

RENOVACE KOL JEŘÁBOVÝCH DRAH NAVAŘOVÁNÍM

Bc. Rostislav Slováček

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Rostislav Slováček**

Osobní číslo: **T14318**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Renovace kol jeřábových drah navařováním**

Zásady pro vypracování:

1. Sestavte literární studii k dané problematice
2. Zpracujte návrh technologického postupu renovace opotřeбенých kol
3. Provedte výběr přídavného materiálu
4. Provedte finální obrobení pokusných vzorků
5. Získané poznatky vyhodnoťte



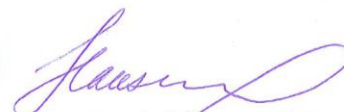
Rozsah diplomové práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle zadání vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Oldřich Šuba, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 9. května 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomové/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo - diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2016


.....

¹ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování vědeckých prací.

(1) Vysoká škola nejméně jednou zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhlo obhajobu, včetně posudeků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Zpusob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být při nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracovního místa školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnožování.

(3) Písemně, že odevzdané práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

² zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nepromáhá škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li náhodou učitelu jiného nebo nepřímého úsporního nebo obdobného prospěchu k výuce nebo k vlastnímu účelu díla vytvořeného žákem nebo studentem ke splnění školské nebo studijní povinnosti vyplývající z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školské dílo).

³ zákon č. 171/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 40 Školské dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na využití bezúplatně zmanu o užít školního díla (§ 35 odst. 3). Opatření k autorův úkolového díla udělit svolení bez výděleho účelu, mohou se tyto opatření namístit chybějícího práva jeho vůle o souhlas. Odstavec 3 s účinností ode dne.

(2) není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému bezplatně, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Školu nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jin autor školního díla o vydělu úm dosaženého v souvislosti s užítím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, která na vytvoření díla vynaložil, a to podle účelnosti až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíží k užít výdělu dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užít školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová se zabývá renovací kol jeřábových drah navařováním, se zaměřením na zvláštní proces svařování. Popisuje metody svařování, které jsou k navařování nejčastěji využívány. Řeší vhodnost využití vybraných přídatných svařovacích materiálů, zejména pak trubičkových drátů. Dále rozebírá kontroly a zkoušky provedené k ověření teoretických předpokladů a minimalizací rizik spojených s navařováním tvrdokovů. Nabyté poznatky jsou zhodnoceny v praktickém provedení renovace.

Klíčová slova: Navařování, svařování, trubičkový drát, základní materiál, přídatný svařovací materiál, postup svařování

ABSTRACT

This diploma thesis deals with renovation of wheels of crane runway by welding. Describes methods of welding, which are most frequently used for this type of renovations. Descriptions the suitability of selected filler welding materials, especially cored wires. Further analyzes the inspections and tests to verify the assumptions of theoretical and minimizing the risks associated with welding carbides. Acquired knowledge are evaluated in the practice of restoration.

Keywords: Surfacing, welding, flux-cored wire, base material, a welding filler material were, welding procedure

Mé upřímné poděkování patří panu doc. Ing. Oldřichu Šubovi, CSc., za pomoc, konzultace a cenné rady, kterých se mi od něj dostalo.

Dále děkuji firmě WIRPO s.r.o. za ochotu a pomoc spojenou s realizací praktické části.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 12.5.2016

.....
Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OCELI- MATERIÁLY PRO KONSTRUKCI KOL	12
1.1 NELEGOVANÉ OCELI.....	13
1.2 LEGOVANÉ OCELI	14
1.3 OZNAČOVÁNÍ OCELÍ	15
2 OBRÁBĚNÍ	19
2.1 OBRÁBĚCÍ STROJ	19
2.2 ŘEZNÝ NÁSTROJ	21
2.3 OBROBEK	22
2.4 SOUSTRUŽENÍ.....	24
2.4.1 Řezné podmínky.....	24
3 NAVAŘOVÁNÍ	25
3.1 SVAŘOVÁNÍ.....	25
3.1.1 Definice a charakteristika svarového spoje.....	25
3.1.2 Metody svařování.....	29
3.1.3 Svařitelnost ocelí.....	30
3.1.4 Interpass teplota	33
3.1.5 Žihání svarového spoje [PWHT]	34
3.1.6 Přídavný materiál	35
3.2 TECHNOLOGIE NAVAŘOVÁNÍ.....	39
4 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ	41
4.1 VIZUÁLNÍ KONTROLA	42
4.1.1 Vyhodnocování vad při VT.....	42
4.2 KAPILÁRNÍ KONTROLA	43
4.2.1 Způsob provádění a vyhodnocování kapilární zkoušky PT	43
4.3 KONTROLA PROZÁŘENÍM	45
4.4 KONTROLA ULTRAZVUKEM	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 CÍL PRÁCE	47
6 VSTUPNÍ PROHLÍDKA A ROZMĚROVÁ KONTROLA	48
7 VSTUPNÍ KAPILÁRNÍ KONTROLA KOL (PT)	50
8 VOLBA METODY A STANOVENÍ PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ	51

9	NAVAŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ A JEJICH TESTOVÁNÍ.....	54
9.1	OVĚŘENÍ SPRÁVNOSTI HODNOT, UVEDENÝCH V PWPS	54
9.2	POVRCHOVÁ TVRDOST NAVAŘENÝCH VRSTEV A ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU	56
9.3	MAKROSTRUKTURA	57
9.4	MIKROSTRUKTURA.....	58
9.5	PROMÍSENÍ SVAROVÉHO KOVU SE ZÁKLADNÍM MATERIÁLEM.....	59
9.6	PRŮBĚH VNITŘNÍ TVRDOSTI.....	60
10	OBRÁBĚNÍ KOL PŘED NAVAŘOVÁNÍM	61
11	NAVAŘOVÁNÍ	63
11.1	PŘEDEHŘEV	63
11.2	PŘÍPRAVA SVAŘOVACÍHO ZDROJE	64
11.3	APLIKACE SVAROVÝCH HOUSENEK	66
12	OBRÁBĚNÍ PO NAVAŘOVÁNÍ	70
13	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ RENOVACE	72
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

Téma této diplomové práce zní „Renovace kol jeřábových drah navařováním“. Jak již samotný název napovídá, jedná se o propojení a využití velkého množství vědních oborů. Zejména pak strojních, elektrotechnických, fyzikálních, chemických a v neposlední řadě také ekonomických disciplín.

Problematikou svařování se jako svařovací technolog úzce zabývám také v praxi, proto mě možnost vypracování práce na toto téma velmi potěšila a rád si shromáždím nové informace, které s tématem souvisí a budou pro mě mít i praktické využití.

Cílem této práce je přehledně zpracovat problematiku renovací navařováním. Postupně se věnovat popisům technologií soustružení, svařování a nedestruktivního zkoušení materiálu, protože se jedná o velmi významné oblasti strojírenského průmyslu. Z globálního pohledu na renovace kol je cílem objasnit celkový přínos této technologie, zmapovat časovou náročnost a případné úspory.

Práci jsem rozdělil do několika kapitol, které dle logického a systematického sledu, považuji za nutné a poslouží k lepšímu přehledu mé práce. Některé části práce nebudou přímo souviset s tématem, ale přesto považuji za důležité se o nich zmínit – např. ekonomické zhodnocení renovace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

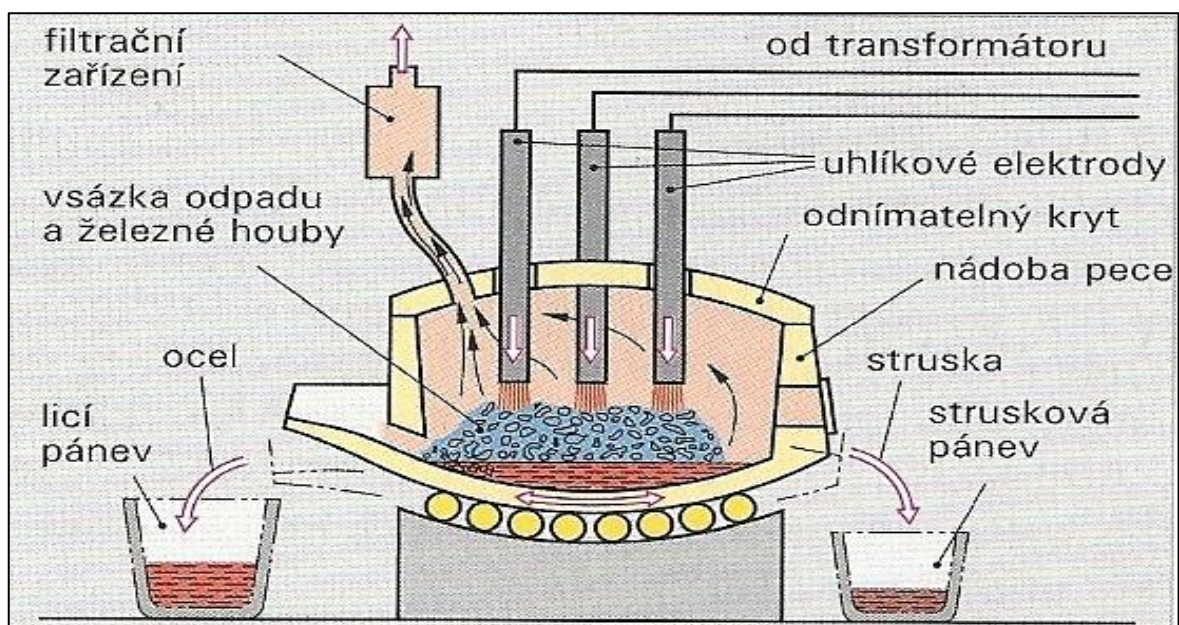
1 OCELI- MATERIÁLY PRO KONSTRUKCI KOL

Ocel je soustava prvků, u které hmotnostní podíl železa je větší než kteréhokoliv jiného prvku a která všeobecně vykazuje méně než 2 hm. % uhlíku, při obsahu i jiných prvků.

Ocel se vyrábí zkuřňováním surového železa (železo se 4,3 hmotnostními % uhlíku), což je spalování uhlíku a nežádoucích prvků (síry, fosforu) vysokou teplotou- oxidační perioda. Po oxidační periodě následuje dezoxidační perioda, při které se odstraní manganem a křemíkem největší část kyslíku rozpuštěného v roztavené oceli a poté se ocel nalejuje. Poslední část rozpuštěného kyslíku a rovněž i dusíku se odstraňuje přísadou hliníku ($\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3, -\text{AlN}$).

Ocel se původně vyráběla v plamenných pecích (martinské pece) společně s elektrickými obloukovými pecemi. V moderních elektrických obloukových pecích se vyrábějí především z důvodu snadného legování slitinové oceli. V moderních kyslíkových konvertorech v kombinaci s rafinací v pánvi s následným kontinuálním (plynulým) litím se vyrábějí mikrolegované jemnozrnné oceli, vhodné především pro válcování svařitelných plechů a profilů.

Ocel vyrobená v ocelářské peci nebo v konvertoru se původně odlévala do kokil. Tento postup byl postupně nahrazen kontinuálním (plynulým) litím, kde v důsledku rychlého ochlazování jsou segregční procesy potlačeny na minimum. Pro kusovou výrobu vysokočisté oceli lze využít procesu elektrostruskového přetavování oceli. [4]



Obrázek 1: Elektrická oblouková pec [21]

1.1 Nelegované oceli

Jedná se o oceli, které nepřesahují určitý obsah daných legujících prvků, který je uveden následující v tabulce.

Tabulka 1: Mezní obsahy legovacích prvků pro rozdělení ocelí na nelegované a legované. [4]

Chemická značka	Název prvku	Obsah v hm. %	Chemická značka	Název prvku	Obsah v hm. %
Al	Hliník	0,10	Ni	Nikl	0,30
B	Bór	0,0008	Pb	Olovo	0,40
Bi	Bismut	0,10	Se	Selen	0,10
Co	Kobalt	0,10	Si	Křemík	0,50
Cr	Chrom ¹⁾	0,30	Te	Telur	0,10
Cu	Měď ¹⁾	0,40	Ti	Titan ²⁾	0,05
La	Lanthanidy (hodnoceno jednotlivě)	0,05	V	Vanad ²⁾	0,10
Mn	Mangan	1,65	W	Wolfram	0,10
Mo	Molybden	0,08	Zr	Zirkon ²⁾	0,05
Nb	Niob	0,06	--	Ostatní (mimo C,P,S,N) vždy	0,05
¹⁾ Pokud jsou pro oceli předepsány 2, 3, nebo 4 prvky označené touto poznámkou a jejich určující obsahy jsou menší než uvedené v tabulce, pak je pro rozdělení nutno vzít v úvahu dodatečně mezní obsah, který činí 70% součtu mezních obsahů těchto prvků.					
²⁾ Pravidlo uvedené v poznámce 1 platí odpovídajícím způsobem také pro prvky označené poznámkou 2					
Pokud je pro obsah Mn udána pouze nejvyšší hodnota, platí jako mezní obsah 1,80 hm. %					

Norma ČSN EN 10020 rozděluje nelegované oceli do tří hlavních skupin:

Nelegované oceli obvyklých jakostí:

- Tyto oceli musí splňovat pouze základní požadavky a dodací podmínky dle EN 10002.
- Další zvláštní kvalitativní charakteristiky (jako např. způsobilost k hlubokému tažení, profilování za studena, apod.) u nich nejsou předepsány.
- Nejsou určeny pro tepelné zpracování (vyjma žíhání k odstranění napětí, žíhání na měkko, nebo normalizační žíhání).
- Vyjma křemíku a manganu u nich nejsou předepsány žádné další obsahy legovacích prvků. [4]

Nelegované jakostní oceli:

Do této skupiny spadají veškeré nelegované oceli, které nejsou zahrnuty mezi nelegované oceli obvyklých jakostí, ani mezi nelegované ušlechtilé oceli. Oproti ocelím obvyklých jakostí jsou na ně kladeny vyšší nároky při namáhání, kterému jsou vystaveny. [4]

Nelegované ušlechtilé oceli:

Na rozdíl od ocelí jakostních vykazují vyšší stupeň čistoty, obzvláště co se nekovových vměstků týče. Většinou jsou určeny pro zušlechťování, nebo povrchové kalení a vyznačují se rovnoměrnější reakcí na toto zpracování. Mají přesně stanovené chemické složení a často také zvláštní výrobní podmínky. [4]

1.2 Legované oceli

Legované oceli se dělí do dvou hlavních skupin:

Legované jakostní oceli:

Jsou určeny k obdobnému využití jako nelegované jakostní oceli a do této skupiny patří:

- Svařitelné jemnozrnné oceli pro ocelové konstrukce, tlakové nádoby a potrubí. U těchto ocelí je předepsaná hodnota $R_e \leq 380$ MPa při tloušťkách ≤ 16 mm.
- Oceli legované křemíkem, případně křemíkem a hliníkem se zvláštními požadavky na magnetické a elektrické vlastnosti.
- Oceli určené pro výrobu kolejnic, štetovnic a důlních výztuží.
- Oceli pro ploché válcované výrobky, určené pro náročnější tváření.
- Oceli legované pouze mědí.

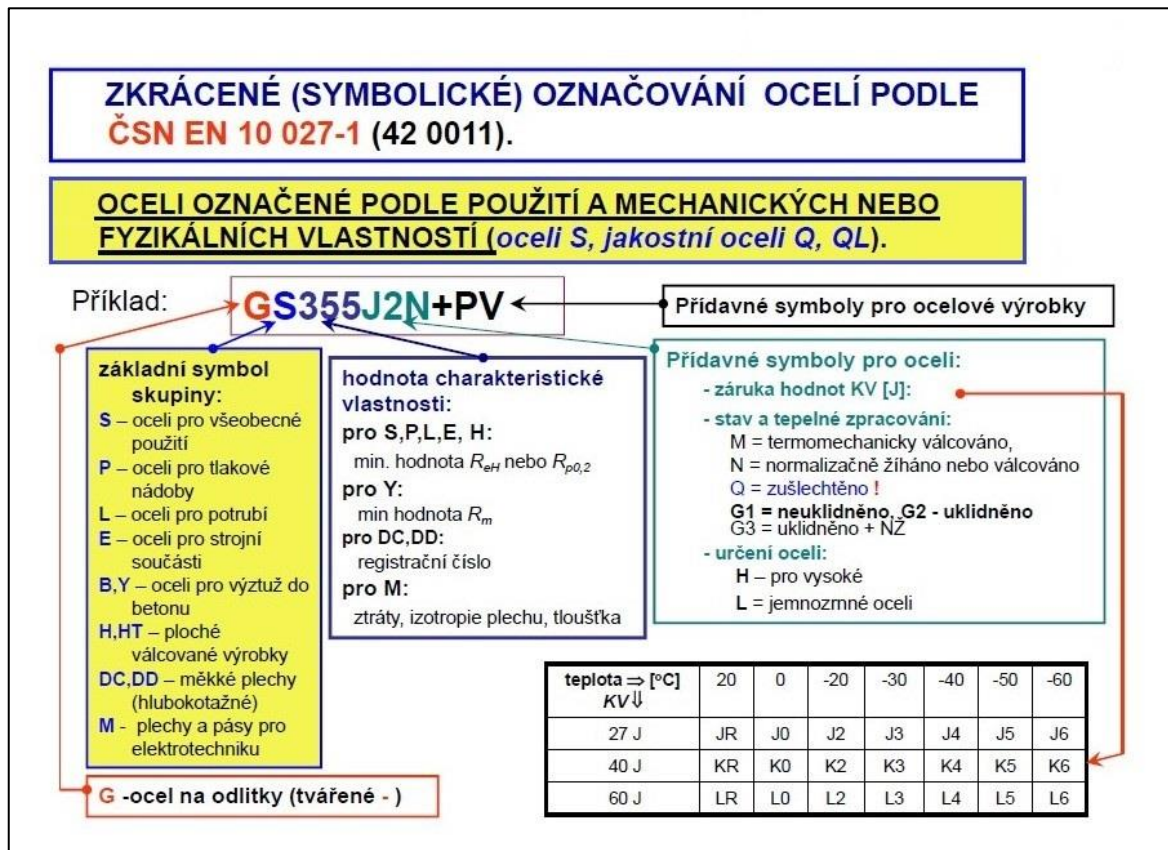
Legované ušlechtilé oceli:

Jsou oceli, u nichž je dosahováno požadovaných zpracovacích a užitných vlastností přesným stanovením chemického složení a zvláštními podmínkami výroby a zkoušení. Podle určujících prvků se dělí na:

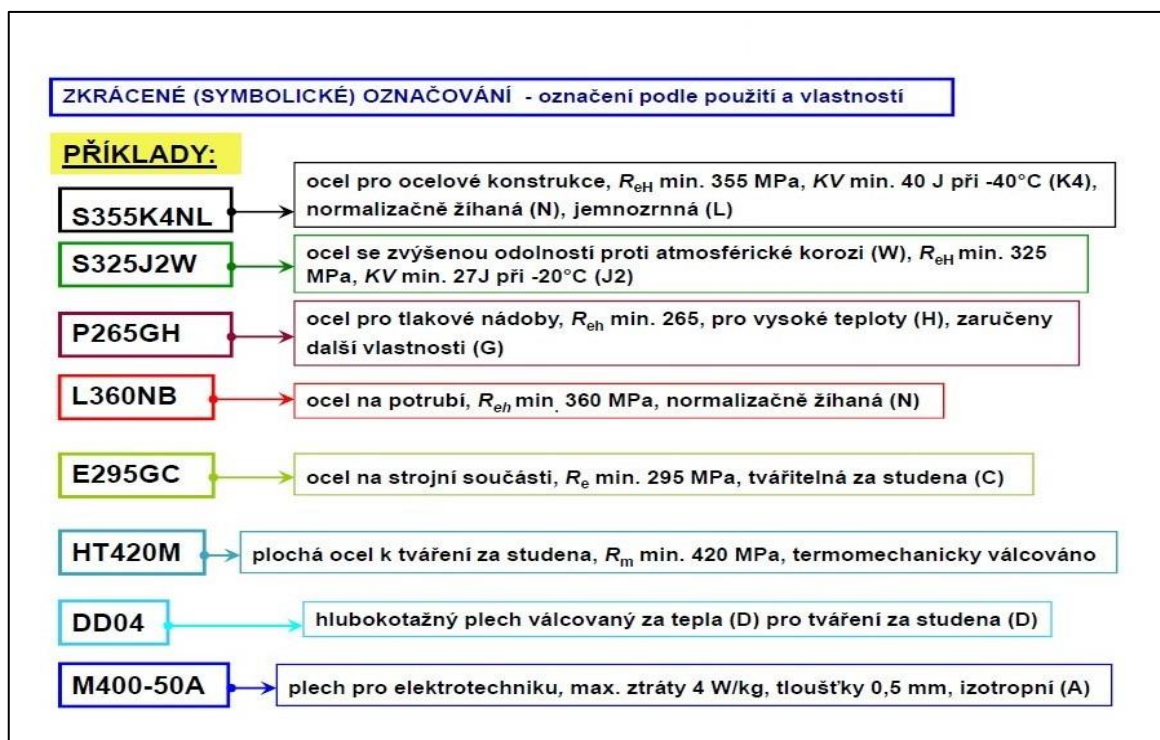
- Nerezavějící oceli s obsahem $C \leq 1,2$ % a obsahem $Cr \geq 10,5$ %.
- Rychlořezné oceli s obsahem $C \geq 0,6$ % a obsahem Cr 3 až 6 %, které dále obsahují ještě minimálně dva z prvků Mo, W, nebo V s celkovým obsahem ≥ 7 %.
- Ostatní legované ušlechtilé oceli. [4]

