



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# POUŽITÍ OCHRANNÉ PASTY BĚHEM CEMENTACE ČLÁNKŮ ŘETĚZŮ NA JEJICH VLASTNOSTÍ PO SVAŘOVÁNÍ

THE USING PROTECTION PASTE DURING CARBURIZATION OF CHAIN SEGMENTS ON THEIR  
PROPERTIES AFTER WELDING

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kovář

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Slováček, Ph.D.

BRNO 2024

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Tomáš Kovář**  
Studijní program: Strojírenská technologie  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Marek Slováček, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Použití ochranné pasty během cementace článků řetězů na jejich vlastností po svařování**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Stávající díly řetězů harvestorů jsou vyráběny z Mn–B ocelí, které je nutno během cementace chránit Cu pastou v oblasti následného svařování a tím zabránit lokálnímu zvýšení uhlíku ve struktuře, který snižuje svařitelnost oceli a zvyšuje možnost vznik studených vad. Nutnost chránit či nechránit uvedenou pastou je i cílem a zadáním od spolupracující firmy. Hlavní motivací od spolupracující firmy je možnost vynechání přípravy ochrany před cementací pastou, což by zrychlilo, a hlavně zjednodušilo celý proces výroby řetězů harvestorů. Tzn. bude proveden experiment nacementování celého příčnicku a části řetězů bez použití ochranné pasty, a svaření komponent. Následně bude provedena lokální studie vlivu cementování v oblasti svaru na materiálovou strukturu a tvrdost, tzn. nepřímo i materiálové vlastnosti. Výstupem práce je studie proveditelnosti možnosti vyloučení ochrany pastou před operací svařování svařováním.

### **Cíle diplomové práce:**

Rozbor stávajícího stavu.  
Popis procesu cementace.  
Popis materiálů určených k cementaci.  
Popis technologie výroby dílu.  
Studie proveditelnosti výroby s vyloučením ochrany pastou.  
Provést vyhodnocení na dodaných vzorcích.  
Zohlednit závěry do upraveného postupu výroby.

### **Seznam doporučené literatury:**

AMBROŽ, Oldřich; Bohumil KANDUS a KUBÍČEK Jaroslav. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír a HAJDÍK, Jiří. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy mezinárodních svářečských inženýrů, technologů a pro výuku svařování na vysokých školách. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.

MUSIL, Miloslav; MORAVEC, Jaromír et al. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017.

HRIVŇÁK, Ivan. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava: VEDA, 1989. ISBN 80-224-0016-5.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na posouzení, zda je možné odstranit pastu Condursal z procesu výroby, za účelem snížení nákladů a úspory času. Pro studii byla vybrána oblast svaru příčník – céčko, kde dochází k cementaci céčka a jeho následnému přivaření k příčníku. Z této oblasti došlo k vyrobení vzorků firmou pewag s. r. o., které se podrobily následným zkouškám a měřením. Došlo k vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury, dále k provedení zkoušky tahem, houževnatosti, tvrdosti uvnitř i na povrchu vzorku a k měření zbytkového austenitu. Po vyhodnocení zkoušek a měření, bylo nutné provést ještě zkoušku měření obsahu uhlíku v povrchové vrstvě, kvůli nevhodnému výsledku tvrdosti. Zkouška tvrdosti a měření obsahu uhlíku potvrdily špatně přichystané vzorky firmou, protože tvrdost v povrchové vrstvě nedosahovala požadované hodnoty stanovené firmou a stejně tak i obsah uhlíku byl menší, než je požadováno. Následně bylo vyhodnoceno, že pouze pro případ dodaných vzorků lze pastu Condursal vyloučit. Za jiných okolností nelze říci, zda je možné pastu Condursal vyloučit či nikoli.

### Klíčová slova

céčko, cementace, pasta Condursal, svařování MAG, tvrdost

## ABSTRACT

This thesis is focused on assessing whether it is possible to remove Condursal paste from the manufacturing process in order to reduce costs and save time. For the study, the area of the crossbar – C-shape weld was selected, where the C-shape is cemented and then welded to the crossbar. From this area, samples were produced by pewag s.r.o., which were subjected to subsequent tests and measurements. There was an evaluation of the macrostructure and microstructure as well as a tensile test, toughness, hardness inside and on the surface of the sample and measurement of residual austenite. After evaluating the tests and measurements, it was necessary to carry out another test measuring the carbon quantity in the surface layer due to an inappropriate hardness result. The hardness test and measurement of the carbon quantity confirmed the poorly prepared samples by the company, because the hardness in the surface layer did not reach the required value set by the company and the carbon quantity was also less than required. Subsequently, it was evaluated that Condursal paste can be excluded only in the case of supplied samples. In other circumstances, it cannot be said whether it is possible to exclude Condursal paste or not.

### Keywords

C-shape, cementation, Condursal paste, MAG welding, hardness

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOVÁŘ, Tomáš. Použití ochranné pasty během cementace článků řetězů na jejich vlastnosti po svařování [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/161008>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marek Slováček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Použití ochranné pasty během cementace článků řetězů na jejich vlastností po svařování vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....  
místo, datum

.....  
jméno, příjmení

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Markovi Slováčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Firmě pewag s. r. o. a panu Ing. Karlovi Zbořilovi za poskytnutá data a informace pro mou diplomovou práci. Také bych chtěl poděkovat rodině, přítelkyni a přátelům za podporu během studia.

---

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
2 TEORIE TECHNOLOGIE VÝROBY KOLOPÁSU .....	20
2.1 Cementace .....	20
2.1.1 Cementace v prášku.....	21
2.1.2 Cementace v kapalině .....	23
2.1.3 Cementace v plynu .....	24
2.1.4 Cementace v plazmě.....	26
2.1.5 Cementace ve vakuu .....	26
2.1.6 Tepelné zpracování po cementaci.....	27
2.1.7 Oceli k cementaci .....	29
2.1.8 Pasta Condursal 0118 .....	31
2.2 Svařování metodou MAG .....	32
2.2.1 Zařízení a vybavení pro metodu MAG.....	33
2.2.2 Způsoby přenosu kovu.....	35
2.2.3 Ochranné plyny.....	38
2.2.4 Svařovací parametry .....	40
2.2.5 Přídavné materiály .....	40
2.2.6 Svařitelnost oceli .....	41
2.2.7 Vady ve svarech.....	45
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	48
3.1 Příprava vzorků .....	51
3.2 Vyhodnocení makrostruktury .....	53
3.3 Vyhodnocení mikrostruktury .....	54
3.4 Měření tvrdosti .....	58
3.5 Měření zbytkového austenitu .....	64
3.6 Zkouška vrubové houževnatosti .....	66
3.7 Zkouška tahem .....	67
3.8 Měření množství uhlíku.....	68
ZÁVĚR.....	71

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

---



## ÚVOD

Pro potřebu lidstva neustále stavět a budovat je důležité mít základní stavební materiály. Jedním z nich je dřevo, jehož těžbou se zabývá lesnický průmysl. Dřevo kromě stavebního materiálu se používá v mnoha dalších odvětvích, ať už pro výrobu nábytku, hudebních nástrojů, v papírenství, chemickém a dopravním průmyslu anebo jako tuhé palivo. Díky trendu snižování nákladů, zvýšení produkce a zvýšení bezpečnosti bylo nutné těžbu modernizovat a automatizovat. Pro tyto účely byl vyvinut stroj zvaný harvester, viz obr. 1. [1]

Jedná se o víceoperační stroj, který dokáže strom odvětvit, pokácet, nařezat na potřebné délky a taktéž ho uložit na skládku. Harvester se vyrábí se čtyřmi, šesti nebo osmi koly. Šestikolový harvester má jednu nápravu tuhou a další dvě v tandemu. Pojem tandemová náprava představuje dvě kola na každé straně, která jsou poháněna centrální hřídelí přes převodovku. Osmikolové harvestory mají zpravidla dvě tandemové nápravy. Harvester pracuje jak na rovinném terénu, tak i ve strmých svazích, a to nejen od jara do podzimu ale také v zimě. Pro jízdu v těchto terénech využívá speciální lesnické kolopásky a řetězy. [2, 3]

Řetězy se nasazují na tuhou nápravu, zatímco kolopásky se nasazují na tandemovou nápravu. Díky těmto pomůckám může harvester překonávat kameny, bahno, kořeny a pařezy stromů, sníh, led a další lesní zeminu. Důležitým aspektem je také bezpečnost při těžbě, jak obsluhy, tak i samotného stroje, proto tahle speciální „obuv“ na pneumatikách napomáhá a zabraňuje sklouznutí nebo dokonce i následnému převrácení stroje. Navíc kolopásky i řetězy slouží k ochraně samotné pneumatiky před opotřebením nebo poškozením. Aby byly dostatečně odolné musí mít určité mechanické vlastnosti. Mezi ně patří tvrdost, pevnost, houževnatost. Kolopásky a řetězy se pro své výhody řadí mezi neodmyslitelnou pomůcku harvesterů při těžbě dřeva. [2, 3]



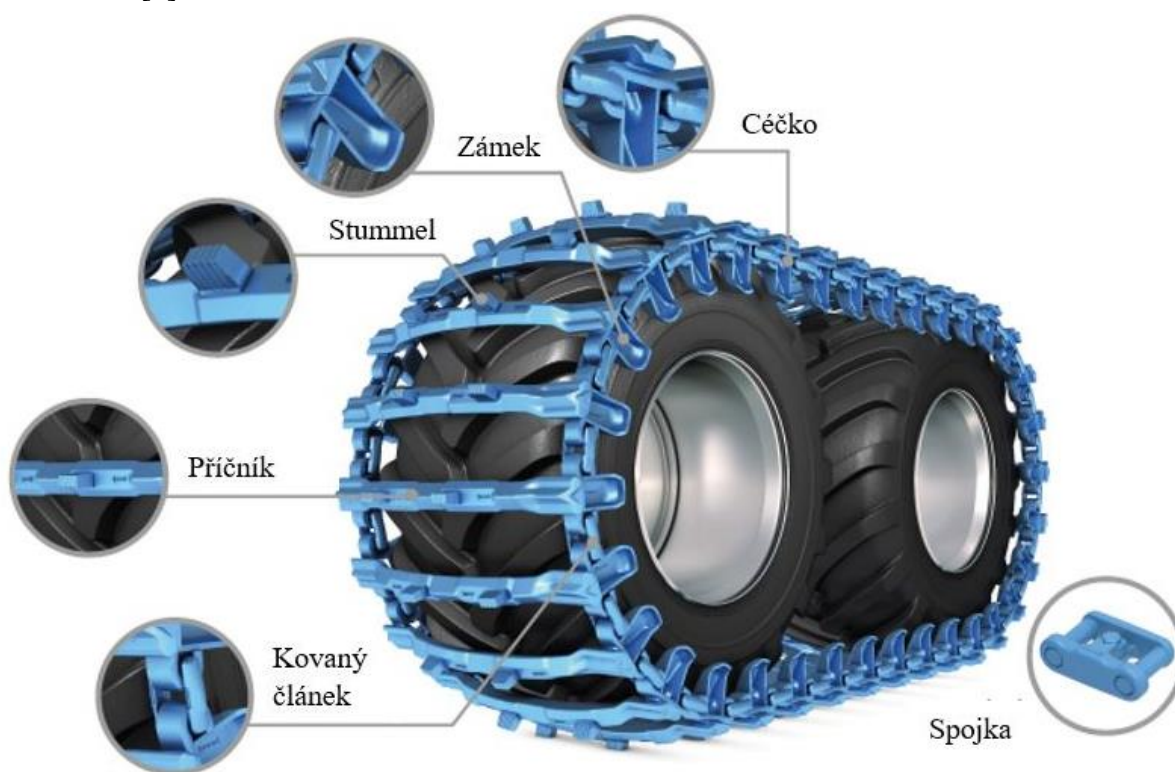
Obr. 1 Harvester s kolopásky [4].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešení diplomové práce je ve spolupráci s firmou pewag s. r. o., která se zabývá výrobou a vývojem speciálních kolopásů. Hlavním kritériem pro výběr kolopásu je cíl použití, a to typ terénu. Do bahnitého terénu je vhodné použít širší příčníky, na příkré a kamenité srázy jsou vhodné užší příčníky. Je možné mít kolopás jak z užších, tak i z širších příčníků, ty lze využít při proměnlivých podmínkách. Další významné výrobky firmy mimo kolopásky jsou sněhové, dopravníkové, břemenové, ochranné a technické řetězy, vázací a kotevní prostředky. Firma pewag na trhu působí již od roku 1479 a jejich prioritou je vyrábět kvalitní a cenově dostupné výrobky. [3]

Při výrobě kolopásu vyvstávají problémy ve fázi výroby céčka, které se cementuje. Před cementací se místa, ve kterých se bude následně svařovat natírají ochrannou pastou Condursal. Z důvodu finanční a časové zátěže výroby kolopásu chce firma natírání céčka ochrannou pastou zrušit a místa pro svary nechat nacementovat jako celé céčko. Zda je odstranění této operace možné posoudí tato diplomová práce.

Kolopás se nachází na kolech harvestoru a rozděluje se na pět částí. Jedná se o příčník, céčko, stummel, zámek, kovaný článek a spojku, které lze vidět na obr. 2. Jednotlivé součásti se vyrobí zvlášť a následně se svaří dohromady. Kovaný článek, který je volně nasazen na céčku a umožňuje pohyb a otáčení řetězu se nesvařuje. Spojka spojuje oba konce řetězu k sobě, proto se také nesvařuje. V první fázi dojde k vyrobení příčníkové konstrukce. Ta se skládá z příčníku, céčka a stummelu. Následně se příčníkové konstrukce spojí kovanými články a každé céčko se zavaří zámek, aby kovaný článek nevypadl. Z této kombinace vznikají jednotlivé části kolopásu často o čtyřech příčníkových konstrukcích. Části kolopásu se pomocí spojek vzájemně spojují s dalšími, a tak vzniká celistvý kolopás potřebné délky na obepnutí dvoj nebo jedno kola. [3]



Obr. 2 Popis kolopásu [3].



Z důvodu požadavku na diplomovou práci není nutné se zabírat výrobou kovaného článku, zámku a spojky. Proto bude technologický postup výroby zaměřen na příčník, céčko a stummel, tj. části ze kterých se vytvoří příčníková konstrukce. Detailní popis výroby jednotlivých částí kolopásu je popsán níže: [5]

- Příčník – je hlavní částí kolopásu a je vyroben z borové oceli 27MnCrB5-2. Výroba příčníku začíná na pásové pile nařezáním polotovaru ve formě tyčí o čtvercovém průřezu s rozměry 50 x 50 mm v délce 6 m, na délku 1044 mm. Následně je polotovar přehřán v indukčních pecích na kovací teplotu přibližně 1100 °C. Pomocí manipulačního robota je polotovar přesunut do zápusky do kovacího lisu od firmy DIFFENBACHER, viz obr. 3 a kován na požadovaný tvar.



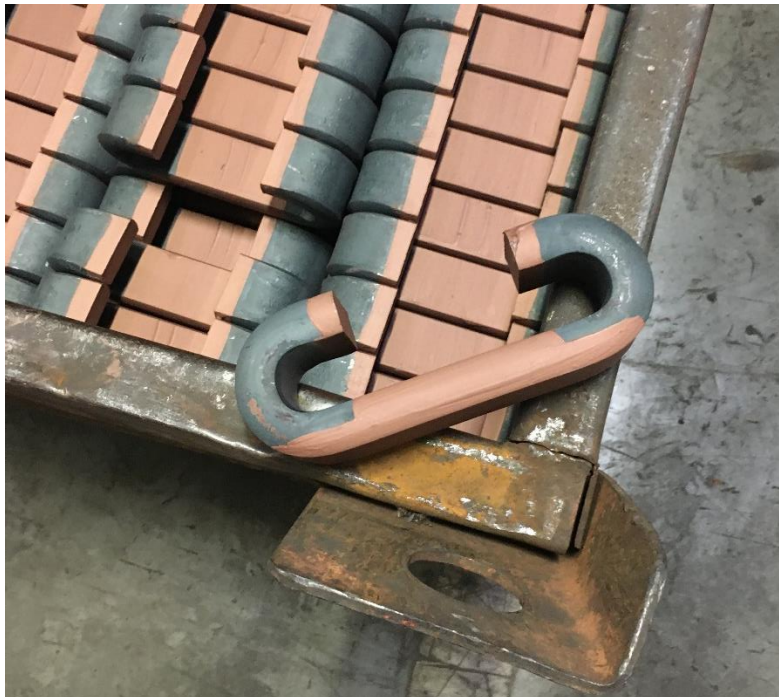
Obr. 3 Kovací lis.

Po vykování se příčník o teplotě asi 870 °C přemístí robotem do přípravku, který ponoří výkovek do kalící lázně a dochází k jeho martenzitickému zakalení, viz obr. 4. Lázeň je složena z vody a polymerového média SERVISCOL. Při kalení dochází k promíchávání, aby nedošlo na výkovku k bublinovému polštáři. Po zakalení robot přemístí příčník na pás, který vjíždí do komory, kde dochází k abrazivnímu odstranění okují pomocí granulátu s velikostí zrn 710 až 850 µm. Po otryskání je příčník připraven ke svařování.



Obr. 4 Kalící lázeň s robotem.

- Céčko – se vyrábí z oceli 30MnB5, který je ve formě pásovinu o tloušťce 18 mm v délce 6 m. Pásovou pilou se materiál dělí na délku 293 mm. Jednotlivé pásovinu se v budoucím místě ohybu předehřívají indukčním ohřevem kvůli lepší tvárnosti. Poté se přemístí do ohýbačky, kde se v předehřátém místě ohnou do požadovaného tvaru. Ohnutý polotovár se následně ručně pomocí štětky natírá pastou Condursal (obr. 5), jedná se o měděnou pastu, která chrání místa budoucích svarů před nacementováním.



Obr. 5 Céčko natřené pastou Condursal.

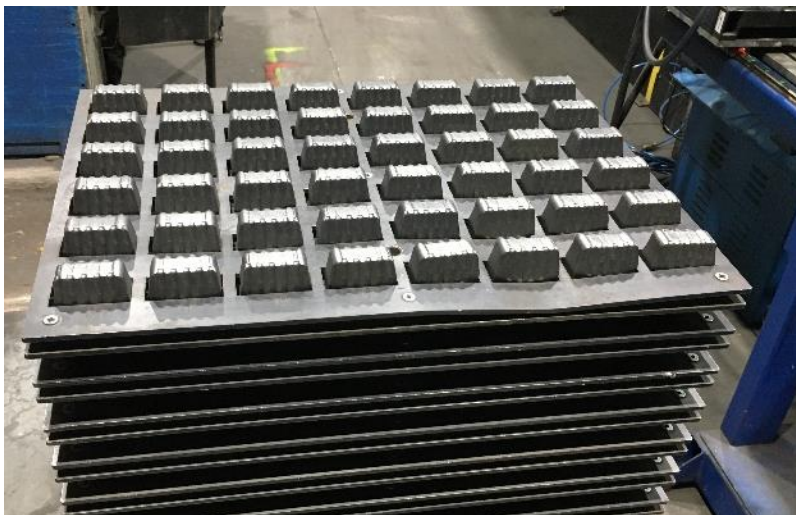


Následně se céčka vloží do cementační pece (obr. 6), kde dojde k nauhličení povrchu do hloubky 0,8 až 1 mm a na obsah uhlíku ve vrstvě 0,7 hm.%, kde potenciál nauhličení má hodnotu 0,95 až 1,05 hm.% C. Po uplynutí doby nauhličení dochází z této teploty k zakalení součásti ponořením do kalící lázně obsahující roztok vody s médiem SERVISCOL. Zakalenou součást je potřeba popustit kvůli snížení křehkosti ale také se získá požadovaná hodnota tvrdosti součásti na povrchu. Po tepelném zpracování je nutné céčka otryskat a expedovat díl ke svařování.



Obr. 6 Cementační pec.

- Stummel – je nakupován od externí firmy ve formě výkovku. Pewag provádí pouze nátěr měděnou pastou do výšky přibližně 10 mm a následně za obdobných podmínek jako u céček dochází ve stejných zařízeních k chemicko – tepelnému zpracování. Nauhličená vrstva se zakalí z cementační teploty a popustí za účelem snížení křehkosti a dosažení požadované tvrdosti. Výsledkem chemicko – tepelného zpracování je získaná cementace do hloubky 0,5 - 0,7 mm. Hotové stummely připravené ke svařování lze vidět na obr. 7.



Obr. 7 Stummely připravené ke svařování.

- Svařování – probíhá robotizovanou metodou MAG ve svařovací buňce. Pro svařování stummelu a céčka na příčník se používají typově stejné svařovací roboty od firmy ABB a stejné svařovací zdroje od firmy Fronius TPS 400i. Přídavný materiál je taktéž pro obě části stejný a jedná se o drát s označením OK Autroid 12.51 o průměru 1,2 mm od firmy

ESAB. Po vyrobení stummelů, céček a příčnicku dochází ke svařování dle svařovacího postupu. V první fázi se svařují stummely na příčnick a v další fázi se na příčnick přivaří céčka.

Navarování stummelů začíná předehřevem míst budoucích svarů na příčnicku na teplotu 190 až 200 °C pomocí indukčního předehřevu, viz obr. 8. Následně pomocí robota se usadí příčnick do přípravku, přiloží se stummely a provede se svařování koutovými svary. Parametry svařování jsou proud o hodnotě 265 A, napětí s hodnotou 30,7 V a posuv drátu je 10 m.min<sup>-1</sup>. Ochranný plyn je Corgon, což je směs Ar + 18 % CO<sub>2</sub>.



Obr. 8 Přípravek pro svařování stummelů.

V další fázi svařování robot umístí příčnick již s navařenými stummely do dalšího přípravku (obr. 9). Zde dojde k předehřevu míst pro navaření céček pomocí indukčního předehřevu na teplotu 210 až 230 °C. Po předehřátí robot přemístí příčnick do přípravku určeného ke svařování, kde jsou již přichystaná upevněná céčka. Kontrola pozic céček probíhá laserem. Celý přípravek se poté přesune do svařovací komory a zároveň z komory vyjede přípravek již s hotovým kusem, který manipulátor založí na paletu. V komoře pracují dva svařovací roboti, každý na jedné straně příčnicku. Parametry svařování jsou stejné jako u svařování stummelu a to proud 265 A, napětí 30,7 V a posuv drátu je 10 m.min<sup>-1</sup>. Ochranný plyn je použit Corgon, stejný jako v předchozí fázi svařování.



Obr. 9 Přípravek pro předehřev céček.

Po ukončení fáze svařování se celá konstrukce přemístí do popouštěcí pece, viz obr. 10. V peci se příčnicková konstrukce popouští po dobu 4 hodin při teplotě 350°C, po uplynutí doby dochází k pomalému ochlazení. Popouštění se provádí za účelem snížení vnitřního napětí a křehkosti.



Obr. 10 Popouštěcí pec.

- **Kontrola** – je konečnou fází výroby konstrukce příčnicku s céčky a stummely. Probíhá vizuálně, ale taktéž lze dle potřeby provést destruktivní zkoušky. Vizuálně lze například zjistit, zda je svarová housenka na správném místě, zda nedošlo k trhlinám nebo velké pórovitosti. Pomocí destruktivních zkoušek lze zjistit například hodnotu tvrdosti, hloubku cementované vrstvy, provaření kořene svaru, trhliny za horka atd. Hodnoty ze zkoušek lze porovnat s tabulkovými hodnotami stanovenými firmou. Například tvrdost nacementovaného céčka na povrchu má hodnotu stanovenou firmou  $740 \pm 40$  HV a obsah uhlíku v cementované vrstvě je 0,7 hm.%. Po úspěšné kontrole lze příčnickovou konstrukci (obr. 11) expedovat na halu, kde dochází ke spojení několika příčnickových konstrukcí do sebe. Mezi příčnickové konstrukce se vkládají do céček kované články. Následně jsou céčka i s navlečenými články zavařeny zámkem, aby nedošlo k vypadnutí článku. Takto hotová část kolopásu se nastříká ochranným nástříkem a může se expedovat k zákazníkovi, viz obr. 12. Zákazník si tyto části kolopásu může spojit do sebe pomocí spojek a vytvořit celý kolopás potřebné délky na obepnutí kol harvestoru.



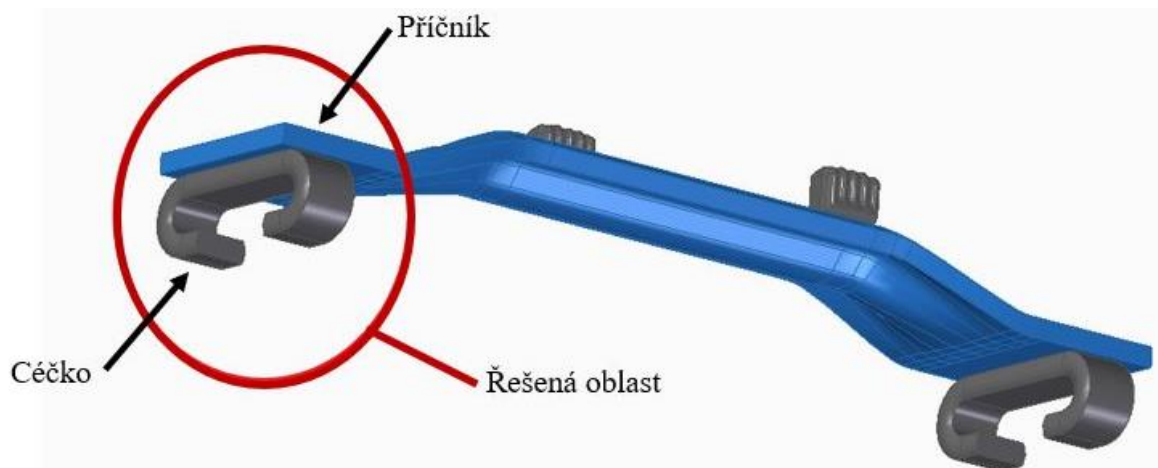


Obr. 11 Příčnicková konstrukce.



Obr. 12 Část kolopásu.

Pro optimalizaci procesu výroby kolopásu natírání měděnou pastou Condursal je nutné vyrobit vzorky z problémové oblasti. Po vyrobení vzorků je důležité provést potřebné zkoušky a vyhodnotit je. Po dohodě s firmou pro řešení problém poslouží oblast svaru příčnick – céčko, viz obr. 13. [5]



Obr. 13 Řešená oblast [5].

