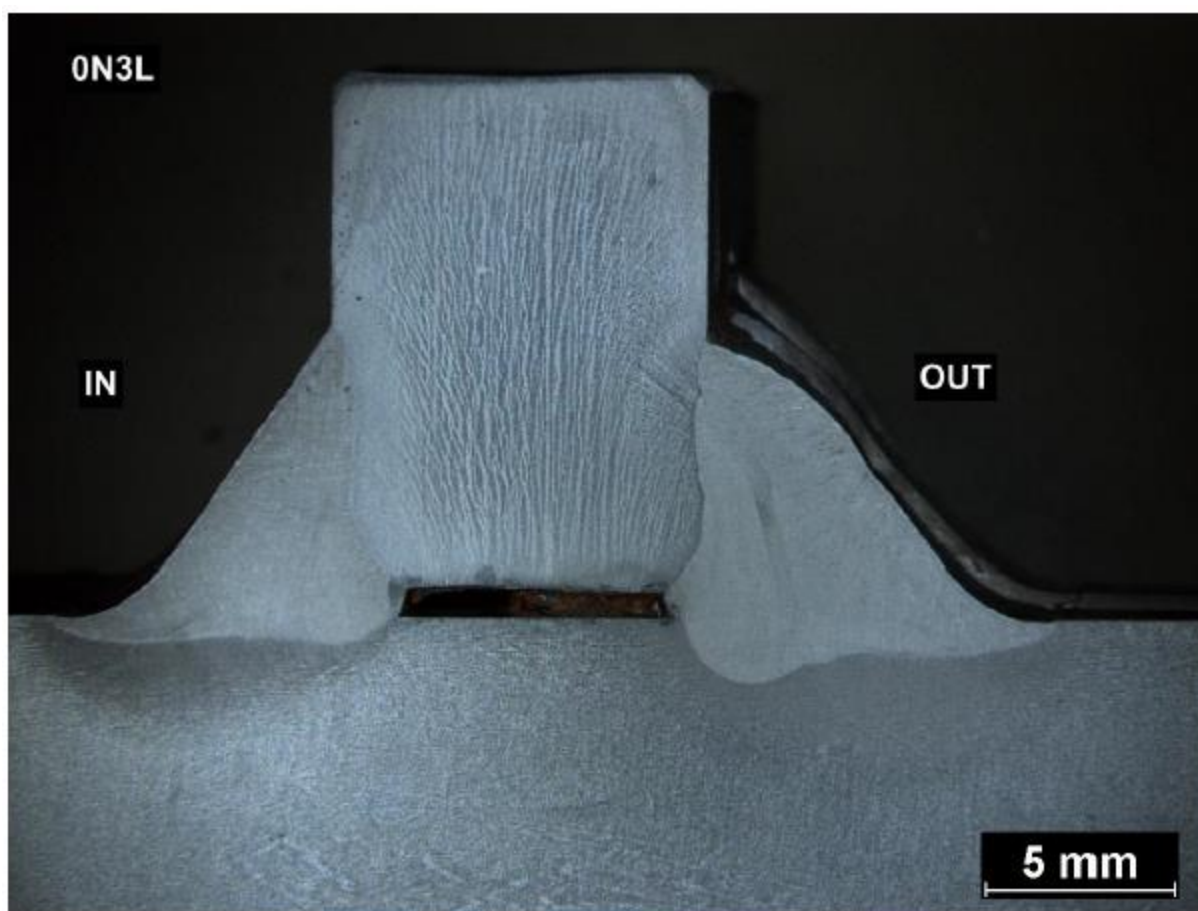
Tabulka 27. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N2

		OUT	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
151	200	193	169
176	197	193	159
173	194	181	170

		IN	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
145	181	261	191
147	209	287	184
151	249	327	172

Vnitřní svar je malý, nevyhovující z hlediska požadované velikosti. Obsahuje kráterovou a příčnou trhlinu.

Vnější svar má být dle výkresu dvouvrstvý 1/2V svar, z=6. Ve skutečnosti je na snímku větší. Tím podporuje vznik napětí a tím trhlín které vznikají ve vnitřním svaru.

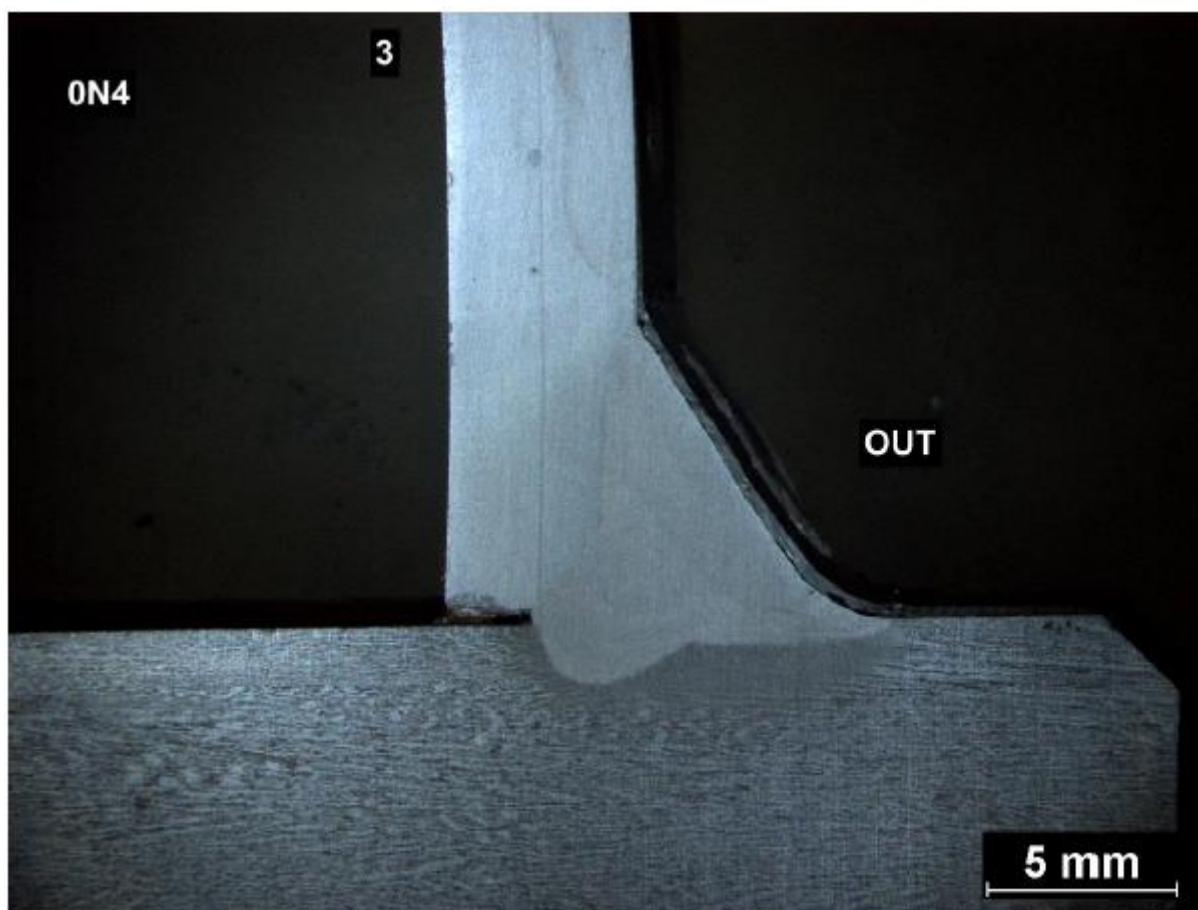


Obrázek 65. Metalografický snímek vzorku 0N3L

Tabulka 28. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N3L

		OUT				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
153	163	224	222	206		
152	165	218	217	196		
153	176	223	212	194		
		IN				
ZM	TOO	SK	TOO	ZM		
151	169	216	233	207		
153	173	242	226	196		
153	161	230	208	198		