1.3 Označování ocelí

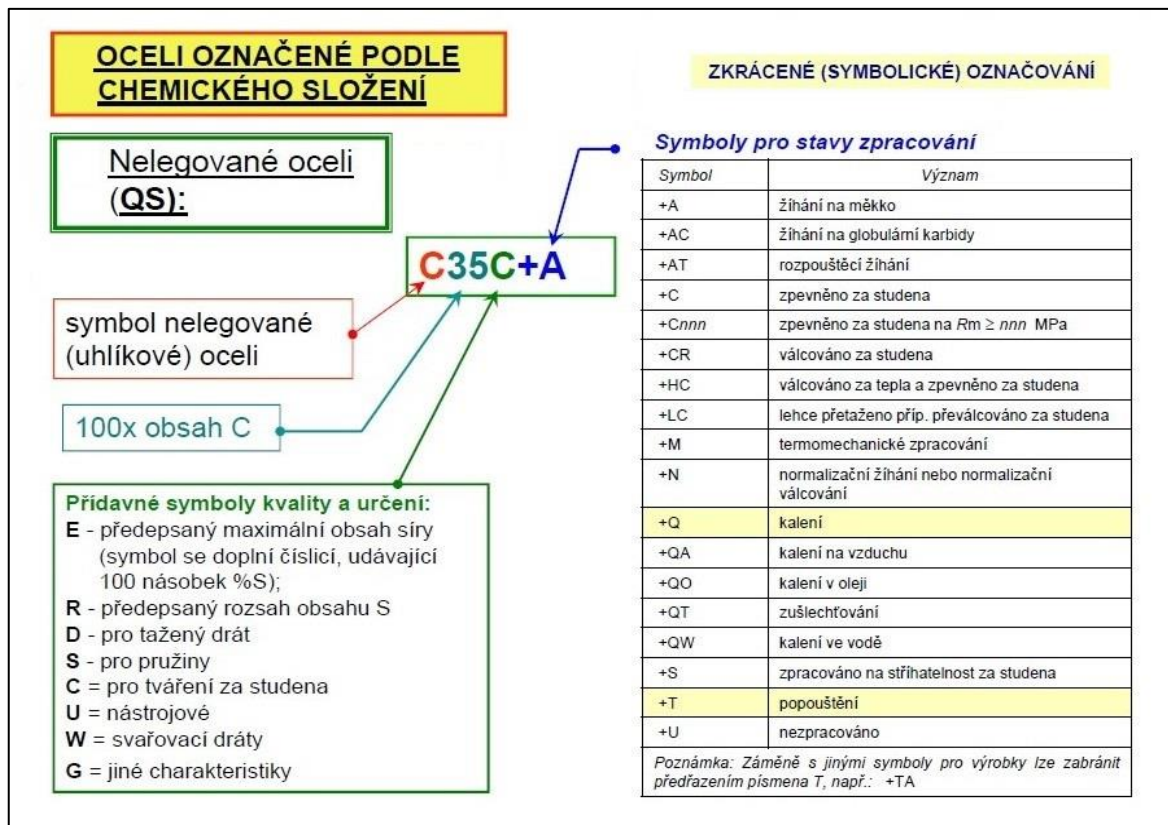
Tabulka 2: Označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 1



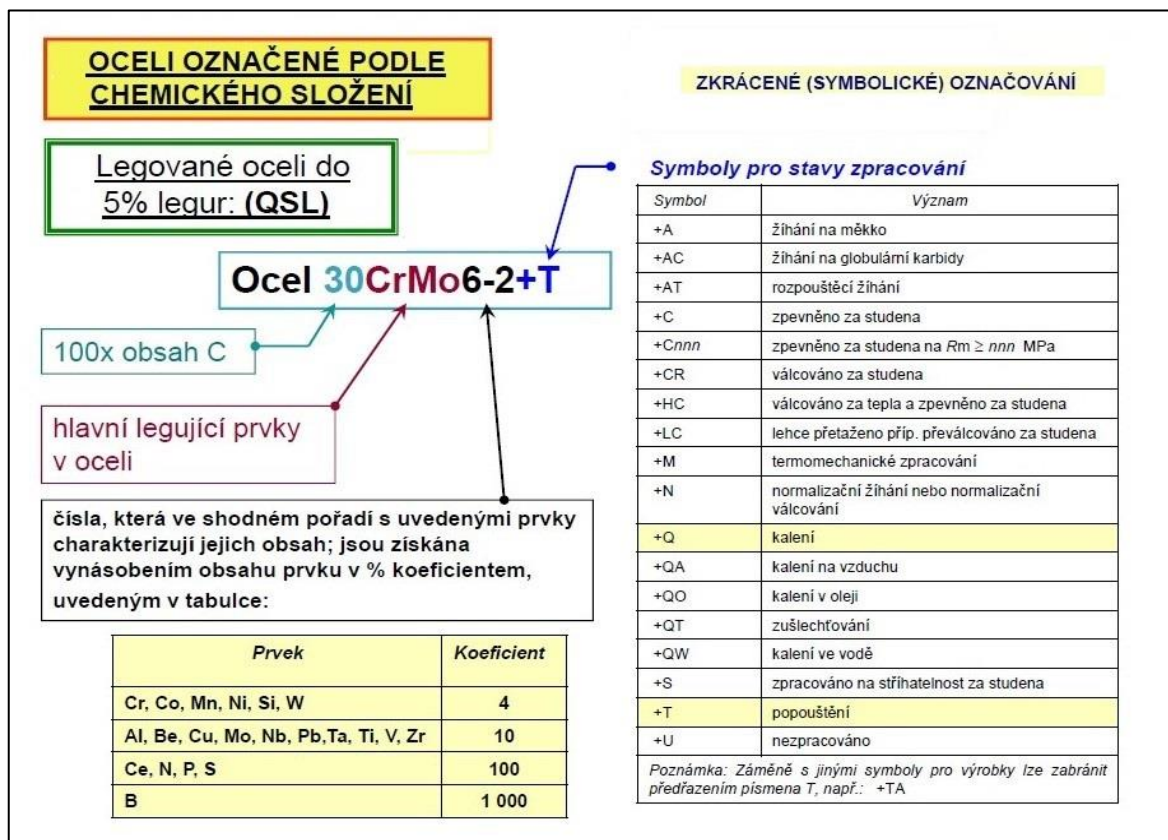
Tabulka 3: Příklady označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 1



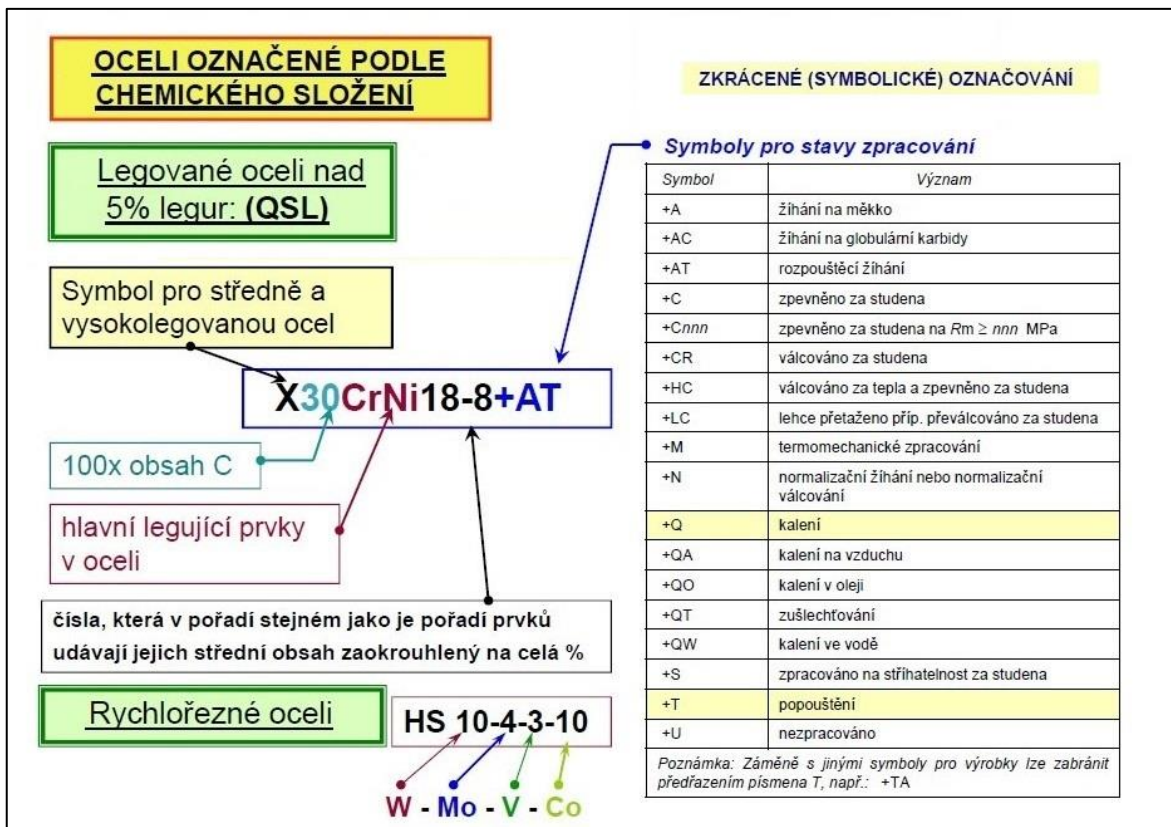
Tabulka 4: Označování ocelí dle chemického složení pro nelegované oceli



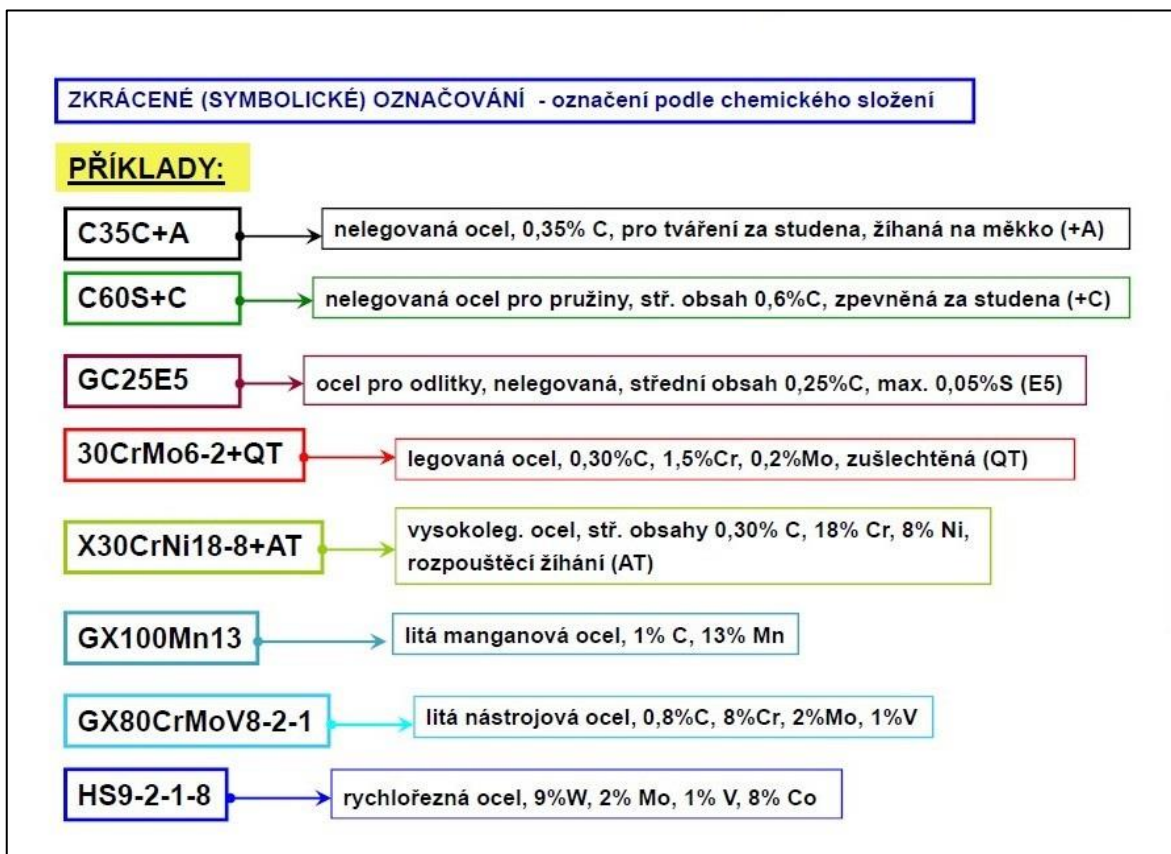
Tabulka 5: Označování ocelí dle chemického složení pro legované oceli do 5% legur



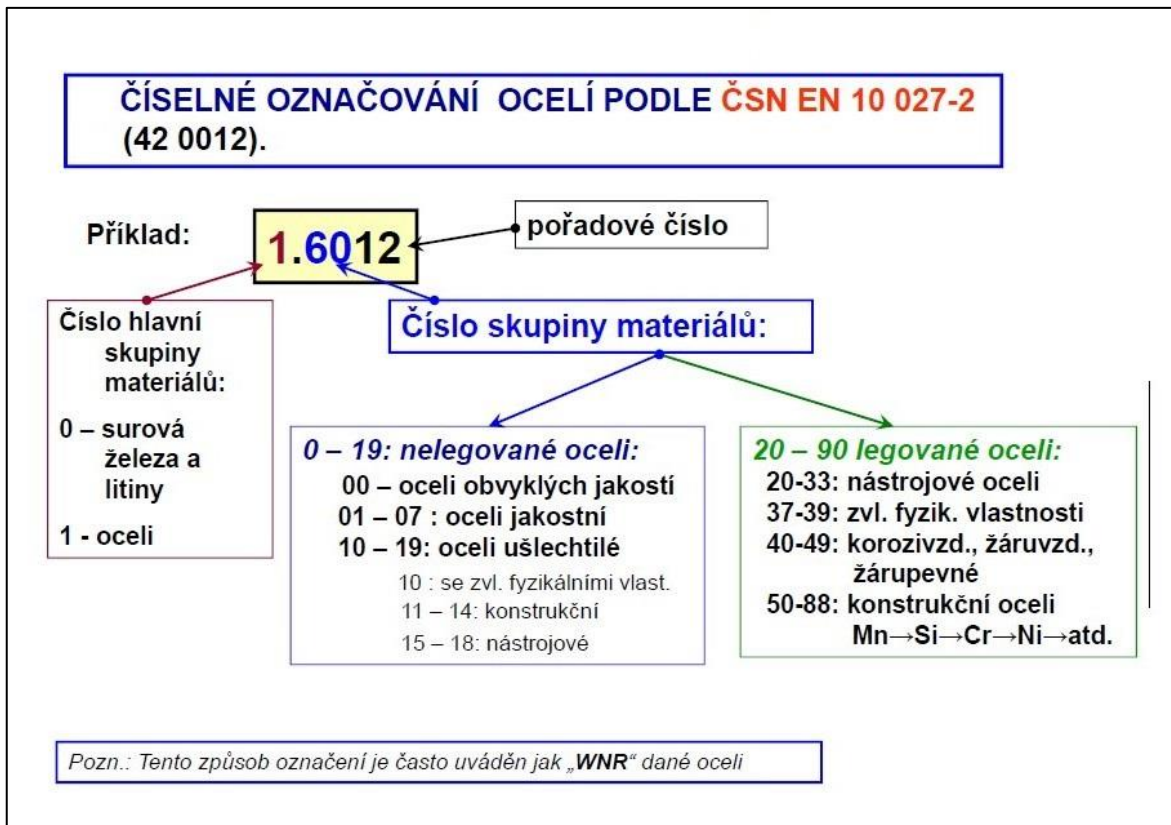
Tabulka 6: Označování ocelí dle chemického složení pro legované oceli nad 5% legur



Tabulka 7: Příklady označování ocelí dle chemického složení



Tabulka 8: Číselné označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 2 (W.Nr.)



2 OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, během kterého dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako řezání, respektive řezný proces. [11]

Soustava obrábění:

- Obráběcí stroj
- Řezný nástroj
- Obrobek

2.1 Obráběcí stroj

Obráběcí stroje představují základní prvek obráběcí soustavy stroj- nástroj- obrobek, ve kterém se realizuje vlastní obráběcí proces. Technologické vlastnosti obráběcích strojů významně ovlivňují výsledný efekt obráběcího procesu jak z hlediska jeho hospodárnosti, tak i z hlediska parametrů obrobené plochy. [11]

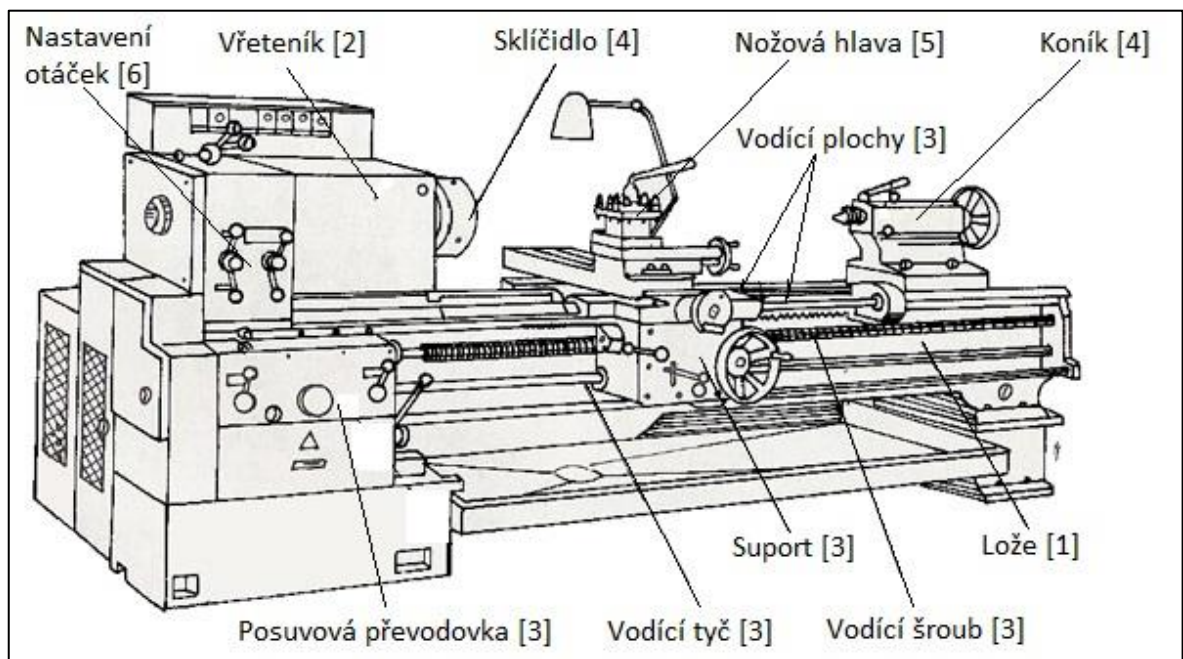
Rozdělení obráběcích strojů dle základních technologických hledisek:

- Způsobu obrábění
 - soustružnické
 - frézovací
 - vyvrtávací
 - brousící
 - hoblovací
 - protahovací
 - elektroerozivní
- Konstrukčního a technologického provedení
 - jednoúčelové- stroje koncipované pro jednu operaci
 - univerzální- univerzální soustruhy, frézky, brusky, atd.
 - speciální- např. podtáčecí soustruhy, závitové frézky

- Stupně automatizace
 - ručně ovládané
 - poloautomatické
 - automatické

Funkční části obráběcích strojů lze obecně rozdělit:

- Nosné prvky- rámy, základové desky, lože, stojany, stoly, konzoly [1]
- Části a mechanismy pro vyvození a vedení hlavního pohybu [2]
- Části a mechanismy pro vyvození a vedení posuvového pohybu [3]
- Zařízení pro upínání a polohování obrobku [4]
- Zařízení pro upínání a polohování nástroje [5]
- Řídící a ovládací prvky a mechanismy [6]
- Přídavná zařízení [zásobníky, podavače, odvod třísek apod.]



Obrázek 2: Univerzální hrotový soustruh

K pohonu obráběcích strojů se obvykle používají asynchronní elektromotory na střídavý proud se jmenovitými otáčkami 750 až 3000 min^{-1} . U menších a středně velkých strojů je pohon všech pohybových mechanismů zpravidla zajištěn jedním elektromotorem s kotvou nakrátko. U větších strojů a číslicově řízených strojů se používají samostatné elektromoto-

ry pro pohon pracovního vřetena, jiné pro pohon posuvových pohybů a další pro rychlopousovy. Některé moderní obráběcí stroje využívají pro pohon přímočarých pohybů lineární elektromotory a pro pohon rotačního hlavního pohybu elektromotory integrované přímo do vřetene.