Příčnick má délku od 760 do 950 mm, záleží na druhu příčnicku, výjimečně může mít příčnick i délku 985 mm, šířka příčnicku se také liší od druhu a pohybuje se od 80 do 150 mm. Materiál je bórová ocel 27MnCrB5-2 s chemickým složením v tab. 1. Podle obsahu uhlíku se jedná o podeutektoidní ocel, která je podmíněně svařitelná, proto při svařování je vhodné použít předehřev. Mangan v oceli příznivě působí na pevnost a tvrdost za současného zachování plastických vlastností a je rozpuštěn ve feritu. Chrom zvyšuje prokalitelnost a způsobuje odolnost proti popouštění díky zvyšování teploty  $A_{c1}$  a při ochlazování z vyšších teplot může dojít k popouštěcí křehkosti. Bór i v tak malém obsahu významně zlepšuje prokalitelnost oceli díky prodloužení začátku austenitizace. Bórová ocel je určena k zušlechťení a doporučené hodnoty pro kalení a popouštění jsou dle atestu v tab. 2. Nejvyšší hodnota tvrdosti dosažená při Jominyho zkoušce je 46 až 53 HRC ve vzdálenosti 1,5 mm od kaleného čela. Obr. 14 zobrazuje ARA diagram této oceli, kde lze dosáhnout martenzitické struktury s tvrdostí až 532 HV, při ochlazování z teploty nad  $A_{c3}$  za dobu nižších desítek vteřin. [3, 5]

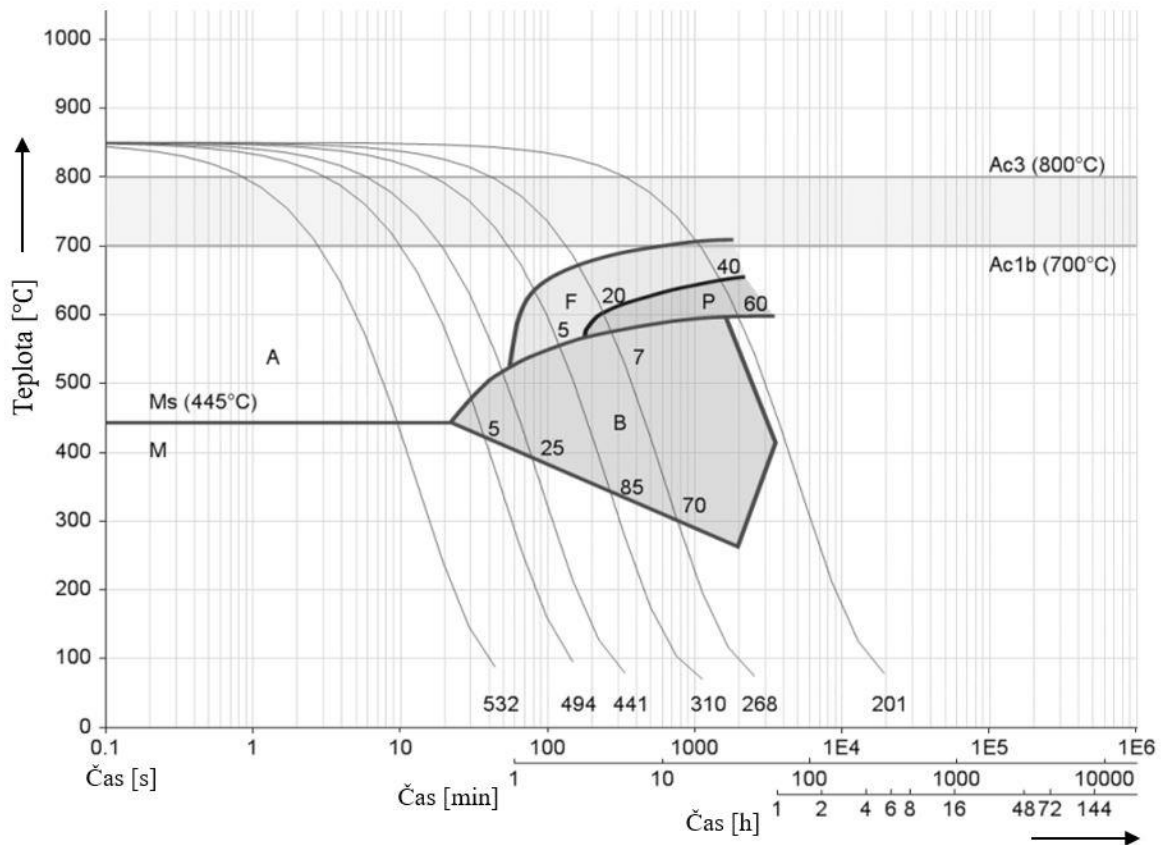


Tab. 1 Chemické složení oceli 27MnCrB5-2 [5]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Obsah v hm. %	0,28	0,25	1,23	0,013	0,009	0,47	0,08
Dovolený obsah v hm.%	0,24-0,3	<0,4	1,1-1,4	<0,025	<0,035	0,3-0,6	-
Prvek	Mo	V	Cu	Al	B	Ti	-
Obsah v hm. %	0,02	0,01	0,15	0,022	0,0045	0,03	-
Dovolený obsah v hm.%	-	-	-	-	0,0008-0,005	-	-

Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 27MnCrB5-2 [5]

Tepelné zpracování	Médium	Teploty
Kalení	Voda/olej	865–875 °C
Popouštění	Pec/Vzduch	400–600 °C



Obr. 14 ARA diagram oceli 27MnCrB5-2 [6].

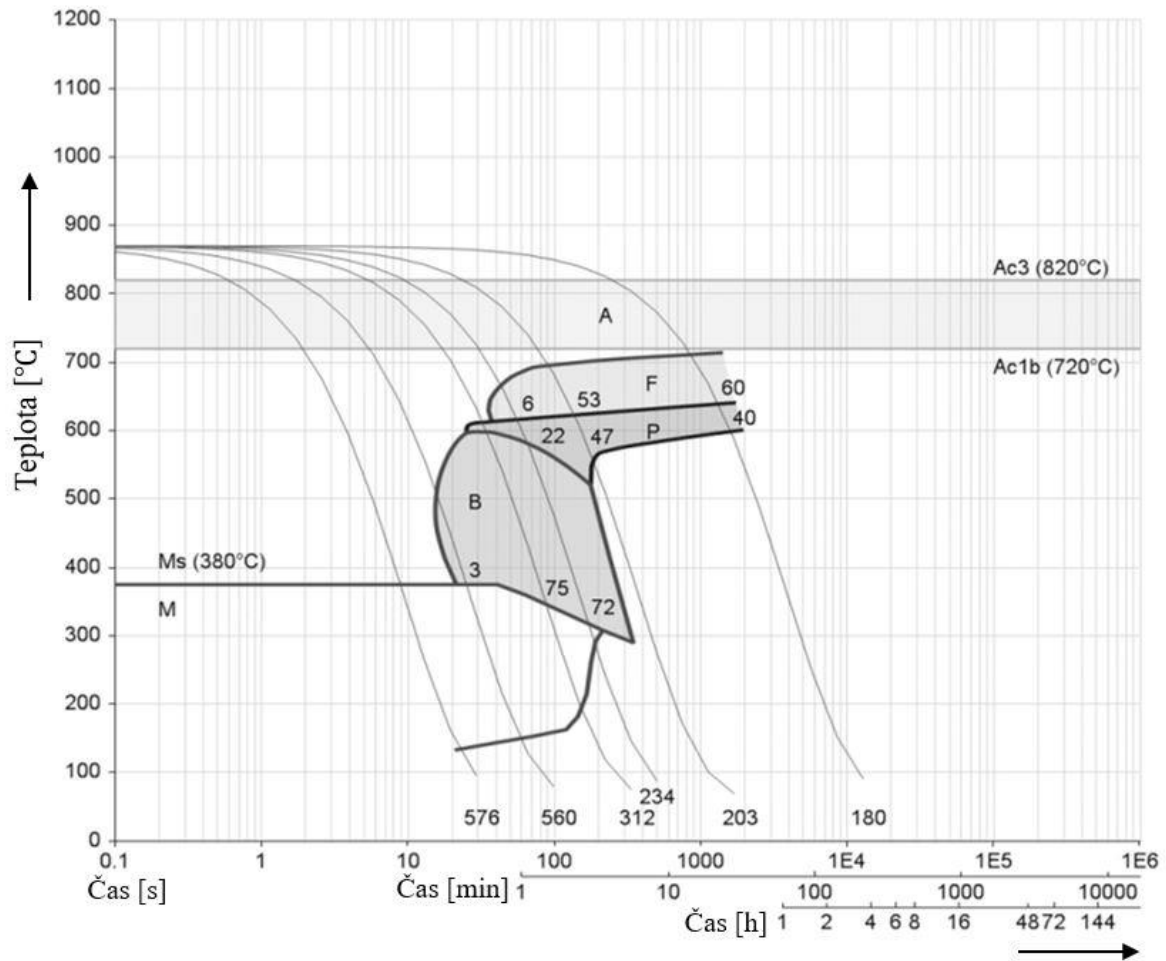
Céčko má na délku 190 mm, šířku 50 mm a výšku 70 mm s tloušťkou 18 mm. Materiál je bórová ocel 30MnB5, která má chemické složení v tab. 3. Obsahy prvků jsou podobné jako u předchozí oceli 27MnCrB5-2 až na vyšší množství uhlíku, přibližně dvakrát nižší obsah chromu a asi o třetinu menší obsah bóru. Zmíněné prvky jako uhlík, mangan, chrom a bór mají stejné vlastnosti jako u předchozí oceli. I u této oceli je vhodné použít přehřev a ocel se také zušlechťuje, kde doporučené hodnoty tepelného zpracování jsou dle atestu uvedeny v tab. 4. U tohoto materiálu je nejvyšší dosažená tvrdost dle Jominyho 47 až 56 HRC ve vzdálenosti 1,5 mm od kaleného čela. Na obr. 15 je ARA diagram, kde lze vidět, že martenzitická struktura s nejvyšší tvrdostí 576 HV vzniká za dobu ochlazování v menších desítkách vteřin. [3, 5]

Tab. 3 Chemické složení oceli 30MnB5 [5]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Obsah v hm. %	0,33	0,29	1,28	0,01	0,004	0,21	0,07
Dovolený obsah v hm.%	0,27-0,33	<0,4	1,15-1,45	<0,025	<0,035	-	-
Prvek	Mo	V	Cu	Al	B	Ti	-
Obsah v hm. %	0,03	0,01	0,11	0,027	0,0029	0,023	-
Dovolený obsah v hm.%	-	-	-	-	0,0008-0,005	-	-

Tab. 4 Tepelné zpracování oceli 30MnB5 [5]

Tepelné zpracování	Médium	Teploty
Kalení	Voda/olej	860–900 °C
Popouštění	Pec/Vzduch	400–600 °C



Obr. 15 ARA diagram oceli 30MnB5 [6].

Robotizace a optimalizace operací výroby kolopásu jsou snahou firmy pewag. Problém je s ručním nátěrem ochrannou měděnou pastou, která velmi zatěžuje výrobní proces z časového i finančního hlediska. Cílem této práce je tedy posoudit, zda je možné proces ochranného nátěru z technologického postupu plně vypustit za podmínek, že se nezmění kvalita výrobku.

## 2 TEORIE TECHNOLOGIE VÝROBY KOLOPÁSU

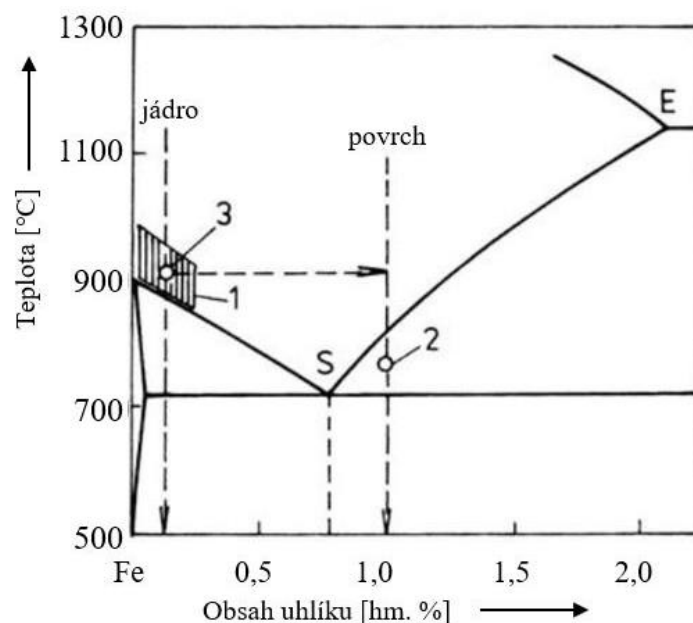
Mechanické vlastnosti jsou nedílnou charakteristikou oceli. Mezi mechanické vlastnosti oceli řadíme tvrdost, pevnost, houževnatost a pružnost. Další důležitou charakteristikou materiálů jsou technologické vlastnosti. U oceli mezi nejvýznamnější patří tvářitelnost, svařitelnost, obrobitelnost, slévateľnost a odolnost proti opotřebení. Těchto vlastností lze dosáhnout hlavně kombinací požadovaného chemického složení materiálu, tepelným a chemicko – tepelným zpracováním. Mezi chemicko – tepelné zpracování patří cementování, nitridace, nitrocementace a karbonitridace, a tepelné zpracování se dělí na kalení a žíhání. [7, 8]

Tyhle vlastnosti taktěž využívá již zmíněný kolopás, který potřebuje pro svou funkci hlavně tvrdost, pevnost a odolnost proti opotřebení a pro svou výrobu také tvářitelnost a hlavně svařitelnost. Kolopás se vyrábí několika po sobě jdoucími operacemi od nařezání, tváření, zakalení, cementace a popouštění. Hlavní část výroby céčka je popsána níže a jedná se o cementaci s tepelným zpracováním a následným svařováním.

### 2.1 Cementace

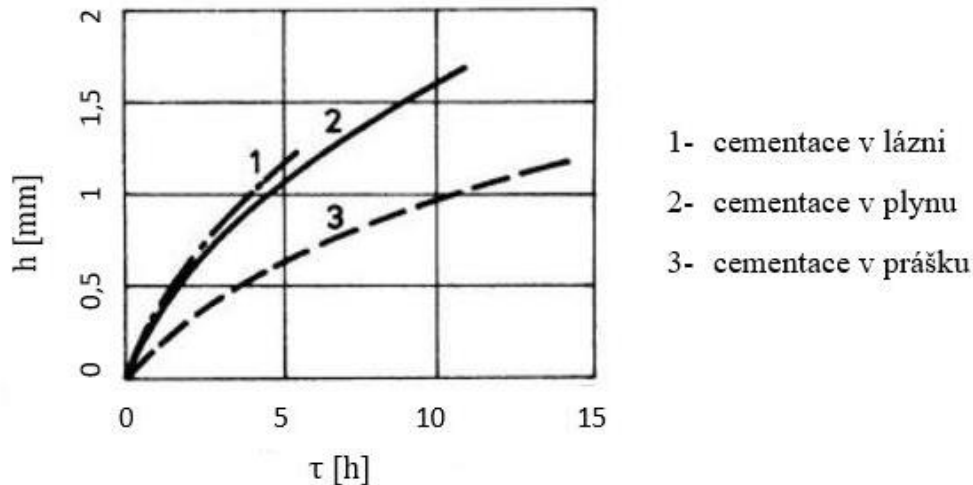
Nejrozšířenější metodou chemicko-tepelného zpracování je cementace. Cementování oceli je způsob, jak dosáhnout na součásti tvrdé povrchové vrstvy a zároveň houževnatého jádra. Principem je difuze uhlíku do povrchu oceli a tím dojde ke změně chemického složení v povrchu oceli. Následně proběhne zakalení a popouštění nauhličené vrstvy. Tvrdost po cementaci může dosáhnout až 800 HV, navíc vrstva se vyznačuje zvýšenou odolností proti únavě, otěru a opotřebení. Vrstva sahá do hloubky 0,5 až 1,5 mm. Obvykle se cementují oceli s obsahem uhlíku do 0,2 hm %, což jsou oceli konstrukční, uhlíkové a slitinové. Často se cementace využívá na ozubených kolech, řetězových kolech, pouzder, vodítek, hřídelů, čepů a vaček. [8, 9]

Samotný proces sycení uhlíkem probíhá v oblasti austenitu A nad teplotou  $A_{c3}$ , od 850 do 950 °C, na obr. 16 se jedná o vyšrafovanou oblast. Sycení v oblasti austenitu probíhá z důvodu, že uhlík má v něm vyšší rozpustnost než ve feritu. Nasycení probíhá do oblasti eutektoidní, případně těsně nadeutektoidní koncentrace, tj. obvykle od 0,8 do 1 hm. % uhlíku. Na vyšší hodnotu se nesytí, protože by došlo k překročení mezní rozpustnosti uhlíku v austenitu, což by vedlo k precipitaci sekundárního cementitu v povrchové vrstvě a následnému nežádoucímu zkřehnutí. [8, 9]



Obr. 16 Oblast cementace v Fe-Fe<sub>3</sub>C [10].

Základní způsoby cementace jsou v plynném, kapalném a pevném prostředí, graf na obr. 17 zobrazuje jejich porovnání z hlediska účinnosti. Ta se zjišťuje pomocí uhlíkového potenciálu, který vyjadřuje, jak je uhlík schopen nasytit povrch oceli. Uhlíkový potenciál lze regulovat v průběhu sycení míšením cementační směsi a změnou poměrů látek obsažených ve směsi. Od způsobu cementace se odvíjí hloubka nacementované vrstvy, teplota a doba sycení. Kromě obecně známých metod cementování, lze také cementovat moderními způsoby jako je plazmová nebo vakuová cementace. [9, 11]



Obr. 17 Hloubka cementace v prostředích [10].

### 2.1.1 Cementace v prášku

Cementování v pevném prostředí neboli v prášku je nejstarší způsob cementace. Součástky se vkládají do speciálních nádob, kde dochází k jejich zasypání dřevěným uhlím, koksem a katalyzátorem, viz obr. 18. Proveďte se nauhličením součásti, u které je nutné nauhličený povrch vytvrdit pomocí tepelného zpracování po kterém je součást připravena k použití. [12]

Dřevěné uhlí je ve formě zrn o velikosti 3,5– 10 mm a je zdrojem uhlíku. Koks napomáhá reakci svou lepší tepelnou vodivostí než dřevěné uhlí. Jako katalyzátor se nejčastěji používá uhličitán barnatý ( $\text{BaCO}_3$ ), dále uhličitán vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ), uhličitán draselný ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) a uhličitán sodný ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Předměty určené k cementaci musí být před vložením do speciální nádoby řádně očištěné od mastnot, nečistot a musí mít suchý povrch. Speciální nádoby jsou obvykle vyrobeny z nízkouhlíkové, z nikel-chromové žáruvzdorné oceli a z oceli s hliníkovou vrstvou na povrchu. [8, 13]



Obr. 18 Nádoba s cementační směsí a součástkami [14].

Proces cementace začíná ohřevem speciální nádoby na cementační teplotu, která je obvykle 875 až 925 °C, vždy ale nad teplotou  $A_{c3}$ . Nižší teploty jsou vhodné pro menší součásti, aby nedošlo k příliš velké nauhličené vrstvě v poměru k průřezu součásti. Po dosažení cementační teploty dojde k reakci kyslíku z atmosféry s uhlíkem ze směsi a pomocí chemické reakce dochází ke vzniku oxidu uhelnatého, viz rovnice níže [8, 9, 13]:



kde:  $O_2$  – kyslík [-],  
 $C$  – uhlík [-],  
 $CO$  – oxid uhelnatý [-].

Na povrchu cementovaného tělesa se oxid uhelnatý rozloží na oxid uhličitý a uhlík dle rovnice [13]:



kde:  $CO_2$  – oxid uhličitý [-],  
 $C$  – uhlík jako dřevěné uhlí [-],

Uhlík difunduje do povrchu oceli a vzniklý oxid uhličitý reaguje s dřevěným uhlím a reakce za vzniku oxidu uhelnatého se opakuje dle rovnice [13]:



Shodně probíhá chemická reakce, kdy se rozkládá katalyzátor uhličitán barnatý na oxid barnatý a oxid uhličitý. Bez rozkladu katalyzátoru by se cementace značně zpomalila z důvodu omezeného množství kyslíku v uzavřené speciální nádobě. Katalyzátor také udržuje stálý poměr oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého, protože reakce rozpadu uhličitánu barnatého může probíhat jak zleva doprava, tak i opačně, viz rovnice níže [8, 9, 13]:

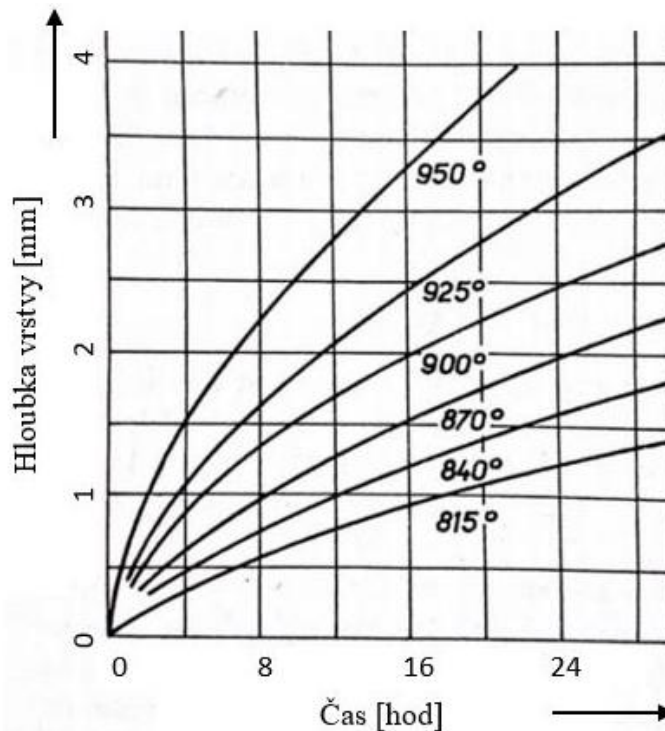


kde:  $BaO$  – oxid barnatý [-],

To znamená, že buď dojde ke snížení nebo zvýšení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře v uzavřené nádobě. Menší množství oxidu uhelnatého v poměru k oxidu uhličitému má negativní vliv, protože dochází k oduhličení součástky. [8, 9, 13]

Hloubka nauhličené vrstvy se odvíjí od cementační teploty, uhlíkového potenciálu, času cementace a chemického složení oceli. V průběhu cementace nelze měnit potenciál, protože nádoba je uzavřená a do spuštěného procesu cementace není možné zasahovat. Nejvíce ovlivňuje hloubku cementace čas a teplota, což lze vidět na obr. 19. Nevýhodou cementace v prášku je dlouhá doba ohřevu na cementační teplotu a doba samotného procesu. Dále také nerovnoměrná hloubka cementace. [8, 9, 13]





Obr. 19 Hloubka vrstvy v závislosti na čase a teplotě [12].

### 2.1.2 Cementace v kapalině

Proces cementování v kapalině má vysokou rychlost nauhličování díky velkému koeficientu přestupu tepla. Při této metodě se cementovaná součást nachází v cementační lázni při teplotě 815 až 900 °C. Hladina lázně je pokryta vrstvou grafitu nebo drceným uhlím, která brání úniku tepla sáláním a tvorbě nadměrného množství kyanidů. Na základě nositele aktivního uhlíku lze cementační lázně rozdělit na [9, 12]:

- Kyanidové lázně – viz obr. 20 mají nositele aktivního uhlíku kyanid sodný a kyanid draselný. Cementace v těchto lázních je vhodná pro malé a středně velké součásti a dosahuje rovnoměrné nauhličené vrstvy. Nevýhoda solných lázní je jejich toxicita, z toho důvodu je nutné dbát na přísné bezpečnostní limity při práci se solemi s kyanidy. Další dělení u lázní s kyanidem je podle teploty na: [9]
  - Nízkoteplotní kyanidové lázně – teplota lázně je od 845 do 900 °C, ve speciálních případech lze využít teplot od 790 až po 925 °C. Používají se k dosažení tenkých nauhličených vrstev, kde hloubka vrstvy je 0,13 až 0,25 mm s určitým obsahem dusíku. Na pokrytí hladiny je zde obvykle využít grafit. Pokud je vrstva grafitu příliš tenká, může dojít k vyšší koncentraci dusíku v nauhličené vrstvě. Zdroj uhlíku k cementaci je zajištěn chemickou reakcí, kdy dojde k rozpadu kyanidu a výsledkem je oxid uhelnatý, jehož produktem je právě potřebný uhlík. [12]
  - Vysokoteplotní kyanidové lázně – pracovní teplota se pohybuje od 900 do 955 °C. Při teplotách pod 900 °C má lázeň nižší schopnost nauhličovat a nad teplotu 955 °C lázeň degraduje. Hloubka dosažené nacementované vrstvy je 0,5 až 3 mm. V nauhličené vrstvě se kromě uhlíku nachází také dusík, který zvyšuje tvrdost povrchu. Obsah kyanidů je zde nižší než u lázní nízkoteplotních. Nauhličující uhlík se vytváří pomocí chemické reakce kyanidu barnatého s železem. Nejčastější kombinací v praxi je použití prvně vysokoteplotní lázně a následně pak nízkoteplotní lázně. Tato kombinace má

za následek maximální požadované nauhličení a díky kalení z nižší teploty obsahuje materiál nižší zbytkové napětí a zároveň se sníží obsah zbytkového austenitu.



Obr. 20 Kyanidová lázeň s ochrannou vrstvou [15].

- Bezkyanidové lázně – zde je nositelem aktivního uhlíku uhličitán vápenatý a karbid křemíku. Je možné použít také jemný grafitový prach, který je pomocí mechanického víření a probublávání lázně oxidem uhelnatým v lázni rozmístěn. Pracovní teploty se pohybují od 900 do 955 °C. U teplot pod 870 °C může docházet i k oduhlíčováním, a proto nejsou doporučovány. Při překročení teploty 955 °C dojde k rychlejšímu nauhličováním a může dojít i k napěnění lázně. Bezkyanidové lázně mají oproti kyanidovým lázním tu výhodu, že nejsou toxické, naproti tomu, ale mají menší rozsah teplot, při kterých je lze použít. [9]

### 2.1.3 Cementace v plynu

Nejčastější metodou cementace je v plynném prostředí, protože se jedná o technologicky výhodný a produktivní způsob. Cementační teplota se pohybuje od 850 °C výše. Cementační atmosféra se vyrábí pomocí endogenerátoru nebo v pecním prostoru. Dnes se již bezgenerátorové atmosféry prakticky nepoužívají a nahradily je atmosféry generátorové, které potřebují pro provoz generátor. Zdrojem atmosféry jsou kapalné nebo plynné uhlovodíky, kde kapalné jsou metanol a isopropanol a plynné methan a propan. Účinnost nauhličováním se obecně zvyšuje s použitím vyšších teplot a dochází ke zvyšování gradientu obsahu uhlíku na povrchu součásti. Aby se zabránilo vzniku karbidů po hranicích zrn, je nutné nepřekročit mez rozpustnosti uhlíku v austenitu, pokud se tak stane, bývá za fázi sytící zařazena fáze difuzní. Při difuzní fázi se gradient uhlíku na povrchu zrovnoměrní směrem k jádru. Cementování v plynu se dělí na několik druhů: [8, 9, 12, 13]

- Cementace v endoatmosféře – je základní typ cementace v plynu. Endoatmosféra je směs plynů CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> a vzniká mísením methanu, propanu nebo jejich směsi se vzduchem v endogenerátorech, procentuální zastoupení plynů lze vidět v tab. 5. Pro urychlení reakce prochází přes směs plynů katalyzátor, který je na bázi aluminidu niklu (NiAl). Endoatmosféra se poté zchladí, aby se chemické složení stabilizovalo. Do cementační pece proudí endoatmosféra v mírném přetlaku, aby nedošlo ke vniknutí vzduchu do pece. Pro dostatečnou nauhličující schopnost je nutné do endoatmosféry přidat další uhlovodíky. To z endoatmosféry dělá nosný plyn, kterému se díky uhlovodíkům zvyšuje uhlíkový potenciál.



Tab. 5 Nejčastější složení endoatmosféry [16].

Druh plynu	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>
Množství plynu v endoatmosféře v %	40	40	20	0,3	0,5	0,8	Stopové množství

Produkty vznikající z chemických reakcí jako jsou voda a oxid uhličitý snižují uhlíkový potenciál a tím i nauhličující schopnost endoatmosféry. Po přidání uhlovodíků a jejich reakcí s vodou a oxidem uhličitým vznikne oxid uhelnatý, který zvyšuje uhlíkový potenciál. Ten je definován jako obsah uhlíku v austenitu, který je v termodynamické rovnováze s nauhličující schopností atmosféry.

- Cementace ve směsi dusíku a methanolu – velká výhodou této metody je, že není potřeba složitého a nákladného endogenerátoru. Cementační směs se připravuje rovnou v peci přivedením směsi dusíku a methanolu. Následně z těchto plynů dochází k vytvoření atmosféry s oxidem uhelnatým a uhličitým, vodou, molekulárním vodíkem a dusíkem. Na rozložení methanolu je potřeba minimální teplota 700 až 800 °C, pokud je teplota nižší, výsledný plyn je tvořen více složkami.

Pro jiné složení plynu je možné měnit poměr mezi dusíkem a methanolem, to se děje pomocí regulace průtoku obou plynů a oproti endoatmosféře je možné docílit ideálního složení plyné směsi. Použití velkého průtoku je výhodné na začátku cyklu pro odkontaminaci pece od vzduchu a také pro součásti s velkými měrnými povrchy. Další výhodou velkého průtoku plynu je rychlejší nauhličování na začátku cementace. Malé průtoky se používají, pokud je pec prázdná, nebo pro součásti s malým měrným povrchem, a to na začátku nebo na konci cementačního cyklu, pro vyčištění komory.

- Cementace typu MONOCARB – cementace probíhá v plynotěsných šachtových elektrických pecích (obr. 21), kde se vhná kapalina, ze které se tvoří cementační atmosféra, která cirkuluje uvnitř pece. Vháněnou kapalinu můžou tvořit směsi terpentinu, acetonu a ethylalkoholu nebo směs petroleje a ethylalkoholu. Odpadní plyny odchází víkem pece do spalovací komory. Metoda se používá v malosériové výrobě.



Obr. 21 Šachtová pec pro metodu MONOCARB [17].