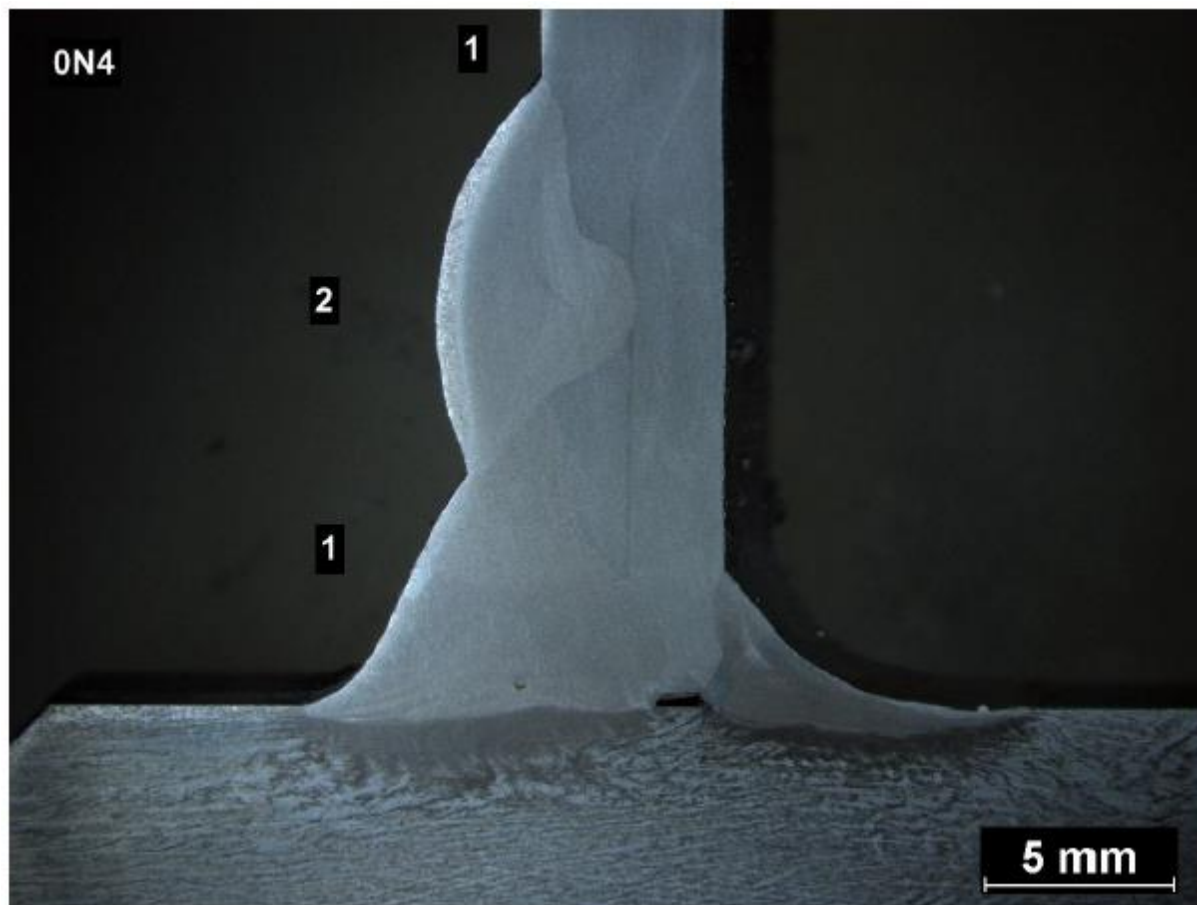
Svarový spoj s vyhovujícími průvary a velikostí TOZ. Vnější svar má ostřejší přechod – může vést ke vzniku vrubu.



Obrázek 66. Metalografický snímek vzorku 0N4

Tabulka 29. Hodnoty mikrotvrlosti svarového spoje 0N4

ZM - TOO	SVAR		
	SK	TOO	ZM
158	219	212	157
162	209	209	173
158	210	187	161



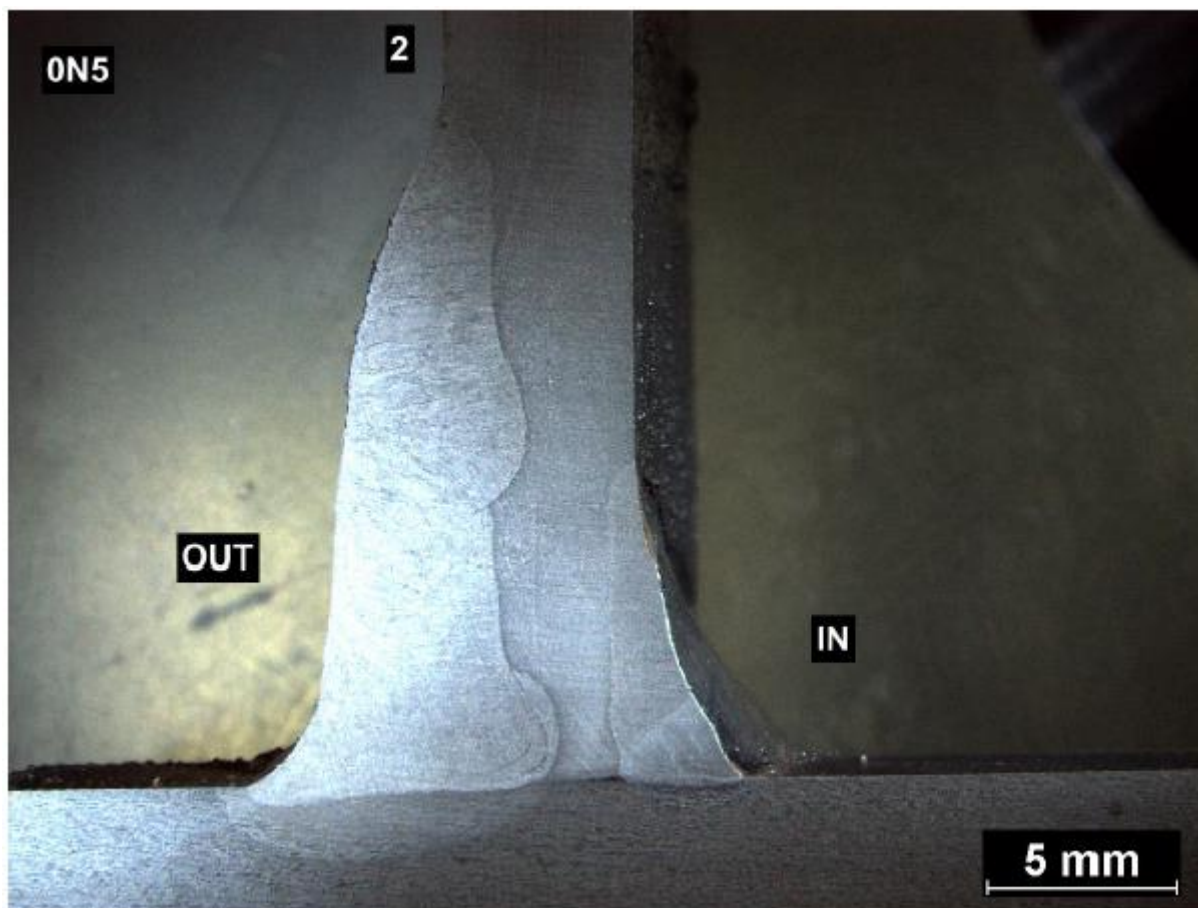
Obrázek 67. Metalografický snímek vzorku 0N4