K přenosu krouticího momentu z hřídele elektromotoru na pracovní vřeteno a ke změně jeho otáček se u obráběcích strojů používají mechanické převodovky s ozubenými koly, nebo variátory, které umožňují plynulou změnu otáček. Krouticí moment je u variátorů přenášen řetězy nebo ozubenými řemeny mezi dvěma řemenicemi. Každá řemenice se skládá ze dvou kuželových talířů, které se pomocí zvláštního mechanismu vzájemně přibližují nebo oddalují, čímž se mění průměr pro styk řemene s řemenicemi a tím i převod. [8]

2.2 Řezný nástroj

Nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. [11]

Základna

Základna je plochý prvek stopky nástroje, který je zpravidla rovnoběžný nebo kolmý k základní rovině nástroje. Slouží pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu. [11]

Řezná část

Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku. Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícezubého nástroje má každý zub svou řeznou část.

Ostří je prvek řezné části nástroje, kterým se realizuje vlastní proces řezání.

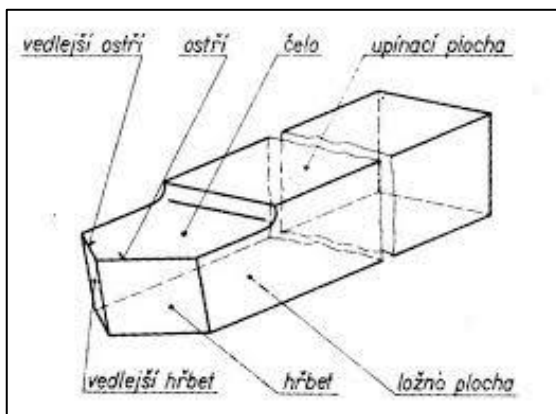
- **Hlavní ostří S** je část ostří začínající v bodě, kde nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r je roven nule. Tato část obvykle slouží k vytvoření přechodové plochy na obrobku.
- **Vedlejší ostří S'** je část ostří, kde nástrojový úhel nastavení ostří κ_r je roven nule, ale ve směru od hlavního ostří. Vedlejší ostří provádí dokončovací práci na obrobe-

né ploše, ale nezúčastňuje se při vytváření přechodové plochy. Některé nástroje mohou mít i několik vedlejších ostří (například upichovací nože).

Čelo je plocha, respektive souhrn ploch, po kterých odchází tříska. Tvar čela určuje křivka vytvořená průsečíkem plochy čela s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří.

Hřbet je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Pokud hřbet tvoří několik protínajících se ploch, hlavní hřbet směřuje k přechodové ploše obrobku a vedlejší hřbet směřuje k obrobené ploše obrobku.

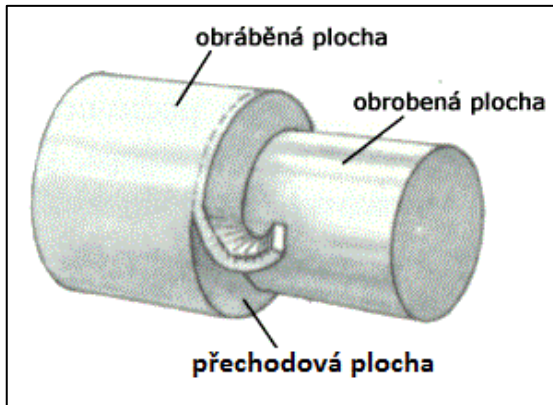
Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem nástroje. Může být spojený jak s hlavním, tak i vedlejším ostřím.



Obrázek 3: Soustružnický nůž

2.3 Obrobek

Obrobek jako objekt obráběcího procesu je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Obráběná plocha je plocha, která má být obrobená řezáním. Přechodová plocha je část povrchu obrobku, která je vytvořena působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje nebo obrobku. Obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu. [11]



Obrázek 4: Základní plochy na obrobku

Obrobená plocha představuje prioritní výstup obráběcího procesu a z technologického hlediska je určena svými rozměry, tvarem, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy. Obrobená plocha je identifikována parametry vztaženými ke jmenovité ploše, k nimž patří zejména:

- úchylka rozměru (úchylka od jmenovité hodnoty rozměru)
- úchylka tvaru (úchylka přímosti, úchylka kruhovitosti, úchylka válcovitosti)
- úchylka polohy (úchylka rovnoběžnosti, úchylka kolmosti, úchylka sousostí, obvodové házení, čelní házení)
- struktura povrchu (největší výška profilu Rz, průměrná aritmetická úchylka profilu Ra)
- vlastnosti povrchové vrstvy (druh a velikost napětí v povrchové vrstvě, trhliny a jiné povrchové vady)

Parametry obrobené plochy jsou obecně funkcí souboru technologických faktorů, které souvisí s vlastnostmi obráběcího stroje, nástroje, obrobku, upínače a s hodnotami rezných podmínek. Technologické vlivy na parametry obrobené plochy v závislosti na jejich charakteru lze členit na systematicky konstantní (chyba v seřízení obráběcího stroje, úchylka rozměru a tvaru nástroje), systematicky proměnné (opotřebení nástroje, tepelné deformace prvků obráběcího systému), náhodné (rozptýlení přídavků na obrábění, rozptýlení vlastností obráběného materiálu). [11]

2.4 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní plochy válcového, kuželového, nebo různorodého tvaru. Rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním, atd. [9]

2.4.1 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c používaná při soustružení závisí zejména na vlastnostech obráběného materiálu, řezných vlastnostech materiálu nástroje, jmenovitém průřezu třísky a na zvolené trvanlivosti břitů.

Tabulka 9: Rozsahy řezných rychlostí při soustružení [11]

Materiál obrobku	Hrubování $f > 0,3$ mm		Soustružení na čisto $f = 0,3$ až $0,05$ mm		Jemné soustružení $f < 0,05$ mm	
	materiál nástroje		materiál nástroje		materiál nástroje	
	RO	SK	RO	SK	RO	SK
Nelegovaná ocel $R_m < 800$ MPa	17 až 45	65 až 155	25 až 70	100 až 200	70 až 120	170 až 300
Nelegovaná ocel $R_m > 800$ MPa	12 až 40	45 až 110	20 až 55	80 až 160	60 až 90	150 až 250
Legované oceli	10 až 40	40 až 120	20 až 55	50 až 180	35 až 70	70 až 170
Litina	17 až 35	35 až 100	25 až 55	70 až 110	-	70 až 130
Slitiny hliníku	25 až 90	90 až 220	45 až 120	140 až 350	100 až 150	150 až 600

Posuv na otáčku obrobku f se volí co největší v závislosti na tuhosti obrobku a na požadovaných parametrech struktury povrchu obrobené plochy.

Při hrubování se volí posuv $f = 0,4$ až $0,7$ mm, při obrábění na čisto se posuv pohybuje v hodnotách $f = 0,06$ až $0,3$ mm a při jemném soustružení $f = 0,005$ až $0,05$ mm.

Šířka záběru ostří a_p je limitována mechanickými vlastnostmi obráběného materiálu, tuhostí obrobku a způsobem obrábění. Z hlediska hospodárnosti se volí co největší a pokud je to možné tak, aby celý přírůstek na obrábění byl odebrán na jeden záběr.

3 NAVAŘOVÁNÍ

Navarování je nanášení nového materiálu (návaru) svařováním a aplikuje se na povrch základního materiálu (součástky). Provádí se za účelem:

- zvýšení funkčních požadavků povrchu strojních součástí, především pro zvýšení odolnosti proti různým druhům mechanických opotřebení, jakými jsou například abraze, eroze, kavitace, únavové opotřebení a zvýšení korozivzdornosti součásti
- renovací a oprav opotřebovaných součástí

3.1 Svařování

Svařováním rozumíme vytvoření nerozebíratelného spoje dvou či více kovových součástí za přispění tepla vytvořeného pomocí tepelné, mechanické, či radiální energie, nebo jejich kombinací. K vytvoření svarových spojů bývá obvykle, nikoliv bezpodmínečně, využíváno přídavných svařovacích materiálů.

3.1.1 Definice a charakteristika svarového spoje

Pevné látky mohou mít různé typy vazeb, které odpovídají daným typům rozložení elektronů a iontů. Ionty jsou v atomu uspořádány tak, aby potenciální energie krystalu byla co nejmenší. Základem vazeb jsou pak mraky valenčních elektronů, jež mohou volně přecházet od atomu k atomu. Kovová vazba následně vzniká za předpokladu, že přitažlivé síly mezi kovovými ionty a elektronovým mrakem převyšují odpudivé síly elektronů v tomto mraku. Ionty jsou uspořádány podle přesně definovaných rozložení, podle kterých v pevných látkách existují mezi ionty přitažlivé a odpudivé síly.

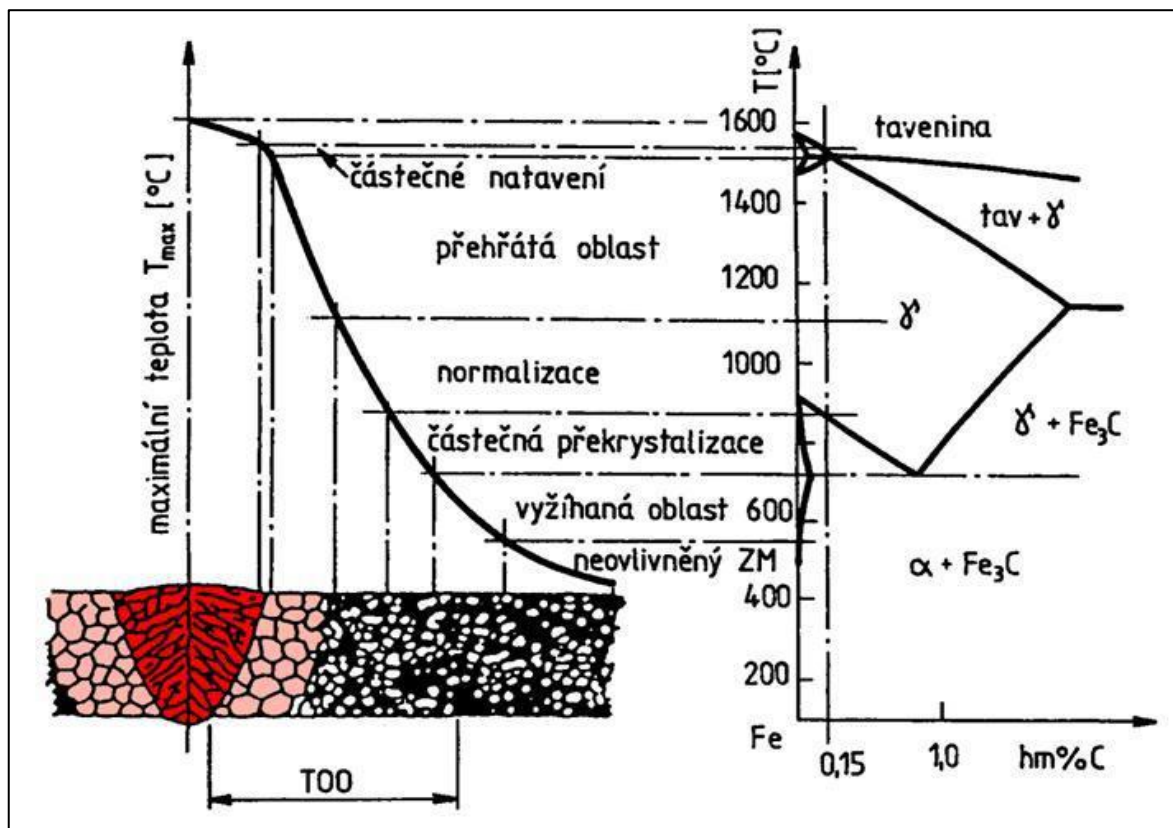
Pokud bychom byli schopni realizovat přesnost obrábění respektive přípravy povrchu s přesností 5×10^{-8} cm, to by díky působení meziatomových vazeb velmi pravděpodobně umožnilo spojení kovových součástí pouhým přiložením k sobě a svařování by pak postupně pozbylo svého klíčového významu. V současné době lze docílit opracování povrchu o maximální přesnosti 10^{-6} cm, které umožní pouze vytváření vazeb v jednotlivých bodech, nikoliv však vytvoření dokonalého spoje. Svařování proto bude ještě velmi dlouhou dobu patřit ke klíčovým způsobům vytváření důležitých a pevných nerozebíratelných spojů. [3]

Ve svarovém spoji můžeme odlišit 3 oblasti:

1. Svarový kov (SK)- množství roztaveného kovu je malé, rychlost ochlazování velká, primární struktura je hrubozrnná, výrazně orientovaná- kolumnární krystaly. Tvoří se v procesu svařování přetavením přídavného materiálu a části základního materiálu, případně procházející housenky. Při vícevrstevném svaru má první a druhá vrstva jemnou pravidelnou strukturu, jen třetí poslední má kolumnární strukturu. Při svařování plamenem, když se svar zpravidla provádí jako 1-vrstvý, je množství roztaveného kovu mnohem větší, rychlost ochlazování menší a výsledná struktura je hrubá, nepravidelná a s výraznou orientací v celém průřezu svaru.

2. Tepelně ovlivněná oblast (TOO)- vlivem místního ohřevu v svaru vznikají místa s rozličnou teplotou, od teploty tání kovu až po teplotu okolí. Nastávají zde velké změny ve struktuře oceli, mění se zrnno. Při leptání na makro má jinou intenzitu leptání, takže je výrazně oddělena od SK a ZM. Z jejich rozměrů a šířky můžeme usuzovat o přehřátí SK, příp. o technologii a parametrech svařování.

3. Základní materiál (ZM)- začíná tam, kde materiál vůbec nebyl ohřátý resp. ohřev neměl za následek strukturální změny, je to tedy oblast svařováním neovlivněná.



Obrázek 5: Vliv teplotního účinku svařování na strukturu svarového spoje [3]

I- Mikrostruktura svarového kovu (SK)

Mikrostruktura svarového kovu je tvořena kolumnárními krystaly, jejichž krystalizace začíná na stěnách neroztaveného nebo částečně nataveného základního materiálu. Mikrostruktura SK feritických ocelí je tvořená:

Primární ferit- může být vyloučen po hranicích zrn nebo uvnitř zrn původně austenitických jako polyedrický (polygonální) ferit. Polyedrický ferit se vyskytuje také v TOO mikrolegovaných ocelí.

Postranní ferit- je charakteristický místem nukleační a způsobem růstu latí feritu. Latky nukleují na primární vyloučeném feritu po hranicích zrn původního austenitu. Vytvářejí paralelně uspořádaný komplex jehlic feritu, rostoucí směrem do zrna původního austenitu

Acikulární ferit hrubý- je charakterizován většími nepolyedrickými zrny spolu s nepravidelnými ostrovy pseudoperlitu. Vyskytuje se především v TOO. Ve svarovém kovu se také může vyskytovat horní bainit, dolní bainit a martenzit. Jsou to však struktury světelným mikroskopem nerozlišitelné.

Acikulární ferit jemný- je nepolyedrická struktura, která se vyskytuje zejména ve svarovém kovu a může se vyskytovat i v zóně částečného natavení mikrolegované oceli. Struktura AF má dobré plastické vlastnosti. [3]

II - Mikrostruktura zóny částečného natavení (hranice natavení)

Zóna II je oblast teplot mezi likvidem a solidem příslušné oceli. Tato zóna (pásmo) je velmi úzká a těžko metalografických rozlišitelná. Dochází zde k vyrovnání chemického složení. V důsledku přímého kontaktu se svarovým kovem je zde možnost intenzivní difúze vodíku a tedy i možnost iniciace trhlin za studena. [3]

III - Mikrostruktura přehřáté oblasti

V této oblasti (interval teplot mezi $A_{c3} + 150$ °C až solidus) nastává zhrubnutí austenitického zrna v důsledku ohřevu na vysoké teploty u ocelí, náchylných na růst austenitického zrna svařovaných s velmi vysokým tepelným příkonem. Růst zrna je vyvolán výdrží na vysoké teplotě. Při ochlazování nízkouhlíkových ocelí vzniká feritickoperlitická struktura s výraznou Widmanstättovou strukturou (W), která vzniká v důsledku orientovaného vylučování feritu. [3]

- Ferit přednostně překrystalizuje po hranicích zrn austenitu a ve tvaru jehlic ve výchozích krystalografických směrech.
- Vyloučení feritu je charakteristické - síťově vyloučen ferit, ze kterého vyrůstají primárně feritické jehlice často svou délkou totožné s velikostí původních austenitických zrn. Z těchto pak vyrůstají sekundární, příp. ternární feritické jehlice. Perlit je vyloučen v degenerované formě - v meziferitickém prostoru.
- Mechanické vlastnosti jsou charakteristické zvýšenou HV, Rm, Re ale sníženými hodnotami houževnatosti.

Mikrolegované svařitelné oceli se zvýšenou Re se v důsledku mikrolegování chovají při ohřevu odlišně a v TOO nenastává takový výrazný nárůst austenitického zrna. Výsledná mikrostruktura je charakterizována výskytem polyedrického feritu a acikulárního feritu (AF) uvnitř původního austenitického zrna. [3]

IV - Mikrostruktura zóny normalizace

Po ochlazení z oblasti teplot Ac_3 až $Ac_3 + 100$ až 150 °C vzniká jemnozrnná feritickoperlitická polyedrický struktura. [3]

V - Mikrostruktura zóny částečné překrystalizace

V oblasti teplot mezi Ac_1 až Ac_3 dochází k částečné austenitizaci. Při ochlazování nízkouhlíkových ocelí vzniká transformován perlit chomáčkovitý tvaru. [3]

VI - Mikrostruktura zóny žihání na měkko

Je to oblast teplot s mezi teplotami 500 °C až Ac_1 . Při běžných metodách svařování (elektrodou, v ochranné atmosféře) změny mikrostruktury nenastávají. U metod s velkým tepelným příkonem může dojít k částečné sferoidizaci perlitu. [3]

VII - Mikrostruktura základního materiálu (ZM)

Moderní konstrukční oceli jsou charakterizovány tím, že se u nich ve vysoké míře využívají fyzikální metody zpevňování, jako je zjemnění zrn, precipitační, substituční a intersticiální zpevňování, které dosahujeme např. termomechanickým zpracováním, disperzním zpracováním apod. To umožňuje snížit průměrný obsah C v oceli, takže současné oceli této kategorie mají typický obsah uhlíku do 0,15%. [3]

3.1.2 Metody svařování

Všechny konvenční metody svařování lze rozdělit na tavné a tlakové svařování.

Při tavném svařování vzniká svarový spoj pomocí přivodu tepelné energie do oblasti svaru, kde dochází k natavení základního, případně i přídavného materiálu. Tekutá fáze je vázána na povrch fáze tuhé adhezními silami a při tunutí taveniny se malé adhezní síly mění na chemickou vazbu ve formě krystalové mřížky. Dochází k růstu nových zrn a původní rozhraní zaniká.

Tabulka 10: Metody tavného svařování

P.Č.	Popis metody	Číselné označení
1.	Svařování elektrickým obloukem	1
1.1	Obloukové svařování tavící se elektrodou	101
1.2	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	111
1.3	Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou	112
1.4	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu	114
1.5	Pod tavidlem	12
1.6	Obloukové svařování v ochranné atmosféře	13
1.7	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu- MIG	131
1.8	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu- MAG	135
1.9	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu	136
1.10	Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu	137
1.11	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu- TIG	141
2.	Elektrostruskové svařování	72
3.	Svařování plazmové	15
4.	Svařování plazmové MIG svařování	151
5.	Svařování magneticky ovládaným obloukem	185
6.	Svařování proudem elektronů	---
7.	Plamenové svařování	3
7.1	Kyslíko-acetylenové svařování	311
7.2	Kyslíko-vodíkové svařování	313
8.	Svařování slévárenské	---
9.	Svařování tepelným zářením	75
10.	Laserové svařování	751
11.	Aluminotermické svařování	71
12.	Elektroplynové svařování	73
13.	Indukční svařování	74

Metody tlakového svařování jsou založeny na působení mechanické práce, která vytváří energii. Aktivací povrchových atomů a makro nebo mikrodeformací se přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj.