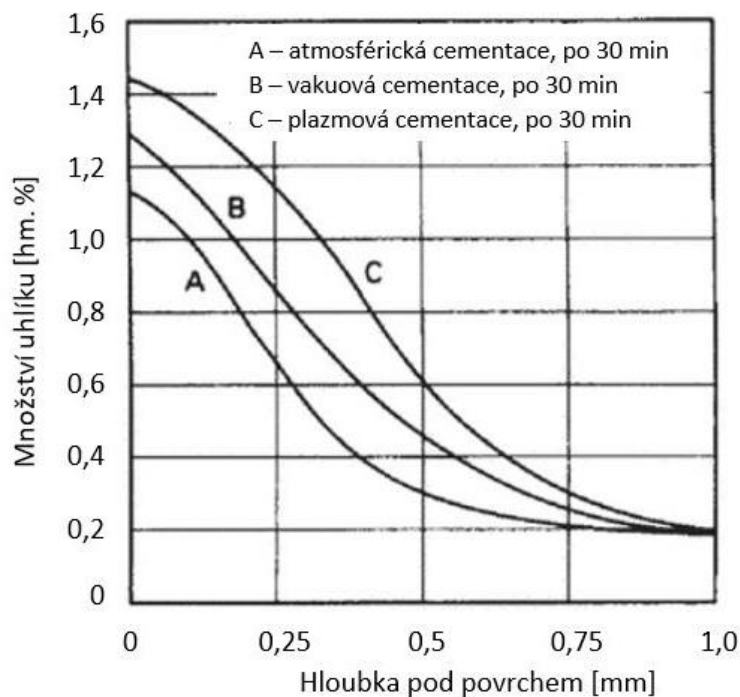
- Cementace v atmosféře tvořené H<sub>2</sub> a CO – pokud je atmosféra složená z 50 % vodíku a 50 % oxidu uhličitého tak dochází k nejrychlejšímu nauhličování součásti. Atmosféra se vyrábí oxidací uhlovodíku za vzniku oxidu uhelnatého a vodíku v poměru 1:1, to se

děje oxidací methanu oxidem uhličitým. Výroba atmosféry je energeticky náročnější než výroba endoatmosféry nebo atmosféry s dusíkem a methanolem, a to kvůli silné endotermické reakci. Proto je výhodné metodu použít jen pokud se to vyplatí z hlediska kvality a produktivity. Výhoda je v použití pro součásti s menší tloušťkou nebo u tenkých plechů. Další výhodou směsi, která je složena pouze ze dvou plynů se stopovým množstvím dalších složek, je lepší přenos tepla. [21]

#### 2.1.4 Cementace v plazmě

Je to metoda, která zrychluje proces nauhličování, protože vynechává několik disociačních kroků a ionty uhlíku přímo pronikají do součásti. Jedná se o proces, při kterém dochází k doutnavému výboji plazmy, která vzniká mezi dvěma elektrodami. Jedna elektroda je pec a má kladný pól a druhá je vsázka se záporným pólem. Mezi póly je vytvořen elektrický potenciál a plazma vzniká v blízkosti vsázky po vniknutí cementačního plynu do komory. Existují dva plynové zdroje uhlíku, kde první je methan a druhý propan. Vše se děje ve speciálních vakuových pecích za působení nižšího tlaku, než je atmosférický a to 0,133 až 13,33 mbar. [12, 13]

Cementace probíhá při teplotě 850 až 1090 °C. Součástka je před cementací očištěna samotným doutnavým výbojem, který navíc přispívá k ohřevu součásti na cementační teplotu. Výhoda je v nenacementování povrchů součásti, které nejsou v kontaktu s plazmou. Produktivita v plazmě je oproti vakuové a plynové cementaci větší, to dokazuje obr. 22, za současně rovnoměrně nauhličené vrstvy. [12, 13]



Obr. 22 Produktivita s ohledem na množství nauhličení [13].

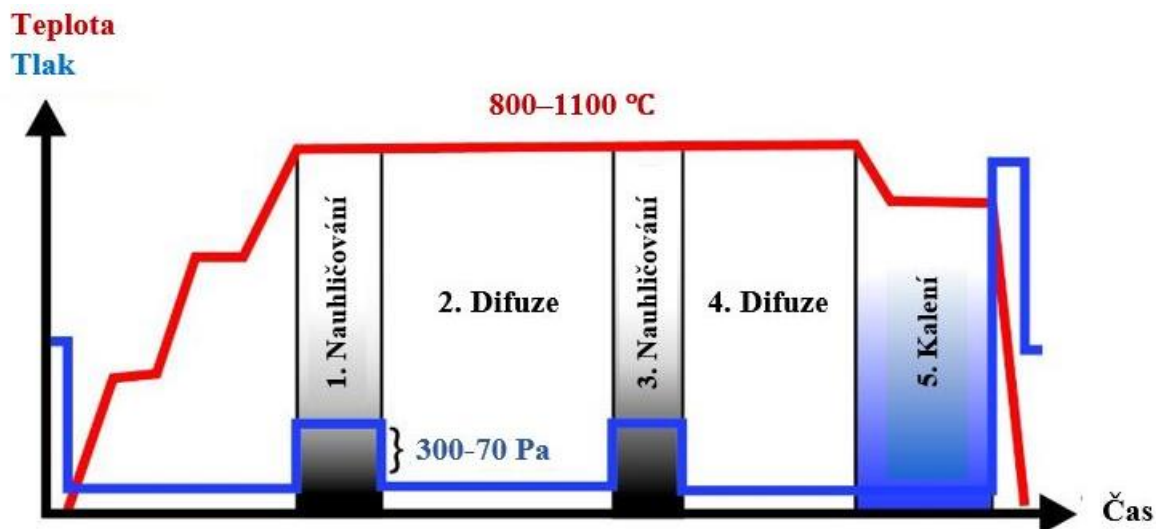
#### 2.1.5 Cementace ve vakuu

Jde o nerovnovážný proces nauhličení při působení parciálního tlaku plyných uhlovodíků, kde se střídá fáze sycení s fází difuze. Hodnoty tlaků jsou 1,3 až 27 mbar a cementační teplota je 830 až 980 °C. Vakuum oproti cementaci v plynu má výhodu v přesnější kontrole nad procesem nauhličení a přesně říditelné tloušťce vrstvy, nesporným přínosem je, že ve vakuu nedochází k mezikrystalické oxidaci. Metoda má také kratší časy nacementování oproti plynovým metodám. [12, 18]

Cementační atmosféra se skládá z uhlovodíků, nejčastěji acetylenu, propanu, methanu, ethylenu nebo cyklohexanu. Před samotnou cementací je nutné evakuovat prostor pece, poté se pec ohřeje i s vsázkou na pracovní teplotu. V dalším kroku dochází k vhánění cementačního plynu a začíná proces nauhličování. [12, 18]

K nauhličování dochází pomocí fyzikálně-chemické reakci uhlovodíků tzv. pyrolýzou. Adsorpce uhlíku na povrchu je velmi rychlá a brzo se dosáhne meze rozpustnosti uhlíku v austenitu. V této fázi je zastaven proces sycení a po vyčerpání části plynu se spouští proces difuze, která probíhá směrem od povrchu k jádru. Obě fáze, jak sycení, tak i difuze probíhají při stejné teplotě. Díky střídání fází, které se několikrát opakují, jak je vidět na obr. 23, gradient uhlíku v průřezu nemá tak ostrý průběh, ale je to na úkor nižšího obsahu uhlíku na povrchu. Vakuová cementace se neřídí úpravou uhlíkového potenciálu jako u cementace v plynu, ale řídí se pomocí úpravy parametrů průtoku, teploty, doby cementace a tlaku plynu. [12, 18]

Přínosem cementování ve vakuu je zkrácení výrobních časů, vysoká čistota, ekologičnost provozu, vysoká tvrdost i ve větších tloušťkách, dobrá rovnoměrnost vrstvy, cementace malých otvorů, a navíc nedochází k oxidaci povrchu. Nevýhodou jsou vyšší náklady spojené s provozem vývěv. [12, 18]



Obr. 23 Hloubka vrstvy v závislosti na čase a teplotě [19].

Cementační pece se dělí na jednokomorové, dvoukomorové či vícekomorové. V jednokomorové peci je ohřev, cementace i kalení v jednom prostoru. Proto se jednokomorové pece dnes již moc nepoužívají a nahradily je pece dvoukomorové, kde je prostor pro ohřev a cementaci a oddělený prostor pro kalení. Tenhle systém umožňuje neochlazovat již vyhřátý prostor a tím ušetřit energii. Vícekomorové pece se používají pro sériovou výrobu a obsahují 6 až 8 cementačních komor s jednou kalící komorou. Vícekomorové pece dosahují stejné vytiženosti kalící komory a cementačních komor, které jsou schopny produkovat nacementovanou součást každých 20 až 30 min. [12]

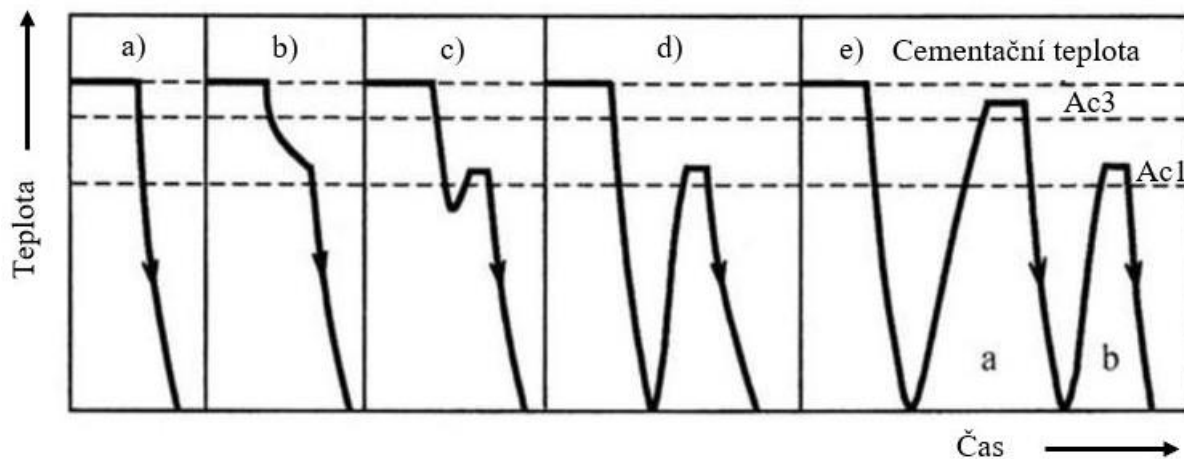
### 2.1.6 Tepelné zpracování po cementaci

Smysl cementace nabývá tehdy pokud je nauhličená součást tepelně zpracována. Úkolem tepelného zpracování je dosáhnout optimálních vlastností po cementaci, jako jsou tvrdost a ořezavost povrchu, houževnatost jádra. Dále má za cíl potlačit hrubozrnnou strukturu, která může vzniknout při vystavení oceli dlouhému tepelnému zatížení ve vysokých teplotách. Ideální teplota kalení pro nauhličenou vrstvu je 30 až 50 °C nad  $A_{c1}$ . Tato teplota způsobí, že se jádro kalí ze struktury feriticko – austenitické a tím dochází k poklesu jeho houževnatosti.

U teploty 30 až 50 °C nad  $A_{c3}$  vznikne v cementované vrstvě hrubý martenzit s vysokým obsahem zbytkového austenitu doplněným o velké vnitřní napětí. Různé druhy kalení jsou optimálním kompromisem mezi zakalenou nacementovanou vrstvou a zakaleným jádrem součásti. Vrstva obsahuje jemný martenzit s rovnoměrným rozmístěním částic sekundárního cementitu a v jádru se nachází sorbit. Způsob kalení je dán materiálem, použitím oceli a jejím způsobem nacementováním. Kalení se rozděluje na: [8, 16]

- Kalení z cementační teploty – jedná se o ekonomicky a časově výhodné kalení, ale za cenu získání hrubozrnné struktury martenzitu s velkým podílem zbytkového austenitu, což vede k nižší tvrdosti. Používá se u cementace v plynu a v kapalině, kde uhlíkové oceli se kalí do vody a legované do oleje. Zhrubnutí zrn austenitu nehrozí u jemnozrnných ocelí s přísadou titanu, niobu nebo zirkonu, proto u těchto ocelí nevzniká hrubý martenzit. Kalení z cementační teploty je použito pro jemnozrnné oceli nebo pro méně namáhané součásti. Vzniklý velký teplotní gradient u tohoto typu kalení má za následek vznik velkých vnitřních a zbytkových napětí a deformací součásti.
- Kalení s přichlazením – se používá pro snížení deformací a zbytkových napětí. Začíná snížením cementační teploty součásti v peci těsně nad teplotu  $A_{c1}$  tj. 750 až 780 °C a z této teploty proběhne kalení. Tento typ kalení nezlepší vlastnosti nacementované vrstvy, protože nedojde ke zjemnění austenitických zrn.
- Kalení s podchlazením – se používá pro běžné cementační oceli. Proces začíná ochlazením součásti z cementační teploty na teplotu přibližně 600 °C, kde dochází k překrystalizaci. Ochlazení a opětovný ohřev kalící teplotou má za následek výhodné zjemnění austenitického zrna. Kalení s podchlazením umožňuje použít dva typy kalení které se liší kalící teplotou. První typ kalení probíhá z teploty nad  $A_{c3}$ , což je kalení na jádro a vznikne zakalené jádro bez feritu, v povrchu se nachází hrubší martenzit a větší deformace. Druhý typ kalení je kalení na povrch a začíná z teploty nad  $A_{c1}$ , zde vznikne v cementační vrstvě jemnější martenzit, menší deformace a jádro oceli obsahuje větší obsah feritu.
- Dvojité kalení – je vhodné použít pro dynamicky namáhané součásti. První fáze kalení je kalení na jádro z teploty nad  $A_{c3}$ , díky kterému dochází ke zjemnění zrna, rozpuštění sekundárního cementitu v povrchové vrstvě. Při druhé fázi kalení z teploty nad  $A_{c1}$  se zakalí povrch a v nacementované vrstvě vzniká jemný martenzit, v jádře vznikne určitý podíl jemnozrnného feritu, který má malý vliv na pokles houževnatosti v jádra.

Na obr. 24 lze vidět schéma druhů kalení po cementaci, kde za a) se jedná o kalení z cementační teploty, za b) jde o kalení s přichlazením, za c) jde o kalení s podchlazením, za d) se jedná o kalení z cementační teploty a poslední za e) je dvojité kalení. [10]



Obr. 24 Druhy kalení po cementaci [10].



Poslední operací tepelného zpracování po cementaci je popouštění. Pod popouštěním se rozumí ohřev oceli většinou ihned po jejím zakalení na teploty, při kterých se mění nerovnovážné fáze, tj. martenzit M a zbytkový austenit  $A_z$ . Mezi významné fázové přeměny při popouštění se řadí rozpad tetragonálního martenzitu  $M_t$  na martenzit kubický  $M_k$  a přechodový karbid  $\epsilon$ . Následně se tento kubický martenzit s přechodovým karbidem mění na ferit F a cementit. Současně běží přeměna rozpadu zbytkového austenitu na strukturu bainitického typu, kterou doprovází snížení vnitřního napětí. Zmíněné fázové přeměny se u ocelí s vyšším obsahem než 0,25 hm. % C ve struktuře dělí podle teploty do čtyř stádií. Přesné teplotní hranice stádií nejsou určeny a jednotlivé přeměny se můžou vzájemně překrývat. Jednotlivé stádia jsou: [8]

- První stádium popouštění – je do 200 °C a dochází při něm k rozpadu tetragonálního martenzitu na martenzit kubický a přechodový karbid. Dochází k mírnému poklesu tvrdosti.
- Druhé stádium popouštění – je mezi teplotami 200 až 300 °C a zde dochází k rozpadu zbytkového austenitu na strukturu bainitického typu, snížením vnitřního napětí a zvýšením měrného objemu.
- Třetí stádium popouštění – probíhá při teplotě nad 300 °C a má za následek přeměnu kubického martenzitu na ferit a současně tvorbu globulárního cementitu  $Fe_3C$ . Při tomto stádiu vzniká jemná feriticko-cementická struktura, která se nazývá sorbit. Třetí stádium se vyznačuje poklesem tvrdosti a pevnosti výměnou za zvýšení tvárnosti a houževnatosti. Dále dochází ke snižování vnitřního napětí a měrného objemu.
- Čtvrté stádium popouštění – je při teplotách nad 500 °C a u uhlíkových ocelí zapříčiňuje hrubnutí cementitu a sorbitické struktury. U legovaných ocelí dochází ke vzniku speciálních karbidů a jejich precipitaci a dochází ke zvýšení tvrdosti která se nazývá sekundární tvrdost.

Popouštění se dále rozděluje podle teploty na popouštění při nízkých a vysokých teplotách. Popouštění při nízkých teplotách je od 100 do 300 °C a má za cíl snížit vnitřní napětí, zbytkový austenit a stabilizovat strukturu. Používá se u nástrojových ocelí, kde teplota popouštění je až 600 °C, dále u valivých ložisek, u vysokopevnostních ocelí, méně často u konstrukčních ocelí a u součástí po cementaci a kalení. Popouštění při vysokých teplotách se provádí z důvodu dosažení optimálního poměru mezi pevnostními vlastnostmi, houževnatostí a plasticitou. Uvedenou kombinaci zajišťuje sorbitická struktura. [8]

Popouštění po cementaci probíhá při nízkých teplotách mezi 160 až 200 °C po dobu 1 až 2 hodin, aby došlo ke snížení vnitřních a zbytkových napětí, snížení obsahu zbytkového austenitu a stabilizaci struktury. Výsledná tvrdost vrstvy může dosahovat 60 až 62 HRC. [8]

Cementování ve vakuu a cementace v plazmě mohou využít pro tepelné zpracování metodou vysokotlakého kalení plynem, protože probíhají ve vakuové peci. Výhodou je potlačení deformací při kalení, navíc povrch je po zpracování čistý a není nutné aplikovat žádné další úpravy. Jako médium se používá helium, argon nebo dusík, který je aplikován s přetlakem 5 až 15 barů a maximum je 25 barů. [20]

### 2.1.7 Oceli k cementaci

Vhodné oceli k cementování mají nízký obsah uhlíku přibližně do 0,25 hm. %. Jedná se především o nelegované oceli a oceli nízko a středně legované. Ocel k cementování se volí dle požadovaných vlastností povrchové vrstvy a houževnatosti jádra. [8, 22]

Uhlíkové nelegované oceli se vyznačují horší prokalitelností a nízkou pevností jádra, proto se používají na méně namáhané součásti a pro součásti s tenkými stěnami. Vhodný zástupce pro cementování jsou oceli třídy 12, přehled vybraných materiálů a jejich chemické složení je v tab. 6, dále jejich použití a vlastnosti jsou v tab. 7. Tyto oceli je vhodné dvojité kalit, aby

došlo ke zjemnění zrna a zlepšení mechanických vlastností. Standardně se součásti kalí do vody, pouze při velmi malé tloušťce stěny se používá jako kalicí médium olej. [8, 22]

Tab. 6 Přehled vybraných ocelí k cementaci a jejich chemické složení [24, 25]

Ocel		Chemické složení v hm. %			
Označení dle EN ISO	Označení dle ČSN	C (max)	Mn (max)	Cr (max)	Ni (max)
C10E	12 010	0,14	0,65	0,15	0,3
C16E	12 020	0,2	0,9	0,25	0,3
C22E	12 024	0,24	0,65	0,25	0,3

Tab. 7 Přehled vybraných ocelí k cementaci a jejich vlastnosti [26]

Ocel		Vlastnosti	Použití
Označení dle EN ISO	Označení dle ČSN		
C10E	12 010	nižší pevnost v jádře, zaručená svařitelnost	k lisování za studena, tyče, tlusté i tenké plechy, pásy, pruhy, dráty a výkovky
C16E	12 020	střední pevnost v jádře, zaručená svařitelnost	pro méně namáhané strojní součásti jako ozubená kola, vačkové hřídele, vložky, řetězová kola, pouzdra, vodítka, dále zvony a trny pro naftový průmysl
C22E	12 024	vyšší pevnost v jádře, zaručená svařitelnost	pro méně namáhané větší strojní součásti jako vačkové hřídele ozubená kola, pouzdra, vodítka

Oceli nízko a středně legované jsou často legované niklem, chromem, molybdenem, manganem, křemíkem, vanadem nebo titanem. Z těchto ocelí jsou významné oceli třídy 13 až 16, přehled vybraných materiálů a jejich chemické složení je v tab. 8 a jejich vlastnosti a použití je v tab. 9. Legury ovlivňují obsah uhlíku v nacementované vrstvě, tloušťku a tvrdost, dále nikl a mangan zvyšují houževnatost jádra. S tím souvisí použití těchto ocelí pro více namáhané součásti. Kromě titanu všechny prvky zvyšují prokalitelnost a je tedy možné součásti s větší tloušťkou kalit do oleje. Oceli, které jsou legované niklem mají největší pevnost v jádře a jsou vhodné na velmi namáhané součásti. [8, 23]

Tab. 8 Přehled vybraných ocelí k cementaci a jejich chemické složení [24, 25]

Ocel		Chemické složení v hm. %				
Označení dle EN ISO	Označení dle ČSN	C (max)	Mn (max)	Cr (max)	Ni (max)	Mo (max)
15Cr2	14 120	0,18	0,6	0,7	-	-
17MnCr5	14 220	0,19	1,4	1,4	-	-
20CrMo4	15 124	0,23	0,9	1,2	-	0,25
15CrNi6	16 220	0,15	0,5	1,55	1,55	-
15NiCr13	16 420	0,2	0,7	0,9	3,5	-

Tab. 9 Přehled vybraných ocelí k cementaci a jejich vlastnosti [26]

Ocel		Vlastnosti	Použití
Označení dle EN ISO	Označení dle ČSN		
15Cr2	14 120	dobře tvářitelná za tepla, dobře obrobitelná po žíhání na měkko	pro ozubená kola, vačky, čelisti, šneky vřetena, výstředníky
17MnCr5	14 220	dobře tvářitelná za tepla, dobře obrobitelná, vysoká pevnost jádra, dobrá svařitelnost	pro strojní součásti po zušlechtění jako ozubená a talířová kola, kardanovy klouby, pístní čepy, zubové spojky
20CrMo4	15 124	dobře tvárná za tepla, dobře obrobitelná, vhodná pro svařování	pro velmi namáhané strojní součásti jako pastorky, talířová a ozubená kola, drážkové hřídele, kladky, kardanovy hřídele
15CrNi6	16 220	tvárná za tepla, dobře obrobitelná,	pro velmi namáhané strojní součásti jako pastorky, talířová a ozubená kola, kola diferenciálů
15NiCr13	16 420	dobrá tvárnost za tepla, vysoká houževnatost a pevnost	pro velmi namáhané strojní součásti jako hřídele, ozubená kola, drážkové hřídele

### 2.1.8 Pasta Condursal 0118

Jedná se o speciální měděnou pastu, která slouží jako ochranný nátěr proti nacementování součástí v plynu nebo v prášku. Izoluje plochy s vysokou přesností okrajů, a to až do hloubek 3 mm. Pro nanášení není potřeba složitého zařízení a lze jej nanášet štětcem přímo na povrch součásti. Čas nanášení je na jednu součást poměrně krátký, protože se nanáší jen jedna vrstva a tím je malá i spotřeba. Pastu nelze použít pro ochranu proti nitrocementaci z důvodu reakce

mědi v pastě a čpavku v plynné atmosféře. Výhoda pasty je, že neobsahuje ředidla a ani jiné další nebezpečné látky. [27]

Condursal 0118 se nanáší obdobně jako olejová barva. Před nátěrem je nutné pastu dobře promíchat a součásti, které se budou natírat je potřeba zbavit mastnoty, olejů a nečistot a následně dobře vysušit. Na to lze využít praní v alkalických pracích prostředcích nebo odmastit pomocí ředidel. Nanášení se provádí měkkým plochým štětcem. Po natření je doba zaschnutí nátěru stanovena na 3 až 8 hodin, záleží na okolních podmínkách. Pokud není nátěr dobře zaschlý může dojít k jeho oprýskání. Na obr. 25 lze vidět aplikaci pasty na ochranu závitu. Nátěr je také možné aplikovat nástřikem, kde je pasta speciálně naředěna a má označení Condursal 0118GWE. [27]

Pasta se nejčastěji uchovává v plechovkách, viz obr. 26 a díky vodě, která je obsažena ve složení je nutné se vyvarovat skladování v místech, kde může dojít k teplotám pod bod mrazu. Načaté plechovky je potřeba vzduchotěsně uzavřít a spotřebovat do jednoho roku. Použité štětce, nástroje a přípravky při nátěru, je nutné poté očistit vodou, dokud Condursal nezaschne. Zaschlé zbytky totiž mají tvrdý charakter a nejdou skoro vůbec rozpustit. [27]



Obr. 25 Aplikace nátěru pasty [28].



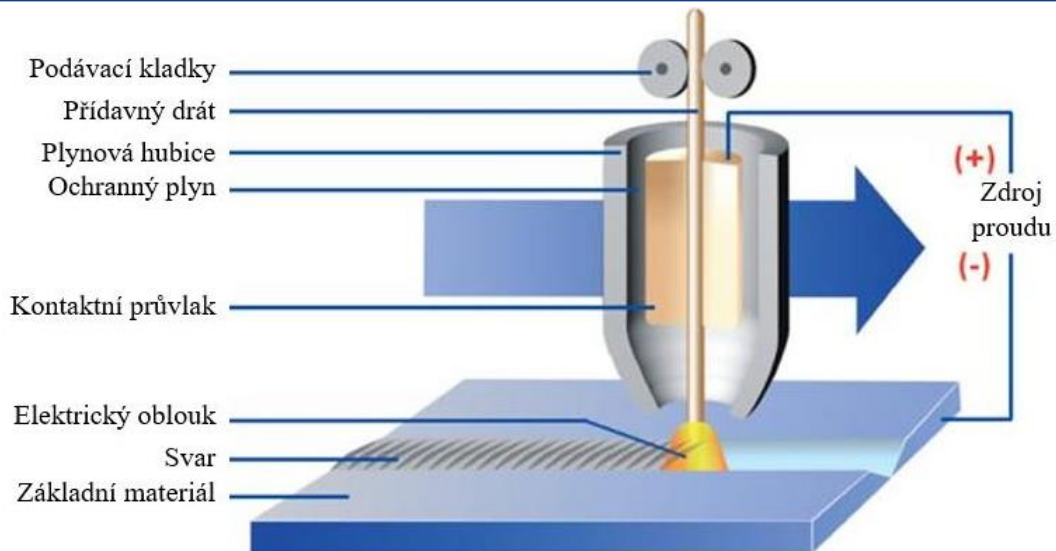
Obr. 26 Pasta Condursal 0118.

## 2.2 Svařování metodou MAG

Dle normy ČSN EN ISO 4063 se metoda svařování označuje číslem 135, která je také známá pod svou zkratkou MAG (Metal Active Gas), neboli v americkém označení GMAW (Gas Metal Arc Welding). Jedná se o metodu obloukového svařování s tavící se elektrodou v ochranném plynu. Od metody MIG (Metal Inert Gas) se liší aktivní účastí ochranného plynu v procesu svařování. MAG společně s metodou obalené elektrody (metoda 111) patří k nejrozšířenějším svařovacím metodám nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. MAGem lze vhodně svařovat širokou škálu ocelí včetně vysokopevnostních. Elektroda může být ve formě plného drátu nebo trubičky plněné metalickým práškem. V případě použití plněné trubičky se pak jedná o metodu 138. [29, 30]

Základním principem je zapálení a hoření elektrického oblouku mezi svařovaným materiálem a elektrodou, kde materiál nataví a spojí. Elektroda má současně funkci přídavného materiálu. Drát se odtavuje a do svarové lázně je dodáván kontinuálně pomocí kladek z cívky nebo bubnu. Kolem drátu z hubice proudí ochranný plyn do lázně. Hořením oblouku vzniká teplota svarové lázně okolo 1600 až 2100 °C. Teplota kapek přídavného materiálu je 1700 až 2500 °C a samotný oblouk dosahuje 7000 až 15000 °C. Všechny hodnoty zmíněných teplot jsou ovlivněny chemickým složením materiálu a drátu, technologií, svařovacími parametry a vlastnostmi materiálu. Jako zdroj pro svařování MAG je obecně použit stejnosměrný proud s nepřímou polaritou, tzn. elektroda připojená na kladný pól zdroje a součást je připojena na záporný pól zdroje. Na obr. 27 je zobrazeno schéma svařování metodou MAG. [29, 30]





Obr. 27 Schéma svařování metodou MAG [31].