Tabulka 30. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N4

		1	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
156	208	216	169
165	225	201	170
176	220	202	177

		DRUHÝ SVAR	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
160	262	300	171
148	276	364	161
160	286	297	176

Vnitřní svar (na snímku vpravo) je malý, nedovídá požadavkům výkresu. Svar vnější č.1 má vyhovující průvar. Tečka v kořeni svarového spoje bude nečistota na vzorku. Svar č. 2 je vysoký a negativně posunutý směrem od svaru č.1, v přechodu možnost vzniku vrubu.



Obrázek 68. Metalografický snímek vzorku 0N5

Tabulka 31. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N5

		OUT	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
150	201	210	166
151	205	208	157
154	217	207	164

		IN	
ZM - TOO	SK	TOO	ZM
167	177	266	181
165	181	238	173
161	212	328	171

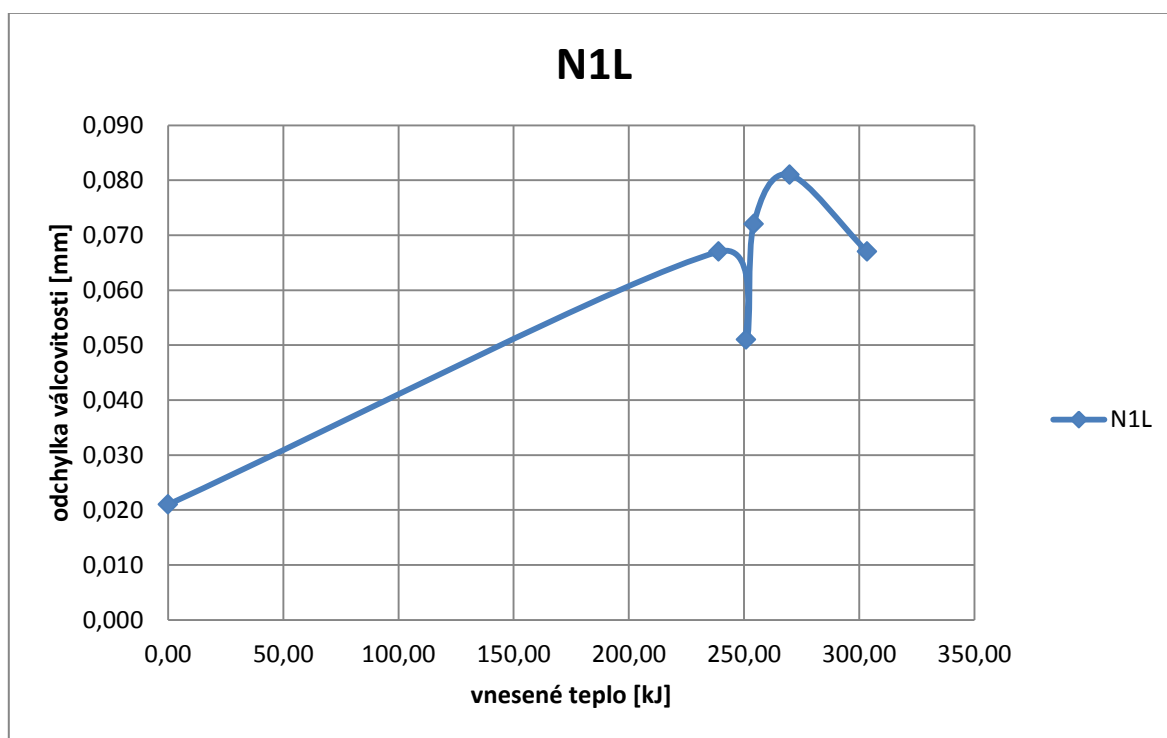
Vnitřní svar nevyhovuje požadavku výkresu. Vnější svar, napojení vrstev je v pořádku.

9.13. VYHODNOCENÍ ZÁVISLOTI VNESENÉHO TEPLA NA DEFORMACI – NÁSADA

Hodnoty celkového vnesené tepla a deformace (odchyky od válcovitosti) jsou uvedeny v tabulkách 32 až 38. Závislost těchto parametrů je uvedena pro každý návarek zvlášť v grafech 5 až 11.

Tabulka 32. Celkové vnesené teplo do návareků N1L s příslušnou hodnotou odchyky válcovitosti