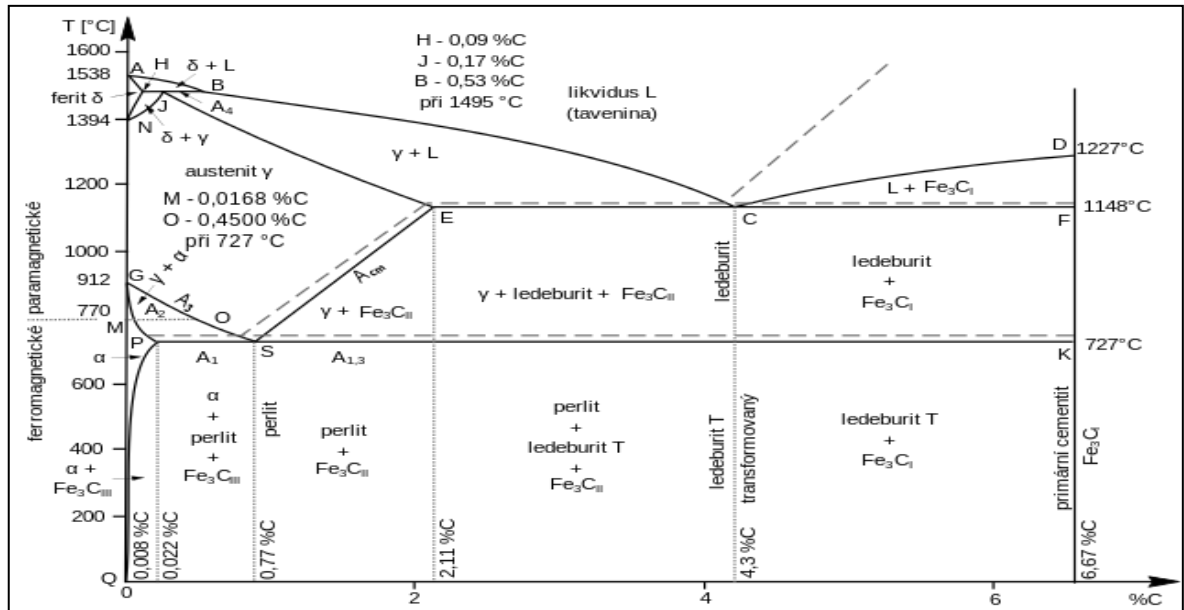
Tabulka 11: Metody tlakového svařování

P.Č.	Popis metody	Číselné označení
1.	Tlakové svařování za studena	48
2.	Odporové svařování	2
2.1.1	Stykové- stlačovací stykové svařování	25
2.1.2	Stykové- odtavovací stykové svařování	24
2.2.1	Přeplátování- bodové odporové svařování	21
2.2.2	Přeplátování- švové odporové svařování	22
2.2.3	Přeplátování- rozválcovací švové svařování	222
2.2.4	Přeplátování- výstupkové	23
2.2.4	Přeplátování- vysokofrekvenční odporové svařování	291
3.	Svařování indukční	74
4.1	Svařování v ohni- kovářské svařování	43
4.2	Svařování v ohni- tlakové svařování s plamenovým ohřevem	47
5.	Třecí svařování	42
6.	Ultrazvukové svařování	41
7.	Výbuchové svařování	44

U obou způsobů svařování je třeba překonat energetickou hladinu potenciální energie na rozhraní spojovaných ploch.

3.1.3 Svařitelnost ocelí

Obecně lze konstatovat, že na svařitelnost ocelí a litin má zásadní vliv především obsah uhlíku v jejich slitinách. Bez zvláštních technologických opatření lze svařovat oceli, u kterých je obsah $C \leq 0,22$ hm. %, tloušťka základního materiálu ≤ 25 mm a uhlíkový ekvivalent $C_e \leq 0,45$ %.

Obrázek 6: Diagram Fe- Fe₃C

Na svařitelnost ocelí mají, vyjma uhlíku, samozřejmě vliv i další prvky, které se ve slitině vyskytují:

Křemík: V nelegovaných uhlíkových ocelích zvyšuje pevnost feritu. Působí desoxidálně. Pokud jeho množství klesne pod 0,1 hm.%, ocel je neuklidněná.

Síra: Způsobuje náchylnost materiálu ke vzniku teplých trhlin. Při vyšším obsahu síry příznivě působí přítomnost manganu, protože síra k němu má vyšší afinitu, než k železu. Obsah síry v nelegovaných ocelích by neměl přesahovat 0,03 hm.%.

Fosfor: Zvyšuje mez kluzu a také mez pevnosti. Ve spojení s mědí zvyšuje odolnost proti atmosférické korozi. Způsobuje zkřehnutí za studena.

Dusík: Ve slitinách železa se vyskytuje vždy a jeho množství se odvíjí od technologie výroby. Jedná se o austenitotvorný prvek, proto způsobuje rozšíření pole γ . Vliv nitridů zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, výměnou za snížení plastických vlastností, jako je tažnost a vrubová houževnatost.

Vodík: Je nežádoucí příměsí, která do slitin železa vniká rozkladem vzdušné vlhkosti a při svařování má za následek vznik pórů, oduhličení svarového kovu a často způsobuje trhliny. Proto je třeba zajistit opatření, která vedou k jeho eliminaci. Zejména odstranění vlhkosti na povrchu materiálu, sušení přídavného materiálu apod.

Hliník: Působí desoxidačně a denitridačně. Jeho oxidy a nitridy působí jako krystalizační zárodky během tuhnutí. Silně uklidněné oceli mají obsah Al $\geq 0,02$ hm. %.

Mangan: Je velmi žádoucí legující prvek, který zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti, přičemž nesnižuje tažnost ani vrubovou houževnatost. Působí také jako desoxidační činidlo. Společně s křemíkem se používá k výrobě uklidněných ocelí.

Měď: Dostává se do slitin používáním šrotu s její příměsí. Obsah Cu $\leq 0,26$ hm. % se považuje za neškodný. Při obsahu $0,15 < \text{Cu} < 0,50$ hm. % vytváří nepropustnou oxidickou vrstvičku, čímž snižuje rychlost koroze.

Nikl: zlepšuje houževnatost oceli, ale za cenu poklesu creepové pevnosti. Částečným nahrazením niklu mědí dojde k určitému vzrůstu creepové pevnosti. Kobalt - během popouštění popř. žhání vytváří jemné a disperzní karbidy. Zpomaluje hrubnutí legovaných karbidů, protože zvyšuje aktivační energii C a není rozpustný v legovaných karbidech. Má také pozitivní vliv na mez pevnosti při tečení [3].

Wolfram: se v nízkolegovaných ocelích používá pouze několik let. Může vytvářet dva druhy karbidů, a to M₆C nebo WC. V případě M₆C se jedná o termální karbidy Fe₄W₂C nebo Fe₃W₃C. Karbid M₆C vzniká při nižších koncentracích chromu a při nižších teplotách. W zpomaluje vytváření chromových karbidů [1].

Dalším z důležitých aspektů při svařování uhlíkových ocelí je rychlost ochlazování tepelně ovlivněné oblasti, která mimo jiné závisí na množství dodaného tepla. Proto v případech když tloušťka svařovaného materiálu je větší než 25 mm se aplikuje predehřev, jehož účinkem dochází ke zpomalení ochlazování.

Při posuzování svařitelnosti uhlíkových ocelí je dalším logickým krokem určení hodnoty ekvivalentního obsahu uhlíku (C_e) výpočtem. Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu existuje mnoho postupů a vztahů, určených pro různé skupiny ocelí respektive jejich chemická složení. Za všechny zde uvedu vzorec navržený Mezinárodním svářečským institutem (IIW), který je určen pro oceli s obsahem C $> 0,18$ hm. %:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Pokud je vypočtená hodnota $C_e \leq 0,45$ hm. %, tloušťka základního materiálu ≤ 25 mm a obsah C $< 0,20$ hm. % nejsou nutná žádná zvláštní opatření. V opačném případě je daný

materiál náchylný ke vzniku trhlin, čemuž je třeba zamezit přijetím některého ze zvláštních opatření. Mezi nejčastější opatření v tomto případě patří předehřev.

K určení správné hodnoty Teploty předehřevu (T_p) je nejčastěji používán výpočet podle Séferiánova vzorce:

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25}$$

$$C_p = C_c + C_s$$

$$C_c = \frac{360 C + 40(Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo}{360}$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad s - \text{je tloušťka materiálu}$$

Tento výpočet lze použít pro uhlíkové a nízkolegované oceli (nejčastěji žáropevné konstrukční oceli) s obsahem C > 0,10 hm. %.

Pro stanovení teploty předehřevu z hlediska praskavosti má výrazný vliv i teplota konstrukce. Tento poznatek vychází s tranzitního chování oceli, kde za snížení teplot dochází k poklesu houževnatosti a snížení plasticity. Z toho důvodu při teplotách konstrukce cca 5 ° C je nutné použití předehřevu, i když z hlediska uhlíkového ekvivalentu CE tak z hlediska tloušťky není požadované. Většinou se volí teplota nad 100 ° C v rozsahu 110-130 ° C pro možnost odstranění povrchové vlhkosti.

3.1.4 Interpass teplota

Interpass teplota, zvaná též mezihousenková se monitoruje u vícevrstvých svarů. Jedná se o teplotu, naměřenou na již zhotovené vrstvě (housesence) svaru bezprostředně před započítím svařování další vrstvy svaru. Překračování interpass teploty může nepříznivě ovlivnit mechanické vlastnosti. Zejména ve vysoce vyhřáté tepelné oblasti je následkem zvýšeného tepelného příkonu vlivem autentizace doprovázeno nežádoucím nárůstem zrna. Dále vlivem zvýšeného tepelného příkonu je tepelně ovlivněna oblast TOO širší přičemž dochází k zvýšeným termálními napětí. Avšak opačně při malém vnesení tepla může dojít k tvorbě nežádoucích strukturálních křehkých fází což má za následek zvýšenou možnost křehkého

interkrystalického porušení v oblastech svarového spoje. Obecně může být křehké porušení doprovázeno vodíkovým praskáním vlivem disociace atomárního vodíku na molekulární. Tento jev je možné limitovat jednak výběrem přídavného materiálu s nižším obsahem vodíku, jakož i zvýšeným teplotního příkonu svařování co umožňuje vydifundování vodíku s postupným chladnutím prostřednictvím dohřevu v rozsahu interpass (min. 2 hodiny) a následné chladnutí v zábalu. Teplota dohřevu musí být bezpečně nad teplotou houževnatě-křehkého přechodu svaru, nad teplotou vrubové citlivosti oceli a také nad minimální teplotou, při které je ještě zajištěno difuzi vodíku. Nedodržení této zásady může vést např. ke vzniku příčných trhlin (nebo trhlinek) ve svaru. U austenitických ocelí se interpass teplota předepisuje z důvodu zachování antikorozních vlastností na hranici 100 - 150 ° C.

Obecný vzorec pro výpočet mezihousenkové teploty neexistuje. Interpass teplotu můžeme již ověřit stejně jako teplotu předehřevu a dohřevu, z některé zkoušky praskavosti, případně na konkrétním případě s následným sledováním výskytu trhlin prostřednictvím vhodné defektoskopie. U ocelí určených pro práci za zvýšených teplot a konstrukčních ocelí se interpass teplota většinou stanoví s přihlédnutím na ARA diagramy. Tedy také předehřev a rozsah teploty interpass se odvíjí od teploty M_s a od chladnutí v intervalu teplot $t_{8/5}$ (800 - 500 °C).

3.1.5 Žihání svarového spoje [PWHT]

Jedná se o tepelnou úpravu celého svarku, nebo jeho části v místě svarového spoje a přilehlých oblastech po svařování. Slouží k odstranění svarových napětí ve svarku.

Při žihání ocelových svarků na snížení vnitřního napětí se provádí pomalý ohřev pod teplotu A_1 . Podle druhu materiálu se tato teplota obvykle pohybuje v rozmezí 500 až 730 °C. Při této teplotě jsou hodnoty meze kluzu i meze tečení natolik nízké, že při správné výdrži se vnitřní napětí mohou odbourat místní plastickou deformací. Žihací teplota a doba výdrže závisí na druhu materiálu, velikosti a tvaru svarku. Doba výdrže činí cca 4 minuty na 1 mm tloušťky materiálu v místě svaru, nejméně však 20 minut. Po výdrži na žihací teplotě se provádí pomalé ochlazování. Obvyklá ochlazovací rychlost je 150 °C za hodinu.

3.1.6 Přídavný materiál

Úkolem přídavného materiálu je doplnit objem svarového kovu a vytvořit svar požadovaného objemu, tvaru a vlastností. Významnou funkcí přídavného materiálu je legování svarového kovu vhodnými přísadami, které příznivě ovlivňují metalurgické děje, operativnost svařování a zlepšují výsledné vlastnosti svaru.

Hlavním kritériem pro volbu vhodného přídavného materiálu je kvalita svarového kovu, která musí být ekvivalentní, nebo vyšší než kvalita základního materiálu. Další faktory ovlivňující volbu přídavného materiálu jsou tloušťka svařovaného materiálu, typ svarového spoje a poloha svařování.

Přídavný materiál pro svařování se dělí na:

- obalené elektrody
- dráty a tyčinky

Obalené elektrody jsou využívány pro Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (metoda 111). Jsou tvořeny jádrem a obalem. Jádro tvoří drát, vyráběný v průměrech od 1,6 mm do 6 mm. Obal při hoření elektrody vytváří ochrannou atmosféru z kouře a plynů, která brání přístupu kyslíku a dusíku ke svarové lázni. Metalurgická funkce obalu (rafinace, desoxidace, legování) příznivě ovlivňuje svařování snižováním obsahu P, S, O₂ a dodává žádoucí legující prvky. Mezi hlavní druhy obalů elektrod podle složení patří rutilový, kyselý, bazický a rutil-bazický.



Obrázek 7: Obalená elektroda

Dráty pro svařování metodou TIG (141) se obvykle vyrábí v délkách 1 metr a jsou baleny a dodávány v krabicích nebo tubusech, které je částečně chrání proti vlhkosti a dalším nežádoucím vlivům.



Obrázek 8: Svařovací drát pro metodu TIG

Dráty pro obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním respektive aktivním plynu jsou běžným, nebo přesným způsobem vinuty na cívky typů S 200, B 300, nebo BS 300. Pro mechanizovaná a robotizovaná pracoviště jsou využívána velkokapacitní balení o hmotnostech až do 500 Kg.



Obrázek 9: Drát pro obloukové svařování navinutý na cívku

Trubičkový drát byl vyvinut **pro obloukové svařování** plněnou elektrodou v inertním respektive aktivním plynu. Díky vyšší proudové hustotě je při stejně nastaveném svařovacím proudu třeba výrazně zvýšit posuv drátu (podle nastavených ampér o 30 až 40 %) oproti plnému drátu. Tyto parametry zvyšují hodnoty uloženého svarového kovu a zvyšují produktivitu svařování. Další přínos trubičkových drátů je ve zvýšené kvalitě provedeného svarového spoje, jednak profilem průvaru a také výrazně menšímu vnesenému teplu do svařence. Od toho se odvíjí kvalitnější mechanické vlastnosti jak svaru, tak přechodových

oblasti v tepelně ovlivněné zóně svarového spoje. Výrazně jsou eliminovány deformace a napětí ve svařenci.

Základní rozdělení trubičkových drátů:

- falcované- se švem
- bezešvé- svařované

Falcované trubičkové dráty mohou nabrat vlhkost z okolního prostředí, proto se doporučuje po 72 hodinách, kdy nejsou ve skladu nebo originálním balení přesušit. Tímto se eliminuje vyšší hodnota difuzního vodíku ve svarovém spoji.

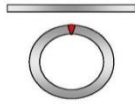




Bezešvé, svařované trubičky jsou po celé délce uzavřené a není nutno je přesušovat, proto jsou také poměděné, kdy je lze protáhnou mořicí lázni, což u falcovaných trubičkových drátů není možné.



Obrázek 10: Svařená trubička pro výrobu trubičkového drátu

Svařená trubička o vnějším průměru 13 mm a tloušťce stěny 1,9 mm slouží jako polotovar pro výrobu všech typů svařovaných trubičkových drátů. Po naplnění trubičky se táhnou průměry 1,00; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8 3,2; 4,0 a 5,0 mm. [20]

Tabulka 12: Postup výroby svařovaného trubičkového drátu

POSTUP PŘI VÝROBĚ SVAŘOVANÉHO TRUBIČKOVÉHO DRÁTU	
Stočení a vysokofrekvenční svaření kovového pásku	
Rekrytalizační žihání a rozměrová kalibrace	
Plnění aglomerovaným práškem, kovovými složkami	
Tažení na požadovaný Ø a kalibrace	
Pomědění v lázni	

Trubičkové dráty pro svařování jsou v našem průmyslu na vzestupu jednak do počtu aplikací a jednak v objemu spotřeby. Přes tento nárůst je nutno konstatovat, že vzestup spotřeby a aplikační nasazení trubičkových drátů je v našem průmyslu pomalý a nedostatečný ve srovnání s průmyslově vyspělými zeměmi, kam bezpochyby česky strojírenský průmysl z historického pohledu patří. Přitom nasazení plněných trubičkových drátů do procesu svařování je jedna z mála možností jak zvýšit kvalitu svařování, současně zefektivnit a tím pádem zlevnit náklady na provedení svaru bez potřeby investovat do modernějšího a nákladného strojního vybavení v oblasti svařovací techniky. [20]

3.2 Technologie navařování

Navařovací materiály je možné nanášet téměř všemi metodami svařování. Pro určení nejvhodnější metody svařování a výběru vhodného navařovacího přídavného materiálu, je nezbytné shromáždit a analyzovat následující informace:

- jakému druhu respektive druhům opotřebení bude součástka vystavována
- vlastnosti základního materiálu, na který má být návar aplikován
- dostupnost zvoleného svařovacího procesu
- druh požadované jakosti finálního povrchu součástky
- jakým způsobem bude po aplikaci návaru třeba součástku obrábět
- zda budou přípustné případné trhliny v návaru způsobené chladnutím

Obecně platí, že zvýšená tvrdost nemusí vždy nutně znamenat také lepší odolnost proti opotřebení, nebo delší životnost. Existuje mnoho druhů slitin o stejné tvrdosti, ale s velmi odlišnou schopností odolávat opotřebení.

Základní materiál a navařovací přídavný materiál je nutné celkově posoudit a vhodně zkombinovat tak, aby vše vyhovovalo rovněž z pohledu technologického. Uhlíkové a nízkolegované oceli často vyžadují v závislosti na tloušťce materiálu, obsahu uhlíku, nebo jiných legur různá zvláštní opatření jako předehřev, pomalé chladnutí, nebo tepelné zpracování po svařování apod. Naproti tomu je u austenitických manganových ocelí nezbytné svařovat bez jakéhokoliv předehřevu, při co nejnižší interpass teplotě a bez možnosti tepelného zpracování po svařování, protože tyto materiály po přehřátí křehnou.

Dosud nejpoužívanější metodou svařování využívanou pro navařování je metoda 111, protože pro ni bylo doposud vyvinuto nejširší spektrum svarových kovů v přídavných materiálech. Podobné možnosti skýtají také metody 114 a 136 respektive 135, které na rozdíl od metody 111 mají dvě velmi významné výhody, kterými jsou nepřerušovaný proces navařování a vysoký odtavovací výkon. U metody 136 respektive 135 je nutné počítat s ochranným plynem. Další technologií vhodnou k navařování je metoda 121, kterou je vhodné používat u rozměrných opotřebovaných dílů, které snášejí velký tepelný příkon. Výhodou je dobré formování návarového kovu díky tavidlu. Naopak mezi nevýhody metody 121 patří omezený sortiment přídavných materiálů. Vlivem velkého odtavovacího výkonu metody

121 dochází ke vzniku relativně vysokého návaru a důsledkem toho vzniku velkého vnitřního napětí při chladnutí návaru, které může mít za následek praskání tvrdokovových návarů. [20]

4 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ

Nedestruktivní zkoušení materiálu (NDT z anglického Non Destructive Testing) je zkoušení určitého produktu, materiálu, nebo systému, aniž by se narušila jeho integrita, budoucí použitelnost, nebo byla ovlivněna jeho schopnost plnit předpokládanou funkci.[3]

Hlavním úkolem NDT je detekce povrchových, nebo vnitřních vad, za účelem včasné zjištění nepřijatelných defektů výrobku, které by mohli znemožnit, nebo významně ovlivnit jeho optimální využití, případně vyvolat po určité době provozu poruchu anebo v krajním případě dokonce havárii konstrukce.[3]

Metody ke zjištění povrchových vad rozdělujeme na: vizuální metoda (VT), kapilární metody (PT), metoda magnetická prášková (MT) a metoda vířivých proudů (ET).

Mezi hlavní metody na zjištění vnitřních vad řadíme: prozařování (RT), zkoušení ultrazvukem (UT) a měření tloušťek ultrazvukem.

V defektoskopii jsou používány i další metody, které řadíme mezi jiné metody zkoušení: zkoušení netěsností (LT) a akustická emise (AE).

Nedestruktivní zkoušení představuje v současnosti jeden z rozhodujících činitelů při zjišťování jakosti ve všech fázích výroby a je také důležitým pomocníkem při zajišťování provozní spolehlivosti chemických, energetických a strojírenských zařízení.

V praxi není možné vyrobit ideální dokonalý materiál a z něj dokonalý výrobek. V celém výrobním procesu se mohou v materiálech a výrobcích vyskytovat poruchy, které vznikají ve výrobním procesu nebo během provozu. Defektoskopie se v současnosti stává nástrojem určování kvality výrobku. Podmínka kvality výrobků je základním předpokladem úspěšnosti jejich prodeje, přičemž účinným nástrojem pro kontrolu kvality jsou i nedestruktivní metody zkoušení materiálů. Jejich aplikace umožňuje zavedení 100 % kontroly kvality materiálů vstupujících do výrobního procesu po vybraných technologických operacích. Společným znakem všech metod využívaných v nedestruktivním zkoušení je aplikace takových fyzikálních principů, které zkoušený objekt mechanicky ani tepelně nepoškodí. NDT je technický obor, který aplikováním vhodných fyzikálních principů umožňuje indikovat vady (necelistvosti) materiálů.

Součástí NDT je i zjišťování záměny materiálů, měření tloušťek materiálů a zjišťování vlastností materiálů.

Nedestruktivní zkoušky se používají ke kontrole svárů na hotové konstrukci, proto je základní podmínkou, aby svary zůstaly zkouškou neporušené. Protože únosnost a provozní spolehlivost jsou přímo závislé na tvaru a celistvosti svárů, nedestruktivním zkouškám se v současnosti věnuje velká pozornost a vyžaduje se při nich vysoká odpovědnost.