Samotný elektrický oblouk je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj hořící v ionizovaném plynu. Stabilita oblouku je dána dostatečným napětím na ionizaci prostředí a proudem pro udržení plazmatu oblouku v ionizovaném stavu. Teplota pólu katody je přibližně 2100 °C a teplota anody je 2400 °C. Napětí se pohybuje od 10 až po 100 V. Proudy mají hodnoty od 1 do 1000 A. Charakteristikou oblouku je vyzařování neviditelného infračerveného, ultrafialového záření (UV) a viditelného intenzivního záření. Tyto záření jsou zdraví škodlivé a je nutné se proti nim chránit. [29, 30]

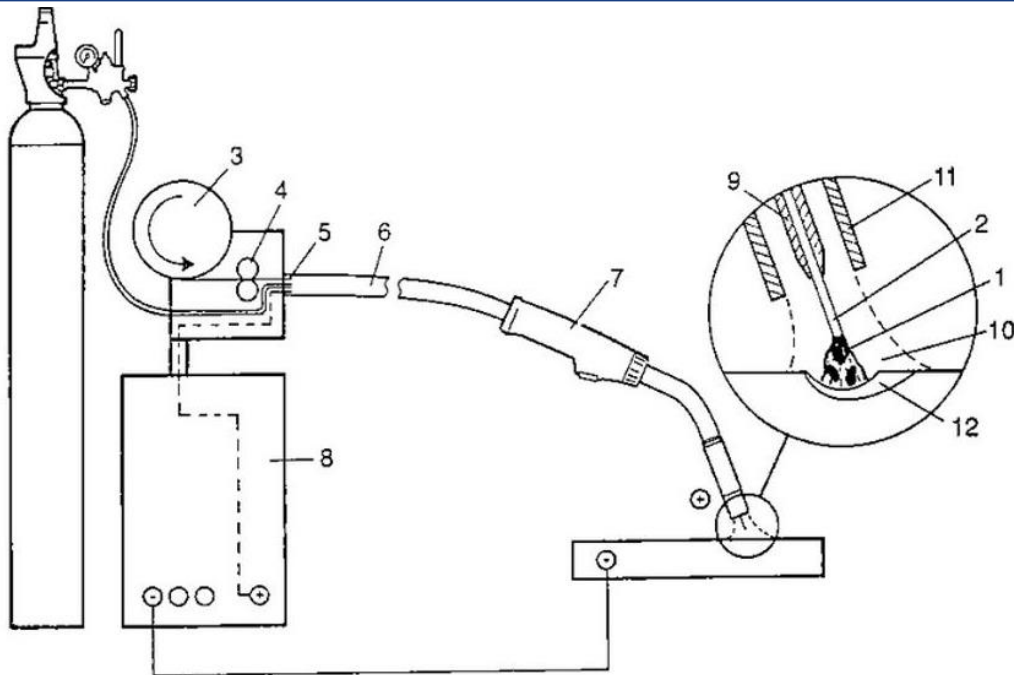
### 2.2.1 Zařízení a vybavení pro metodu MAG

Zařízení pro metodu MAG je v dnešní době mnoho a některé druhy nejsou jen monofunkční na metodu MAG/MIG, ale je možné je použít i pro svařování metodou WIG a ruční svařování obalenou elektrodou. Základní schéma potřebného vybavení metody MAG je na obr. 28 a jedná se o: [32]

- zdroj svařovacího proudu s řídicí jednotkou,
- podavač drátové elektrody,
- svařovací hořák,
- multifunkční kabel hořáku s rychlospojkou,
- uzemňovací kabel se svorkou,
- láhve s ochranným plynem.

V současnosti s vývojovým trendem jsou zařízení doplňovány různými technickými doplňky a dalšími zařízeními jako jsou: [32]

- pojízdný vozík,
- rameno pro nesení hořáku,
- chladicí jednotka,
- ruční měnič pro dálkové ovládání parametrů svařování,
- řídicí jednotka vybavená procesorem,
- svařovací robot.



- |                       |                             |                                |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 9. Elektrický oblouk  | 5. Rychloupínací spojka     | 1. Kontaktní svařovací průvlek |
| 10. Drátová elektroda | 6. Hořákový kabel           | 2. Ochranný plyn               |
| 11. Cívka s drátem    | 7. Svařovací hořák          | 3. Plynová tryska              |
| 12. Podávací kladky   | 8. Zdroj svařovacího proudu | 4. Svarová lázeň               |

Obr. 28 Schéma vybavení metody MAG [32].

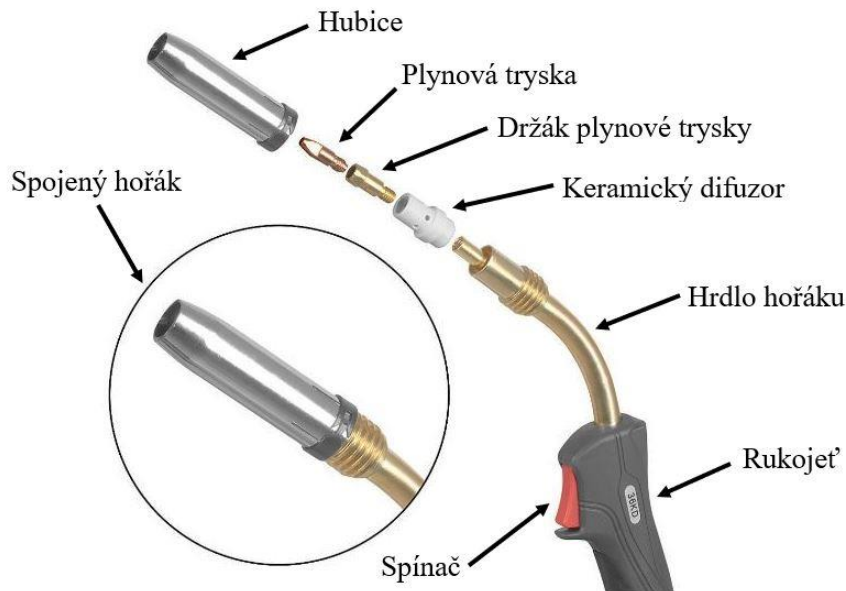
Používané zdroje stejnosměrného proudu u metody MAG se často modernizují a vylepšují. Dnes je vyvíjena spousta svařovacích zdrojů, z nichž kvalitní jsou především ty, u kterých výrobci investují nemalé peníze do vývoje a výroby. Nejčastěji se používají usměrňovače a inventory různých výkonných vlastností. Inventorem se nazývá měnič nebo střídač, který se vyznačuje svou univerzálností a použitelností v náročných podmínkách jako jsou stavby a údržba. [30, 32]

Zdroje pro svařování MAGem se vyznačují plochou statickou charakteristikou a mají samoregulační schopnost udržovat konstantní délku oblouku díky konstantnímu napětí. Tento způsob regulace se děje jen při konstantní rychlosti podávání drátu. Regulace je založena na změně proudu při malé změně délky oblouku a tím i napětí na oblouku. Pokud se změní délka oblouku změní se i napětí a následně dle statické charakteristiky i proud. Dlouhý oblouk má za následek snížení proudu i odtavování elektrody, kde za konstantní rychlosti podávání drátu dojde k jeho přiblížení k lázni. Při krátkém oblouku poklesne napětí a zvyšuje se intenzita proudu, což má za následek rychlejší odtavování. Následně se zvětší i délka oblouku, sníží se proud na výchozí hodnotu a zvýší se odpor. [30, 32]

Podávání přídavného materiálu, který je ve formě drátu, zajišťuje podavač. Podávací funkce se zajišťuje pomocí podávacího mechanismu s pohonem drátu a to jednokladkovým, dvoukladkovým, čtyřkladkovým anebo s mimoběžnými osami. Tyto kladky mají různé typy drážek podle typu drátu a zaručují rovnoměrné podávání bez deformace a poškození povrchu drátu. Přídavný materiál je podáván do hořáku, který jej i s ochranným plynem vede do místa svaru. [30, 32]

Svařovací hořáky se dělí na strojní s válcovou upínací částí a na ruční s rukojetí pro pevné vedení hořáku svářečem. Hořáky pro nízké příkony jsou chlazeny procházejícím ochranným plynem a pro vysoké příkony je nutné chlazení kapalinou. Hořák se dělí na tvarovou trubku, kde je umístěn kontaktní průvlek, ústí trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska, viz obr. 29. Kontaktní průvlek zajišťuje napájení drátu proudem a pro svou lepší vodivost je

vyroben z mědi. Zvýšení odolnosti průvlastku proti opotřebení pomáhá legování slitiny chromem. Plynová tryska pomáhá proudění plynu do svarové lázně a musí zajistit laminární proudění i v určité vzdálenosti i při rozstříku kapek kovu. Tryska je vyrobena z pochromované mědi, aby se zamezilo ulpívání kapek kovu. Vedení drátu má otvor o 0,2 mm větší, než je průměr drátu, jeho velké opotřebení se děje díky nepravidlostem při napájení proudem. Hořáky se spouští spínačem na rukojeti a u moderních zdrojů lze na rukojeti ovládat i intenzitu svařovacího proudu. Průběh svařování lze řídit spínačem na hořáku a dělí se na: [30, 32]



Obr. 29 Popis hořáku [33].

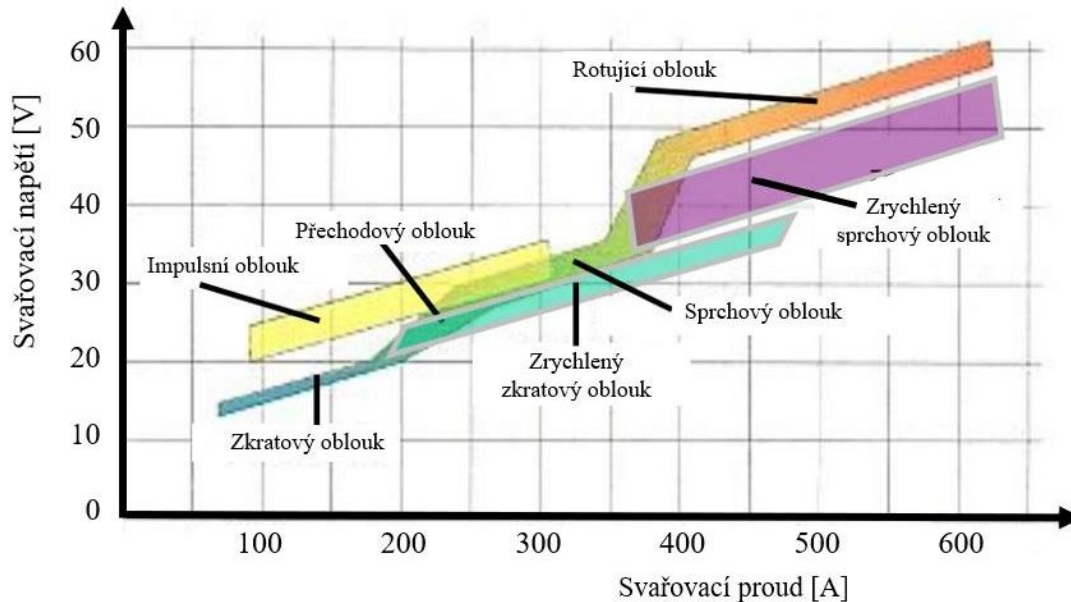
- Dvoutaktní režim – po zapnutí spínače dochází ke spuštění ochranného plynu a jeho předfuku. Za následující 2 sekundy se zapne posuv drátu a svařovací proud. Svařuje se po dobu sepnutí spínače. Po jeho uvolnění se vypne posuv a proud, následně i dofuk plynu. Tento režim se využívá pro stehování, krátké svary a automatický režim na robotech.
- Čtyřtaktní režim – stiskem spínače se pustí ochranný plyn, uvolněním spínače se pustí posuv drátu a vzápětí s malým zpožděním i proud. Na konci svařování dojde ke třetímu sepnutí spínače a vypne se posuv drátu a proud. Čtvrtým sepnutím se vypne i přívod ochranného plynu s nastaveným dofukem. Režim se používá pro dlouhé svary a pro programové ovládání proudu na moderních zdrojích.
- Speciální čtyřtaktní režim – u tohoto režimu dochází k stisknutí a podržení tlačítka hořáku a dochází k principu horkého startu. Ten má funkci usnadňující zapálení oblouku zvýšením proudu na krátkou dobu. Po uvolnění tlačítka dojde k poklesu proudu na nastavenou svařovací hodnotu. Třetím sepnutím spínače se vyvolá další pokles proudu na druhou nastavenou hodnotu a s konečným sepnutím se proud sníží na nastavenou hodnotu pro svařování koncových kráterů. Po uvolnění se proces ukončí.

V dnešní době jsou moderní zdroje vybaveny řadou funkcí, které zlepšují svařovací proces. Tyto funkce lze ovládat v reálném čase, lze je sledovat a řídit pomocí nich svařovací parametry. Patří mezi ně horký start, databáze svařovacích programů a synergické řízení. Hořáky mohou být také vybaveny tryskou pro odsávání škodlivin ze svařování. [32]

### 2.2.2 Způsoby přenosu kovu

Existují různé způsoby přenosů kovu do svarové lázně. Druhy přenosu kovu závisí především na hodnotách svařovacích parametrů proudu a napětí. Dále pak na svařovaném materiálu, na

ochranném plynu, na poloze svařování a na polaritě. Způsob přenosu má velký vliv na formování svaru, velikost rozstříku, operativnost, rychlost zavaření svarů a průběh metalurgických jevů. Druhy přenosu jsou zkratový, kapkový, sprchový, impulzní a rotující. Následně pak jeho kombinace a modifikace jako je přechodový oblouk, zrychlený zkratový oblouk, zrychlený sprchový oblouk. Na obr. 30 lze vidět srovnání všech druhů přenosu na základě rozsahu použitých hodnot proudu a napětí. [29, 30]



Obr. 30 Způsoby přenosu kovů [29].

Zkratový přenos, viz obr. 31, se vyznačuje hodnotou proudu v rozsahu 60 až 180 A a napětí mezi 14 až 23 V. Při těchto parametrech je výkon navaření mezi 1 až 3 kg/hod. Při zkratovém přenosu dochází ke zkratu po dotyku kapky elektrody se svarovou lázní, viz obr. 32. Zkrat trvá po dobu, než se kapka oddělí od zbytku elektrody. Tento způsob přenosu se používá nejčastěji u tenkých plechů, kořenové části svarů a pro svařování v polohách. Charakteristikou přenosu je velký rozstřík, který se nejvíce projevuje u nižších proudů a vyšších napětí. I přes nevýhodu rozstříku patří mezi nejrozšířenější používané přenosy a lze jej použít pro jakýkoli ochranný plyn. [29, 30, 34]



Obr. 31 Zkratový přenos [35].



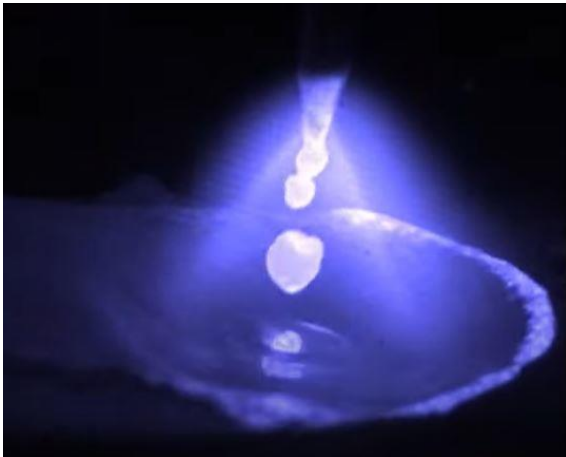
Obr. 32 Schéma zkratového přenosu [30].

Kapkový přenos někdy taktéž označován jako přechodový, má hodnoty proudu mezi 22 až 28 V a hodnota proudu je mezi 190 až 300 A. Od zkratového přenosu se liší tím, že nemá zkratovou fázi. Kapka se před oddělením od elektrody nedotkne svarové lázně, a proto nedojde ke zkratu. Oproti zkratovému přenosu má také vyšší hodnoty proudu a napětí. Kapkový přenos se výrazně projevuje při použití ochranného plynu  $\text{CO}_2$  a vyznačuje se velkým rozstříkem za

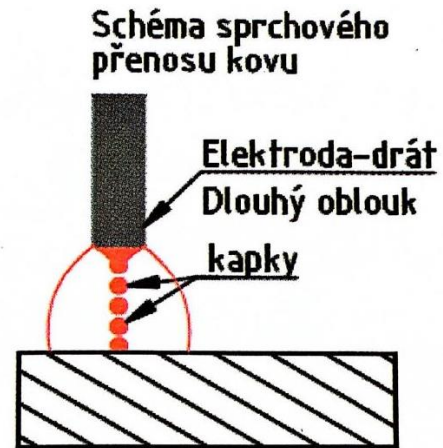


občasného zkratu a mimoosém vymrštění kapky. Na svařenci je proto nutné provést dokončovací operace, což zvyšuje náklady. Využití najde při svařování středních tloušťek, ale kvůli velkému rozstříku a horší ovladatelnosti svařečem nemá velké využití. [29, 30, 34]

Pro sprchový přenos (obr. 33) jsou typické hodnoty proudu a napětí 200 až 500 A a 30 až 40 V. Princip přenosu spočívá v urychlení ohřevu drátu a tím se tvoří malé kapičky, které jsou usměrněny do lázně, viz obr. 34. Zrychlený ohřev drátu je díky snadné ionizaci plynu, který obklopuje i elektrodu a tvoří ostrý hrot. Tenhle proces nelze realizovat v ochranné atmosféře CO<sub>2</sub>, ale jen v Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub> anebo jen v Ar. Použití přenosu je pro střední i větší tloušťky ve vodorovné poloze shora. Výhodou je malý rozstřík. Vyznačuje se vysokou proudovou hustotou, tepelným příkonem a vyšší hloubkou závaru. [29, 30, 34]

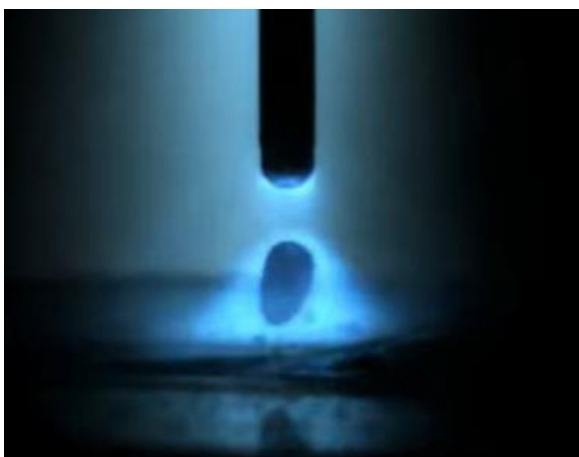


Obr. 33 Sprchový přenos [36].

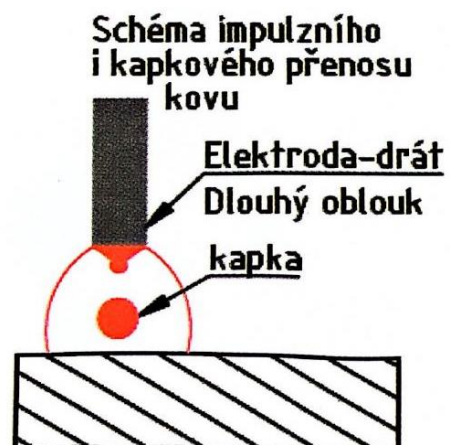


Obr. 34 Schéma sprchového přenosu [30].

Impulzní přenos (obr. 35) kovu je bezzkratový a má hodnotu napětí 24 až 35 V, základní proud je 5 až 50 A a impulzní proud lze časově a tvarově nastavovat od 90 až do 320 A. Jedná se o kombinaci kapkového a sprchového přenosu. Princip je založen na základním proudu, který udržuje ionizaci oblouku a tím i vedení proudu, dále pak udržuje svařovací lázeň kapalnou. Impulzní proud řídí mikroprocesor, který zvyšuje a snižuje svařovací proud i napětí, tím vznikají pulzy. Při dosažení fáze vysokého proudu se kapka nataví a vytvoří se krček, při snižování proudu kapka před dosažením hodnoty základního proudu oddělí a letí do lázně, viz obr. 36. Výhody pulzního přenosu jsou menší vnesené teplo, malý až téměř žádný rozstřík kovu, pravidelná jemná kresba povrchu svaru i kořene. Díky pulzní funkci je možné používat stále stejný druh oblouku i přes změnu hodnoty proudu, dokáže tavit i velké průměry drátu, které jsou levnější. Navařovací výkon je od 2 do 5 kg/hod. Lze jej vhodně použít na svařování tenkých plechů. Pro svařování oceli (metoda MAG) je vhodné použít ochranný plyn směsi Ar + CO<sub>2</sub>. [29, 30, 34]



Obr. 35 Impulzní přenos [37].



Obr. 36 Schéma impulzního přenosu [30].

### 2.2.3 Ochranné plyny

Ochranné plyny ve svařování mají významnou roli a bez nich by se proces nemohl vůbec uskutečnit. Primární funkcí je ochrana svaru před oxidací a nitridací. Další významné vlastnosti ochranných plynů jsou udržování stability oblouku a pomáhají přenosu tepla do svaru. Pro svařování metodou MAG se používá jako ochranný plyn nejčastěji oxid uhličitý nebo směs plynů se základem argonu, jako jsou Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> nebo Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> + He. Na obr. 37 je možné vidět porovnání tepelné vodivosti jednotlivých plynů. Další vlastnosti plynů jsou popsány níže: [32]

- Kyslík – má chemické označení O<sub>2</sub> a je to nehořlavý plyn podporující hoření. Jeho hustota je 1,429 kg/m<sup>3</sup> což znamená, že je těžší než vzduch. Teplota varu v atmosférickém tlaku je -183 °C. Výroba kyslíku spočívá ve zkapalnění vzduchu a jeho následnou destilací. Jako ochranný plyn ve svařování pomáhá zvyšovat tekutost svarové lázně a povrchového napětí roztaveného kovu. Kyslík pomáhá také odplyňovat svarovou lázeň a zlepšovat profil svarové housenky.
- Oxid uhličitý – se chemicky značí CO<sub>2</sub>, jedná se o nehořlavý a nejedovatý bezbarvý plyn, který má hustotu 1,976 kg/m<sup>3</sup>. Bod varu je -78,45°C a relativní hustota je 1,53. S obsahem do 15 % CO<sub>2</sub> ve vzduchu je pro člověka snesitelný, nad 15 % obsahu ve vzduchu hrozí udušení.

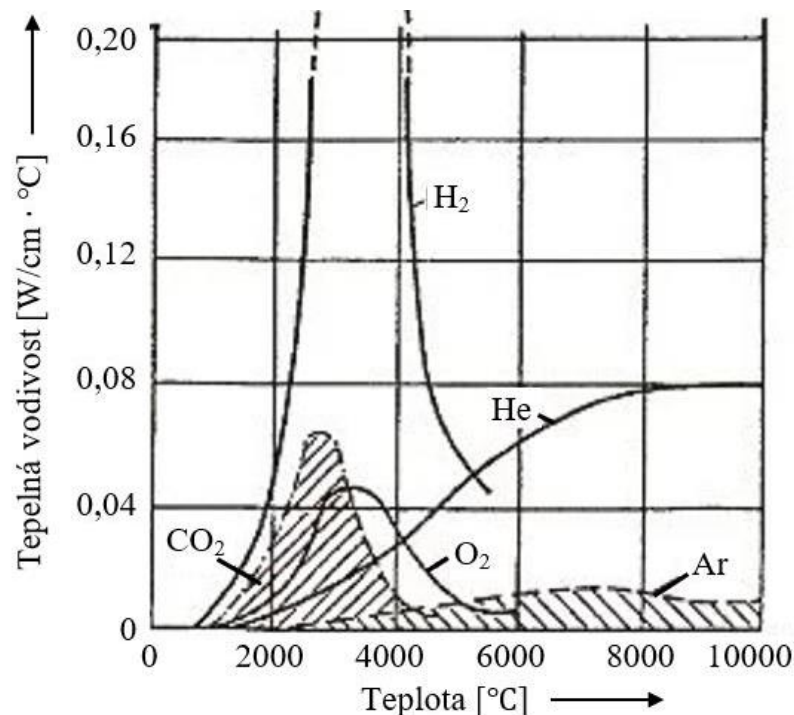
Významný je pro svařování, protože má vysokou tepelnou vodivost a vysoký přenos tepla do svarové lázně. To má za následek dobré natavení svarových hran, hluboký průvar a dobré odplynění lázně. Nevýhoda je zvyšování povrchového napětí na kapce a tím brání její oddělení do svarové lázně, dochází ke zvětšení průměru kapky a po oddělení a dopadu dojde k velkému rozstříku. Svar má velké množství oxidů a strusky na povrchu. Housenka je nerovnoměrná s větším převýšením a přechod svaru do základního materiálu je ostrý.

Oxid uhličitý je uložen v láhvi s tlakem 5 MPa v kapalném stavu, při jeho odpařování a expanzi dochází k ochlazení a zamrznutí ventilů. Proti tomu slouží elektrické ohříváče, které jsou součástí redukčního ventilu. Velké nebezpečí pórovitosti svarů nastává při velké vlhkosti plynu, vlhkost se zvyšuje při klesání tlaku plynu v láhvi, kdy pod 1 MPa nastává velké navlhčení.

- Argon – je bezbarvý jednoatomový plyn bez chuti a zápachu. Je inertní a nevytváří žádné sloučeniny. Má hustotu 1,784 kg/m<sup>3</sup>, která zajišťuje velmi dobrou ochranu svarové lázně především v poloze PA. Destilací zkapalněného vzduchu lze dostat argon, kde je ho přibližně 0,934 %. Jeho teplota varu je -185,8 °C, má také malou tepelnou vodivost a nízký ionizační potenciál. Díky tomu se oblouk dobře zapaluje, má vysokou stabilitu, umožňuje velkou proudovou zátěž a oblouk dosahuje vysokých teplot. Argon je použit pro svařování neželezných kovů, protože zde není přípustná oxidace. Pro svou nízkou kvalitu svaru a neklidné hoření oblouku není vhodný pro svařování konstrukčních ocelí. Argon je často využíván pro svou příznivou cenu.
- Helium – je inertní jednoatomový plyn bez barvy a zápachu. Patří mezi lehké plyny s hustotou 0,178 kg/m<sup>3</sup>, což je pro svařování nevýhodné z důvodu jeho úniku, a proto je potřeba jeho vyšší průtok. Jeho výroba se děje separací z některých druhů zemního plynu, kde se nachází v množství kolem 1 %.

Pro svou velkou tepelnou vodivost se ve svařování zvýší přenos tepla v oblouku, tím dochází k provaření i větších tloušťek, hlavně hliníku, mědi a jejich slitin. Ve směsi s argonem dojde ke zvýšení závaru a rychlosti svařování. Nevýhoda je velký ionizační potenciál, který způsobuje špatné zapalování oblouku a jeho nestabilita při větší délce hoření. Při použití čistého hélia je nutné použít zdroje s vysokým napětím o hodnotě až

100 V a zapálení oblouku se děje pomocí argonu. Pro mechanizované způsoby svařování je vhodné použít hélium.



Obr. 37 Tepelná vodivost ochranných plynů [38].

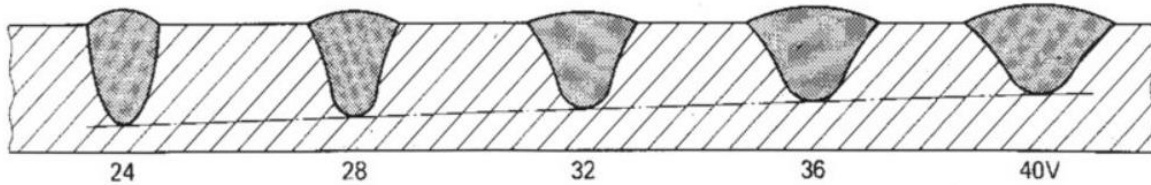
- Směs argonu s 15 až 25 % oxidu uhličitého – je univerzální pro svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. Charakteristikou je stabilita oblouku a hluboký závar při použití zkratového i sprchového přenosu. Zároveň je hladký povrch svaru a dobrý přechod do základního materiálu. Používá se pro všechny tloušťky plechů.
- Argon s 8 % oxidu uhličitého – se vyznačuje vysokou rychlostí závaru, plochým svarem, minimální tvorbou strusky a nízkým rozstříkem. Je určen pro použití vysokovýkonné metody svařování s vysokými proudy. Ideální přenos kovu v oblouku je zde impulsní a sprchový.
- Směs argonu s 5 až 13 % oxidu uhličitého a 5 % kyslíku – se vyznačuje čistými a hladkými svary, měkkým obloukem a klidným svařovacím procesem. Kyslík zajišťuje dobré odplynění a tekutost lázně. Použití sprchového typu přenosu kovu je možné jen při nižší intenzitě proudu. Používá se pro svařování malých a středních tlouštěk plechů při robotizovaných a mechanizovaných metodách.

Ochranné plyny jsou uloženy v tlakových láhvích, které jsou barevně odlišeny. Kromě barevného označení se na láhvi nachází štítek s popisem. Dále je možné také odlišit láhve pomocí redukčního ventilu připojeného na ventil láhve, například oxid uhličitý má pro připojení pravý závit G-3/4“ a směsné plyny s argonem mají pravý závit W 21,8. Barevné označení se provádí na hrdlo láhve a jednotlivé ochranné plyny jsou značeny následovně: [30]

- kyslík je v modré láhvi s bílým pruhem,
- oxid uhličitý má celou láhev šedou,
- argon má šedou láhev s tmavě zeleným pruhem,
- hélium je v šedé láhvi s hnědým pruhem,
- dusík značí zelená láhev s černým pruhem,
- směsi plynů výše mají šedou láhev se světle zeleným pruhem.