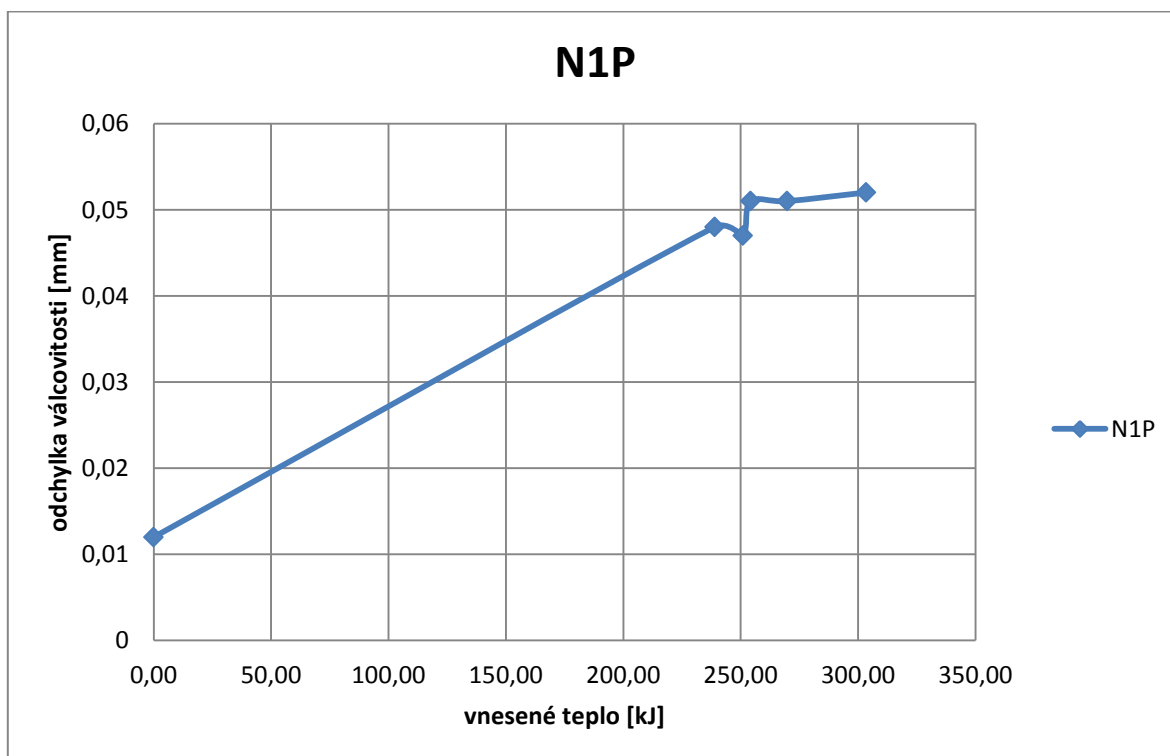
N1L		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N1L	0,00	0,021
6N1L	238,94	0,067
7N1L	250,91	0,051
2N1L	254,21	0,072
5N1L	269,76	0,081
0N1L	303,44	0,067



Graf 5. Závislost vnesené tepla na deformaci návareku N1L

Tabulka 33. Celkové vnesené teplo do návarků N1P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

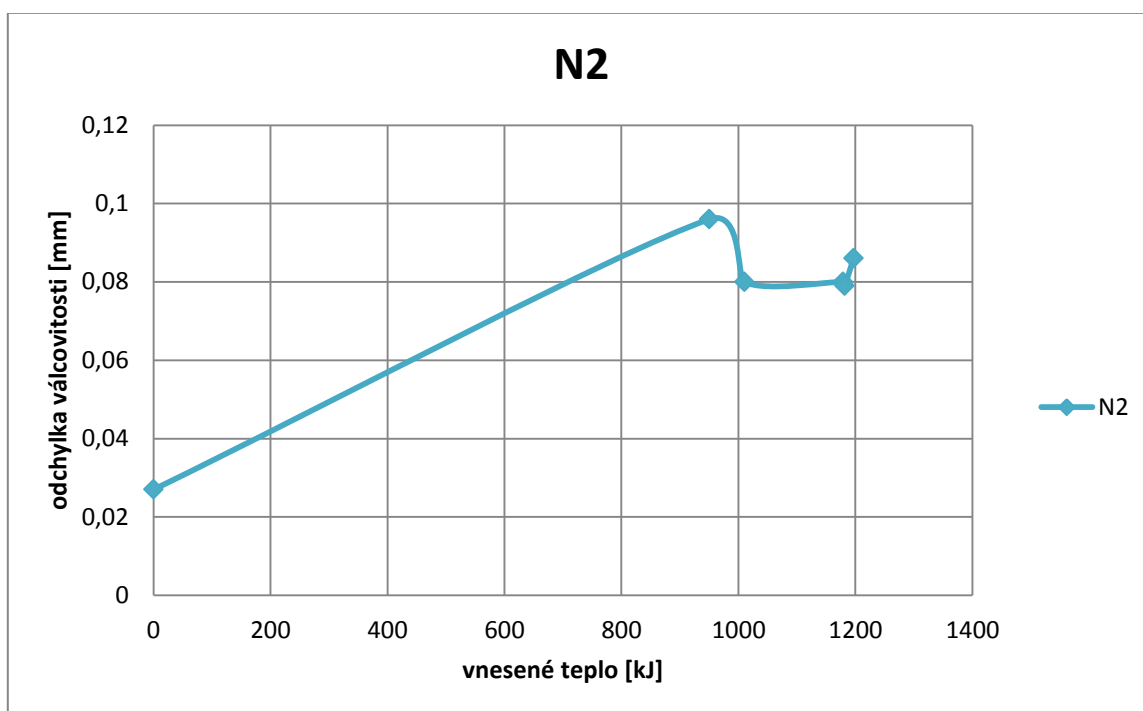
N1P		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N1P	0,00	0,012
6N1P	238,94	0,048
7N1P	250,91	0,047
2N1P	254,21	0,051
5N1P	269,76	0,051
0N1P	303,44	0,052



Graf 6. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N1P

Tabulka 34. Celkové vnesené teplo do návarků N2 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

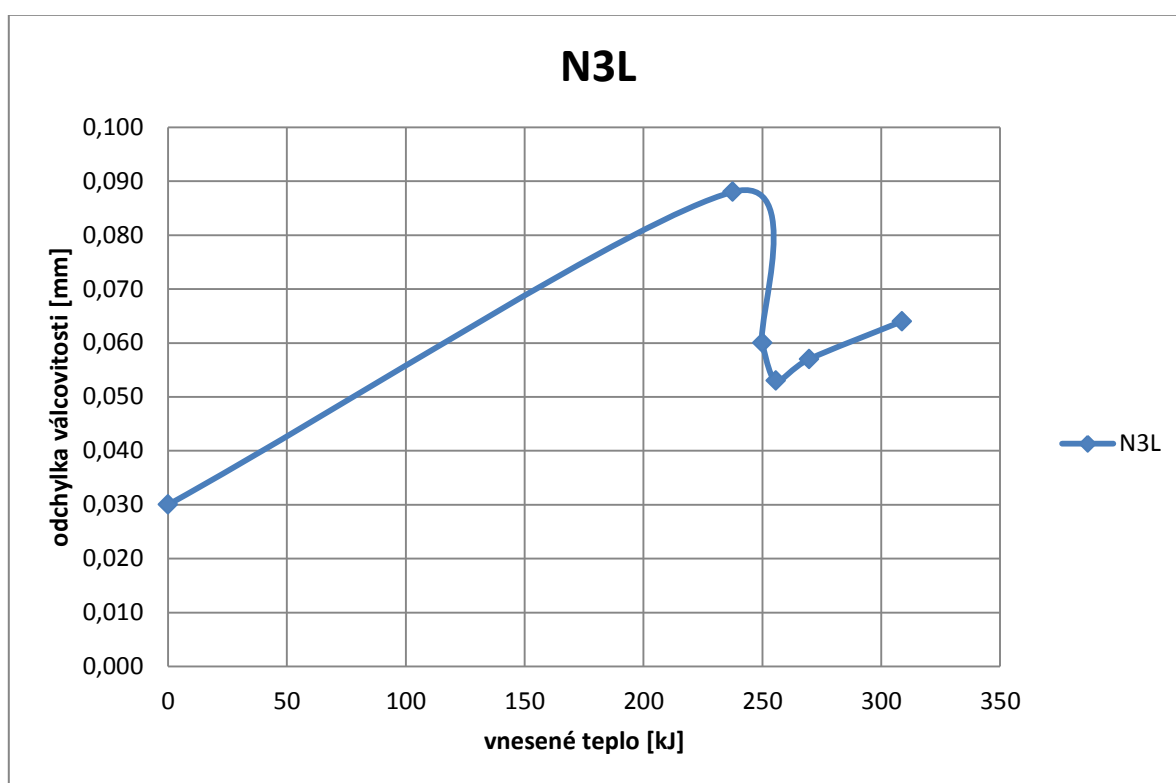
N2		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N2	0	0,027
6N2	950,09	0,096
7N2	1010,02	0,08
0N2	1178,76	0,080
2N2	1181,56	0,079
5N2	1196,87	0,086