4.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola (VT) je základní metodou pro zjišťování povrchových vad a odchylek tvaru. Slouží k vyhledávání a vyhodnocování viditelných kvalitativních vlastností a nehomogenit zkoušeného povrchu prostřednictvím zrakového orgánu- lidského oka. Vizuální kontrola zpravidla předchází zkouškám jinými metodami. Výhodou metody je skutečnost že informace o vadách materiálů a výrobků se získávají bezprostředně. [3]

VT je využívána pro detekci vad typu povrchových trhlin, zápalů, povrchových pórů, nebo odchylek tvaru, jakými jsou lineární přesazení, převýšení kořene svaru, přesazení forem u odlitku, nebo kontrolujeme stav povrchu.

Jedná se o metodu nedestruktivního zkoušení, která je plnohodnotná ve srovnání s ostatními NDT metodami (PT, MT, UT, RT atd.) a ve svém rozsahu někdy dokonce překračuje rámec využití ostatních NDT metod.

Základním požadavkem na provedení jakékoliv vizuální kontroly je dostatečné osvětlení kontrolovaného povrchu denním nebo umělým světlem. Použitý zdroj světla je rovněž závislý na hodnotě kontrastu poskytovaný povrchem kontrolovaného objektu. Např. u povrchu s velkým kontrastem a velkými detaily postačuje běžné světlo. Při nižších hodnotách osvětlení, naopak povrch s malým kontrastem a malými detaily vyžaduje obvykle lokální osvětlení a o značné hodnotě osvětlení. Při jakékoliv činnosti je však nutné věnovat pozornost směru osvětlení a zabránit nepříznivému oslnění.

4.1.1 Vyhodnocování vad při VT

Vyhodnocení vad při vizuální kontrole jakéhokoliv výrobku je subjektivní a vyžaduje zkušenosti, dobré zrakové schopnosti pracovníka a dobré osvětlení. Jen tak může být dosaženo objektivních výsledku kontroly.

Při vizuální kontrole se hodnocení vad obvykle provádí porovnáváním podle vnějších znaků vad. Nejčastěji porovnáním s reprezentativními vadami, nebo podle katalogu vad. Pří-

padně použitím srovnávacích etalonů, prohlídkou a měřením parametrů, nebo podle předem stanovených pravidel apod.

4.2 Kapilární kontrola

Kapilární metody využívají kapilárních vlastností penetrantů (kapalin) ke zjišťování na povrch otevřených vad materiálu, jako jsou např. trhliny, póry, apod. Vhodný penetrant (kapalina) se nanese na zkoušený povrch a nechá se vnikat do necelistvostí. Po vniknutí do necelistvostí se přebytečný penetrant z povrchu odstraní a nanese se vývojka. Vývojka působí jako absorbent, jež nasává penetrant, který vnikl do necelistvosti. Tato metoda umožňuje zjistit povrchové vady pouhým zrakem neviditelné.

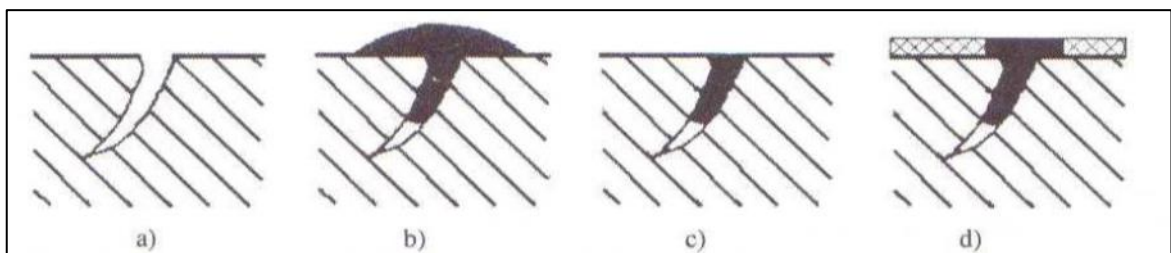
Použití těchto metod ke zjištění vnitřních vad, které nejsou spojeny se zkoušeným povrchem, není možné. Výhodou této metody je použitelnost pro všechny nesavé materiály bez povrchové vrstvy, citlivost na malé necelistvosti, minimální požadavky na zkušenosti zkušebního pracovníka. Nevýhodou metody je, že její pomocí lze vyhodnocovat pouze otevřené povrchové necelistvosti. Příprava zkoušeného objektu je zdlouhavá a poměrně náročná. [3]

4.2.1 Způsob provádění a vyhodnocování kapilární zkoušky PT

Kapilární zkouška se provádí v následujících základních krocích:

- Příprava povrchu- spočívá v odstranění všech tuhých i kapalných nečistot ze zkoušeného povrchu a z necelistvosti, které se na něm nacházejí. Odstranění nečistot se dosahuje použitím ocelového kartáče, brusných papírů, broušením apod. Následně se zkoušený povrch odmastí a důkladně osuší, čímž se usnadní vnikání detekční kapaliny do povrchových necelistvostí.
- Nanesení penetrantu (detekční kapaliny)- způsob nanášení detekční kapaliny závisí na rozměrech zkoušeného objektu. Při kontrole rozměrnějších objektů se kapalina nanáší nástřikem vzduchovou pistolí, sprejem ve formě aerosolu, nebo fixírkou. Další možností je natírání penetrantu štětcem nebo polévání. Objekty menších rozměrů se ponořují do penetrační lázně. Doba penetrace potřebná pro vniknutí detekční kapaliny do případných necelistvostí se pohybuje v rozmezí 5 až 20 minut, v mimořádných případech (např. detekce jemných trhlín) až několik hodin.

- Odstranění přebytku detekční kapaliny- přebytečná detekční kapalina musí být odstraněna ze zkoušeného povrchu z důvodu, aby nevytvářela barevné nebo fluoreskující nepravé indikace, což by mělo nepříznivý vliv na rozeznatelnost a indikaci vad. Volba způsobu odstranění záleží na chemickém složení detekční kapaliny a nesmí při něm dojít k vyplavení detekční kapaliny z případných nečelivostí. U detekční kapaliny obsahující emulgátor se přebytek odstraní oplachem jemným proudem vody, případně se povrch otře vlhkou houbou. Při použití penetrantu neobsahujícího emulgátor se nejprve přebytečné množství setře dobře sající látkou a poté se povrch opláchne vodou nebo speciálními čisticími prostředky. Po opláchnutí se povrch osuší textilní látkou, nebo teplým vzduchem.
- Aplikace vývojky- pracovní fáze, při které se na zkoušený povrch nanáší barevně kontrastní látka (vývojka). Podle formy, v jaké se vývojka nanáší, se rozlišuje i způsob aplikace. Vývojka ve formě prášku se nanáší buď ručním zaprašováním, nebo pomocí elektroakustické pistole. Vývojky ve formě suspenze z vývojkového prášku, který je rozptýlen v těkavé kapalině nebo ve vodě, se nanáší nástřikem.
- Vyhodnocení zkoušky – provádí se pouhým okem nebo pomocí lupy. Při vyhodnocení zkoušky se povrch zkoušeného objektu prohlíží dvakrát. Poprvé se prohlíží ihned po nanesení vývojky, kdy se indikují velké vady. Podruhé po uplynutí určitého času (obvykle 10 až 30 minut), kdy se zjišťují jemné vady, které potřebují k vytvoření indikace delší dobu. U metody barevné indikace se povrch zkoušeného předmětu prohlíží v rozptýleném bílém světle a případná vada se projeví vznikem barevné indikace (červené na bílém pozadí).



Obrázek 11: Řez průběhu kapilární zkoušky a) očištěný povrch s vadou, b) nanesení penetrantu, c) očištěný povrch, d) indikace vady po nanesení vývojky

4.3 Kontrola prozářením

Prozářením je možné indikovat vnitřní objemové vady svarů a materiálů. Princip spočívá ve schopnosti ionizujícího záření pronikat hmotou výrobku, přičemž dochází k zeslabení intenzity záření. Záření, které prošlo kontrolovaným výrobkem, je za výrobkem zviditelněno vhodným detektorem, nejčastěji radiografickým filmem. Změna intenzity záření je způsobena nehomogenitou zkoušeného materiálu a na filmu se projeví rozdílným zčernání míst s chybami oproti zčernání na místech materiálu bez chyb.

Způsob provedení zkoušky prozářením uvádějí normy ČSN EN 1435 a ČSN EN 462, kritéria přijatelnosti chyb jsou uvedeny v ČSN EN 12 517. Jako zdroje záření se používají RTG zdroje a zdroje GAMA záření- izotopy radioaktivních prvků jako Iridium, Kobalt, Selen a další. Volba konkrétního způsobu prozařování závisí na několika faktorech, mezi které patří druh a rozměry (tloušťka) prozařovaného materiálu, podmínky provedení (montáž, laboratoř apod.) a požadovaná citlivost zkoušení. Obecně lze konstatovat, že zkouškou prozářením je možné indikovat necelistvosti rozměrů 2- 3 % z prozařované tloušťky. Z výše uvedeného vyplývá, že zkouška nezaručuje indikaci vad, u kterých je rozměr ve směru působení záření menší, než je citlivost zkušební metody.

4.4 Kontrola ultrazvukem

Ultrazvuk jsou mechanické kmity částic prostředí s frekvencí vyšší než 20 kHz, nad hranicí slyšitelnosti. Zkoušení ultrazvukem využívá zákonitosti šíření ultrazvukových vln v materiálu na zjišťování plošných a objemových vad na povrchu i uvnitř materiálu. Princip zkoušky je založen na odrazu, který nastane při průchodu ultrazvukových vln materiálem na rozhraní dvou prostředí. Zkouškou lze zjišťovat vady typu trhlin, studených spojů, dutin, vměstků apod. Metodika provedení zkoušení ultrazvukem je uvedena v ČSN EN 1714, kritéria přípustnosti vad uvádí ČSN EN 1712. Zařízení k provádění zkoušení ultrazvukem se skládá z generátoru impulsů, vysílací a přijímací sondy a indikačního zařízení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo provedení renovace kol jeřábových drah tak, aby při zachování vysokých standardů kvality a požadavků na jakost byla oprava efektivní a ekonomicky výhodná.

S přihlédnutím k základním cílům se jako optimální řešení jeví využití tvrdokovového návaru, který by splňoval požadavky výrobce na výslednou tvrdost povrchu kola 30- 40 HRC do hloubky minimálně 2 mm, aniž by bylo nutné jeho kalení po navařování a obrobení do finálního tvaru a požadovaných rozměrů.

Na první pohled může úkol působit dojmem, že se nejedná o nic složitého. Tento dojem se ale změní hned v okamžiku prvního a poměrně zásadního rozhodování, kterým není nic menšího, než volba metody svařování pro aplikaci návaru. Nejrozšířenější pro práce tohoto charakteru je metoda svařování ruční obalenou elektrodou (111) a tím, že je hodně rozšířená, pro ni také existuje nejširší nabídka přídavných svařovacích materiálů. Jenže z hlediska produktivity patří k těm nejméně efektivním a proto se při dnešních cenách za lidskou práci hodí spíše k lokálním opravám, nebo montážním pracím v terénu, mimo dílnu. Takže hned v úvodu bylo nutné zvolit mezi dostupností metody, její celkovou efektivitou, rychlostí svařování danou metodou, výběrem správného přídavného svařovacího materiálu, atd.

Následovalo posuzování technologické náročnosti svařování vybranou metodou a zvoleným přídavným materiálem vzhledem k jejich rozdílným mechanickým vlastnostem a chemickému složení.

Ještě před započítím renovace, bylo nutné vyrobit několik zkušebních vzorků a ty podrobit zkoumání povrchové tvrdosti, makrostruktury a mikrostruktury materiálu, průběhu vnitřní tvrdosti. Následně vše vyhodnotit a potvrdit tak správnost navrhovaných řešení.

Protože svařování je zvláštní proces, u kterého nikdy není znám výsledek předem, teprve potom se dalo seriózně přistoupit k samotné realizaci stanoveného cíle „renovace kol jeřábových drah navařováním“ s minimálním rizikem nezdaru.

6 VSTUPNÍ PROHLÍDKA A ROZMĚROVÁ KONTROLA

Pro renovaci byli k dispozici celkem 4 ks kol. Před zahájením samotné renovace byla provedena jejich prohlídka a rozměrová kontrola za účelem zjištění míry opotřebení.



Obrázek 12: Kola před vizuální prohlídkou

Vizuální prohlídka byla zaměřena především na místa, která budou předmětem renovace.



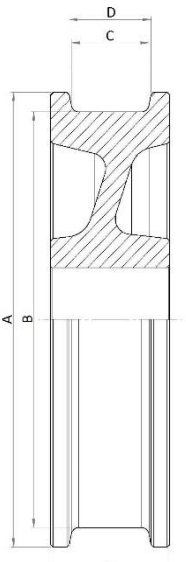
Obrázek 13: Pojezdová plocha a levá patice

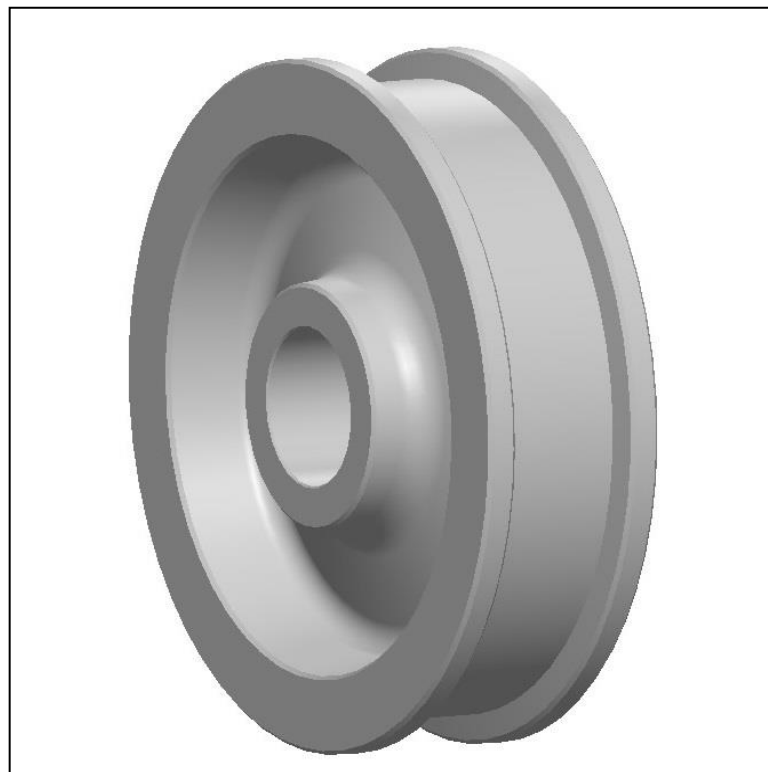


Obrázek 14: Pojezdová plocha a pravá patice

Rozměrové kontrole byla podrobena všechna čtyři kola určená k renovaci. Výsledky měření byly zaznamenány do tabulky, aby naměřené hodnoty byly k dispozici jako podklad pro stanovení míry obrábění a navazujících operací.

Tabulka 13: Výsledky vstupní rozměrové kontroly

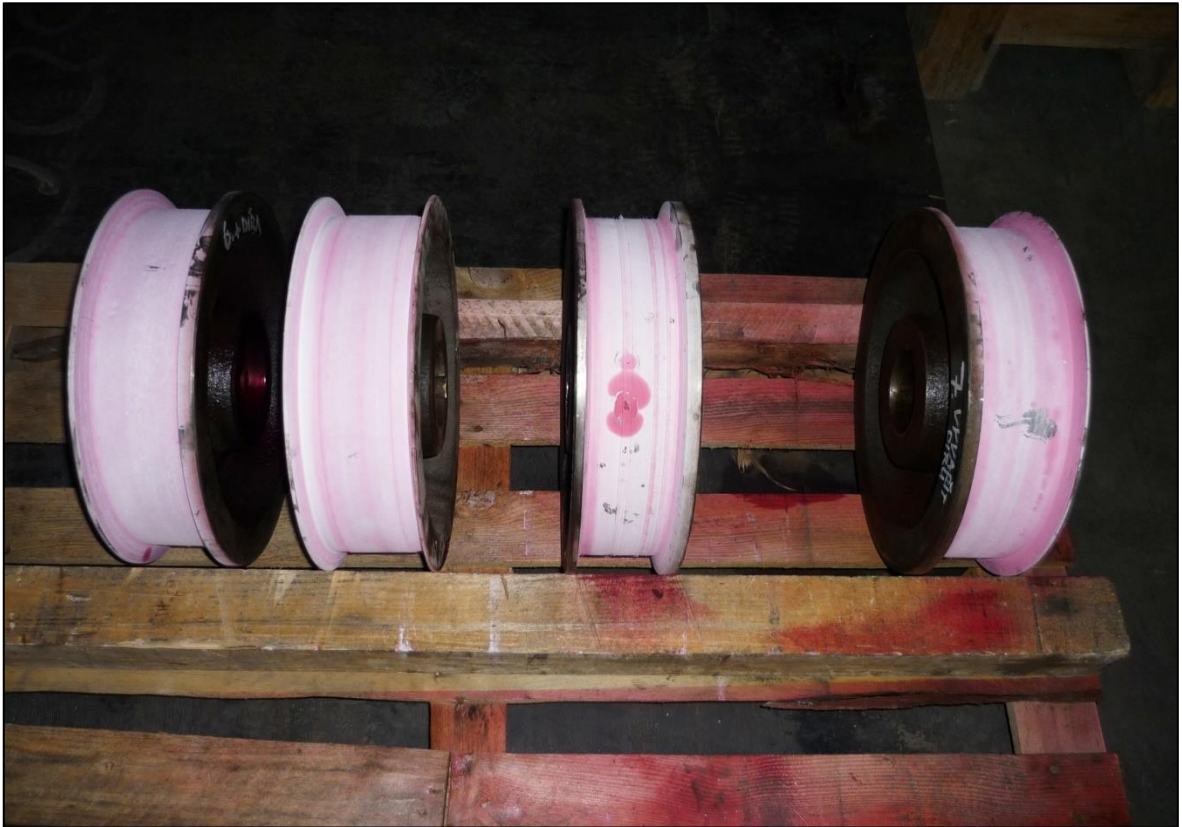
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Kolo 1	Kolo 2	Kolo 3	Kolo 4
$\varnothing A$		350,0	349,5	350,0	349,9	349,7
$\varnothing B$		320,0	314,9	315,4	315,2	316,3
C		60,0	64,5	60,0	62,3	61,0
D		65,0	71,0	68,9	69,1	71,4



Obrázek 15: Model kola

7 VSTUPNÍ KAPILÁRNÍ KONTROLA KOL (PT)

Dalším, důležitým krokem bylo provedení nedestruktivních zkoušek na zjištění případných povrchových vad. Vzhledem k povaze renovace a s přihlédnutím na výslednou cenu se jako optimální nedestruktivní zkouška nabízí kapilární kontrola, někdy též nazývaná kontrolou penetrační. Provádění dalších metod nedestruktivních kontrol by cenu renovace neúměrně zvyšovalo a kapilární kontrola je v této fázi renovace a pro daný účel dostačující.



Obrázek 16: Kola po provedení kapilární kontroly



Obrázek 17: Kolo č. 3 s indikovanou vadou



Obrázek 18: Kola č. 1, 2, 4 po provedení PT

Vyhodnocení kapilární kontroly vykazovalo jeden pozitivní nález. Byla indikována vada na pojezdové ploše kola číslo 3. Vzhledem k dostatečnému množství vzorků, bylo kolo číslo 3 vyřazeno z dalších operací renovace.

8 VOLBA METODY A STANOVENÍ PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ

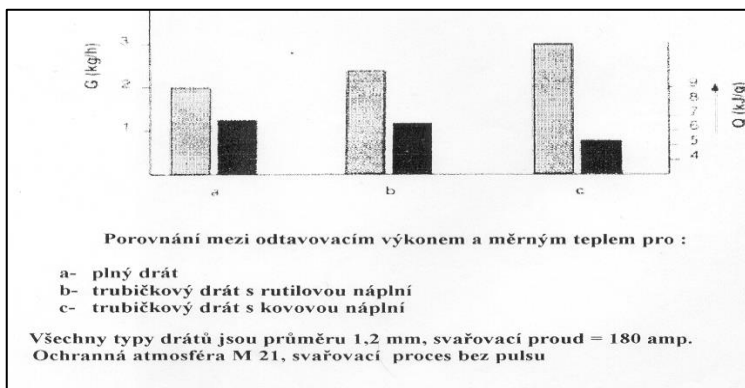
Při posuzování svařitelnosti ocelí, volbě vhodné metody svařování a určení správného přídatného materiálu se vychází z faktů, že svarový spoj respektive návar, má být především celistvý, bez přítomnosti vad (dutiny, nekovové vměšky, trhliny, studené spoje apod.) a musí splňovat předpoklady vyplývající z požadovaných užitečných vlastností.

Společným znakem všech svářečských technologií je transformační zkřehnutí základního materiálu v tepelně ovlivněné oblasti svaru (dále jen TOO). Jeho intenzita je ovlivněna jednak chemickým složením oceli, aplikovaným cyklem svařování (specifický tepelný příkon) a použitím předehřevu nebo dohřevu, tedy zvládnutým a kontrolovaným tepelným režimem svařování.

Nejobvyklejší metodou pro navařování je metoda 111, protože pokrývá nejširší rozsah svařových kovů a je použitelná i pro navařování mimo dílnu na montážích. Podobné možnosti nabízí také metoda 114. Metody 136 respektive 135 však mají oproti metodě 111 několik významných výhod v podobě nepřerušovaného procesu navařování a vysokého odtavovacího výkonu. Proto byla zvolena metoda 135.