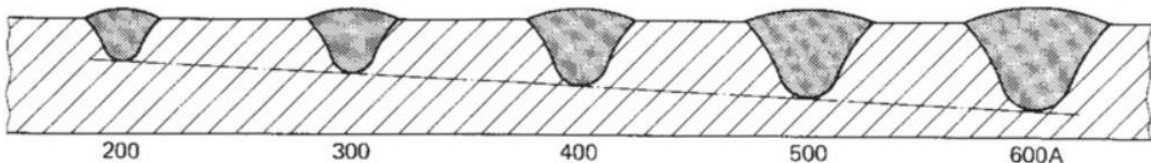
### 2.2.4 Svařovací parametry

Svařovací napětí je potencionální rozdíl mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně. Napětí ovlivňuje tvar svaru, rozměry oblouku, kontrakční účinky oblouku a mění se s délkou oblouku. Nastavuje se pouze v omezeném rozsahu od 14 do 40 V a ovlivňuje typ přenosu kovu. Na obr. 38 lze vidět vliv vybraných hodnot napětí na tvar svarové housenky. Vliv nižšího napětí na tvar housenky má za následek tvorbu úzkých housenek a při větších rychlostech se tvoří i větší převýšení. Dále dochází k nedokonalému natavení hran a ve více vrstvách se můžou vyskytovat i studené spoje. Naopak použití vyššího napětí zvyšuje propal prvků, délku oblouku, rozstřík a pórovitost. Je zde širší a více mělká lázeň, kde hrozí nebezpečí předběhnutí oblouku lázni, která se v nucených polohách i špatně ovládá. [32]



Obr. 38 Vliv napětí na tvar svarové housenky [39].

Svařovací proud má největší vliv na formování svarové housenky a na charakter přenosu kovu. Při jeho zvýšení dojde ke zvýšení proudové hustoty, tekutosti a velikosti lázně, odtavovacího výkonu. Proud výrazně ovlivňuje hloubku závaru, ale minimálně ovlivňuje šířku a převýšení housenky. Obr. 39 ukazuje vliv zvyšování proudu na tvar svarové housenky. [32]



Obr. 39 Vliv proudu na tvar svarové housenky [39].

Proudová hustota je zatížení drátu proudem na velikost jeho průřezu a s menším průměrem drátu se zvyšuje. Na svarovou housenku má podobný vliv jako proud, neboť se zvyšováním proudové hustoty roste hloubka závaru a výkon odtavení drátu. Jednotky jsou  $A \cdot mm^{-2}$  a běžné hodnoty se pohybují od 80 do 350  $A \cdot mm^{-2}$  u průměrů drátů 0,8 a 1,2 mm. [32]

Výběh drátu je obecně volen jako desetinásobek průměru drátu a měří se od konce kontaktního průvlaku po oblouk. Se změnou vzdálenosti se mění řada parametrů svařování, kde nejvýznamnější je změna proudu, který klesá, pokud se vzdálenost zvětšuje. Tento jev má za následek zmenšení průvaru, a změna intenzity proudu může být až o 80 A. [32]

Polarita a druh proudu má u MAGu nemalý vliv na svařování a jak bylo výše zmíněno MAG se používá se stejnosměrným proudem a nepřímou polaritou. Zapojení je charakteristické tím, že zvyšuje hloubku závaru, tvoří malé převýšení a širší housenku. Druhý typ polarit je přímá polarita, která způsobuje zmenšení hloubky závaru a šířky housenky, dále rostoucí převýšení, což lze využít při navařování. [32]

### 2.2.5 Přídavné materiály

Metoda MAG používá přídavné materiály ve formě plného nebo plněného drátu. Typ přídavného materiálu se volí podle svařovaného základního materiálu. Dráty se uchovávají v cívkách většinou o hmotnosti 15 kg, vyrábějí se ale i širším sortimentu, a to v hmotnostech 5, 6, 10, 12, 16, 18, 25 a 30 kg. Pro robotizovaná pracoviště, kde je výhodné tak často nedoplňovat přídavný materiál, lze použít svitek o hmotnosti až 200 kg. Každá cívka i svitek obsahují štítek s informacemi o výrobcí, označení drátu dle výrobce i příslušné normy,



hmotnosti, čísla tavby, průměru drátu a údaje o klasifikaci a certifikaci jiných orgánů. Drát je při přepravě a skladování nutné chránit před poškozením, oxidací a znečištěním. Proto se drát chrání polyetylenovou fólií. [32]

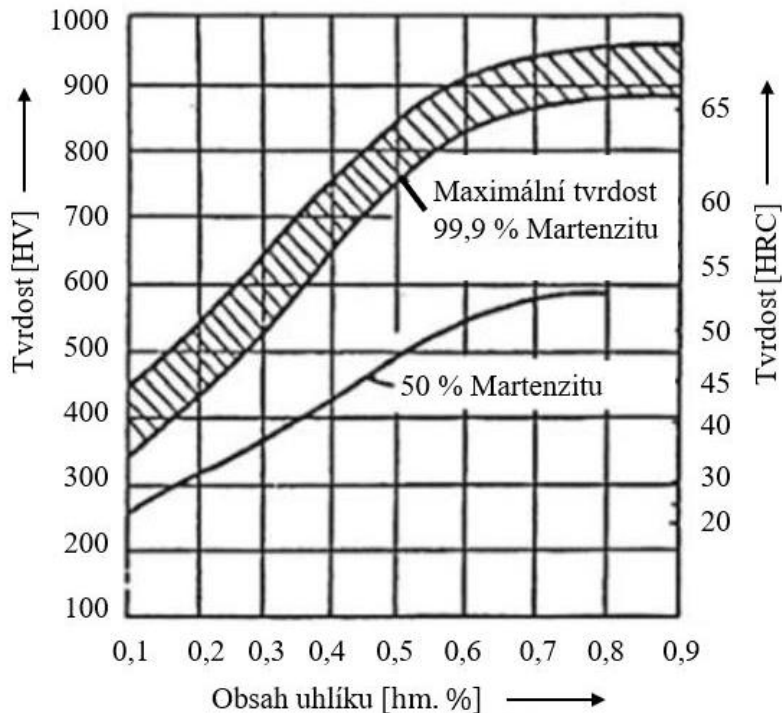
Plné dráty se vyrábí v průměrech 0,6; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; a 2,4 mm z nichž se nejčastěji používá průměr 0,8 a 1,6 mm. Plněné dráty se dělí na typ bezešvý a typ tvarově uzavřený. Bezešvý typ drátu je svařen z pásu vysokofrekvenčním svařováním do tvaru nekonečné trubičky a je kalibrován na požadovaný průměr. Tento plášť je z nízkouhlíkové oceli. Plnění probíhá vibračním způsobem aglomerovaným plnivem, které se zhutňuje. Následně probíhá tažení trubičky na průměr pro žíhání na měkko, kde dochází ke snížení obsahu vodíku na maximální hodnotu 5 ml/100 g svarového kovu. Poté se drát několikanásobně táhne až dosáhne cílového průměru, dále se drát čistí a leští nebo může být poměděn. Plnivo tvoří bazické, rutilové, kyselé, fluoridové struskotvorné přísady, které tvoří na povrchu svaru vrstvu strusky ovlivňující formování svaru a kvalitu povrchu. Dále je trubička naplněna legujícími dezoxidačními a ionizačními přísadami, které mají vliv na kvalitu svaru a hoření oblouku. Trubičky mohou být plněné také kovovou náplní se stabilizační přísadou, tento druh náplně je charakteristický snadným zapálením oblouku, bezrozstříkovým procesem, vysokou výtěžností a odstraněním nutnosti procesu čištění svaru mezi jednotlivými vrstvami. [32]

### 2.2.6 Svařitelnost oceli

Pod pojmem svařitelnost oceli se rozumí míra vhodnosti oceli ke svařování, která po svaření vytvoří technicky vyhovující spoj. Ocel je svařitelná jen do určité míry a za určitého typu svařování a podmínek svařování. Je závislá na metalurgii oceli, dále na technologickém, konstrukčním a mechanickém hledisku. Do metalurgie oceli patří její chemické složení, způsob výroby, struktura a obsažené vnitřní napětí v oceli. Technologické hledisko zahrnuje druh svařovací metody a parametry svařování. Konstrukční hledisko posuzuje tvar, velikost a tuhost svarového spoje. Mechanické hledisko zahrnuje dostatečné potřebné hodnoty mechanických vlastností tak aby svar dokázal odolat zatížení ke kterému je určen, například u namáhaných konstrukcích se místa svarů volí mimo nejvíce zatěžovaná místa na konstrukci. Mechanické vlastnosti svaru jsou podmíněné metalurgií oceli, metodou a parametry svařování. Na základě těchto hledisek se materiály ke svařování dělí na svařitelné, podmínečně svařitelné a běžně nesvařitelné. [40, 41]

Nejvíce vhodné oceli ke svařování jsou nelegované, které mají obsah uhlíku do 0,25 hm. %. Často se svařují bez zvláštních opatření, ale není to pravidlem. Při svařování nelegovaných ocelí se povoluje hodnota maximální tvrdosti 350 HV v tepelně ovlivněné oblasti (dále jen TOO) což je nejvíce kritické místo svaru. Hodnota tvrdosti odpovídá přibližně podílu 50 hm. % martenzitu ve struktuře. Pokud je hodnota vyšší může docházet k trhlinám a praskání svaru v TOO. [40]

Naproti tomu oceli s obsahem uhlíku nad 0,25 hm. % se často svařují již za zvláštních opatření. S vyšším obsahem uhlíku dochází ke zvýšení pevnosti i tvrdosti, ale také k většímu vzniku podílu martenzitu v TOO, což vede ke vzniku trhlin. Na obr. 40 lze vidět hodnotu tvrdosti, která je závislá na obsahu uhlíku a podílu martenzitu ve struktuře. [40]



Obr. 40 Závislost tvrdości na podílu martenzitu a obsahu uhlíku ve struktuře [40].

Mezi zvláštní opatření patří předehřev, svařování s vysokým tepelným příkonem, vyvarování se svařování velkých tloušťek, volba vhodného přídavného materiálu a tepelné zpracování po svaření. U nízkolegovaných ocelí přísadové prvky ovlivňují svařitelnost, z tohoto důvodu je potřeba posoudit vhodnost ke svařování, a zda je nutné použít zvláštní opatření nebo lze ocel svařovat bez zvláštních opatření. [40]

Pro posouzení vhodnosti oceli ke svařování z hlediska chemického složení slouží uhlíkový ekvivalent. Zobrazuje vliv jednotlivých prvků na kalitelnost. Oceli, které se lépe zakalí jsou méně vhodné ke svařování. Dle mezinárodního svářečského institutu (IIW) existuje vzorec pro výpočet uhlíkového ekvivalentu, kde čím vyšší je jeho hodnota tím méně se ocel hodí ke svařování anebo jen za použití potřebných opatření. Vzorec lze použít pro oceli s obsahem uhlíku větší než 0,18 hm. %, kde, pokud je uhlíkový ekvivalent menší nebo roven 0,45 hm. % není potřeba používat zvláštní opatření a svařitelnost je zaručená. Pokud je ovšem hodnota uhlíkového ekvivalentu vyšší než 0,45 hm. % je nutné použít zvláštní opatření, nejčastěji předehřev. Lze jej vypočítat pomocí vztahu níže: [40]

- Uhlíkový ekvivalent dle IIW [40]:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (2.5)$$

kde:  $C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu$  – obsah jednotlivých chemických prvků [%],

Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu existuje více variant výpočtu a dle normy ČSN EN ISO 1011–2 metody B je to:

- Uhlíkový ekvivalent dle ČSN EN ISO 1011–2 [42]:

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}, \quad (2.6)$$

kde:  $C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu$  – obsah jednotlivých chemických prvků [%],

Pokud se dle uhlíkového ekvivalentu zjistí, že je nutné použít předehřev existuje několik způsobů pro jeho výpočet. Výpočet dle normy ČSN EN ISO 1011–2 metody B zahrnuje chemické složení svařovaného materiálu, jeho tloušťku a vliv svařovací metody. Výpočet je dle vztahů níže: [42]

- Teplota předehřevu:

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}, \quad (2.7)$$

kde:  $T_{pCET}$  – teplota vlivu chemického složení [°C],  
 $T_{pd}$  – teplota vlivu tloušťky svařovaných materiálů [°C],  
 $T_{pHD}$  – teplota vlivu obsahu difuzního vodíku HD ve svarovém kovu [°C],  
 $T_{pQ}$  – teplota vlivu tepelného příkonu [°C],

- Vliv chemického složení dle vzorce [43]:

$$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150, \quad (2.8)$$

- Vliv tloušťky svařovaných materiálů dle vzorce [43]:

$$T_{pd} = 160 \cdot \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110, \quad (2.9)$$

kde:  $d$  – tloušťka svařované součásti [mm],

- Vliv obsahu difuzního vodíku HD dle vzorce [43]:

$$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100, \quad (2.10)$$

kde:  $HD$  – obsah difuzního vodíku HD ve svarovém kovu pro metodu svařování [ $\text{ml} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ ],

- Vliv tepelného příkonu dle vzorce [43]:

$$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 53 \cdot CET + 32, \quad (2.11)$$

kde:  $Q$  – množství vneseného tepla do svaru [ $\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ ],

Při svařování se do svaru vnáší velké množství tepla a tím dochází k intenzivnímu místnímu ohřevu vysokými teplotami. Dochází k natavování kovu a následnému přestupu tepla dále do základního materiálu. Výsledkem vysokých teplot jsou změny v základním materiálu jako je fázová přeměna základního a přídavného materiálu, fyzikálně chemické reakce, změny struktur v oblasti svaru, změny objemu způsobující vnitřní napětí a deformaci svaru. Změny závisejí především na svařovaném základním materiálu, technologii svařování a množství vneseného tepla do svarového spoje vztaženého na jednotku délky. Množství vneseného tepla se vypočítá podle následujícího vztahu: [40]

- Vnesené teplo:

$$Q = \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v} \cdot \eta, \quad (2.12)$$

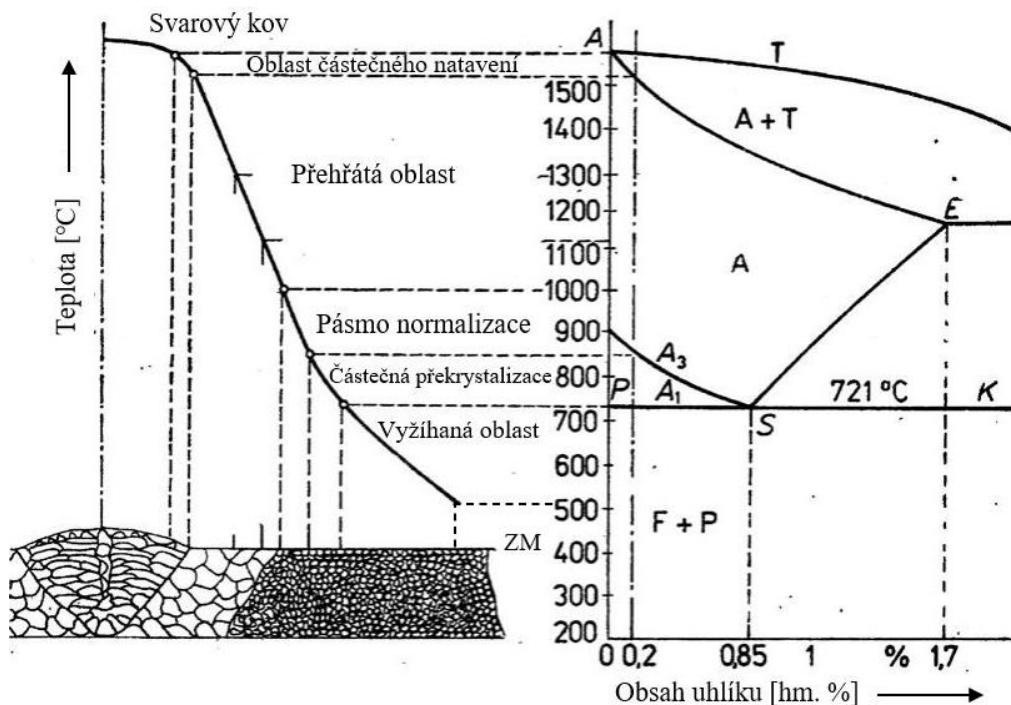
kde:  $U$  – svařovací napětí [V],  
 $I$  – svařovací proud [A],  
 $v$  – rychlost svařování [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $\eta$  – koeficient účinnosti svařovací metody [-],

Tavením základního a přídavného materiálu vzniká svarový kov, kde podíl nataveného základního materiálu ve svarovém kovu se označuje jako promísení. Tvar a velikost svarové lázně je přímo závislý na svařovacím měrném příkonu. Pokles teploty pod teplotu likvidu

znamená začátek krystalizace svaru. Svarový kov krystalizuje celulárně nebo dendriticky. Celulární krystalizace probíhá při pomalejším ochlazení a nemá krystalografickou orientaci, naproti tomu dendritická krystalizace se vyznačuje růstem při větším zchlazení a zrna rostou v dané krystalografické orientaci. Často svar začíná krystalizovat nejdříve dendriticky a následně pak celulárně, to lze ovlivnit svařovacími parametry. Mikrostruktura svaru je závislá především na chemickém složení ale také na svařovacích parametrech. Oproti základnímu materiálu má svar horší houževnatost, únavové vlastnosti, žárupevné vlastnosti a tečení. To je dáno typem mikrostruktury, velikostí zrn, precipitačními procesy, čistotou svarového kovu, povrchovými defekty, stárnutím a počtem inkluzí. [40]

TOO je oblast svaru kde dochází ke změnám vlivem působení tepla. Často se jedná se o nejkritičtější místo svarového spoje, protože zde dochází ke strukturním změnám, které výrazně ovlivňují vlastnosti svaru. TOO lze rozdělit na několik pásem, viz. obr. 39. Před TOO je pásmo částečného natavení, které rozděluje TOO a svarový kov. TOO se rozděluje na následující části: [40]

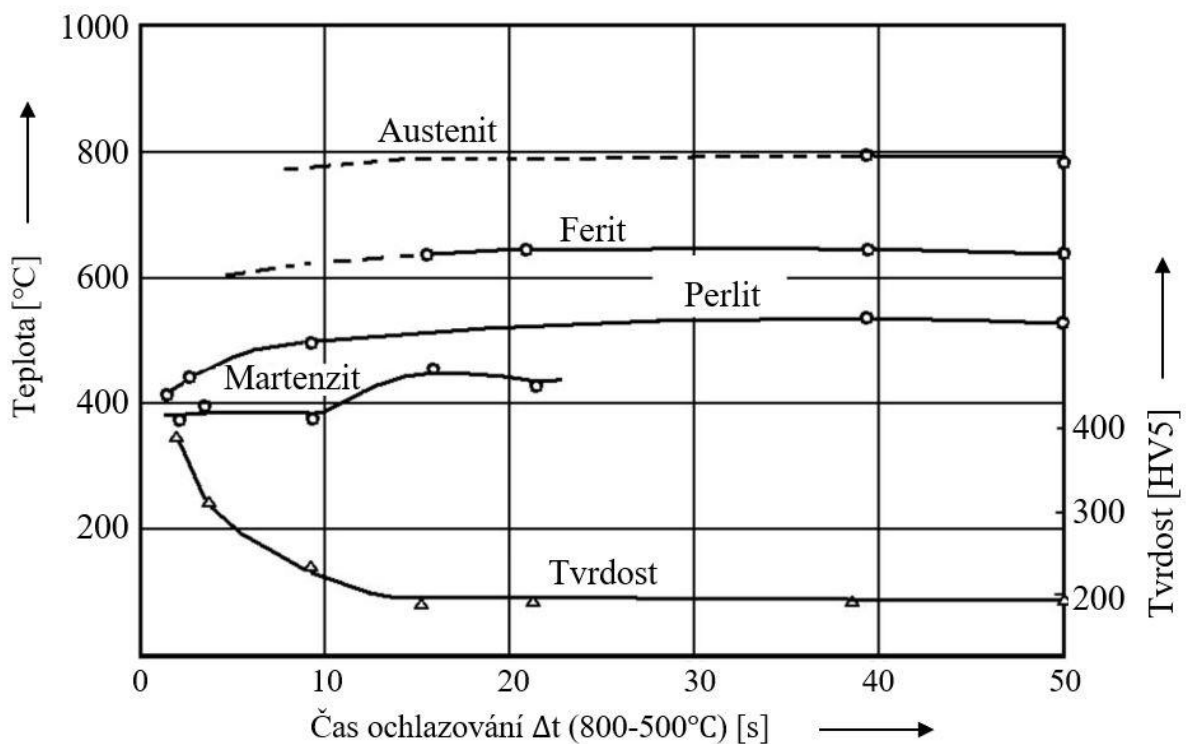
- Pásmo přehřátí – se pohybuje v teplotách nad  $A_{c3}$ , kde u nelegovaných ocelí je to teplota přibližně  $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pro mikrolegované je to teplota  $1250$  až  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dochází zde k růstu primárních zrn, které jsou závislé na chemickém složení oceli a na teplotním ovlivnění. V přehřáté oblasti se nachází hlavně hrubá zrna a struktura je zde většinou martenzitická s vysokou hustotou dislokací. Pásmo se vyznačuje zvýšenou tvrdostí, nižšími plastickými vlastnostmi, náchylností k praskání, vyššími pevnostními vlastnostmi a nízkou houževnatostí. Proto je vhodné svarový spoj po svaření tepelně zpracovat popuštěním.
- Pásmo normalizace – je pod teplotou přehřátí a nad teplotou  $A_{c3}$ . Vzniká zde jemnozrná struktura tvořená i martenzitem, který je ohraničeným austenitem, dále je zde snižena hustota dislokací a nachází se zde také zbytkové nerozpuštěné fáze.
- Pásmo částečné překrystalizace – je mezi teplotami  $A_{c3}$  a  $A_{c1}$ . Probíhají zde precipitační procesy a popouštění martenzitu, což má za následek pokles napětí a dislokací, dále se vytvoří subzrna a výsledná struktura je více homogenní.



Obr. 41 Vliv teploty na strukturu svaru [40].

Pro počátky a konce jednotlivých přeměn slouží diagram anizotermického rozpadu austenitu neboli ARA diagram. Znárodnuje ochlazování austenitu při různých rychlostech. Při nejmenší rychlosti ochlazování vznikne perlitická nebo feriticko – perlitická struktura. Rychlejší ochlazování znamená strukturu tvořenou i bainitem. S dalším nárůstem rychlosti ochlazování se ve struktuře objevuje více martenzitu a při kritické rychlosti ochlazování dojde k tvorbě martenzitické struktury se zbytkovým austenitem. ARA diagram dává informace o možných problémech s danou ocelí a lze vyčíst teoretickou strukturu v oblasti svaru dle rychlosti ochlazování. Nežádoucím strukturám je možné zabránit předehřevem nebo dohřevem při svařování, případně předchozí housenku vyžítat pomocí následující housenky. [8, 40]

ARA diagramy jsou pro každý materiál kvůli chemickému složení unikátní. Pro svařování jsou vytvořeny speciální ARA diagramy nazvané ARA In situ, které lépe specifikují očekávanou strukturu, viz obr. 42. Hlavní rozdíl oproti klasickým ARA diagramům je v časové ose, kde se vynáší čas chladnutí z teploty 800 °C na 500 °C, označovaný jako  $\Delta t_{8/5}$ . Tento čas je zde protože, mezi teplotami 800 až 500 °C je velká pravděpodobnost dosažení kritické struktury typu martenzit nebo bainit. Nejsou zde ani konstantní křivky chladnutí jako u klasického diagramu ARA, ale rychlost ochlazování závisí na teplotě, a proto je vyjádřena parametrem  $\Delta t_{8/5}$ . Tuto teplotu je možné ovlivnit předehřevem, dohřevem nebo zvýšením tepelného příkonu, parametry se počítají nebo je lze také změřit pomocí termočlánků. Diagram zaznamenává i limitní hodnoty tvrdosti dle Vickerse HV5. Diagramy se sestavují na základě reálných svařovacích cyklů, a proto jsou pro svařování více důležité než klasické ARA diagramy. [40, 43]



Obr. 42 Diagram ARA In situ oceli 11 503 [43].

### 2.2.7 Vady ve svarech

Pokud při svařování vznikají odchylky od předepsaných technických norem a podmínek, tak se tyto odchylky nazývají vady. Vady ve svaru jsou velmi nebezpečné, protože jsou považovány za koncentrátoři napětí, které ovlivňují mez únavy a můžou být i iniciátorem tvorby křehkého lomu. Dělí se na vnější, které lze vidět pouhým okem nebo s pomocí jednoduchých pomůcek a na vnitřní, které lze pozorovat a najít pomocí přístrojů nebo laboratorních zkoušek. Vady se rozdělují na jednotlivé typy, které jsou: [40, 44]



- Trhliny za horka – vznikají ve svarovém kovu i v TOO při ochlazování z vysokých teplot nad 850 °C. Rozdělují se na krystalizační, likvační a polygonizační trhliny. Krystalizační vznikají ve svarovém kovu při jeho krystalizaci. Likvační vznikají v TOO nebo ve svarovém kovu při několikavrstvém svařování. Příčinou krystalizační a likvační trhliny je chemické složení oceli, a to především obsah S, P, B, Nb, Ti a Si, které s Fe tvoří nízkotavitelná eutektika. Snížení pravděpodobnosti vzniku trhliny pomáhá snížení obsahu S a P v oceli na maximálních 0,02 hm. %.

Polygonizační jsou označovány jako trhliny z poklesu tažnosti a vznikají v TOO ale i ve svarovém kovu při přibližné teplotě 850 °C. Souvisí s poruchami na hranicích zrn při ochlazování. Polygonizační trhliny se vyskytují jen u vysokolegovaných ocelí a u slitin niklu.

Jako opatření proti vzniku horkých trhlin se používají přídavné materiály vysoké čistoty a snížení měrného příkonu svařování. Další možnost je omezení deformací a napětí pomocí vhodných technik svařování, vhodného tvaru svarového spoje a využití předehřevu. Dále nepoužívání housenek s malým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem, hlavně v kořenové oblasti.

- Studené trhliny – vznikají pod teplotami 200 °C a na rozdíl od trhlin za horka jsou transkrystalického charakteru s lesklým a neoxidovaným povrchem. Nachází se nejčastěji v podhousenkové oblasti, ale mohou být i v kořenové oblasti a ve svarovém kovu. Příčina vzniku je vzájemné působení tří faktorů, a to přítomnost vodíku ve svaru, přítomnost struktury citlivé na účinek vodíku a přítomnost zbytkových tahových napětí. Nejčastějším zdrojem vodíku ve svaru je atmosférická vlhkost, vlhkost z obalu elektrod a svařovací dráty po povrchové úpravě. Vodík se ve svarovém kovu rozpouští a rozkládá v závislosti na teplotě, koncentraci a typu vměstků, mikropórů a dislokací, makropórů a rychlosti ochlazování.

Vznik studených trhlin úzce souvisí s prokalitelností neboli s transformačním zkřehnutím, což popisuje také uhlíkový ekvivalent. Opatření pro zamezení vzniku studených trhlin je používání nízkovodíkové technologie svařování, provádění vysoušení přídavných materiálů, zabránění navlhnutí přídavných materiálů, aplikování předehřevu, dohřevu a vyššího měrného příkonu. Dále jde o volbu vhodné techniky svařování pro snížení vzniku zbytkových napětí a neméně důležité je také vyvarování se ostrých vad hlavně v kořenové oblasti jako jsou neprůvary, studené spoje, zápaly.

- Lamelární trhliny – vznikají v základním materiálu a v TOO následkem namáhání ve směru tloušťky. Zpravidla mají stupňovitý, kaskádovitý tvar rovnoběžný s povrchem plechu. Hlavní příčina jsou rozválcované plastické vměstky, plastické vlastnosti oceli ve směru tloušťky, parametry a způsob svařování a množství difuzního vodíku.

Pro omezení vzniku trhlin je vhodné použít materiály se zaručenou kontrakcí více než 15 % ve směru osy Z, snížit obsah difuzního vodíku, přesměrovat tahová napětí pomocí změny tvaru spoje, použít metody svařování, které minimalizují napětí.