Graf 7. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N2

Tabulka 35. Celkové vnesené teplo do návarků N3L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

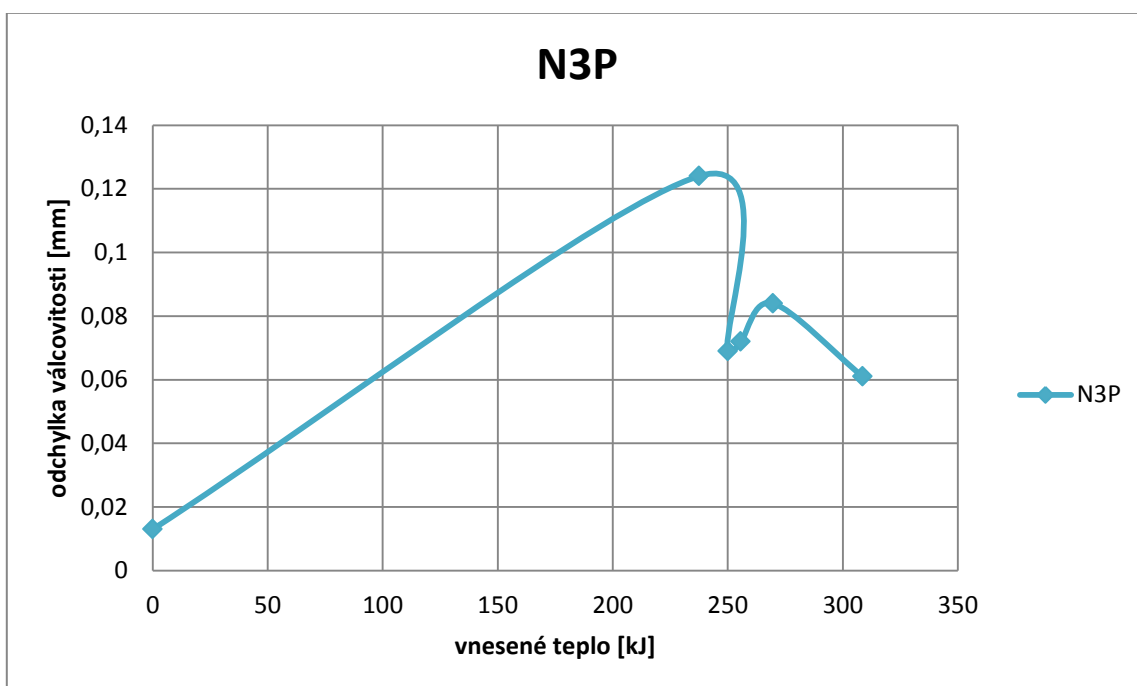
N3L		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N3L	0	0,030
6N3L	237,44	0,088
7N3L	249,96	0,060
2N3L	255,61	0,053
5N3L	269,68	0,057
0N3L	308,68	0,064



Graf 8. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N3L

Tabulka 36. Celkové vnesené teplo do návarků N3P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

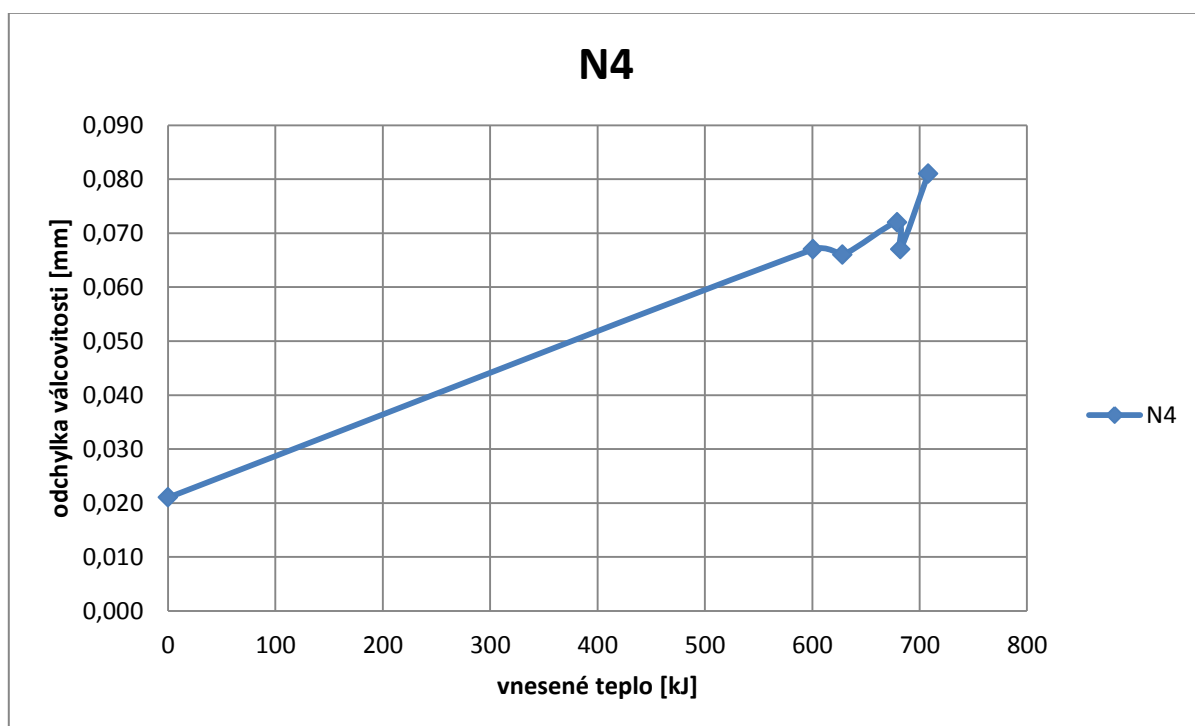
N3P		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N3P	0	0,013
6N3P	237,44	0,124
7N3P	249,96	0,069
2N3P	255,61	0,072
5N3P	269,68	0,084
0N3P	308,68	0,061



Graf 9. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N3P

Tabulka 37. Celkové vnesené teplo do návarků N4 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