Volba přídatného materiálu se odvíjela především od zvolené metody svařování. S ohledem na požadavek vysoké efektivity a ekonomické výhodnosti byla zvolena metoda 135. Dále bylo třeba zvolit, jestli se návar provede plným drátem, jehož pořizovací cena je cca 2 až 3 x nižší, než cena trubičkového drátu, nebo se celá problematika zhodnotí poněkud globálněji, kdy je na konci celého procesu svařování hodnocen zhotovený svar. Při porovnání nákladů na provedení 1 metru svaru je jeho výsledná cena většinou výrazně nižší při použití trubičkového drátu. Dalším aspektem hovořícím ve prospěch trubičkového drátu je kvalita svaru (vzhled, průvar, metalografie a mechanické vlastnosti), která je na vyšší úrovni než je tomu u plných drátů.

Tabulka 14: Porovnání výkonových hodnot a měrného tepla drátů [20]



S přihlédnutím k celkovým nákladům na 1 metr svaru, odtavovacímu výkonu a měrnému vnesenému teplu byl zvolen trubičkový drát s kovovou náplní.

Původním záměrem bylo provést zkušební sváry na materiálu o dostatečné tloušťce a stejné jakosti s materiálem, ze kterého jsou vyrobena kola, tedy na plechu o jakosti S355J2 o tloušťce 25 mm. Protože provedená penetrační zkouška odhalila defekt na kole číslo 3, bylo toto kolo použito na zhotovení vzorků pro provedení zkušebních svarů.


Tabulka 15: Vlastnosti základního materiálu, ze kterého jsou vyrobena kola. [20]

Přehled vlastností oceli S355J2							1.0577		
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N	
	≤ 16	>16≤40	>40 ¹⁾	max.	max.	max.	max.	max.	
Složení hotového výrobku	0,20 ⁵⁾	0,20 ⁴⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	
	0,23 ⁵⁾	0,23 ⁴⁾	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R ₀₁ MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤ 16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	355	345	335	325	315	295	285	275	
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥ 3 ≤ 100				> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
	470-630				450-600		450-600		
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v ⁶⁾ :								
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21		20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při - 20°C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ^{7),8)} :								
≤ 150				> 150 ≤ 250					
27				27					
Maximální hodnota CEV ³⁾	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
0,45		0,47		0,47		0,49 ⁷⁾			
Technologické vlastnosti									
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti svaru. Je účelné dbát doporučení, stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 (EN 1011).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodané výrobky dále tvářené za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žhání.								
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S355JOC). To se týká i tažení za studena.								
¹⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. ²⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout ³⁾ hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV, stanovená z rozboru tavby se vypočte podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + (Cr+Mo+V) : 5 + (Ni+Cu) : 15 CEV je volitelný požadavek. ⁴⁾ pro jmenovitou tloušťku nad 30 mm a pro tváření za studena je obsah C max. 0,22 % resp. 0,24% v hotovém výrobku. ⁵⁾ je-li ocel určena k válcování za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. ⁶⁾ průměrná hodnota vypočtená výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odeberají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. ⁷⁾ pro dlouhé výrobky je maximální hodnota CEV 0,54 ⁸⁾ pro podélný směr zkoušení									

Optimální volba druhu přídatného materiálu spočívala ve volbě trubičkového drátu s kovovou náplní, který je svým chemickým složením co možná nejbližší složení základního materiálu, přičemž splňuje požadavky na výslednou tvrdost návaru, která by se měla shodovat s povrchovou tvrdostí kol udávanou výrobcem, tedy 30- 40 HRC. Hodnota 40 HRC by se neměla zbytečně překračovat, protože vyšší tvrdost by ztěžovala následné ob-

rábění, zvyšovala riziko vzniku trhlin a v konečném důsledku by nemuselo být vhodné, pokud by kola jeřábové dráhy byla tvrdší než její kolejnice. V katalogu přídatných svařovacích materiálů byl vybrán středně legovaný trubičkový drát s kovovou náplní pro navařování metodou 135 (MAG), netvořící strusku: STEIN- MEGAFIL A 740 M.

Tabulka 3: Inspekční certifikát 3.1 přídatného materiálu [20]

Drahtzug Stein, wire & welding GmbH & Co KG Telstr. 32 2, D-43177 Drahtzug - Altfeiringen www.megafil.eu www.drahtzug.eu			Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204																	
CS: No. Order No. Drawing: No.	S1354		Auszufüllen durch wire & welding To be filled out by wire & welding		Kunde: Gabel: Wirco s.r.o. Cage: Hájek 2 Liefermenge: Quantity delivered: C.P. 11600 Pmm 150 kg															
Hersteller: Certificate No. File name:			Auszufüllen durch Händler To be filled out by dealers		Kartell: Gabel: C Liefermenge: Quantity delivered:															
Ersatzwerkstofftyp/Consumable			Fülldrahtelektrode / Flux cored wire							Scheinwerferstrom: Spinnung/Voltage: 260 A Schweißgeschw./Welding speed: 27-28 V Schutzgas/S Shielding gas: 35 cm ³ /min M21 (82 %CO ₂) Schutzgasstrom / Flow rate: 15 l/min Ausstoß / Output: 15 mm Position: PA / 1G Wärmetemp. / Prepass temp.: 200 °C										
Sorte/Type: STEIN-MEGAFIL® A740 M			Nennwert / Nennwert / Specification: MFG 5- GF 40 P							Abmessung / Diameter Ø: 1,4 mm										
Position			Bemerkung / Remark		Charge / Lot-Nr./Batch		Analyse - Analysis													
1					11967		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mn							
Requirement:																				
Position			Bemerkung / Remark		Charge / Lot-Nr./Batch		Hardness of pure weld metal													
2					11967		1	2	3	4	5	6	HRC							
Requirement:																				
Position			Bemerkung / Remark		Charge / Lot-Nr./Batch															
Bemerkung / Remark:			Dieses Zeugnis wurde auf EDV erstellt und daher nicht unterschrieben. This report has been carried by our EDV-system and will therefore not be signed.										Drahtzug, Stein GmbH & Co KG Datum: 28.11.2009							
													Qualitätswesen Poděbrady							

Na základě dat o základním materiálu, metodě svařování, přídatném materiálu a ostatních souvisejících dat byla vypracována specifikace postupu svařování (dále jen pWPS, což je obecně užívaná zkratka, vzniklá z anglického výrazu Welding Procedure Specification). Jedná se o dokument, který se vypracovává podle ČSN EN ISO 15 609- 1 a slouží jako návod pro svářečský personál, zejména pak pro operátora- svářeče, jak si během svařování počínat. Vypracovaná WPS je přílohou této práce.

9 NAVAŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ A JEJICH TESTOVÁNÍ

Hlavním důvodem k vytvoření zkušebních vzorků bylo ověření teoretických poznatků a jejich praktická aplikovatelnost. Pozorování byla zaměřena především na:

- Ověření správnosti teoretických hodnot, uvedených ve vypracované pWPS
- Povrchovou tvrdost navařených vrstev a základního materiálu (dále jen ZM)
- Makrostrukturu
- Mikrostrukturu
- Promísení svarového kovu (dále jen SK) se ZM kola při navaření 1, 2 a 3 vrstev
- Průběh vnitřní tvrdosti dle ČSN EN ISO 15 614- 7

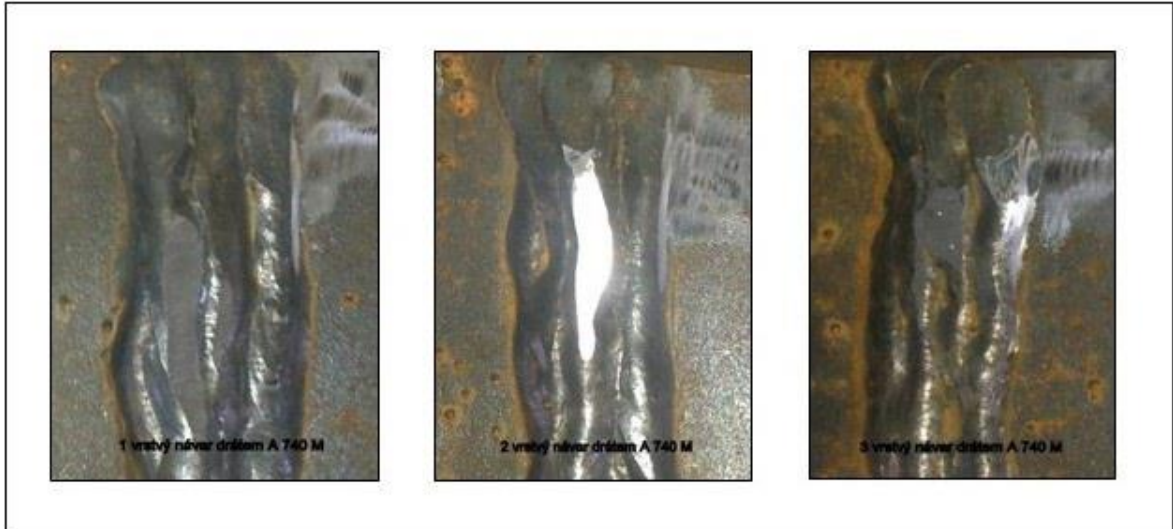
9.1 Ověření správnosti hodnot, uvedených v pWPS

Na celkem 3 ks vzorků, připravených z kola číslo 3 (materiál S355J2), byly zhotoveny návary trubičkovým drátem STEIN- MEGAFIL A 740 M. Pro navařování metodou 135 (MAG) byly použity následující parametry:

- Ø Přídavného svařovacího materiálu (drátu): 1,2 mm
- Svařovací proud (I): 240 A
- Svařovací napětí (U): 26 V
- Druh proudu a jeho polarita: DC +
- Způsob přenosu svarového kovu: Sprcha
- Rychlost podávání drátu: $6,6 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$
- Rychlost svařování: $520 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$
- Výlet drátu (vzdálenost špičky od ZM): 18- 20 mm
- Ochranný plyn: M 21
- Teplota předehřevu: 250 °C
- Interpass teplota (pokud je třeba): 200- 250 °C
- Způsob chladnutí: Izotermický zábal

Na prvním vzorku byla navařena jedna vrstva, tvořená ze čtyř svarových housenek. Na druhém vzorku byly navařeny dvě vrstvy. První byla tvořena čtyřmi a druhá třemi svaro-

vými housenkami. A konečně na třetím vzorku byly navařeny celkem tři vrstvy. První tvořená čtyřmi, druhá třemi a třetí dvěma svarovými housenkami.



Obrázek 19: Návary provedené na zkušebních vzorcích

Po navaření a vychladnutí v izotermickém zábalu byly vzorky podrobeny vizuální kontrole. Na všech třech hodnocených vzorcích byla kontrola zaměřena zejména na detekci povrchových trhlin, zápalů, povrchových pórů a odchylek tvaru typu lineárních nerovností, nebo nadměrného převýšení jednotlivých vrstev. Na žádném z kontrolovaných vzorků nebyla nalezena nepřijatelná vada. Jediná drobná (přípustná) kosmetická vada byl rozstřík svarového kovu, který se projevil formou kuliček ulpělých na plochách základního materiálu. Tato vada je poměrně snadno napravitelná mechanickým odstraněním kuliček například svářečským kladívkem, sekáčem plochým apod.

Z pohledu vizuální kontroly vzorků byly veškeré parametry svařování a použité hodnoty shledány jako správné.

Vícevrstvé svary na druhém a třetím vzorku byly realizovány pro případ, že by promísení (zředění) svarového kovu se základním materiálem bylo větší a negativně by ovlivnilo tvrdost návaru v první vrstvě. Nebo pro případ, kdyby nastala potřeba navařování více vrstev z důvodu vysokého opotřebení kola apod.

9.2 Povrchová tvrdost navařených vrstev a základního materiálu

Povrchové tvrdosti navařených vrstev, spolu s promísením (zředěním) svarového kovu se ZM jsou klíčové údaje pro další vývoj renovace.

Tabulka 17: Povrchová tvrdost vzorku 1

Povrchová tvrdost vzorku s 1 navařenou vrstvou návaru									
HV 10	Základní materiál			Povrch návaru			Základní materiál		
		261	278	269	415	398	429	276	261
Ø hodnota	269			414			271		

Tabulka 18: Povrchová tvrdost vzorku 2

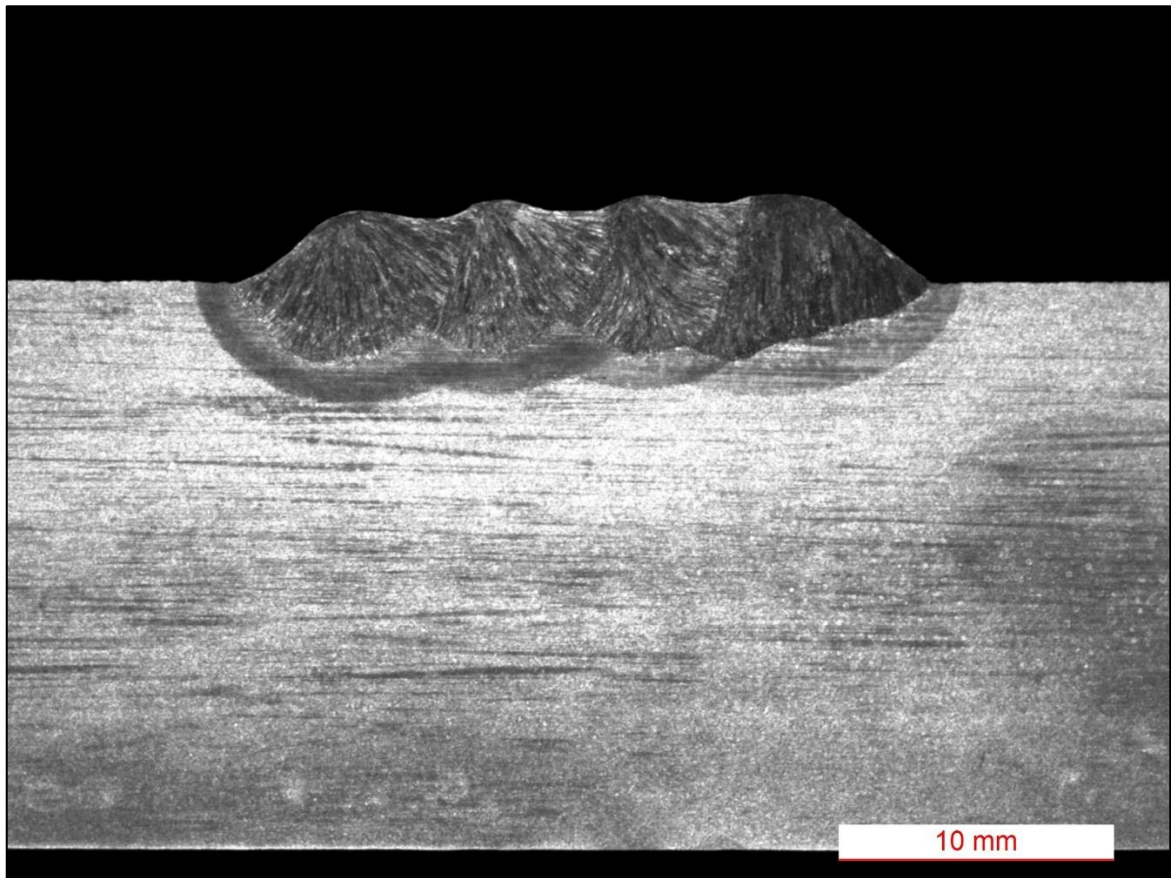
Povrchová tvrdost vzorku se 2 navařenými vrstvami návaru									
HV 10	Základní materiál			Povrch návaru			Základní materiál		
		303	281	295	397	400	399	285	296
Ø hodnota	293			399			290		

Tabulka 19: Povrchová tvrdost vzorku 3

Povrchová tvrdost vzorku se 3 navařenými vrstvami návaru									
HV 10	Základní materiál			Povrch návaru			Základní materiál		
		301	337	300	404	430	395	298	306
Ø hodnota	313			410			302		

Z naměřených dat povrchových tvrdostí vzorků, uvedených v tabulkách výše, je zřejmé, že povrchová tvrdost vzorku s jednou navařenou vrstvou je dostatečná, a proto byly vzorky se 2 a 3 navařenými vrstvami z dalších pozorování a testů vyloučeny.

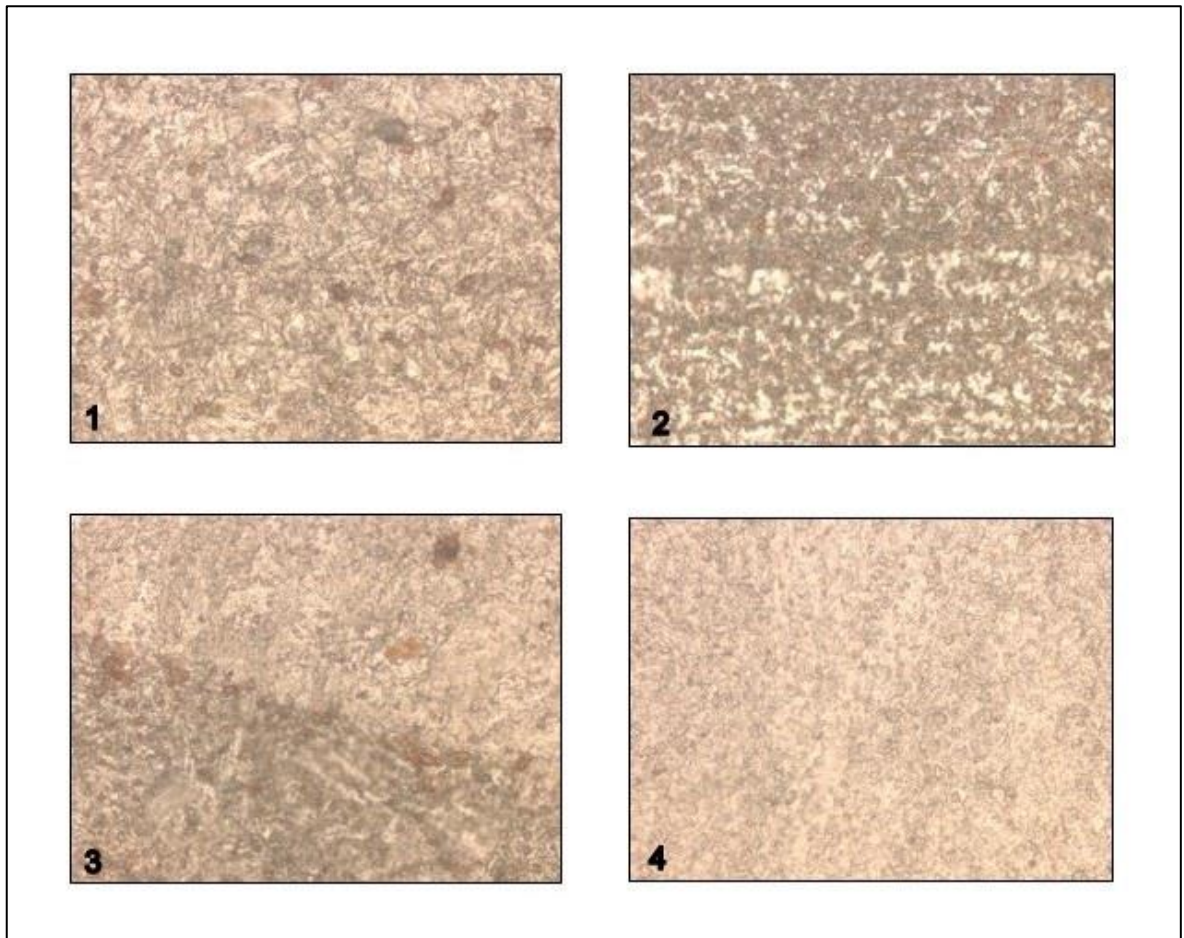
9.3 Makrostruktura



Obrázek 20: Makrostruktura

Vyhodnocení makrostruktury vzorku: Jednovrstvý tvrdokovový návar tvořený čtyřmi svarovými housenkami: Bez nepřijatelných defektů typu trhlin, dutin, vměstků, neprůvarů, vad vlivem nesprávného nastavení parametrů, nepřijatelných odchylek tvaru a rozměru. Souosá struktura protaveného materiálu s pravidelně vyvinutými krystaly. Kolumnární krystalická struktura s orientací krystalů ve směru maximálního teplotního gradientu.

9.4 Mikrostruktura



Obrázek 21: Mikrostruktura, zvětšeno 500 x

- 1 Svarový kov
- 2 Přejímová zóna: svarový kov / tepelně ovlivněná oblast
- 3 Přejímová zóna: základní materiál / tepelně ovlivněná oblast
- 4 Základní materiál

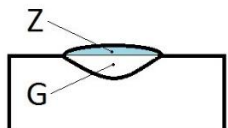
Mikrostruktura základního materiálu (ZM) je čistě perlitická.

Mikrostruktura TOO je promísená perlitická s karbidy Cr_7C_3 a Mo_2C .

Mikrostruktura svarového kovu (SK) je karbidická fáze Cr_7C_3 a Mo_2C .