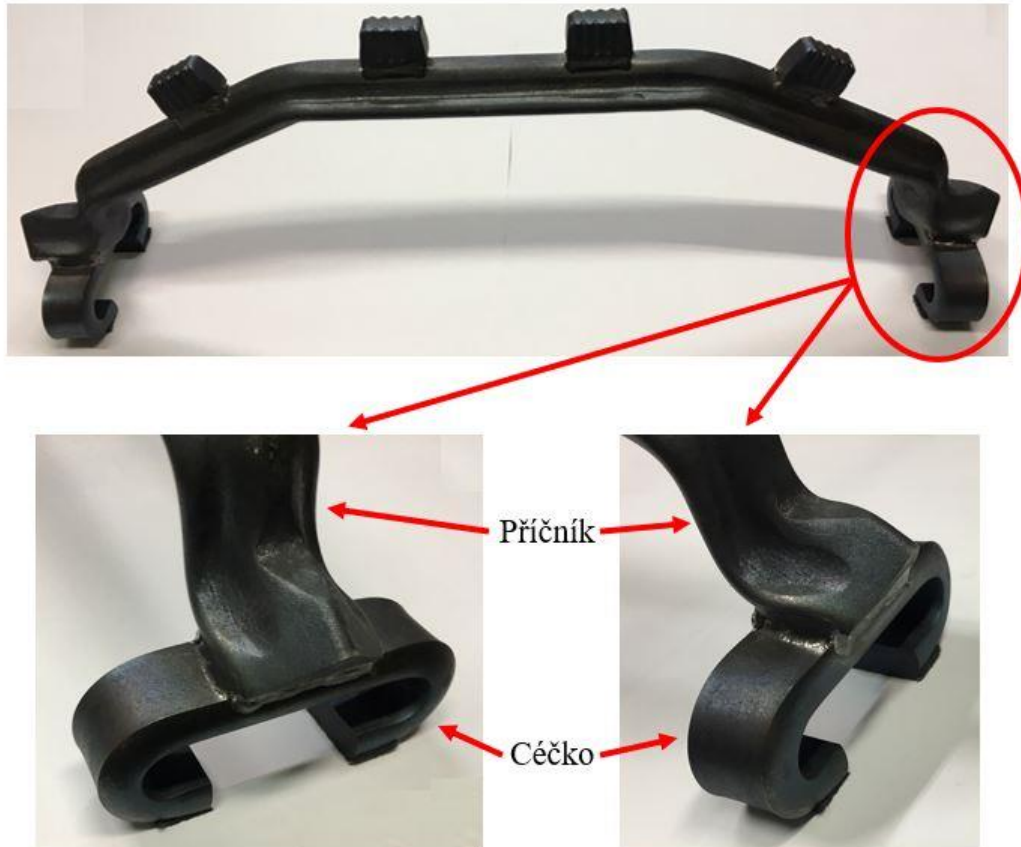
- Žíhací trhliny – mohou vzniknout při tepelném zpracování svaru. Příčinou vzniku trhlin mohou být nízké žíhací teploty, tj. teploty při ohřevu v oblasti 200 až 300 °C, dále žíhací teploty 600 až 650 °C a návary nízkolegovaných ocelí při plátování austenitickou navařovací páskou. Opatření proti vzniku trhlin probíhá úpravou žíhacích režimů, které jsou snížení rychlosti ohřevu a rychlosti ochlazování, žíhání z mezioperační teploty, nebo použití dvojrstvého návaru tak aby druhá housenka vyžihala předchozí.
- Póry a bubliny – jedná se o objemové vady kulovitého až protáhlého tvaru, které jsou vyplněné plynem. Důvod vzniku je špatně vysušená elektroda, vlhkost plynu, nečistoty na svarových hranách, vysoká rychlost svařování a rychlé tuhnutí.

- Vměstky – vzniknou při neúplném odstranění strusky mezi jednotlivými vrstvami, kdy struska předbíhá oblouk anebo dojde ke špatnému položení svarové housenky. Oxidické vměstky vzniknou v důsledku nedokonalého vyčištění povrchu a kovové vměstky vzniknou v důsledku vysokých proudů, porušení ochrany plynem nebo při dotyku elektrody se svarovou lázní.
- Neprůvary – vznikají důsledkem neúplného natavení základního materiálu nebo okolních svarových housenek. Nejčastěji se objevují při zkratovém přenosu kovu a příčinou může být vysoká svařovací rychlost, nízký svařovací proud, nevhodné svarové úkosy, předběhnutí svarové lázně a příliš vysoká housenka.
- Studené spoje – vznikají díky nedokonalému tavnému spojení svarového kovu a základního materiálu nebo navařenou housenkou. Příčinou je nízký svařovací proud, velká rychlost svařování, nesprávné vedení elektrody a její špatně zvolený průměr.
- Zápaly – jedná se o ostrá natavená prohloubení u svarové housenky a základního materiálu. Nejčastější je výskyt u koutových svarů. Zápal vzniká z důvodu velkého svařovacího proudu, dlouhého oblouku, nevhodného průměru elektrody a její špatné vedení.



### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro zjištění, zda je možné ruční nátěr pastou Condursal z technologického postupu výroby kolopásu plně vypustit a neztratit tak kvalitu výrobku, je potřeba vyrobit a porovnat vzorky. Konkrétně se jedná o vzorky z oblasti spoje příčnicku a céčka, viz obr. 43. Céčko je z materiálu ocel 30MnB5 a materiál příčnicku je ocel 27MnCrB5 – 2.



Obr. 43 Řešená oblast.

Svařovaná oblast se svařuje metodou MAG s přídavným materiálem ve formě drátu od firmy ESAB s označením OK Autroid 12.51 o průměru 1,2 mm. Jako ochranný plyn je použit Corgon 18, jde o směs argonu a oxidu uhličitého. Konkrétní parametry svařování jsou o hodnotách proudu  $I=265$  A, napětí  $U=30,7$  V a rychlost svařování je  $v=4,25$  mm.s<sup>-1</sup>. Účinnost svařovací metody MAG je  $\eta=0,6-0,8$ , kde volím hodnotu  $\eta=0,7$ . Tloušťka svařené oblasti příčnicku s céčkem je  $d=68$  mm. Pro zjištění, jaké množství tepla bude do svaru vneseno je nutný výpočet:

- Vnesené teplo dle vztahu (2.12):

$$Q = \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v} \cdot \eta$$

$$= \frac{30,7 \cdot 265}{10^3 \cdot 4,25} \cdot 0,7 = 1,339 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Výsledné vnesené teplo do svaru je po zaokrouhlení  $1,34$  kJ·mm<sup>-1</sup>.

Pro zjištění, zda je u příčnicku potřeba použít zvláštní opatření jako například předehřev je nutné vypočítat uhlíkový ekvivalent. Předehřev céčka se při svařování neaplikuje. Uhlíkový ekvivalent se vypočítá dle vztahu níže a byla vybrána varianta dle normy ČSN EN ISO 1011-2 metoda B, kde hodnoty obsahu jednotlivých prvků byly brány z tab.1:

- Uhlíkový ekvivalent dle vztahu (2.6):

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

$$= 0,28 + \frac{1,23 + 0,02}{10} + \frac{0,47 + 0,15}{20} + \frac{0,08}{40} = 0,438 \text{ hm. \%}$$

Výsledný uhlíkový ekvivalent je 0,438 hm. %, což je více než 0,26 hm. %, kterou uvádí norma a je tedy nutné použít přehřev.

Potřebnou hodnotu přehřevu lze zjistit výpočtem z normy ČSN EN ISO 1011–2 metoda B a vypočítá se následovně:

- Teplota přehřevu dle vztahu (2.7):

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$$

$$= 178,5 + 43,56 + 16,08 - 2,99 = 235,15 \text{ °C}$$

Výsledná teplota přehřevu pro svařování příčnicku má dle výpočtu hodnotu 235,15 °C.

- Vliv chemického složení dle vztahu (2.8):

$$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150 = 750 \cdot 0,438 - 150 = 178,5 \text{ °C}$$

- Vliv tloušťky svařovaných materiálů dle vztahu (2.9):

$$T_{pd} = 160 \cdot \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110 = 160 \cdot \tanh\left(\frac{68}{35}\right) - 110 = 43,56 \text{ °C}$$

- Vliv obsahu difuzního vodíku HD dle vztahu (2.10):

$$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100 = 62 \cdot 6^{0,35} - 100 = 16,08 \text{ °C}$$

kde: HD– obsah difuzního vodíku HD ve svarovém kovu pro metodu svařování dle skupiny C, do které spadá technologie MAG volen na hodnotu  $HD=6 \text{ ml} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ . []

- Vliv tepelného příkonu dle vztahu (2.11):

$$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 53 \cdot CET + 32$$

$$= (53 \cdot 0,438 - 32) \cdot 1,34 - 53 \cdot 0,438 + 32 = -2,99 \text{ °C}$$

Po konzultaci s firmou pewag je nutné k posouzení proveditelnosti potřeba čtyř vzorků ze zmíněné svařené oblasti. Jedná se o dva vzorky, kde byla použita pasta Condursal, které mají číslo 1 a 2. Další dva vzorky jsou vyrobeny bez použití ochranné pasty Condursal a jsou očíslovány číslem 3 a 4. Číslo byly vybrána podle počtu důlků, který každý svařený vzorek obsahuje. Na obr. 44 lze vidět označení a rozvržení vzorků před jejich vyroběním.

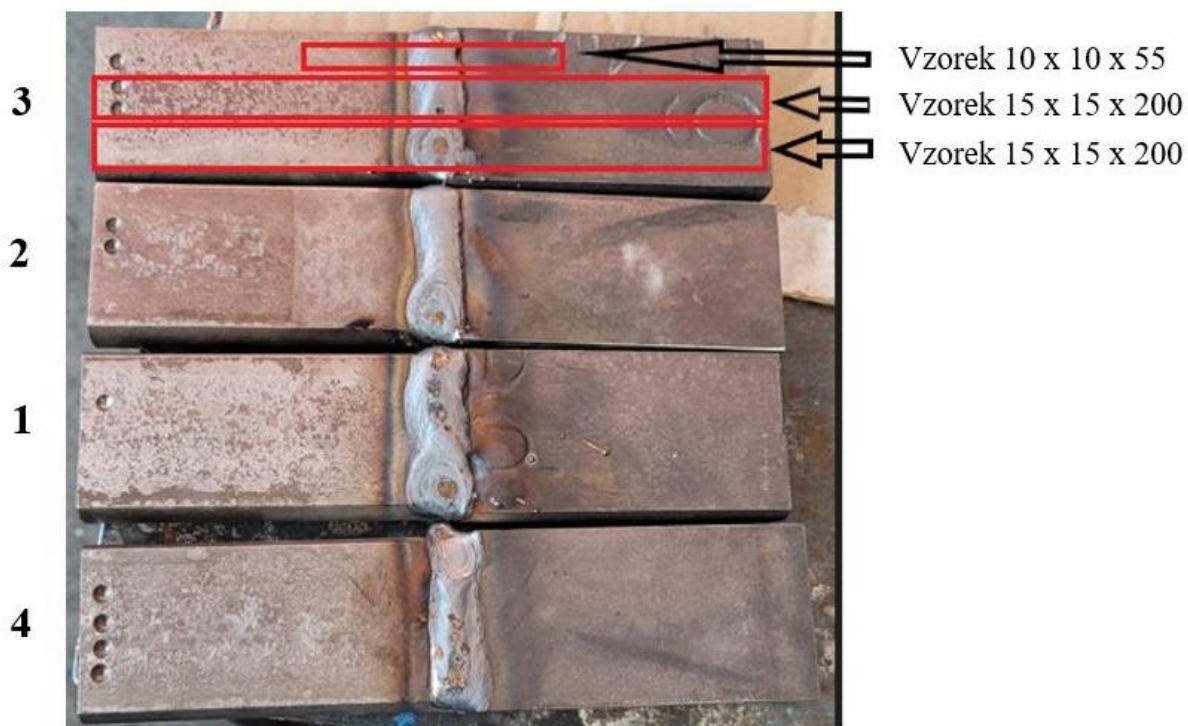


Obr. 44 Označení vzorků.

Pro zjednodušení budou vzorky svařeny na tupo. Parametry svařování jsou stejné jako při sériové výrobě příčniku s céčkem, akorát místo svařování robotem byly vzorky svařeny ručně metodou 135. Ruční svařování bylo z důvodu požadavku nepřerušovat robotické svařování na sériové výrobě.

Tyto zavařené vzorky je nutné podrobit destruktivním zkouškám k získání vyhodnocujících dat. Předem firma požadovala provedení vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury, dále zkoušky měření tvrdosti, vrubové houževnatosti, tahové zkoušky a na závěr změření množství zbytkového austenitu. Získané data jsou potřebné pro porovnání dvou párů vzorků mezi sebou. Na základě toho dojde k vyhodnocení experimentu a vyvození závěru, zda je možné nátěr pastou Condursal z výrobního postupu plně vypustit či nikoli.

Firma po výrobě vzorků a konzultaci ohledně budoucího zpracování experimentu, každý vzorek nadělila na 3 části. Dělení materiálu probíhalo pomocí elektroerozivního drátového řezání. Znázornění, jak byly vzorky rozděleny popisuje obr. 45, kde první část vzorku s rozměry 10 x 10 x 55 mm je použita na zkoušku vrubové houževnatosti a druhá část s rozměry 15 x 15 x 200 mm je pro tahovou zkoušku. Poslední třetí část s rozměry 15 x 15 x 200 mm je pro soubor zkoušek, kde patří vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury, zkouška tvrdosti a měření zbytkového austenitu.



Obr. 45 Náčrt rozdělení vzorku pro nařezání [1].

### 3.1 Příprava vzorků

Vzorky pro vrubovou houževnatost a tahovou zkoušku stačilo přichystat elektroerozivním řezáním, ale vzorky na zkoušku tvrdosti, měření zbytkového austenitu a vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury bylo nutné ještě předpřipravit. Důvod předpřípravy byl vzorky zmenšit tak, aby se vešly do tablet s průměrem 2 cm a vybrousit je tak, aby na nich šlo pozorovat co je potřeba.

V první fázi se ze vzorků odřeže přebytečný materiál, který je zbytečné vybrušovat. Zakrácení vzorků proběhlo na metalografické pile Labotom – 5 od firmy Struers, viz obr. 46 a zakrácené vzorky lze vidět na obr. 47. Po zakrácení byla pro snadnější výbrus vzorků odřezána tenká část materiálu, aby se vzorky zbavily drsnosti povrchu po elektroerozivním řezání. Toto odřezání proběhlo na metalografické pile Labotom s chladicí kapalinou, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění vzorku.



Obr. 46 Metalografická pila.



Obr. 47 Nařezané vzorky.

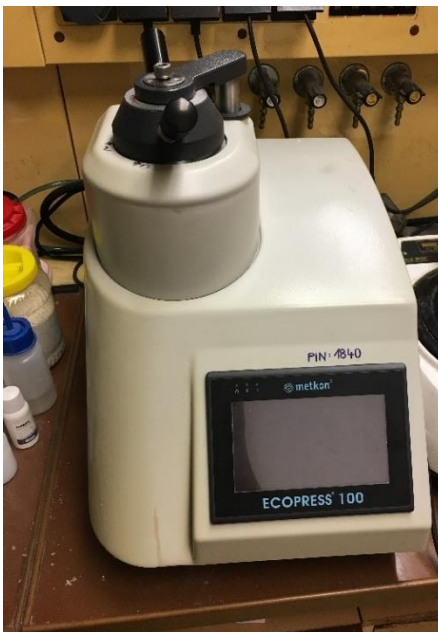


Po řezání následovalo vybroušení vzorků do stavu, ze kterého lze vyhodnotit makrostrukturu. Broušení probíhalo za použití proudu vody na brusce Saphir 330, ATA s ručním přtlakem, viz obr. 48. V první fázi byly použity kotouče větší zrnitosti a následně se vybrušovalo jemnějšími, a to od zrnitosti 80, 180, 240, 360, 400 až po 600 a 800  $\mu\text{m}$ . Po vybroušení byly vzorky naleptány nitalem po dobu 3 až 4 s, jedná se o roztok kyseliny dusičné s lihem. Z takto přichystaných vzorků byly nafoceny snímky pro vyhodnocení makrostruktury.



Obr. 48 Bruska Saphir 330.

Po nafocení makrostruktury byly vzorky ořezány na metalografické pile na velikost, aby se oblast svaru na vzorku vešla do tablety. Následné zalisování probíhalo pomocí zařízení ECOPRESS 100 od firmy Metkon, viz obr. 49, kde se posuzovaná část vzorku umístila do zařízení a zasypala se bílou pryskyřicí, poté došlo k zalisování a vznikla tableta se vzorkem. Následně se nechaly vzorky strojně obrousit za použití proudu vody nejdříve na kotoučích o zrnitosti 120 a 220  $\mu\text{m}$ . Další fází bylo leštění vzorků na kotoučích o zrnitosti 800 a 1200  $\mu\text{m}$  za použití diamantové pasty, která má velikosti zrn 1 až 3  $\mu\text{m}$ . Broušení a leštění probíhalo na zařízení LaboPol – 5 od firmy Struers, viz obr. 50. Poslední operací bylo naleptání vzorků nitalem po dobu 3–4 s. Následně bylo možné pozorovat mikrostrukturu.



Obr. 49 Zařízení pro lisování ECOPRESS 100.



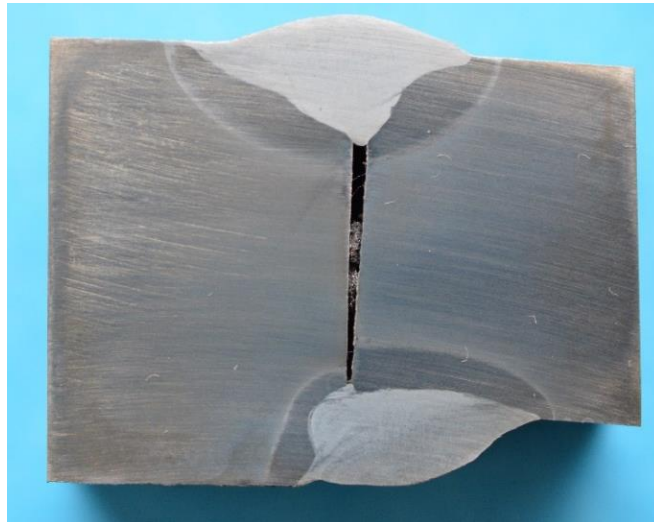
Obr. 50 Bruska LaboPol.

### 3.2 Vyhodnocení makrostruktury

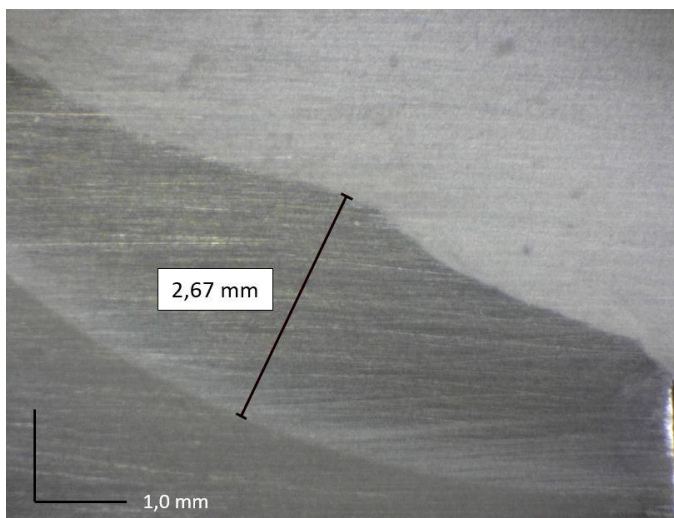
Makrostruktura oceli zkoumá největší parametry a elementy, které lze často pozorovat okem anebo pouze s mírným zvětšením maximálně 20krát. Zahrnují se zde elementy do 100  $\mu\text{m}$  a nejčastěji se pozorují trhliny, dutiny, póry, svar a jeho TOO, řediny a hrubé vměstky. [45]

Pro pozorování makrostruktury byly využity ještě nezalisované a nezmenšené vzorky. Ty byly nafoceny fotoaparátem a následně každý vzorek nafocený ještě pod mikroskopem připojeného k počítači, kde se změřila TOO. Tloušťku svařených vzorků nelze provařit s jednovrstvým svarem bez úkosu. Cílem také nebylo hodnotit, zda jsou vzorky provařené či nikoli, ale pozorování ovlivnění svaru, vady a velikost tepelně ovlivněné oblasti.

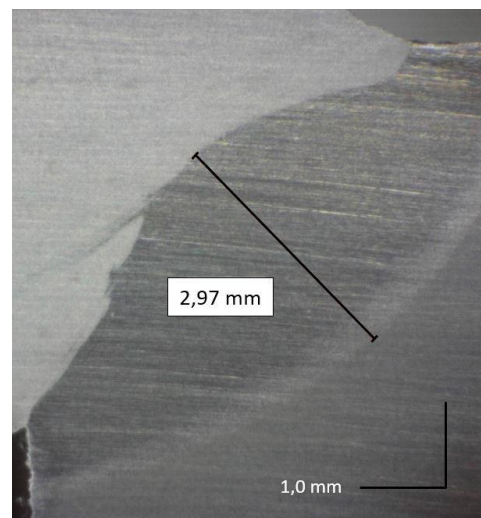
Na obr. 51 je makrosnímek vzorku 2, kde byla aplikována pasta Condursal. Pozorována byla hlavně horní část svaru s plynulým přechodem, jak lze vidět kořen svaru není provařen. Obr. 52 zobrazuje zvětšenou levou část horního svaru a jedná se o svar s materiálem céčka. Lze vidět že největší délku má TOO uprostřed a je to 2,67 mm, svar je jinak bez jiných vad. Na obr. 53 je zvětšený svar z pravé části horního svaru. Jedná se o svar s materiálem příčnicku, kde lze vidět, že největší TOO je uprostřed s délkou 2,97 mm. Lze také vidět nedokonalé promísení základního materiálu se svarovým kovem, kde to je na obr. zakroužkováno, kromě toho se jedná o svar bez jiných vad.



Obr. 51 Makrostruktura vzorku 2.



Obr. 52 Makrosnímek levé části.



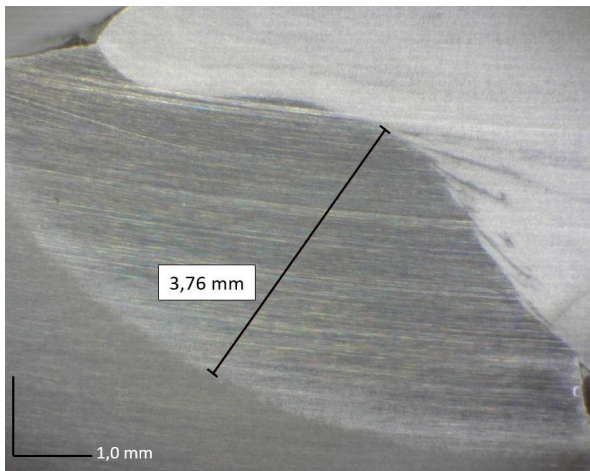
Obr. 53 Makrosnímek pravé části.



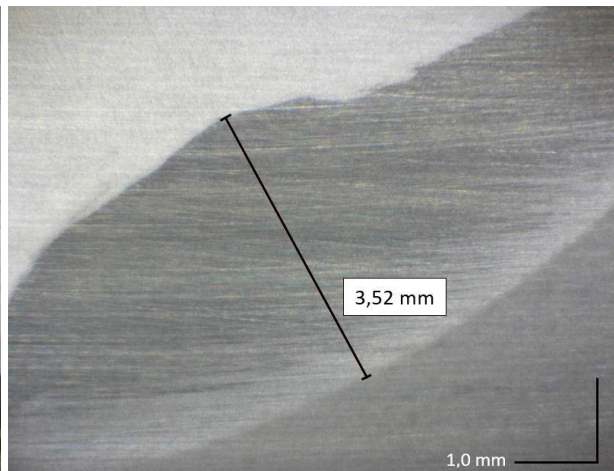
Na obr. 54 je makrosnímek vzorku 3, kde nebyla aplikována pasta Condursal. Pozorována byla hlavně horní část svaru s rovným přechodem, jak lze vidět kořen svaru není provařen. Obr. 55 zobrazuje zvětšenou levou část horního svaru a jedná se o svar s materiálem příčnicku. Lze vidět, že největší délku má TOO uprostřed a je to 3,76 mm. Lze také vidět nedokonalé promísení základního materiálu do svaru, ale svar je jinak bez jiných vad. Na obr. 56 je zvětšený svar z pravé části horního svaru. Jedná se o svar s materiálem céčka, kde lze vidět, že největší TOO je uprostřed s délkou 3,52 mm, kromě toho se jedná o svar bez jiných vad.



Obr. 54 Makrostruktura vzorku 3.



Obr. 55 Makrosnímek levé části.



Obr. 56 Makrosnímek pravé části.

Pro ukázkou byl zvolen jako zástupce vzorku s pastou Condursal vzorek 2 a to pro svou kvalitnější pořízenou fotografii, snímky vzorku 1 se nachází v příloze a velikost TOO se pohybuje na levé straně svaru 4,14 mm a vpravo je to 3,37 mm. Pro zástupce ze dvou vzorků bez použití pasty Condursal byl pro ukázkou zvolen vzorek 3 a to pro svou kvalitnější pořízenou fotografii, snímky vzorku 4 se nachází v příloze a velikost TOO se pohybuje na levé straně svaru 3,33 mm a vpravo je to 3,18 mm.

### 3.3 Vyhodnocení mikrostruktury

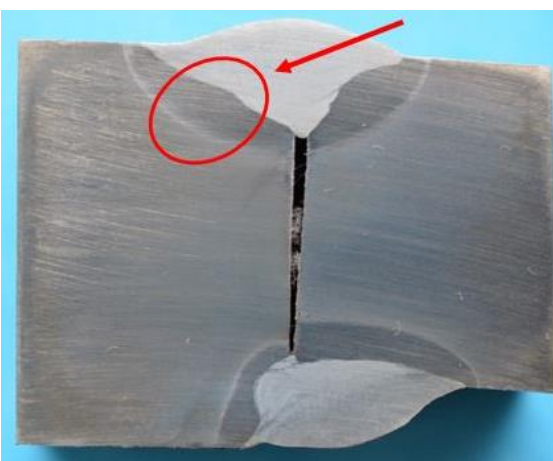
Mikrostruktura oceli se zabývá parametry a elementy v rozmezí 100  $\mu\text{m}$  až 100 nm, které již nelze vidět pouhým okem nebo při mírném zvětšení. Proto se při pozorování používají světelné nebo i elektronové mikroskopy. Při světelné mikroskopii lze dosáhnout zvětšení až 2000x. Slouží pro pozorování strukturních fází, defektů, stanovení čistoty, obsahu vměstků a stanovení velikosti zrn. [45]

Pozorování mikrostruktury bylo provedeno na zalisovaných a vyleštěných vzorcích v tabletách. Ty byly zvětšeny pomocí světelného mikroskopu NEOPHOT 32 od firmy ZEISS, viz obr. 57 mikroskop je připojen na počítač, pomocí kterého proběhlo nafocení vzorků a k snímkům byly přidány měřítka a zvětšení. Mikrostruktura všech studovaných svarů byla analyzována v oblasti vyznačené na obr. 58. Pro ukázkou je jako u makrostruktury volen vzorek 2 a 3. Snímky vzorků 1 a 4. se nachází v příloze. Vzorek 1 má ve svarovém kovu perliticko-feritickou strukturu, v TOO je struktura martenzitická a základní materiál má martenziticko-bainitickou strukturu. Vzorek 4 má perliticko-feritickou strukturu ve svarovém kovu, dále v TOO je struktura martenzitická a základní materiál má martenziticko-bainitickou strukturu.

Na obr. 59 je tableta se vzorkem 2 pozorována pod objektivem 3,2 se zvětšením 25,6krát, snímek je pořízen z oblasti spojení céčka (ocel 30MnB5) a svarového kovu, který je tvořen přidavným materiálem OK Autroid 12.51. Ostrý přechod svarového kovu do TOO a plynulejší přechod z TOO do základního materiálu je vidět na obr. 59. Rozhraní svarového kovu a TOO je na obr. 60, kde jemnější struktura je svarový kov a hrubší struktura je TOO. Snímek byl pořízen pod objektivem 50 při zvětšení 1000krát. Pod stejným objektivem a zvětšením byl pořízen snímek na obr. 61, kde lze vidět rozhraní hrubší struktury TOO a v pravé dolní části je jemnější základní materiál céčka.



Obr. 57 Mikroskop NEOPHOT 32.

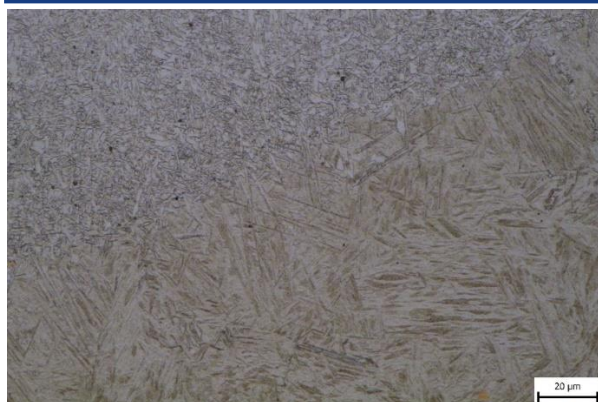


Obr. 58 Oblast pro mikrostrukturu.

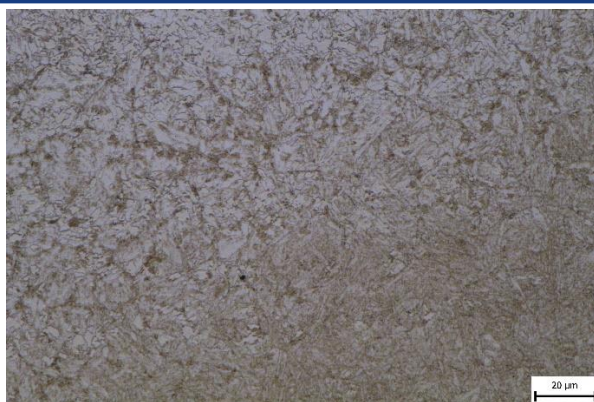


Obr. 59 Mikrosnímek vzorku č. 2.