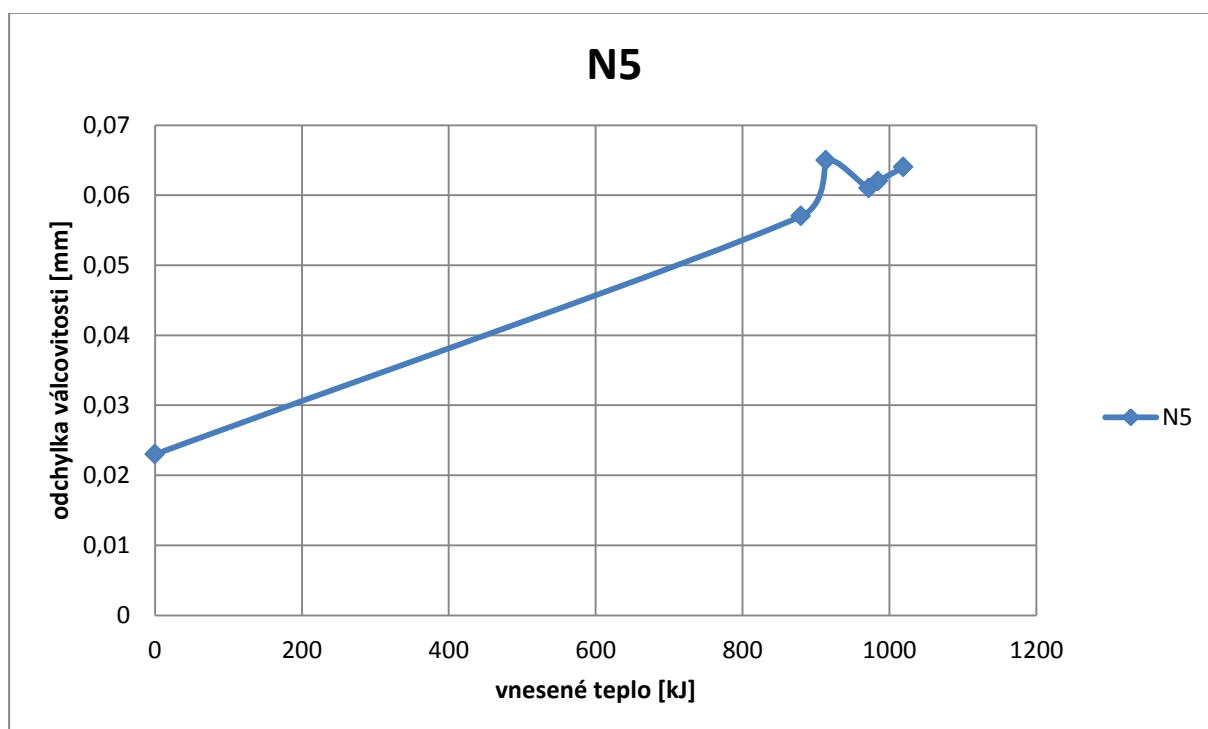
N4		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N4	0	0,021
6N4	600,69	0,067
7N4	627,91	0,066
2N4	679,06	0,072
0N4	681,82	0,067
5N4	708,03	0,081



Graf 10. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N4

Tabulka 38. Celkové vnesené teplo do návarků N5 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti

N5		
označení	vnesené teplo do svaru [kJ]	válcovitost [mm]
8N5	0	0,023
6N5	879,45	0,057
7N5	913,35	0,065
0N5	971,87	0,061
2N5	984,65	0,062
5N5	1019,03	0,064



Graf 11. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N5

10. ZÁVĚR

Cílem práce bylo nastavit výrobní proces násady a výložníku zemního rypadla tak, aby se po svařování omezilo, či v ideálním případě vyřadilo obrábění funkčních ploch po svařování.

Počátkem experimentu byla studie výkresové dokumentace, studie celku jako pracovní a montážní skupiny, studie pracoviště a pracovního postupu stehování (bodování), svařování a lisování. Po zhodnocení všech těchto aspektů, byl určen rozsah experimentu a tím i rozsah následného měření (VT, měření odchylky válcovitosti, metalografie a měření mikrotvrdomosti). Od každého druhu svařence – od násady a od výložníku, bylo svařeno 5 kusů s různými svařovacími parametry tak, aby se zjistil právě vliv vneseného tepla, na v první řadě výslednou deformaci návarků a v řadě druhé strukturu a mechanické vlastnosti svarového kovu a TOZ. Každý svařenec byl 100% kontrolován všemi předepsanými zkouškami a měřeními.

Tabulka 39. Celkové náklady experimentu

Výrobní náklady včetně materiálu, práce, energií	64674,0 Kč
Zakázkové měření – měření odchylky od předepsané válcovitosti	118 442,0 Kč
Náklady na zkoušky metalografie a měření mikrotvrdomosti činily	163 593,0 Kč
Celkové náklady experimentu	346 689,0 Kč

Vizuální kontrola která byla provedena bezprostředně po svaření testovacích vzorků vykazala první informace o nastavení svařovacích parametrů a nastavení sklonu svařovacích hořáků. Svarové spoje které po vizuální kontrole byly shledány jako nevyhovující, byly dále podrobeny zkoumání na metalografických snímcích.

Výsledky metalografie a měření mikrotvrdomosti svarových spojů, vykazují rozdílné výsledky a jsou vyhodnoceny v příloze. Po zhodnocení metalografie je možné říct, že nesymetrické nastavení svařovací hubice může zapříčinit větší přísun tepla do návarku a tím může dojít ke zvětšení deformace návarku. Případná modifikace nyní nastaveného svařovacího procesu svarů ovlivní výsledky deformace i struktury SK jen v pozitivním případě.

Před započítáním tohoto experimentu byl teoretický předpoklad, že deformace po svařování roste se vzrůstajícím tepelným příkonem – s větším teplem dodávaného do svarového spoje. Tento teoretický předpoklad se u většiny návarků rozchází s reálnými naměřenými výsledky resp. se znázorněnými závislostmi vneseného tepla na naměřené odchylce. Tento výsledek může být zapříčiněn vyhodnocením nízkého počtu statistického vzorku. Vysvětlení je popsáno v kap. 9. I přes tuto skutečnost, je ale možné říci, že je možné omezit obrábění funkčních ploch, protože byly splněny některé limity odchylek válcovitosti. Výsledné hodnoty v tabulce jsou kombinací jednotlivých výsledků. Tzn., že pro dosažení těchto hodnot bude pro jednotlivé návarky potřeba zkombinovat svařovací parametry jednotlivých svařenců.

U svařence výložníku byly splněny limity u všech návarků – porovnání je uvedeno v tabulce 88. Na základě těchto výsledků můžeme říct, že obrábět funkční plochy (vnitřní

přímery návarků) po svařování není potřeba. Tímto výsledkem dojde k výraznému ušetření za investiční náklady na 3-osé CNC centrum s pořizovací hodnotou 8 mil Kč, které by návarky po svařování obrábělo. Dále došlo k ušetření režijních nákladů, které by ve 2-směnném provozu činily 2,88 mil. Kč/rok.