9.5 Promísení svarového kovu se základním materiálem

Vlivem promísení (zředění) svarového kovu se základním materiálem může u některých typů ocelí s výrazně odlišnými obsahy uhlíku docházet k negativním jevům typu oduhličování materiálu s vyšším obsahem uhlíku apod. V našem případě není rozdíl v obsahu uhlíku ZM a svarového kovu tak markantní, aby docházelo k oduhličování některé z nich. Vzhledem k 5 % obsahu chromu v přídatném materiálu lze očekávat tvorbu některých specifických forem. Zhrubnutí sekundární fáze zvýší průměr částic, sníží jejich počet na jednotku objemu, přičemž část objemu zůstává konstantní. Proto se průměrná mezičásticová vzdálenost zvýší. V nízkolegovaných CrMo ocelích se vyskytují fáze Cr_7C_3 a Mo_2C .



$$V = \frac{G}{G + Z} * 100 \text{ [%]}$$

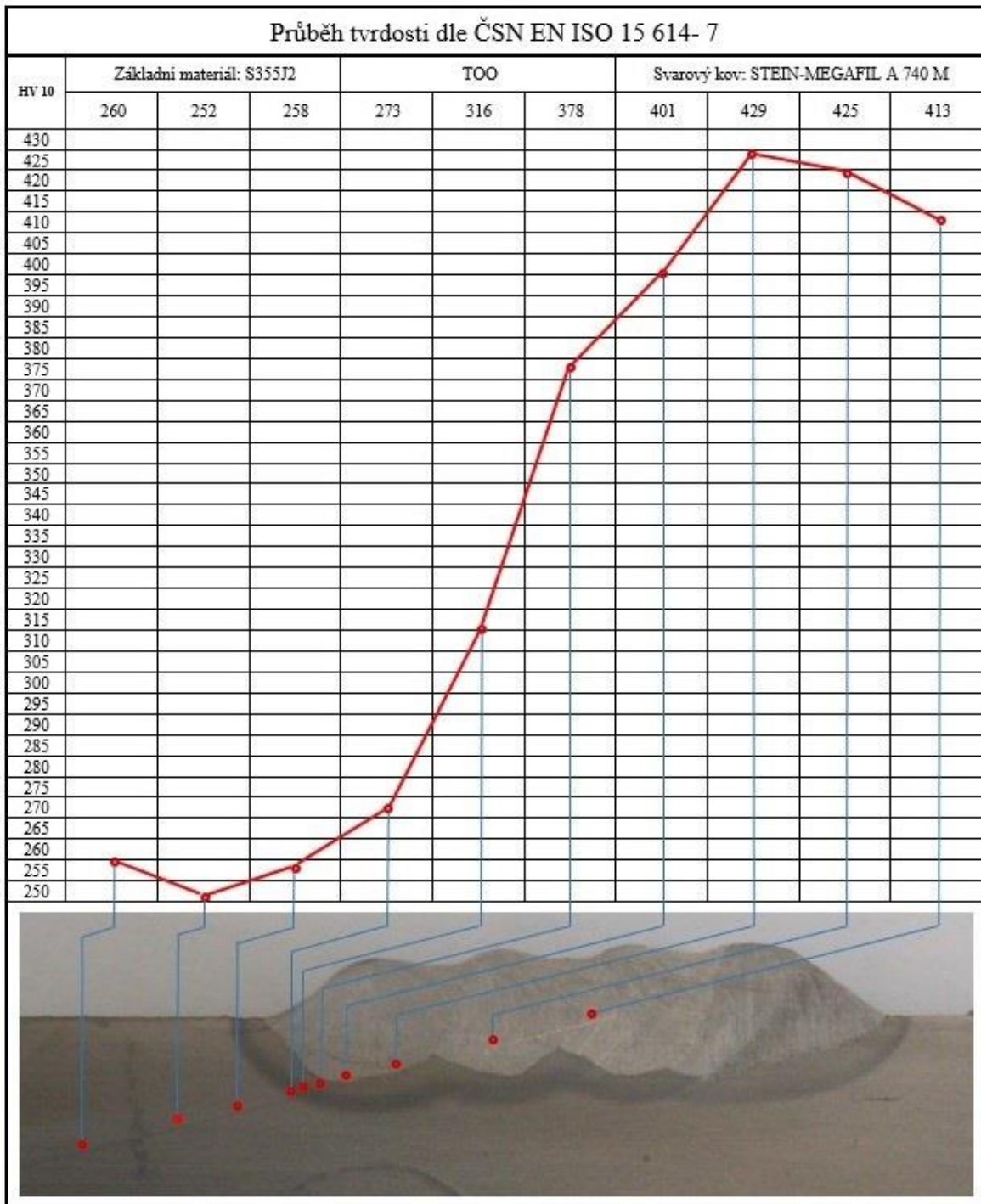
$$V = \frac{44}{56+44} \times 100 = 44 \text{ %}$$

Promísení při svařování metodou 135 (MAG) se běžně pohybuje v rozmezí 25- 45 %. Promísení v našem vzorku bylo 44%, což je sice blízko horní hranice, ale nikterak mimořádné.

9.6 Průběh vnitřní tvrdosti

Naměřené hodnoty vnitřní tvrdosti vzorku poskytly přesné informace o průběhu tvrdosti celým spektrem oblastí a jejich fází.

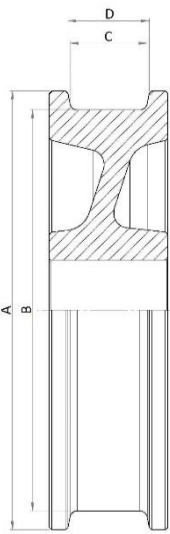
Tabulka 20: Průběh vnitřní tvrdosti ve vzorku



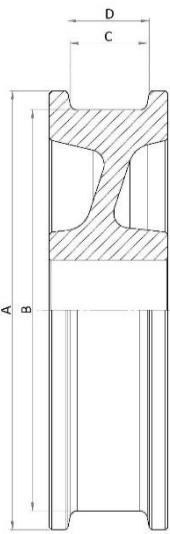
10 OBRÁBĚNÍ KOL PŘED NAVAŘOVÁNÍM

Obrábění kol bylo realizováno na konvenčním soustruhu. Protože míra opotřebení kol byla rozdílná, nešlo stanovit přesné údaje o množství materiálu, který bylo třeba odebrat. Jednoduše se vycházelo z předpokladu výrobce kol, který kola dodává kalená na tvrdost 30-40 HRC do hloubky 2 mm. Aby byla podmínka tvrdosti dodržena i při renovaci, minimální míra úběru materiálu byla minimálně 2 mm pod teoretický rozměr udávaný výrobcem. Pro lepší orientaci byla pro obrábění před navařováním vytvořena následující tabulka:

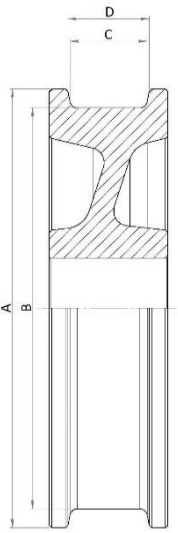
Tabulka 21: Míra obrobení kola 1

Kolo číslo 1					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před obráběním	Materiál k ubrání	Rozměr kola po obrábění
	ø A	350,0	349,5	0,0	349,5
	ø B	320,0	314,9	0,0	314,9
	C	60,0	64,5	0,0	64,5
	D	65,0	71,0	0,0	71,0

Tabulka 22: Míra obrobení kola 2

Kolo číslo 2					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před obráběním	Materiál k ubrání	Rozměr kola po obrábění
	ø A	350,0	350,0	0,0	350,0
	ø B	320,0	315,4	0,0	315,4
	C	60,0	60,0	2 × 2,0	64,0
	D	65,0	68,9	2 × 0,05	69,0

Tabulka 23: Míra obrobení kola 4

Kolo číslo 4					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před obráběním	Materiál k ubrání	Rozměr kola po obrábění
ø A		350,0	349,7	0,0	349,7
ø B		320,0	316,3	0,15 z ø	316,0
C		60,0	61,0	2 × 1,5	64,0
D		65,0	71,4	0,0	71,4

Jak je vidět v tabulkách výše, opotřebení kol bylo dosti značné, proto byly požadavky na obrábění minimální. Potřebné úběry materiálu byly provedeny na konvenčním soustruhu. Zbylé plochy určené k navařování byly obroušeny (z důvodu očištění a zdrsnění ploch v místech budoucího svaru respektive návaru) pomocí úhlové brusky. Následně pak očištěny ocelovým kartáčem a odmaštěny.

11 NAVAŘOVÁNÍ

Z vykonaných experimentů, kontrol a zkoušek vyplívá, že stanovený postup opravy, volba metody svařování, přídavného materiálu, teplotního režimu atd. byly určeny správně. Proto samotný proces aplikace návaru proběhne dle vypracované WPS.

11.1 Předehřev

Předehřev byl aplikován pomocí propan- butanového hořáku. Velmi pozvolný ohřev až na teplotu 250 °C byl kontrolován pomocí pyrometru. Doba předehřevu trvala 42 minut.



Obrázek 22: Předehřev pomocí propan- butanového hořáku

11.2 Příprava svařovacího zdroje

Navarování bylo realizováno pomocí svařovacího zdroje EWM EVOLUTION X M310. Nejprve byl trubičkový drát uložen do zdroje a následně zaveden přes podávací kladky a bovdenu do svařovací hubice.



Obrázek 23: Připravený svařovací zdroj



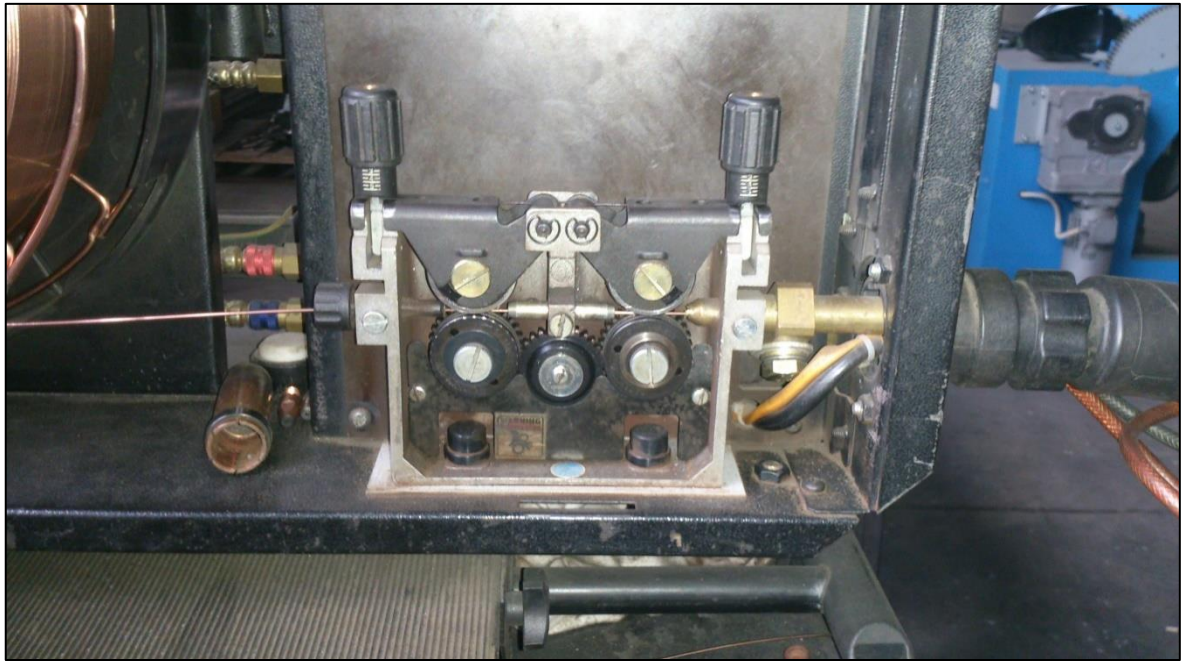
Obrázek 24: Display s ukazatelem parametrů



Obrázek 25: Drát ve svařovacím zdroji

Na podávací kladky musí působit správný tlak. Příliš velký tlak způsobuje zploštění elektrody a nastanou následné problémy s podáváním a vyšším opotřebením bovdenu a kontaktní špičky. Nedostatečný tlak může být příčinou prokluzování elektrody v podávacích kladkách a z toho plynoucího nepravidelného podávání a případného uhoření elektrody do kontaktní špičky.

Vzdálenost špičky od základního materiálu (výlet drátu) byla nastavena na 19 mm. V této pozici byla špička zafixována. Plyn M 21 (82 % Ar + 18 % CO₂), který vytváří ochrannou atmosféru pro svařování, byl nastaven na odběr 14 litrů za minutu.



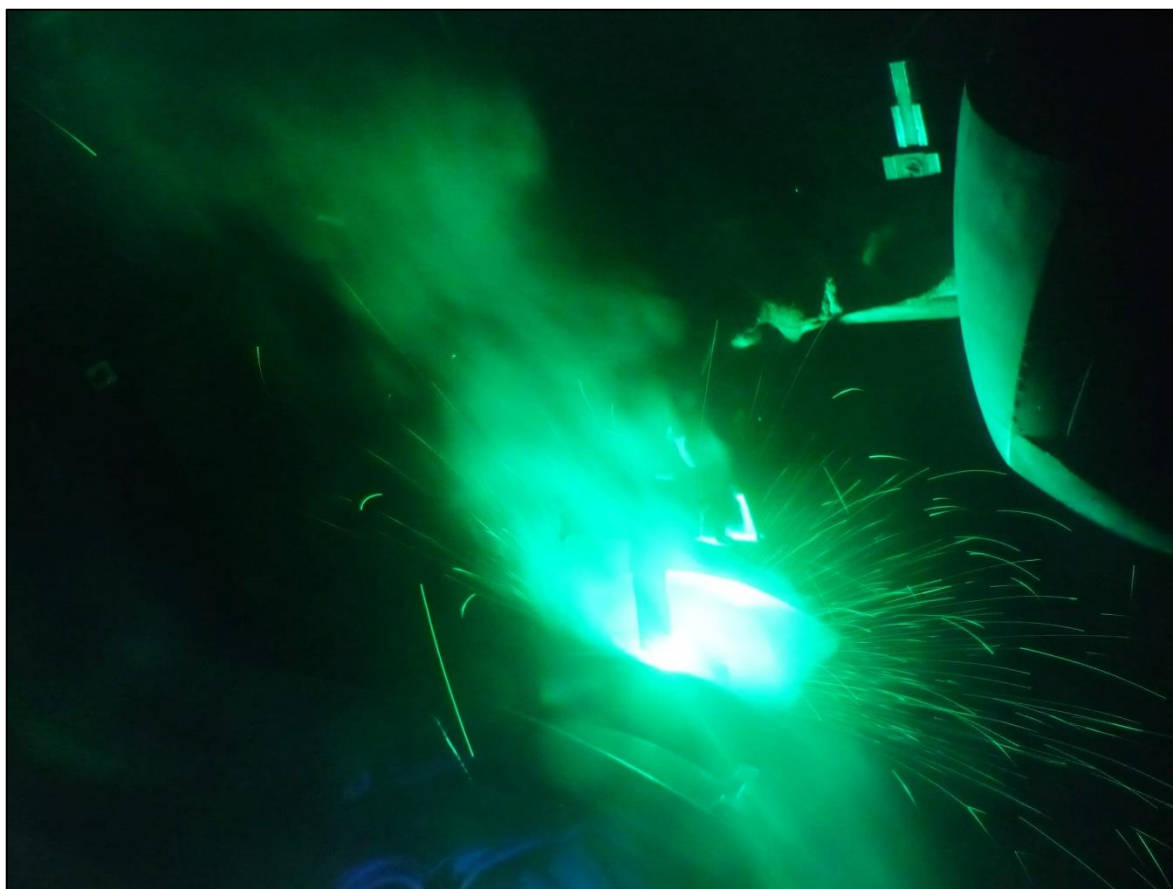
Obrázek 26: Podávací kladky



Obrázek 27: Kolo upnuté v polohovadle a hubice se špičkou nastaveny pro aplikaci úvodní svarové housenky

11.3 Aplikace svarových housenek

Ihned po dokončení přípravy svařovacího zdroje proběhla kontrola teploty přehřevu, která byla v době zahájení svařování 246 °C. Nejprve bylo spuštěno polohovadlo s upnutým kolem, nastavené na rychlost otáčení 520 mm*min⁻¹. Následovalo spuštění svařovacího zdroje a proces tím byl zahájen.



Obrázek 28: Aplikace úvodní svarové housenky

Bezprostředně po dokončení svařování první housenky byla zkontrolována interpass teplota, která měla, v tomto okamžiku, hodnotu 271 °C. V čase potřebném pro ochlazení housenky na teplotu interpass byla přenastavena pozice kontaktní špičky do polohy pro aplikaci druhé housenky. Aby nebyla překračována interpass teplota při aplikacích dalších housenek, bylo posečkáno, až poklesne na hodnotu 235 °C. Celkový čas potřebný k tomuto ochlazení svarku (kola) byl 6 minut.

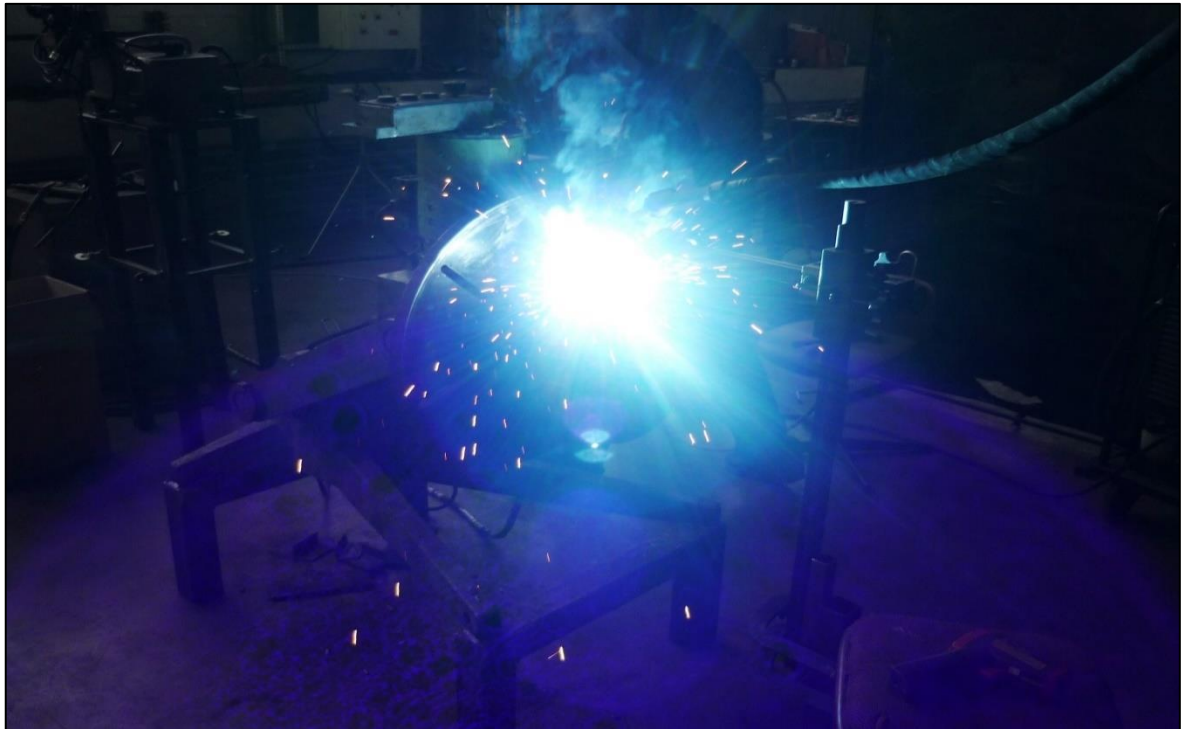


Obrázek 29: Úvodní svarová housenka

Optimalizace interpass teploty na hodnotu 235 °C splnila předpoklad a další housenky bylo možné realizovat v nepřetržitém cyklu a do tepelného režimu procesu renovace nebylo třeba zasahovat přidáváním, nebo odebráním tepla.

Následovala aplikace dalších svarových housenek, která probíhala v kontinuálním procesu. Postupně bylo zhotoveno celkem 14 svarových housenek, potřebných pro dodání dostatečného množství svarového kovu do součástky (kola).

Po dokončení svařování byl proveden izotermický zábal součástky, který prakticky spočíval v jejím uložení do termoizolační rohože Fiberfax o tloušťce 50 mm, kde byla ponechána až do jejího ochlazení na teplotu okolí.



Obrázek 30: Průběh procesu navařování

Na zbývajících dvou kolech bylo využito poznatku zvýšené teploty po aplikaci první svařové housenky. Proto se teplota předehřevu snížila z původních 250 °C na 235 °C. Tímto se dosáhlo časové úspory cca 6 minut na jednom renovovaném kole. Další operace probíhaly zcela identicky jako u první součástky (kola).



Obrázek 31: Svářečské pracoviště



Obrázek 32: Detail návaru



Obrázek 33: Součástka po rozbalení izotermického zábalu

12 OBRÁBĚNÍ PO NAVAŘOVÁNÍ

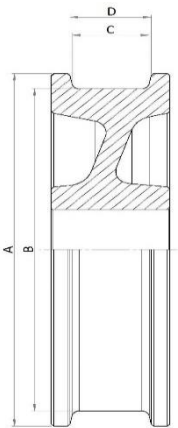
Obrábění kol po navařování spočívalo v třískovém obrábění návarů na finální rozměr. Bylo realizováno na konvenčním soustruhu SU 50. Jako řezné nástroje byly použity nože s destičkami ze slinutých karbidů. Požadavek na jakost povrchu byl Ra 6,3.