Obr. 60 Rozhraní svarový kov a TOO.



Obr. 61 Rozhraní TOO a základní materiál.

Obr. 62, 63 a 64 jsou snímky pořízené objektivem 50 a se zvětšením 1000krát. Snímek obr. 62 zobrazuje strukturu svarového kovu, která je martenzitická s acikulárním feritem. Dále na obr. 63 je martenzitická struktura TOO, kde lze vidět tmavé a světlé jehlice martenzitu, to, zda jsou tmavé nebo světlé ovlivňuje směr ve kterém jsou rozřezány. Na obr. 64 je struktura základního materiálu tzn. céčka, která je martenzitická s větším množstvím zbytkového austenitu.



Obr. 62 Mikrosnímek svarového kovu.



Obr. 63 Mikrosnímek TOO.



Obr. 64 Mikrosnímek základního materiálu.

Na obr. 65 je mikrosnímek vzorku 3 nafocen pod objektivem 3,2 a se zvětšením 25,6krát. Nafocená oblast je stejně jako u vzorku 2 z oblasti spojení céčka a svarového kovu. Na obr. 65 je vidět ostrý přechod svarového kovu do TOO, který je na horní části snímku a plynulejší přechod z TOO do základního materiálu se nachází na spodní části. Na obr. 66 je snímek rozhraní svarového kovu, kde jemnější struktura je svarový kov a hrubší struktura je TOO. Snímek byl pořízen pod objektivem 50 při zvětšení 1000krát. Pod stejným objektivem a zvětšením byl pořízen snímek na obr. 67, kde lze vidět rozhraní hrubší struktury TOO, která je v horní části snímku a v dolní části je jemnější struktura základního materiálu.

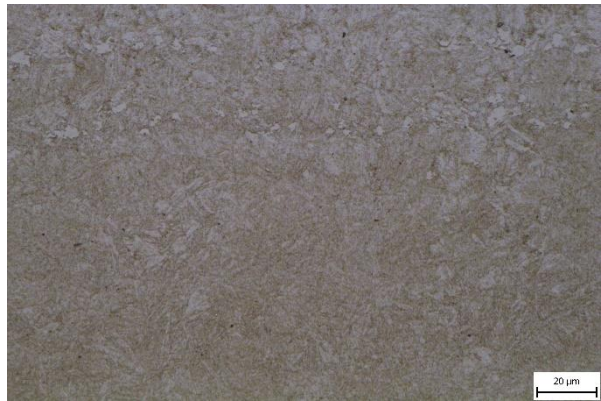




Obr. 65 Mikrosnímek vzorku č. 3.



Obr. 66 Rozhraní svarový kov a TOO.



Obr. 67 Rozhraní TOO a základní materiál.

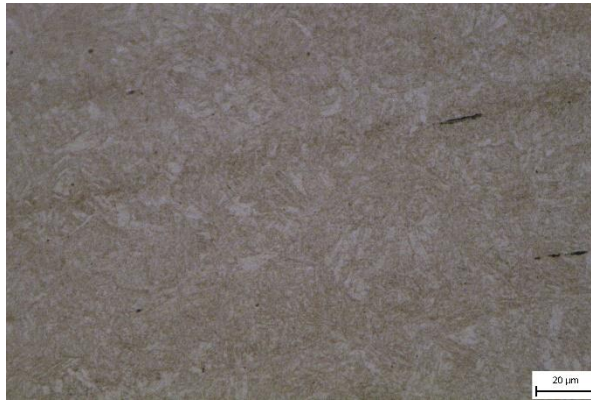
Obr. 68, 69 a 70 jsou snímky pořízené objektivem 50 a se zvětšením 1000krát. Snímek obr. 68 zobrazuje martenzitickou strukturu s acikulárním feritem. Obr. 69 ukazuje martenzitickou strukturu TOO, kde jsou rozřezané v různých směrech tmavé a světlé jehlice martenzitu. Na obr. 70 je struktura základního materiálu, která je martenzitická se zbytkovým austenitem.



Obr. 68 Mikrosnímek svarového kovu.



Obr. 69 Mikrosnímek TOO.

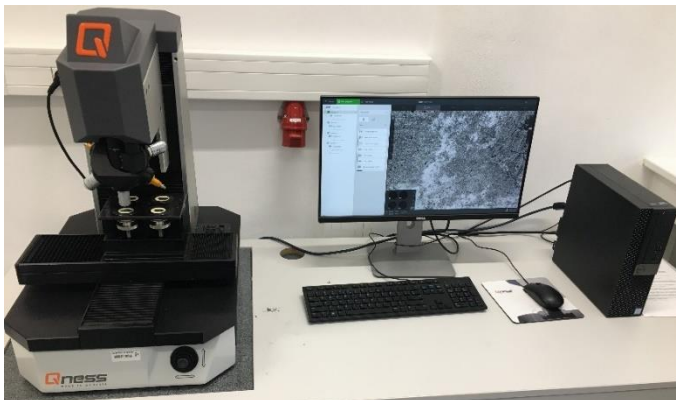


Obr. 70 Mikrosnímek základního materiálu.

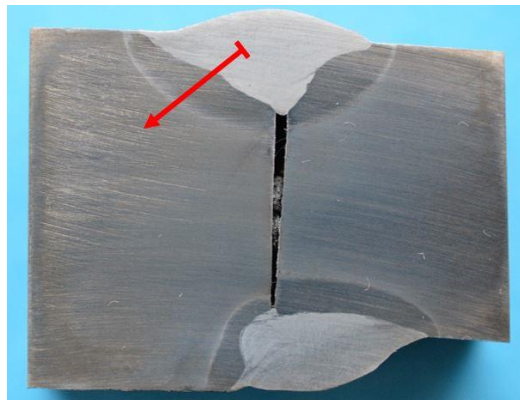
### 3.4 Měření tvrdosti

Pro změření tvrdosti byla zvolena metoda podle Vickerse, která se za hodnotou tvrdosti značí jednotkami HV. Jedná se o metodu, kdy se do měřeného vzorku vtlačuje indentor konkrétně diamantový jehlan s vrcholovým úhlem  $136^\circ$ . Následně se měří délky úhlopříček a výpočtem se získá hodnota tvrdosti. Zkouška probíhá obvykle za pokojové teploty na rovném a hladkém povrchu, bez okují a mazadel, nejčastěji se povrch připravuje leštěním. Zatížení indentoru se pohybuje od 0,0098 N až po 980,7 N. Podle hodnoty zatížení se měření dle Vickerse rozděluje na makrotvrdost a mikrotvrdost. Minimální hodnota zátěžné síly pro to, aby se ještě jednalo o makrotvrdost je 49 N a tato hranice se značí HV5. Pro nižší hodnoty zatížení se jedná o měření mikrotvrdosti. Zatížení indentorem působí po dobu přibližně 14 s. Aby nedošlo k ovlivnění měření je nutné u okraje dodržet minimální vzdálenosti a pro vícenásobné měření, kdy se provede více vtisků za sebou, platí podmínka dodržení minimální vzdálenosti vtisků mezi sebou. [40, 46]

Pro první fázi měření tvrdosti byly využity vzorky v tabletách, které jsou vyleštěny a naleptány nitalem. Pro měření byl využit tvrdoměr Qness Q10A v propojení s počítačem, viz obr. 71, kde je pro měření používán program Qpix CONTROL. Na vzorkách byla naměřena mikrotvrdost HV1. Měřená oblast na každém vzorku byla vybrána tak aby obsahovala materiál céčka, tedy oceli 30MnB5. Na každém vzorku bylo provedeno 15 vtisků na vzdálenosti 7 mm, kde vtisky byly od sebe vzdáleny 0,5 mm. Cílem měření bylo porovnat tvrdosti vzorků s použitou pastou Condursal a bez použití této pasty, za účelem, zda se budou hodnoty tvrdosti lišit či nikoli.



Obr. 71 Tvrdoměr Qness Q10A.

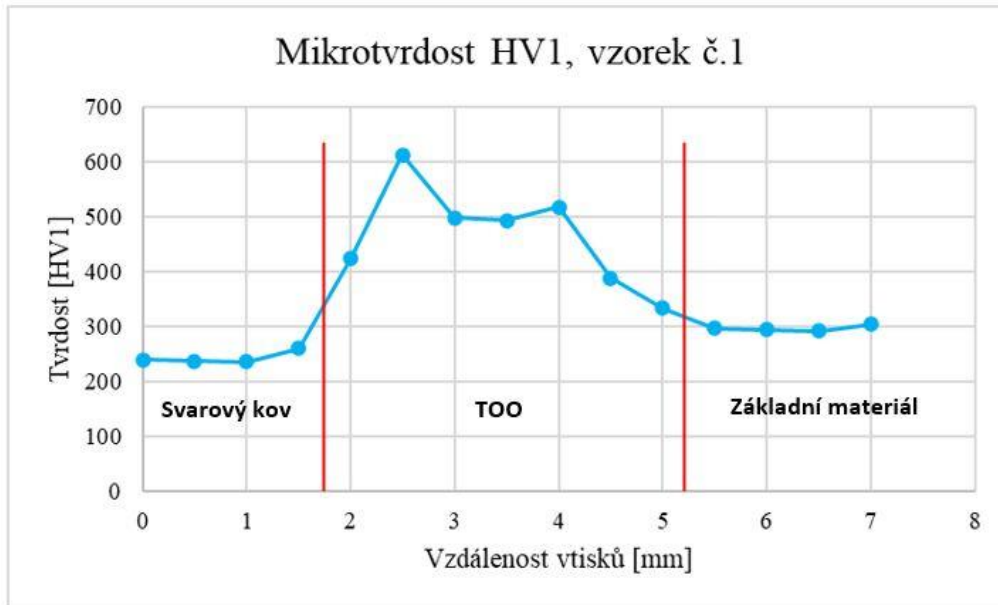


Obr. 72 Schéma vzoru linie vtisků.

Na obr. 73 je znázorněn průběh tvrdosti na vzorku 1, kde se hodnoty tvrdosti pohybují od 236 až po 613 HV1. Graf je rozdělen na sítěžní oblasti, a to na svarový kov, TOO a základní

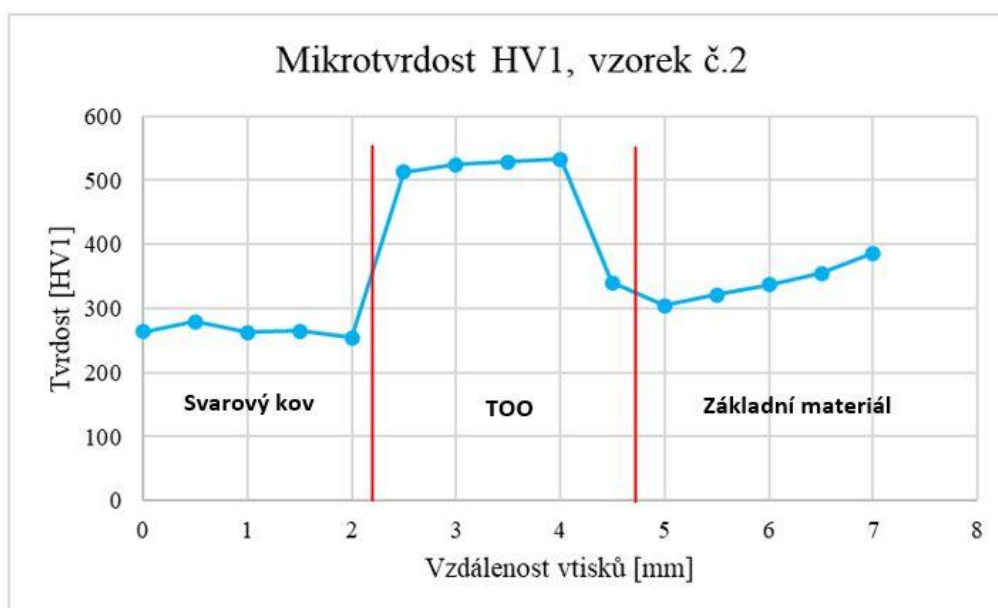


materiál céčka. Nejnižší hodnoty tvrdosti má svarový kov a to průměrně 243,5 HV1. TOO má nejvyšší naměřenou hodnotu tvrdosti 613 HV1, která se svou hodnotou vymezuje oproti sousedním vpichům. Takto zvýšená tvrdost může být způsobena přímým vpichem hrotu jehlanu do zrna martenzitu. Průměrná hodnota v této oblasti je 467,4 HV1. Při následném přechodu do základního materiálu tvrdost klesá až na průměrnou hodnotu 297,3 HV1, kde nejvyšší dosažená tvrdost zde je 305 HV1.



Obr. 73 Průběh tvrdosti HV1 na vzorku č.1.

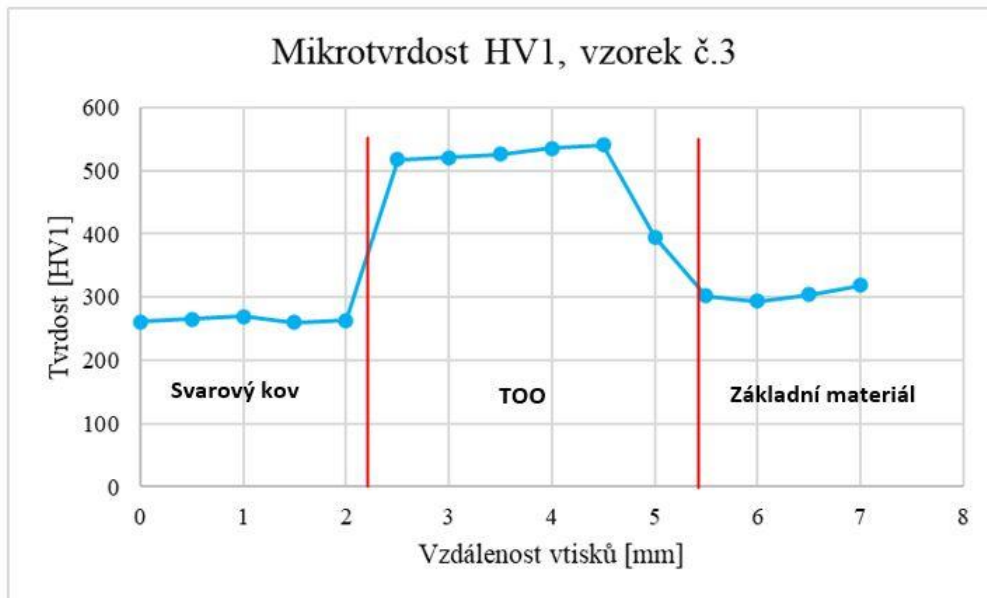
Obr. 74 znázorňuje průběh tvrdosti na vzorku 2, kde se hodnoty tvrdosti pohybují v rozsahu od 254 do 533 HV1. Na grafu je vidět, že nejnižší hodnoty tvrdosti má svarový kov, kde je nejvyšší hodnota 279 HV1 a průměrná hodnota tvrdosti v této oblasti je 265 HV1. Hodnoty tvrdosti poté rostou až na průměrnou hodnotu tepelně ovlivněné oblasti a to na 487,6 HV1. V této oblasti je nejvyšší dosažená tvrdost 533 HV1 a nejnižší je 340 HV1, která je blízko hranice konce TOO a došlo zde k překrytí a snížení tvrdosti. Dále se tvrdost snižuje až na hodnotu 304 HV1 základního materiálu. Z této hodnoty tvrdost mírně roste a průměrná hodnota tvrdosti v oblasti základního materiálu je 340,6 HV1.



Obr. 74 Průběh tvrdosti HV1 na vzorku č.2.

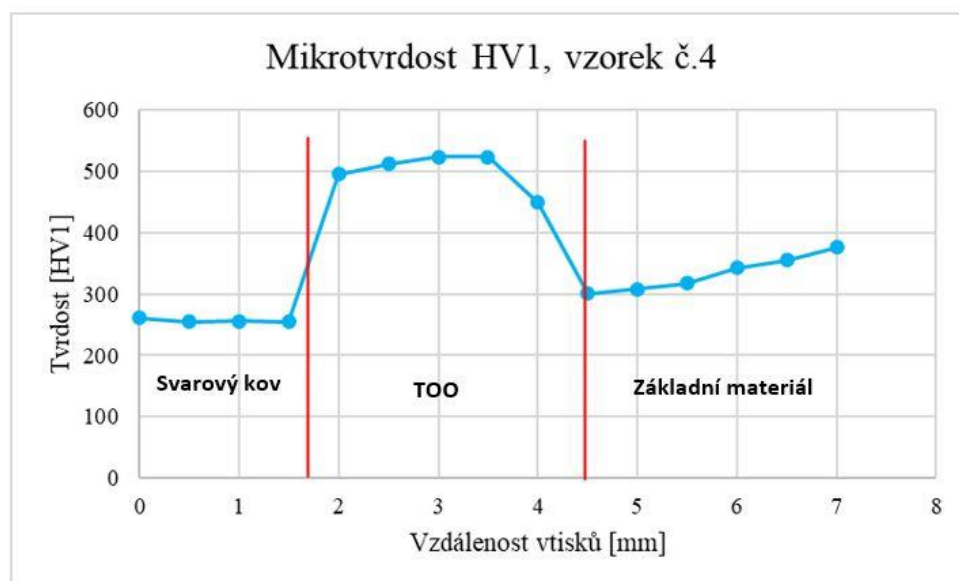


Průběh tvrdosti na vzorku 3 je zakreslen v grafu na obr. 75, kde se hodnoty tvrdosti pohybují od 260 až po 540 HV1. Oblast svarového kovu má průměrnou hodnotu tvrdosti 263,6 HV1 a nejvyšší hodnota je 269 HV1. Tvrdost poté při dosažení tepelně ovlivněné oblasti vzroste na průměrnou hodnotu 505,7 HV1 s nejvyšší dosaženou tvrdostí 540 HV1. Následně začne tvrdost klesat na hodnotu 302 HV1, která se nachází téměř na hranici pásem základního materiálu a TOO. Pásmo základního materiálu má průměrnou hodnotu tvrdosti 304,5 HV1, ale v grafu lze vidět stoupající tendenci tvrdosti na nejvyšší tvrdost v této oblasti 319 HV1.



Obr. 75 Průběh tvrdosti HV1 na vzorku č.3.

Poslední vzorek 4 má průběh tvrdosti znázorněn na obr. 76 s hodnotami tvrdosti pohybující se od 255 až po 524 HV1. Oblast svarového kovu dosahuje průměrné tvrdosti 256,8 HV1, kde nejvyšší hodnota je 261 HV1. V pásmu TOO se hodnota tvrdosti zvýší na průměrnou hodnotu 500,8 HV1, kde nejvyšší naměřená hodnota je 524 HV1 a z této tvrdosti následně začíná pokles. Klesání probíhá až do hodnoty 301 HV1, která se nachází na hranici rozhraní TOO a základního materiálu. V základním materiálu má následně tvrdost tendenci stoupat až na nejvyšší naměřenou tvrdost v této oblasti 376 HV1. Průměrná hodnota pásma základního materiálu je 333,5 HV1.



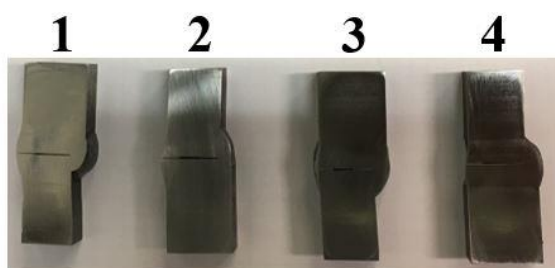
Obr. 76 Průběh tvrdosti HV1 na vzorku č.4.

Naměřené tvrdosti mají podobné průběhy i hodnoty tvrdosti a nijak zvláště se neliší vzorky 1 a 2, které byly natřené pastou Condursal se vzorky 3 a 4, které jsou bez použití Condursalu. Dále je vidět, že nejnižší hodnoty tvrdosti má svarový kov, kde není hrubozrnná martenzitická struktura, která je v porovnání se strukturou zakaleného základního materiálu a TOO měkkí. Nejvyšší tvrdosti dosahuje TOO díky své hrubozrnné martenzitické struktuře, která vznikla vlivem přehřátí. Následně lze vidět v každém vzorku ještě pokles hodnoty tvrdosti ještě v TOO, a to z důvodu snížení teploty pomocí odvodu tepla ze svaru do základního materiálu. Tak vznikne pásmo částečné překrystalizace a vyžíhaná oblast, kde se zjemní zrno a sníží se tvrdost. Tvrdost základního materiálu se zvyšuje směrem od TOO, nižší hodnoty tvrdosti základního materiálu lze přičíst teplotě která je mohla ovlivnit. Z tohoto měření tvrdosti tudíž vyplývá, že použití pasty Condursal nemá na svařování vliv.

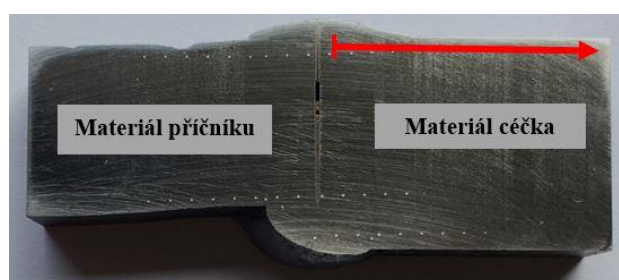
Pro další ověření je nutné změřit tvrdost i na povrchu na kterém probíhá cementace. Pro toto měření tvrdosti byly zvoleny vzorky, které zaujímají větší oblast než vzorky zalisované do tablet, kde vzdálenost osy svaru od hrany vzorku je malá. Zvolené vzorky lze vidět na obr. 77, kde byly před měřením tvrdosti upraveny ručním broušením na kotouči o zrnitosti 240  $\mu\text{m}$ . Broušení probíhalo na brusce Saphir 330, ATA s ručním přitlakem a s použitím proudu tekoucí vody. Po vybroušení následovalo samotné měření tvrdosti dle Vickerse.

Měření probíhalo na tvrdoměru Qness Q10A v propojení s počítačem a programem Qpix CONTROL. Pro měření byla zvolena tvrdost v jednotkách HV5, což znamená zátěžnou sílu 49,03 N. Obr. 78 zobrazuje vyznačenou linii vtisků od svaru po okraj vzorku. Vtisky byly vytvořeny ve vzdálenosti 0,5 mm pod povrchem s rozmezím vtisků 0,5 mm mezi sebou. Na vzorku jsou vidět i vpichy mimo vyznačenou linii, ty byly provedeny jen jako informativní a nejsou stěžejní pro výsledky diplomové práce.

Cílem tohoto měření bylo stejně jako v předešlém měření zjistit a porovnat tvrdosti vzorků 1 a 2 se vzorky 3 a 4, za účelem posouzení vlivu pasty Condursal. Při předchozím způsobu měření byla linie vzorků uvnitř vzorku, tzn. tam kde je největší TOO. Zde se ale mohl uhlík v nacementované vrstvě popustit a difundovat dále do součásti. Následující měření má linii vpichů u povrchu součásti, kde by už k tomuto jevu dojít nemělo. Nacementovaná vrstva by se měla projevit i v rozdílu tvrdosti mezi vzorky.

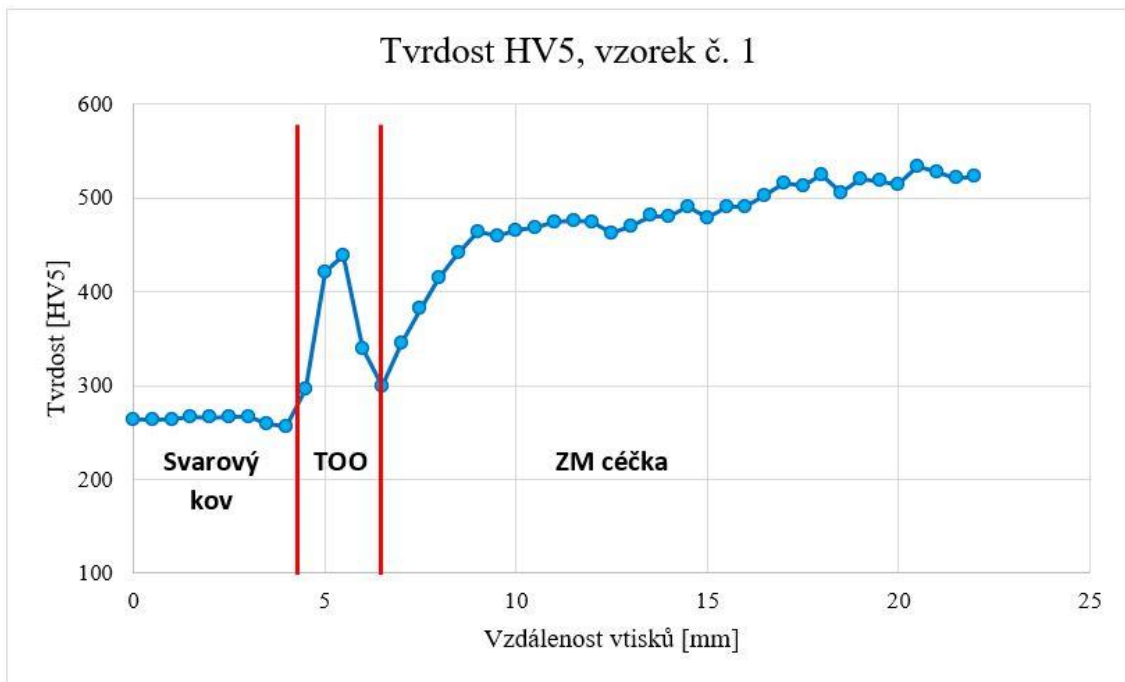


Obr. 77 Zvolené vzorky.



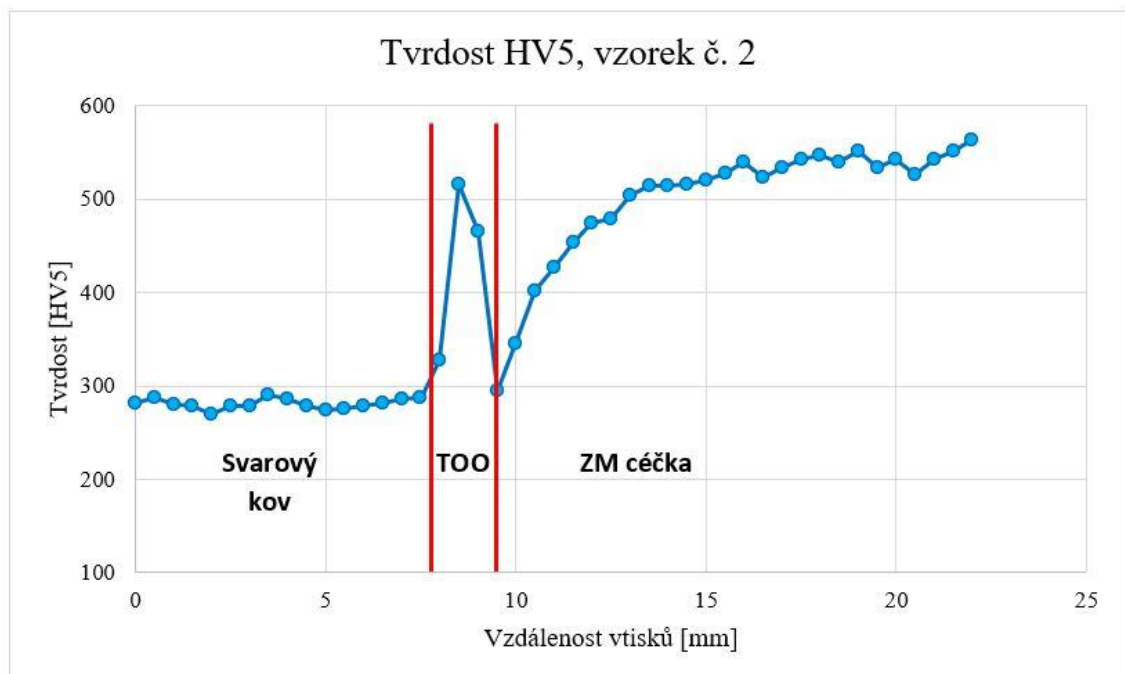
Obr. 78 Vyznačení linie vtisků.

Průběh naměřené tvrdosti na vzorku 1 je na obr. 79, kde se naměřené hodnoty pohybují od 256 do 533 HV5. Linie vpichů začínala ve svarovém kovu, kde se tvrdost pohybovala na průměrné hodnotě 264 HV5. Začínající TOO měla za následek vzestup tvrdosti až na maximální hodnotu 439 HV5. Následoval pokles a poté růst tvrdosti s přechodem do základního materiálu céčka. Ostrý růst se zastavil na tvrdosti 464 HV5 a pokračoval mírný růst tvrdosti až na průměrnou ustálenou hodnotu 520 HV5, kde nejvyšší dosažená tvrdost zde byla 533 HV5.