Svařenec násady je komplikovanější svojí konstrukcí, umístěním svarů a samozřejmě požadavkem na nižší odchylku válcovitosti u návarků N2, N4 a N5 z důvodu lisování pouzder. V případě toho dílce došlo ke splnění požadavků u čtyřech ze sedmi návarků viz. tabulka 88. Tento výsledek, nám přinesl pouze částečnou eliminaci obrábění po svařování a to na právě 3 návarky kde je potřeba nalisovat pouzdra pro čepy.

Tabulka 40. Porovnání předepsaných a výsledných hodnot odchylek válcovitosti

Výložník	povolená odchylka [mm]	výsledná odchylka [mm]	poznámka
V1L	0,1	0,067	
V1P	0,1	0,053	
V2L	0,1	0,061	
V2P	0,1	0,042	
Násada	povolená odchylka [mm]	výsledná odchylka [mm]	poznámka
N1L	0,1	0,045	
N1P	0,1	0,047	
N2	0,03	0,080	lisování pouzder
N3L	0,1	0,053	
N3P	0,1	0,061	
N4	0,03	0,061	lisování pouzder
N5	0,03	0,062	lisování pouzder

Vzhledem k charakteru výroby násady v příslušném výrobním závodě, kde jsou aplikovány pohyblivé svařovací linky s časem taktu 30 minut, bude potřeba řešit obrábění těchto problematických uzlů pomocí portálového vertikálního obráběcího CNC centra, kde se za použití nástrojů s výměnnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů, budou násady obrábět.

Pokud by zavedení CNC obráběcího centra nebylo pro podnik přijatelné, je možné provést konstrukční změnu svařence, kde by mohlo dojít např. ke zvětšení stěny návarku kvůli odvodu tepla, či snížení velikosti svarových spojů. Tato možnost, ale nezaručuje požadovaný kvalitativní výsledek.

V případě pokračování v tomto experimentu s cílem větší eliminace deformací, by byla inovace svařovacího robotického přípravku, kde by byly použity čepy pro návarky z vysokopevné mědi s průtokem chladicího média skrze čepy.

Obě dvě možnosti, (případně jejich kombinace) které si na konci představují výrobní proces bez obrábění, nejsou zaručené a bylo by nutné další testování o větším rozsahu.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KRUNCIPÁL, J. *Teorie svařování*. Praha: SNTL, 1986, ISBN 04-211-86
- [2] KOLAŘÍK, L. SVAŘOVÁNÍ EL.OBLOUKEM OBALENOU ELEKTR. [online]. s. 47 [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [3] KOLAŘÍK, L. Svařování pod tavidlem [online]. s. 100 [cit. 2013-01 14]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [4] KOLAŘÍK, L. Svařování metodou MIG / MAG [online]. s. 42 [cit. 2013-01 14]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [5] KOLAŘÍK, L. Svařování metodou WIG [online]. s. 69 [cit. 2013-01 15]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [6] KOLAŘÍK, L. ZDROJE PRO SVAŘOVÁNÍ EL.OBLOUKEM. [online]. s. 87 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [7] SEDLÁČEK, Alexander. *Svařování otěruvzdorné oceli Hardox*. Praha, 2013. Bakalářská práce.
- [8] PILOUS, Václav a Jan VÁCLAV. *Nové metalurgické postupy svařování ocelí*. SNTL, 1985.
- [9] KOLAŘÍK, L. ELEKTRICKÝ OBLOUK [online]. s. 48 [cit. 2013-01-14]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/>
- [10] ESAB, Vamberk. *Katalog přídavných svařovacích materiálů*. 5. vyd. Vamberk, 2012
- [11] FRONIUS. *Svařovací zdroje MAG* [online]. 2015 [cit. 2015-26-05]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_ceska_republika
- [12] YASKAWA. *Polohovadla* [online]. 2015 [cit. 2015-26-05]. Dostupné z: <http://www.motoman.cz/cs/produkty/polohovadla/>
- [13] YASKAWA. *Svařovací roboty pro průmysl* [online]. 2015 [cit. 2015-26-05]. Dostupné z: http://www.motoman.cz/cs/produkty/roboty/?no_cache=1

- [14] KRUNCIPÁL, J. *Svařování pro konstruktéry a technology*. Praha: SNTL, 1980, ISBN 04-217-80
- [15] Prudký, J. *Teorie a metodika svařování*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1986.
- [16] ŠTĚPÁNKOVÁ, Vladimíra. *Otisovo parní rypadlo - první bagr na světě*. 2013, : 1. Dostupné z: <http://www.lomyatezba.cz/2013/2013-3/item/376-otisovo-parni-rypadlo-prvni-bagr-na-svete>
- [17] VALÁŠEK, Michael, Václav BAUMA a Zbyněk ŠIKA. *Mechanika B*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 9788001029190.
- [18] Carl Zeiss. *Souřadnicové měřicí stroje* [online]. 2015 [cit. 2015-26-05]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/corporate/cs_cz/home.html
- [19] KLAUS-JÜRGEN MATTHES, Erhardt Richter *Schweißtechnik: Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen*. Leipzig: Fachbuchverlag, 2002. ISBN 3446220461.
- [20] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [21] NENÁHLO Čeněk. *Souřadnicová měřicí technika* [online]. 2015 [cit. 2015-16-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Schématický obrázek prvního rypadla na světě, poháněného parou	9
Obrázek 2. Jeřáb-rypadlo z roku 1839	10
Obrázek 3. Schéma elektrického oblouku [9]	14
Obrázek 4. Schéma svařování obalenou elektrodou [2].....	15
Obrázek 5. Princip metody MIG/MAG [4].....	16
Obrázek 6. Schéma navařování metodou WIG (TIG) [5].....	17
Obrázek 7. Technologie svařování pod tavidlem [3].....	18
Obrázek 8. Schéma svařovacího procesu jako množství bodových zdrojů tepla, 1-izotermy, v - rychlost svařování [1]	20
Obrázek 9. Schéma rozkladu sil pracovní skupiny	22
Obrázek 10. Schéma pracovní skupiny	22
Obrázek 11. Pevnostní výpočet struktur pracovní skupiny.....	23
Obrázek 12. Kartézsky uspořádané souřadnicové měřicí stroje [18].....	26
Obrázek 13. Souřadnicové měřicí stroje - typické uspořádání [18].....	26
Obrázek 14. Zkoumané návarky na svařenci výložníku	27
Obrázek 15. Zkoumané návarky na svařenci násady	28
Obrázek 16. Výřez montážního výkresu - 1.návarek N5, 2.návarek N4, 3.pouzdro pro N5, 4.pouzdro pro N4.....	29
Obrázek 17. Obrázek modelu montážní sestavy pracovní skupiny	29
Obrázek 18. Kinematické schéma.....	30
Obrázek 19. Stehovací přípravek pro výložník ISO pohled.....	31
Obrázek 20. Stehovací přípravek pro výložník - boční pohled.....	31
Obrázek 21. Stehovací přípravek pro svařenec výložníku – půdorys	32
Obrázek 22. Robotický svařovací přípravek pro výložník.....	32
Obrázek 23. Robotické pracoviště výložníku	33
Obrázek 24. Stehovací přípravek svařence násady - ISO pohled	34
Obrázek 25. Stehovací přípravek násady - boční pohled	34
Obrázek 26. Přípravek pro stehování násady – půdorys	34
Obrázek 27. Robotický svařovací přípravek násady	35
Obrázek 28. Model robotického pracoviště pro svařenec násady a výložníku	35
Obrázek 29. Robotické pracoviště násady	36
Obrázek 30. Fotografie použitého svařovacího robota [13].....	37
Obrázek 32. Topologie válcovitosti po svařování - 0V1L.....	40
Obrázek 33. Topologie válcovitosti po svařování - 0V1P	41
Obrázek 34. Topologie válcovitosti po svařování - 0V2L.....	41
Obrázek 35. Topologie válcovitosti po svařování - 0V2P	42
Obrázek 36. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V1L	42
Obrázek 37. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V1P	43
Obrázek 38. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V1L a 0V1P	43