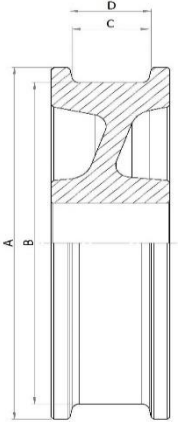
Obrázek 34: Soustruh SU 50

Po dokončení obrábění byla provedena výstupní rozměrová kontrola a závěrečná nedestruktivní kontrola NDT obroběného návaru kapilární metodou PT. Finální rozměry součástí byly zaznamenány do tabulek.

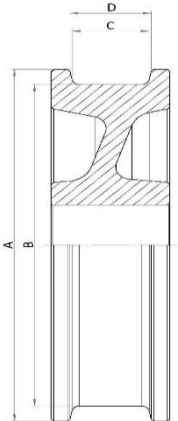
Tabulka 24: Rozměrová kontrola kola číslo 1 po renovaci

Kolo číslo 1- finální rozměry po renovaci					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před navařováním	Tloušťka návaru tvrdkovem	Rozměr kola po renovaci
	ø A	350,0	349,5	0,00	349,5
	ø B	320,0	314,9	2,55	320,0
	C	60,0	64,5	2 × 2,25	60,0
	D	65,0	71,0	2 × 3,00	65,0

Tabulka 25: Rozměrová kontrola kola číslo 2 po renovaci

Kolo číslo 2- finální rozměry po renovaci					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před navařováním	Tloušťka návaru tvrdkovem	Rozměr kola po renovaci
	ø A	350,0	350,0	0,00	350,0
	ø B	320,0	315,4	2,30	320,0
	C	60,0	64,0	2 × 2,00	60,0
	D	65,0	69,0	2 × 2,00	65,0

Tabulka 26: Rozměrová kontrola kola číslo 4 po renovaci

Kolo číslo 4- finální rozměry po renovaci					
	Rozměry jsou udány v mm	Teoretický rozměr	Rozměr před navařováním	Tloušťka návaru tvrdkovem	Rozměr kola po renovaci
	ø A	350,0	349,7	0,00	349,7
	ø B	320,0	316,0	2,00	320,0
	C	60,0	64,0	2 × 2,00	60,0
	D	65,0	71,4	2 × 3,20	65,0

Původní záměr bylo uskutečnit NDT kontrolu kapilární metodou PT před obráběním součástek na finální rozměr, aby byly odhaleny případné vady ještě před obráběním. Nakonec se přistoupilo k variantě provedení kapilární zkoušky až na samý závěr renovace a tím prověření celkové kvality provedených prací, nikoliv pouze kvality návaru.

13 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ RENOVACE

Jedním, nikoliv zanedbatelným, záměrem práce bylo provést kvalitní renovaci nejen po technické a technologické stránce, ale také po stránce ekonomické konkurenceschopnosti. Tato renovace přinesla úsporu ve výši cca 40 % oproti koupi nového kola.

Cenová kalkulace jednotlivých položek by postrádala význam, protože konečná cena se vlivem neustálého pohybu cen materiálů, energií a ceny práce může velmi často měnit.

Tabulka 27: Podklady pro ekonomické zhodnocení renovace

P.Č.	Popis položky	Množství [ks]	Čas na jednotku [minut]	Celkový čas [minut]
1	Rozměrová kontrola	4	10	40
2	Penetrační kontrola 1	4	18	72
3	Obrábění před návarem	3	30	120
4	Svařování: Čistý čas	3	29	116
5	Svařování: Prodlevy a ostatní	3	115	345
6	Obrábění návaru	3	120	360
7	Penetrační kontrola 2	3	16	48

Spotřebovaný materiál a technické plyny:

- Trubičkový drát STEIN- MEGAFIL A 740 M 3 × cca 4,2 kg
- Sada pro provádění kapilární kontroly PT 1 sada
- Plyn M 21 (82 % Ar + 18 % CO₂) 1 láhev (50 l/ 200 bar)
- Propan- butan pro přehřev 1 láhev (10 kg)

Z výše uvedených důvodů se délky operačních časů jednotlivých úkonů zaznamenaly do tabulky a spolu s výčtem spotřebovaného materiálu a technických plynů lze, po dosazení vlastních proměnných faktorů, snadno vyčíslit celkovou cenu renovace pro daný případ.

V našem případě renovace přinesla úsporu ve výši cca 40 % oproti koupi nového kola.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se ve třinácti kapitolách zabývá problematikou renovace kol jeřábových drah navařováním.

Teoretická část je zaměřena na obecný popis výroby a značení ocelí, obrábění, navařování respektive svařování ocelí a nedestruktivní zkoušení materiálů. Jmenované disciplíny jsou popisovány se záměrem získání přehledu o jednotlivých úkonech, jejichž znalost je nezbytná ke splnění konečného cíle práce, tedy renovace kol jeřábových drah navařováním. Zvláštní důraz je přitom kladen na problematiku procesu svařování.

Praktická část práce je věnována úvahám vedoucím k optimalizaci procesu svařování aplikovaného pro daný úkol, materiál a jeho rozměry. Dále pak volbě metody svařování a přídatného svařovacího materiálu pro tento druh renovací. Neopomenutelný prostor je věnován laboratornímu výzkumu, provedení důležitých kontrol a zkoušek potřebných k ověření správnosti teoretických úvah a postupů, vedoucích k úspěšnému dosažení cíle. Tato část práce je završena praktickým provedením renovace kol a zhodnocením její časové a materiálové náročnosti.

Cíl práce považuji za splněný, protože k realizaci zadaného úkolu bylo využito teoretických znalostí jako pevného základu pro vědecký experiment, jehož poznatky byly úspěšně aplikovány do praxe.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hrivňák I., *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*, Bratislava Veda, 1989
- [2] Müncner L. Iždinský O., *Deformácie a napätia pri zvaraní*, Bratislava Alfa, 1972
- [3] Pilous V., *Konstruktér a tavné svařování*, Praha SNTL, 1964
- [4] Ptáček L. a kolektiv, *NAUKA O MATERIÁLU I.*, Brno CERM, 2003
- [5] Ptáček L. a kolektiv, *NAUKA O MATERIÁLU II.*, Brno CERM, 2002
- [6] Leinveber J, Vávra P, *Strojnické tabulky*. Albra– pedagogické nakladatelství 2006
- [7] Maňas M, Staněk M, *Výrobní stroje a zařízení I*. UTB Zlín 2007
- [8] Jurko J, Lukovics I, *OBRÁBATELNOSŤ MATERIÁLOV*, UTB FT ve Zlíně, 2008
- [9] Breník P, Píč J a kolektiv, *OBRÁBĚCÍ STROJE konstrukce a výpočty*, SNTL, 1982
- [10] Buda J, Souček J, Vasilko K, *Teória obrábania*, ALFA Bratislava, 1988
- [11] Kocman K, *Technologické procesy OBRÁBĚNÍ*, CERM Brno, 2011
- [12] Kraus V, *Tepelné zpracování a slinování*, ZČU v Plzni, 2000
- [13] Jeřábek K, Vořtová V, Helebrant F, *Provoz a údržba strojů*, ČVUT v Praze, 2001
- [14] Webové stránky společnosti Královo Pole Cranes, a.s: <http://www.kpc.cz>
- [15] Webové stránky: <http://e-konstrukter.cz/>
- [16] Webové stránky: <https://csnonline.unmz.cz/default.aspx>
- [17] Webové stránky: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_ceska_republika
- [18] Webové stránky: <http://www.ewm.cz>
- [19] Webové stránky: <http://www.wirpo.cz>
- [21] Webové stránky: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2787

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

pWPS	Specifikace postupu svařování.
NDT	Nedestruktivní kontrola
VT	Vizuální kontrola.
PT	Kapilární kontrola.
RT	Kontrola prozářením.
UT	Kontrola ultrazvukem.
ZM	Základní materiál.
PM	Přídavný materiál.
TOO	Tepelně ovlivněná oblast.
SK	Svarový kov.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek	1: Elektrická oblouková pec	12
Obrázek	2: Univerzální hrotový soustruh	20
Obrázek	3: Soustružnický nůž	22
Obrázek	4: Základní plochy na obrobku	23
Obrázek	5: Vliv teploty na výslednou strukturu svarového spoje	26
Obrázek	6: Diagram Fe- Fe ₃ C	31
Obrázek	7: Obalená elektroda	35
Obrázek	8: Svařovací drát pro metodu TIG	36
Obrázek	9: Drát pro obloukové svařování navinutý na cívku	36
Obrázek	10: Svařená trubička pro výrobu trubičkového drátu	37
Obrázek	11: Řez průběhu kapilární zkoušky	44
Obrázek	12: Kola před vizuální prohlídkou	48
Obrázek	13: Pojezdová plocha a levá patice	48
Obrázek	14: Pojezdová plocha a pravá patice	48
Obrázek	15: Model kola	49
Obrázek	16: Kola po provedení kapilární zkoušky	50
Obrázek	17: Kolo č. 3 s indikovanou vadou	50
Obrázek	18: Kola č. 1,2,4 po provedení PT	50
Obrázek	19: Návary provedené na zkušebních vzorcích	55
Obrázek	20: Makrostruktura	57
Obrázek	21: Mikrostruktura, zvětšeno 500×	58
Obrázek	22: Předehřev pomocí propan- butanového hořáku	63
Obrázek	23: Připravený svařovací zdroj	64
Obrázek	24: Display s ukazatelem parametrů	64
Obrázek	25: Drát ve svařovacím zdroji	64
Obrázek	26: Podávací kladky	65
Obrázek	27: Kolo upnuté v polohovadle	62
Obrázek	28: Aplikace úvodní svarové housenky	66
Obrázek	29: Úvodní svarová housenka	67
Obrázek	30: Průběh procesu svařování	68
Obrázek	31: Svářečské pracoviště	68
Obrázek	32: Detail návaru	69
Obrázek	33: Součástka po rozbalení izotermického zábalu	69
Obrázek	34: Soustruh SU 50	70

SEZNAM TABULEK

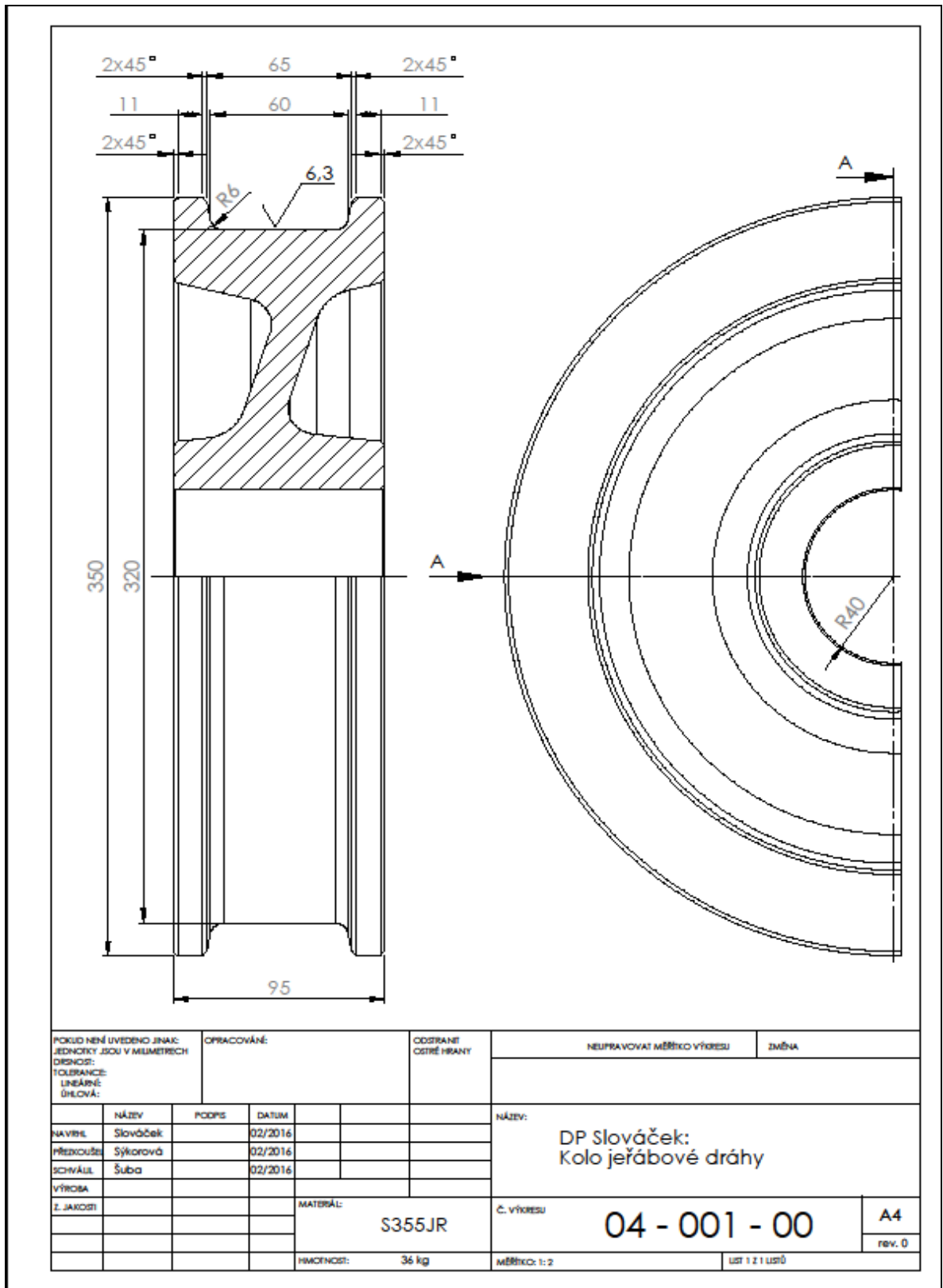
Tabulka	1: Mezní obsahy legovacích prvků pro rozdělení na leg. a neleg.	13
Tabulka	2: Označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 1	15
Tabulka	3: Příklady označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 1	15
Tabulka	4: Označování ocelí dle chem. složení pro neleg. oceli	16
Tabulka	5: Označování ocelí dle chem. složení pro leg. do 5% legur	16
Tabulka	6: Označování ocelí dle chem. složení pro leg. nad 5% legur	17
Tabulka	7: Příklady označování ocelí dle chemického složení	17
Tabulka	8: Číselné označování ocelí dle ČSN EN 10 027- 2	18
Tabulka	9: Rozsahy řezných rychlostí při soustružení	24
Tabulka	10: Metody tavného svařování	29
Tabulka	11: Metody tlakového svařování	30
Tabulka	12: Postup výroby svařovacího trubičkového drátu	38
Tabulka	13: Výsledky vstupní rozměrové kontroly	49
Tabulka	14: Porovnání výkonových hodnot a měrného tepla drátů	51
Tabulka	15: Vlastnosti ZM, ze kterého jsou vyrobena kola	52
Tabulka	16: Inspekční certifikát 3.1 přídavného materiálu	53
Tabulka	17: Povrchová tvrdost vzorku 1	56
Tabulka	18: Povrchová tvrdost vzorku 2	56
Tabulka	19: Povrchová tvrdost vzorku 3	56
Tabulka	20: Průběh vnitřní tvrdosti ve vzorku	60
Tabulka	21: Míra obrobení kola 1	61
Tabulka	22: Míra obrobení kola 2	61
Tabulka	23: Míra obrobení kola 4	62
Tabulka	24: Rozměrová kontrola kola číslo 1 po renovaci	70
Tabulka	25: Rozměrová kontrola kola číslo 2 po renovaci	71
Tabulka	26: Rozměrová kontrola kola číslo 4 po renovaci	71
Tabulka	27: Podklady pro ekonomické zhodnocení renovace	72

SEZNAM PŘÍLOH

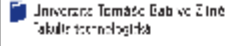

Příloha PI: Výkres kola jeřábové dráhy

Příloha PII: Specifikace postupu svařování- vzor

PŘÍLOHA P I: VÝKRES KOLA JEŘÁBOVÉ DRÁHY



PŘÍLOHA P II: pWPS- VZOR

		STANOVENÝ POSTUP SVAŘOVÁNÍ – DLE NORMY EN ISO 15609-1 WELDING PROCEDURE SPECIFICATION – ACCORDING TO THE STANDARD EN ISO 15609-1 SCHWEISSANWEISUNG GEMÄSS STANDARD EN ISO 15609-1							
Výrobce: Manufacturer: Hersteller:	UTB Zlín, Fakulta technologická		Místo: Place: Ort:	Dřina					
Číslo pWPS: pWPS No.: pWPS Nr.:	pWPS-2016-135-001		Objekt (název): Object: Bauteil:	-					
Číslo WPQR: WPQR No.: WPQR Nr.:	-		Číslo výkresu: Drawing No.: Zeichnung Nr.:	-					
Svářeč (EN 287-1): Welder (EN 287-1): Schweißer (EN 287-1):	Základní list svářečů Acc. to welder list Gemäss Schweißerliste		Způsob svařování: Method of welding: Schweissmethode:	135 (EN ISO 4063)					
Typ spoje: Joint type: Nahtart:	BW		Poloha svařování: Welding position: Schweisposition:	PA (EN ISO 6947)					
Základní materiál 1: Base material 1: Grundmaterial 1:	1.1 (ISO/TR 15608) S355J2		Základní materiál 2: Base material 2: Grundmaterial 2:	-					
Tloušťka t ₁ (mm): Thickness t ₁ (mm): Dicke t ₁ (mm):	>25,0 mm		Tloušťka t ₂ (mm): Thickness t ₂ (mm): Dicke t ₂ (mm):	-					
Vnější průměr D ₁ (mm): Outer diameter D ₁ (mm): Durchmesser D ₁ (mm):	-		Vnější průměr D ₂ (mm): Outer diameter D ₂ (mm): Durchmesser D ₂ (mm):	-					
Přídavný materiál 1: Filler material 1: Zusatzschweismaterial 1:	Stein-Megafil A 740 M EN 700: T Fe2		Přídavný materiál 2: Filler material 2: Zusatzschweismaterial 2:	-					
Sušení: Drying: Trocknen:	-		Sušení: Drying: Trocknen:	-					
Ochranný plyn / Tavnítko: Shielding gas of welded joint / Flux: Gas/ Flussmittel:	M 21 (82% Ar, 18% CO ₂)		Ochrana kofene: Shield.- Backing protection: Sauerstoffgeschützt- Wurzel:	-					
Průtok: Flow rate: Durchfluss:	12 – 16 V min.		Průtok: Flow rate: Durchfluss:	-					
Wolframová elekt. / Tungsten wire: Wolfram Draht:	-		Puls svařování: Pulse welding: Puls Schweißen:	-					
Výlet drátu / elektrody: Wire extension / electrode: Drahtdurchmesser:	18- 20		Způsob přípravy a čištění: Surface preparation: Vorbereitung Oberfläche:	Třísčkové obrobění, broušení, odmaštění Chap machining, grinding, degrease Maschinelle Bearbeitungs, Schleifen, Entfetten					
Stehování: Tagging: Hofen:	-		Rozkvy: Oscillation: Oszillieren:	-					
Příprava sv. plochy / Joint preparation / Nahtvorbereitung (EN ISO 9692)			Vytvoření svaru / Weld realization / Schweissnahtlagen, Durchführung						
			<p>Naváření v polohovadle. Návar se naváří do vyznačené oblasti. Minimální tloušťka návaru 2,5 mm</p>						
Vrstva Layer Schicht	Počet Pass No. Lagen	Proces Process Prozess	Přídavný mat./ Ø (mm) Filler material Zusatzschweismaterial	I (A) Current Strom	U (V) Voltage Spannung	Druh proudu/Polarity Current/Polarity Strompolung	Posuv (mm/s) Shift/ Vorschub	Rychlost podávání drátu (m/min)* Feeding of wire Zuführung Draht	Q* (kJ/mm)
1-a*	1-a*	135	Stein-Megafil A 740 M/ 1.2	240	26	DC/ +	8,67	6,6	

Teplotní průběh svařování / Temperature course of welding / Schweisstemperatur			Teplotní zpracování / PWHT / Wärmehandlung:		
Předehřev: Preheat temp.: Vorglätten:	Mezihouseňková teplota Interpass temp.: Zwischenlagentemperatur:	Dohřev: Post heat temp. Aufwärmen:	Ohřev: Heating: Erwärmen:	Výdrž: Soak: Haltezeit:	Ochlazení: Cooling: Abkühlen:
250 °C	200-250°C	Izotherm. sňat	-	-	-
Rychlost ohřevu/ heating rate/ Erwärmungsrate:			max. 150 °C/ 60 min.		
Rychlost chlazení/ cooling rate/ Kühlrate:			max. 150 °C/ 60 min.		

	Vypracoval / Prepared by / Erstellt von	Výrobce / Manufacturer / Hersteller	Schválil / Approved / Genehmigt
Jméno/Name/Name	Rostislav Slovák, TWT		
Datum/Date/Datum	18.02.2016	18.02.2016	18.02.2016
Podpis Signature Unterschrift			

* Když je třeba / If needed / Falls erforderlich