Obrázek 39. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V2L	44
Obrázek 40. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0V12 a 0V2P	44
Obrázek 41. Metalografický snímek spoje 0V1L	45
Obrázek 42. Metalografický snímek spoje 0V1L	46
Obrázek 43. Metalografický snímek spoje 0V2L	47
Obrázek 44. Metalografický snímek spoje 0V2P.....	48
Obrázek 46. Topologie válcovitosti po svařování - 0N1L.....	58
Obrázek 47. Topologie válcovitosti po svařování - 0N1P	58
Obrázek 48. Topologie válcovitosti po svařování - 0N2	59
Obrázek 49. Topologie válcovitosti po svařování - 0N3P	59
Obrázek 50. Topologie válcovitosti po svařování - 0N3L.....	60
Obrázek 51. Topologie válcovitosti po svařování - 0N4	60
Obrázek 52. Topologie válcovitosti po svařování - 0N5	61
Obrázek 53. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N1L	62
Obrázek 54. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N2.....	62
Obrázek 55. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N2.....	63
Obrázek 56. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N2.....	63
Obrázek 57. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3L	64
Obrázek 58. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3L a 0N3P	64
Obrázek 59. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N3P	64
Obrázek 60. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N4.....	65
Obrázek 61. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N5.....	65
Obrázek 62. Vizuální kontrola svarového spoje návarku 0N5.....	65
Obrázek 63. Metalografický snímek vzorku 0N1L.....	66
Obrázek 64. Metalografický snímek vzorku 0N1P	67
Obrázek 65. Metalografický snímek vzorku 0N2	68
Obrázek 66. Metalografický snímek vzorku 0N2	69
Obrázek 67. Metalografický snímek vzorku 0N3L.....	70
Obrázek 68. Metalografický snímek vzorku 0N4	71
Obrázek 69. Metalografický snímek vzorku 0N4	72
Obrázek 70. Metalografický snímek vzorku 0N5	73

13. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Zdroje variability systému měření	25
Tabulka 2. Povolené odchylky válcovitosti návarků	28
Tabulka 3. Svařovací parametry stehování	31
Tabulka 4. Technické údaje svařovacího robota MA 2010 [13].....	36
Tabulka 5. Technické údaje svařovacích zdrojů v robotickém pracovišti [11]	37
Tabulka 6. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.1	38
Tabulka 7. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.2.....	38
Tabulka 8. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.3	39
Tabulka 9. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.4.....	39
Tabulka 10. Návrh tepelného příkonu výložníku - vzorek č.5.....	40
Tabulka 11. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V1L.....	45
Tabulka 12. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V1L.....	46
Tabulka 13. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V2L.....	47
Tabulka 14. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0V2P	48
Tabulka 15. Celkové vnesené teplo do návarků V1L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	49
Tabulka 16. Celkové vnesené teplo do návarků V1P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	50
Tabulka 17. Celkové vnesené teplo do návarků V2L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	51
Tabulka 18. Celkové vnesené teplo do návarků V2P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	52
Tabulka 19. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.1	53
Tabulka 20. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.2	54
Tabulka 21. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.3	55
Tabulka 22. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.4	56
Tabulka 23. Návrh tepelného příkonu násady – vzorek č.5	57
Tabulka 24. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N1L.....	66
Tabulka 25. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N1P	67
Tabulka 26. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N2	68
Tabulka 27. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N2	69
Tabulka 28. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N3L.....	70
Tabulka 29. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N4	71
Tabulka 30. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N4	72
Tabulka 31. Hodnoty mikrotvrdosti svarového spoje 0N5	73
Tabulka 32. Celkové vnesené teplo do návarků N1L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	74
Tabulka 33. Celkové vnesené teplo do návarků N1P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	75

Tabulka 34. Celkové vnesené teplo do návarků N2 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	76
Tabulka 35. Celkové vnesené teplo do návarků N3L s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	77
Tabulka 36. Celkové vnesené teplo do návarků N3P s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	78
Tabulka 37. Celkové vnesené teplo do návarků N4 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	79
Tabulka 38. Celkové vnesené teplo do návarků N5 s příslušnou hodnotou odchylky válcovitosti	80
Tabulka 39. Celkové náklady experimentu	81
Tabulka 40. Porovnání předepsaných a výsledných hodnot odchylek válcovitosti	82

14. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V1L	49
Graf 2. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V1P	50
Graf 3. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V2L	51
Graf 4. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku V2P	52
Graf 5. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N1L	74
Graf 6. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N1P	75
Graf 7. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N2	76
Graf 8. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N3L	77
Graf 9. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N3P	78
Graf 10. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N4	79
Graf 11. Závislost vneseného tepla na deformaci návarku N5	80

15. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, JEDNOTEK A ZKRATEK

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotky</i>
D	Hodnota difúzního součinitele	
EO	Elektrický oblouk	
l_k	Velikost katodové oblasti	[m]
U_k	Katodový úbytek napětí	[V]
l_a	Velikost anodové oblasti	[m]
Q	Tepelný příkon	[kJ/mm]
I	Proud	[A]
U	Napětí	[V]
V	Rychlost svařování	[mm/min]
k	Tepelný součinitel	
MMA	Manual Metal Arc	
MAG	Metal active gas	
MIG	Metal inert gas	
SAW	Submerged arc welding	
TIG	Tungsten inert gas	
WIG	Wolfram inert gas	
IS	Svařovací proud	[A]
UEO	Napětí elektrického oblouku	[V]
PA	Poloha svařování - vodorovná shora	
PB	Poloha svařování - vodorovná šikmo shora	
CC	Proudová regulace zdroje	
CV	Napěťová regulace zdroje	
I_{sv}	Svařovací proud	[A]
U_{sv}	Svařovací napětí	[V]
V_D	Rychlost posuvu drátu	[m/min]
V_{sv}	Rychlost svařování	[m/min]
η	Teplotní součinitel	
q	Tepelný příkon	[kJ/mm]
σ	Napětí v tahu	[MPa]
HV	Tvrдость dle Vickerse	[HV]
ZM	Základní materiál	
TOZ	Tepelně ovlivněná oblast	
SK	Svarový kov	
VT	Vizuální zkouška svarových spojů	
\varnothing_D	Vnější průměr návarku	[mm]
O	Vnější obvod návarku	[mm]