Obr. 79 Průběh tvrdosti HV5 na vzorku č.1.

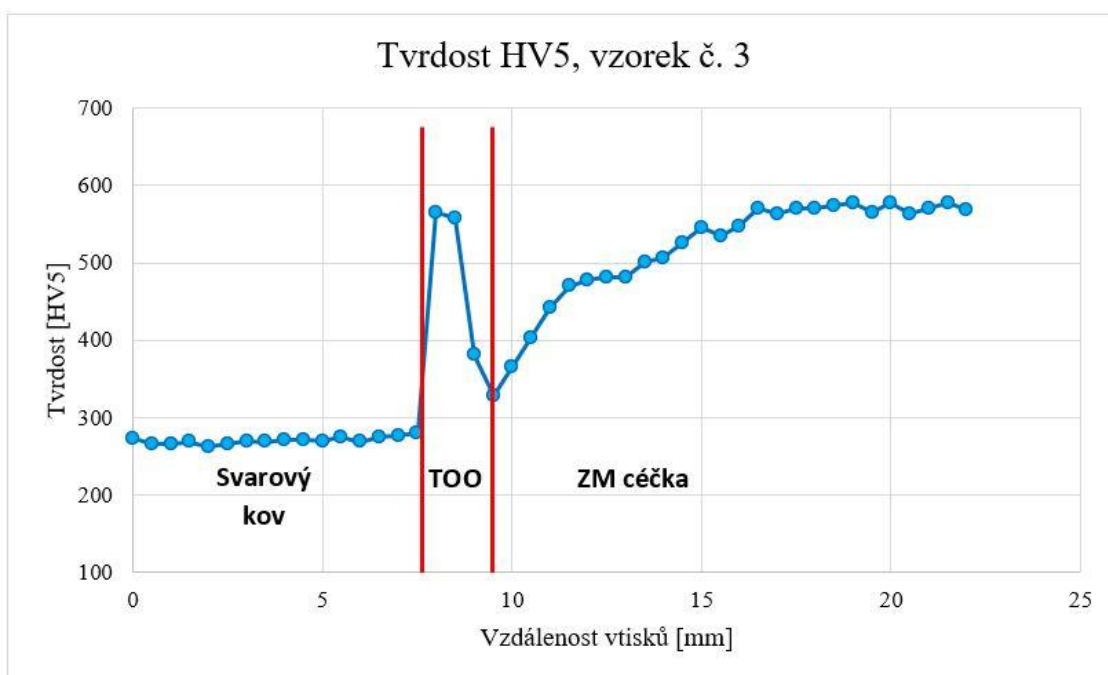
Na obr. 80 je zobrazen průběh tvrdosti na vzorku 2, hodnoty tvrdosti se zde pohybují od 270 až po 563 HV5. Začátek měření byl svarový kov s průměrnou hodnotou tvrdosti 281 HV5, kde nejvyšší hodnota tvrdosti je 291 HV5. Následně dochází ke zvýšení tvrdosti v TOO až na hodnotu 516 HV5 a dále pak pokles až na 295 HV5. Z této tvrdosti dochází k postupnému zvyšování tvrdosti až na ustálenou průměrnou hodnotu tvrdosti céčka 539 HV5. Nejvyšší hodnota tvrdosti je v této oblasti 563 HV5.



Obr. 80 Průběh tvrdosti HV5 na vzorku č.2.

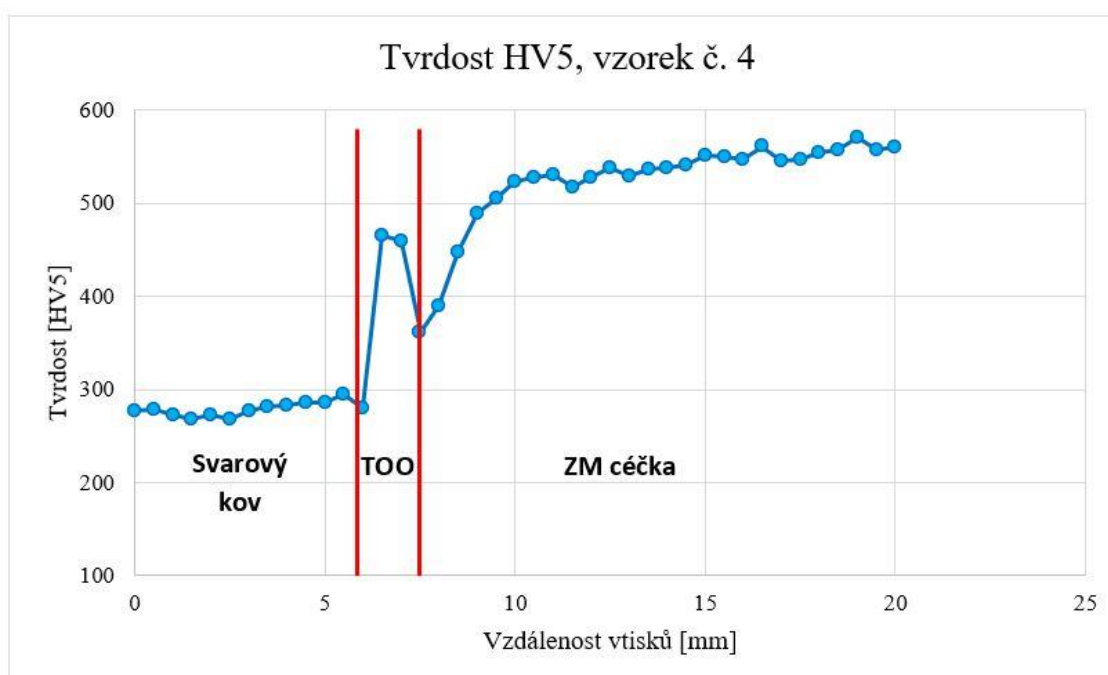
Obr. 81 ukazuje průběh naměřené tvrdosti na vzorku 3, rozsah naměřených hodnot se pohybuje od 263 do 578 HV5. Měření začíná ve svarovém kovu s nejvyšší hodnotou tvrdosti 280 HV5 a nejnižší hodnotou 263 HV5, kde průměrná tvrdost je 271 HV5. Následuje pásmo TOO s nejvyšší hodnotou tvrdosti 566 HV5, pak hodnoty klesají na nejnižší hodnotu 329 HV5.

Poté dochází k postupnému zvyšování tvrdosti již v materiálu céčka, kde nejvyšší naměřená hodnota je 578 HV5. Hodnota se následně ustálí na průměrnou tvrdost 571 HV5 u povrchu céčka.



Obr. 81 Průběh tvrdosti HV5 na vzorku č.3.

Naměřenou tvrdost na vzorku 4 zobrazuje graf na obr. 82, s kolísáním hodnot od 268 do 570 HV5. Počáteční vpichy byly ve svarovém kovu, kde nejvyšší naměřená hodnota byla 295 HV5 a průměrná tvrdost se zde pohybuje na hodnotě 279 HV5. Ze svarového kovu dochází k zvýšení tvrdosti v TOO až na hodnotu 466 HV5. Následný pokles zobrazuje konečnou fázi TOO s nejnižší tvrdostí 362 HV5. V oblasti základního materiálu céčka následoval postupný růst hodnot, kde nejvyšší hodnota byla naměřená 570 HV5.



Obr. 82 Průběh tvrdosti HV5 na vzorku č.4.

Naměřená tvrdost má na všech vzorcích podobný průběh a nějak výrazně se neliší mezi sebou vzorky 1 a 2 se vzorky 3 a 4. Tvrdost svarového kovu se u vzorků 1 a 2 pohybuje na hodnotě 264 a 281 HV5, naproti tomu u vzorků 3 a 4 jsou to hodnoty 271 a 279 HV5. Rozdíly v tvrdosti jsou opět minimální. Následně bylo pozorováno, že všechny vzorky měly podobný průběh tvrdosti kdy v TOO došlo ke zvýšení vlivem martenzitické struktury. Na hranici mezi TOO a základním materiálem céčka je tvrdost snižena, a to z důvodu nižší teploty, která přispívá k procesu částečné překrystalizace a vyžhání v této oblasti a vzniku jemnějšího zrna. Poté došlo k postupnému zvyšování až na nejvyšší naměřené hodnoty tvrdosti. Vzorky 1 a 2 dosahovali u povrchu nejvyšší průměrné naměřené tvrdosti 520 a 539 HV5. Tvrdost u vzorků 3 a 4 dosahuje u povrchu nejvyšší průměrné hodnoty 571 a 555 HV5. Při porovnání průměrných hodnot tvrdosti u povrchu, které byly vypočítány z ustálenějších hodnot tvrdosti, lze vidět, že vzorky 3 a 4 mají v této oblasti větší tvrdost. Rozdíly mezi porovnávanými vzorky nejsou markantní, a proto je možné na základě této tvrdosti říct, že pastu Condursal není nutné použít jako ochranu před nacementováním.

Výsledné naměřené hodnoty tvrdosti jak z vnitřní oblasti svařeného vzorku, tak i na jeho povrchu vykazují minimální rozdíly, pokud se porovnávají vzorky s pastou Condursal se vzorky bez pasty Condursal. Nejvyšší naměřené hodnoty tvrdosti uvnitř vzorků i na jeho povrchu jsou zobrazeny v tab. 10. Následně lze tyto hodnoty porovnat se stanovenými hodnotami firmou. Stanovená tvrdost povrchové vrstvy je  $740 \pm 40$  HV a tvrdost základního materiálu je  $550 \pm 50$  HV. Při tomto porovnání vyplývá, že nacementovaná vrstva nedosahuje stanovené hodnoty tvrdosti, a to mohlo být způsobeno malým zakalením součásti po cementaci.

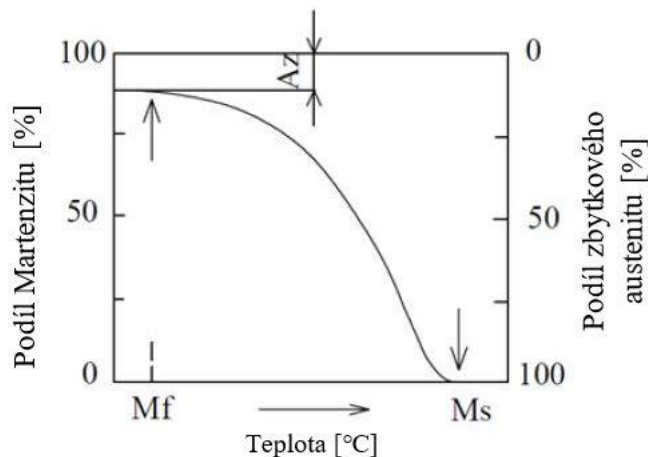
Tab. 10 Nejvyšší naměřené tvrdosti uvnitř a u povrchu vzorku.

Oblast měření	Číslo vzorku	Použití Cu pasty	Max. tvrdost ve svaru	Max. tvrdost v TOO	Max. tvrdost v ZM	Jednotky tvrdosti
Uvnitř svaru	1	ANO	261	613	305	HV1
	2	ANO	279	533	386	
	3	NE	269	540	319	
	4	NE	261	524	376	
Na povrchu vzorku	1	ANO	267	439	533	HV5
	2	ANO	291	516	563	
	3	NE	280	566	578	
	4	NE	295	466	570	

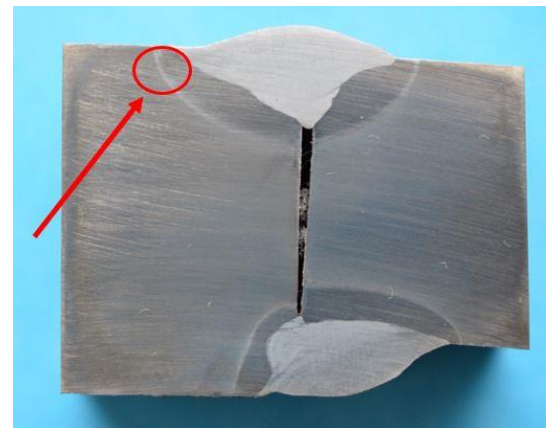
### 3.5 Měření zbytkového austenitu

Austenit, který se nestihne přeměnit při martenzitickém kalení se nazývá zbytkový austenit. Často je to nežádoucí struktura po zakalení, protože snižuje tvrdost a po zakalení může transformovat a mírně změnit vlastnosti oceli. Pozitivní vliv zbytkového austenitu ve struktuře má za následek zlepšení tvárnosti a houževnatosti oceli, zvláště pokud tvoří tzv. obálky jehlic martenzitu. Při kalení se jeho obsah dá odhadnout pomocí grafu martenzitické křivky oceli, která je na obr. 84. Jedná se o graf závislosti podílu martenzitu a zbytkového austenitu na teplotě přeměny. [8]





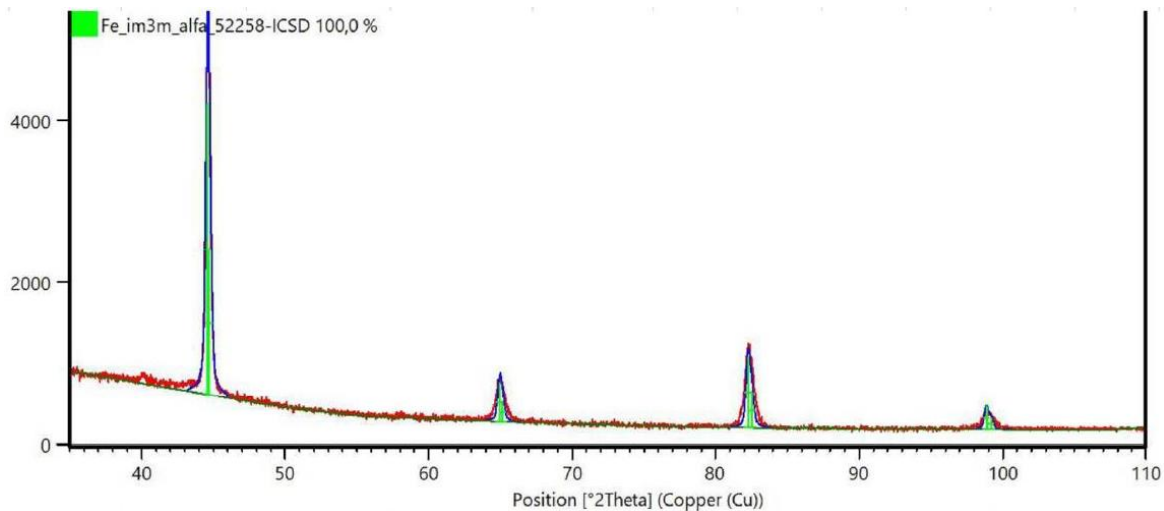
Obr. 83 Martenzitická křivka oceli [8].



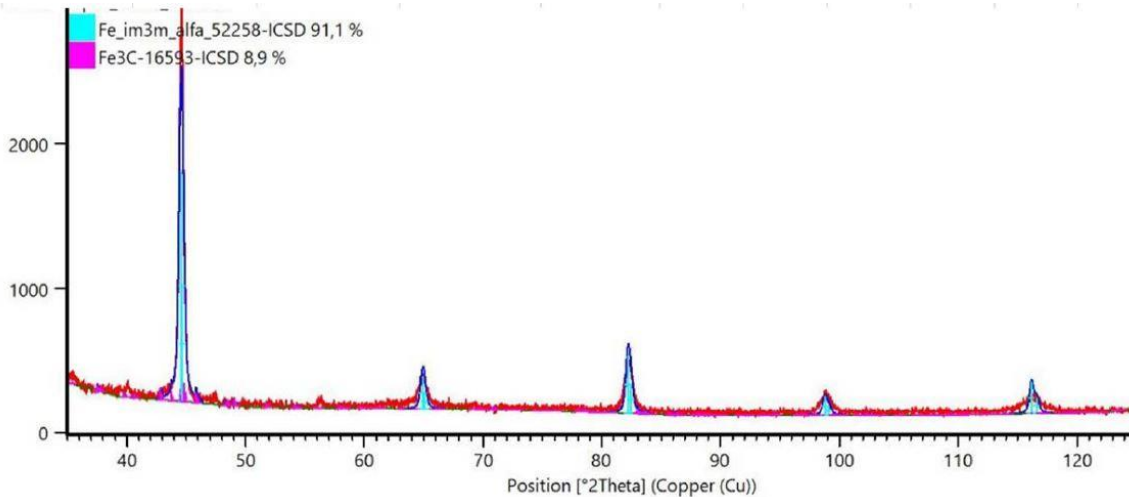
Obr. 84 Vyznačená oblast pro měření zbytkového austenitu.

Zbytkový austenit byl změřen na vzorku, který byl zalisován do tablety. Vzorek musel být vypreparován z tablety, dále pomocí speciálních past přebroušen, přeštěn a leptán pro měření pomocí analýzy rentgenové difrakce (XRD). Toto měření probíhalo ve výzkumném centru CEITEC v Brně. Na obr. 85 je vyznačená oblast měření na vzorku, která je vždy u povrchu a v oblasti svarového kovu a materiálu céčka. Tímto způsobem byl zbytkový austenit změřen na všech 4 vzorcích.

Na vzorku 1 byla XRD analýzou detekována pouze jedna fáze a to Fe – alfa. Možný podíl zbytkového austenitu se nachází pod detekčním limitem metody, který je 2 hm. %. Ukázka výsledného diagramu z analýzy je na obr. 86. U vzorků 2, 3 a 4 byly detekovány pouze dvě fáze, kde první je tuhý roztok na bázi Fe s BCC mřížkou a druhá jsou karbidy  $Fe_3C$ . Zbytkový austenit stejně jako u vzorku 1 zde nebyl vůbec detekován, a tudíž se zde nachází maximálně do 2 hm. %. Níže na obr. 87 lze vidět ukázkou diagramu vzorku 3. Diagramy vzorků 2 a 4 jsou uvedeny v příloze a vypadají podobně jako vzorek 3.



Obr. 85 Diagram XRD analýzy vzorku 1.



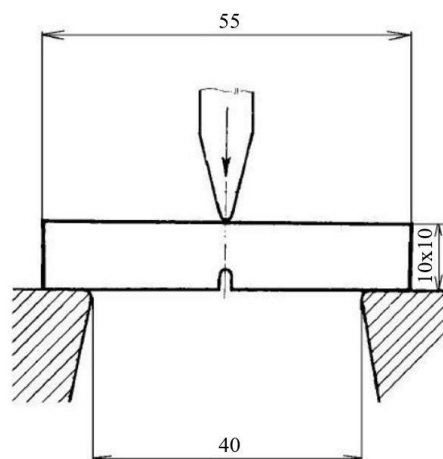
Obr. 86 Diagram XRD analýzy vzorku 3.

### 3.6 Zkouška vrubové houževnatosti

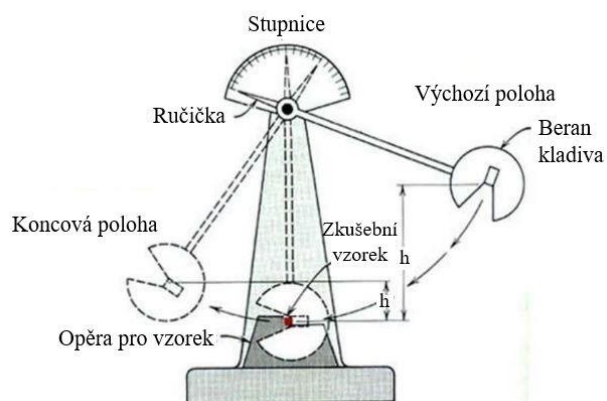
Chování materiálů při křehkém lomu významně popisuje zkouška vrubové houževnatosti neboli také zkouška rázem v ohybu. Provedení zkoušky bývá na normovaném tělísku o rozměrech 10 x 10 x 55 mm (obr. 88), které obsahuje v příčném směru vrub typu U nebo V. Místo kořene vrubu je při rázovém zatížení pod trojosou napjatostí, která představuje nejméně příznivé napětí pro materiál. Pro zkoušku se používají vruby s hloubkami: [40, 46]

- U vrub s hloubkou 3 mm s označením KCU3
- U vrub s hloubkou 2 mm s označením KCU2
- V vrub s hloubkou 2 mm s označením KCV

Zkouška se provádí pomocí Charpyho kladiva (obr. 89), které udeří do vzorku z opačné strany, než je udělán vrub. Kladivo je zafixováno v nejvyšší poloze, kde má potencionální energii. Ta se s uvolněním kladiva mění na kinetickou energii, které přerazí vzorek a vystoupá do určité výšky. Přitom ručička na stupnici ukáže velikost potřebné nárazové práce k přeražení vzorku. Následně se vzorky vyhodnocují ještě vizuálně a zjišťuje se míra křehkého a tvárného lomu. [40, 46]



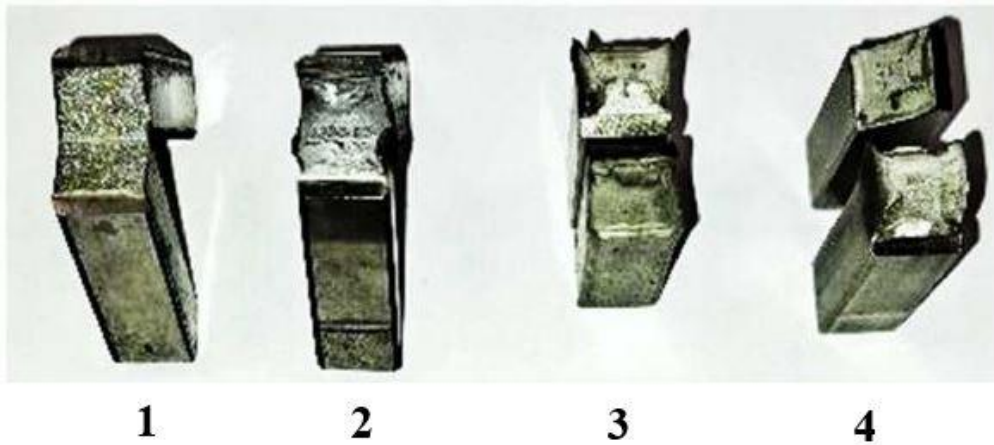
Obr. 87 Vzorek pro zkoušku rázem v ohybu [40].



Obr. 88 Charpyho kladivo [47].

Pro zkoušku rázem v ohybu byly přichystány firmou vzorky o rozměrech 10 x 10 x 55 mm a byla provedena zkouška KV 10. Zkouška probíhala na VUT na Ústavu materiálových věd a inženýrství. Potřebné V vruby byly vybroušeny na Ústavu strojírenské technologie. Provedení zkoušky nebylo dle norem, z důvodu plně neprovařených vzorků. Z důvodu tohoto neprůvaru

zde došlo také k iniciaci lomu. Na obr. 90 jsou ukázky přetržených vzorků, kde došlo u všech vzorků k přeražení ve svarovém kovu, protože dle přídavného materiálu se jedná o měkkou ocel. Vzorky byly ovlivněny svařováním, ale v TOO k lomu nedošlo. Vzorky vykazují křehký lom téměř v celém průřezu kromě oblasti dolomení, kde je lom tvárný.



Obr. 89 Vzorky po zkoušce vrubové houževnatosti.

V tab. 11 lze vidět hodnoty nárazové práce na jednotlivých vzorcích. Vzorky 1 a 2 vyrobené s použitím pasty Condursal se nijak významně neliší oproti vzorkům 3 a 4 vyrobených bez pasty. Na základě provedené zkoušky tedy vyplývá, že použití či nepoužití pasty Condursal při výrobě kolopásu nemá na jeho vlastnosti vliv.

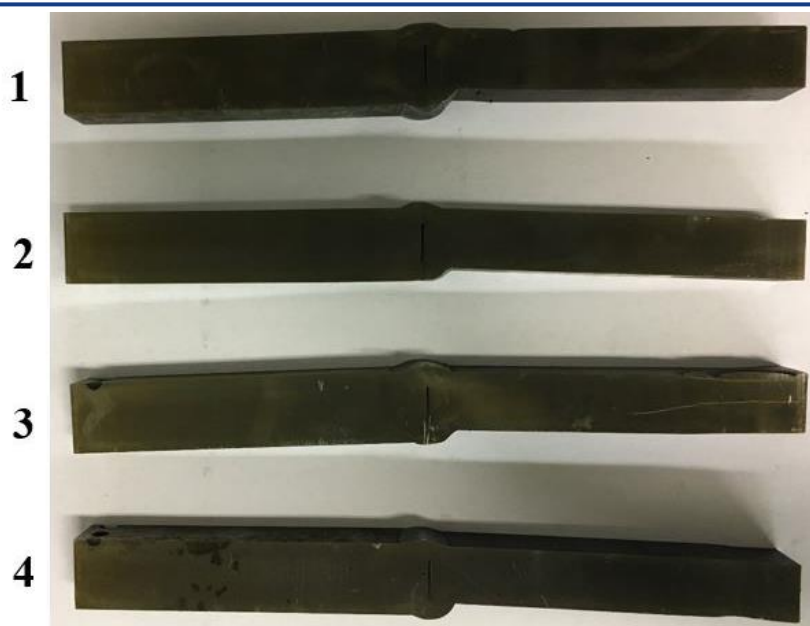
Tab. 11 Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti.

Číslo vzorku	Použití Cu pasty	Hodnota nárazové práce KV 10 [J]
1	ANO	33,9
2	ANO	31,4
3	NE	31,8
4	NE	34,1

### 3.7 Zkouška tahem

Jde o nejčastěji prováděnou statickou zkoušku pro hodnocení pevnosti a plasticity materiálu. Zkouška se provádí na zkušebních tělesech, které jsou dány tvarem, rozměry a mohou být obrobené nebo i neobrobené. Průřez je nejčastěji kruhový, obdélníkový, čtvercový nebo šestihranný. Tělesa se za každý konec upnou do trhačích stroje a začíná zatížení vzorku. Dochází k protahování a deformaci zkušebního tělesa silou, což zaznamenává pracovní diagram. Pokud je diagram lineární, jedná se o elastickou deformaci vzorku, pokud je lineární závislost porušena, deformace je plastická. Zatížení zkušebního tělesa se děje až do momentu jeho přetržení. Ze zkoušky lze získat zátěžnou maximální sílu, tahový diagram a lze vypočítat další mechanické vlastnosti jako je mez kluzu, smluvní mez kluzu, mez pevnosti, tažnost a kontrakci. Pro svařování je nutné, aby podélná osa svarového spoje byla kolmá na orientaci zatížení při zkoušce. [40, 46]

Pro zkoušku byly použity vzorky s rozměry 15 x 15 x 200 mm, viz obr. 91 a zkouška byla provedena v laboratořích Ústavu strojírenské technologie na VUT. Jednalo se o zkoušku, která nebyla provedena dle normy, a proto je výstup z trhačích stroje zjednodušen do hodnoty síly  $F_m$  potřebné k přetržení vzorku. Vzorky nebyly v průřezu plně provařeny.



Obr. 90 Vzorčky pro tahovou zkoušku.

U všech vzorků došlo k přetržení ve svarovém kovu a naměřené hodnoty síly jsou vypsány v tab. 12. Výsledné hodnoty sil u vzorků 1 a 2, kde byla použita Cu pasta se nijak výrazně neliší se vzorky 3 a 4, které jsou vyrobeny bez použití Condursalu. Rozdíly v hodnotách sil byly s největší pravděpodobností způsobeny nestejně provařenou velikostí plochy vzorků, tudíž vzorky s nižší potřebnou hodnotou síly potřebné k přetržení měly i menší svařenou plochu spoje. Výsledkem zkoušky lze konstatovat, že výsledné hodnoty zátěžných sil nenaznačují rozdíly v použití či nepoužití pasty Condursal při výrobě kolopásu.

Tab. 12 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky

Číslo vzorku	Použití Cu pasty	Hodnota síly potřebná k roztržení vzorku $F_m$ [N]
1	ANO	100995
2	ANO	96838
3	NE	109506
4	NE	84348

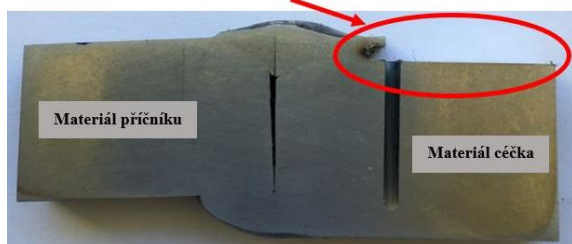
### 3.8 Měření množství uhlíku

Pro zjištění obsahu uhlíku v oceli lze využít několika způsobů z nichž většina je destruktivních. Jeden ze způsobů je i spalovací infračervená absorpční metoda, která patří mezi specializované metody pro kvantitativní analýzu uhlíku a síry. Její výhodou je přesná kvantifikace, a tudíž je vhodná pro uživatele s dostatkem času na provedení zkoušky za účelem získu přesných výsledků. [48]

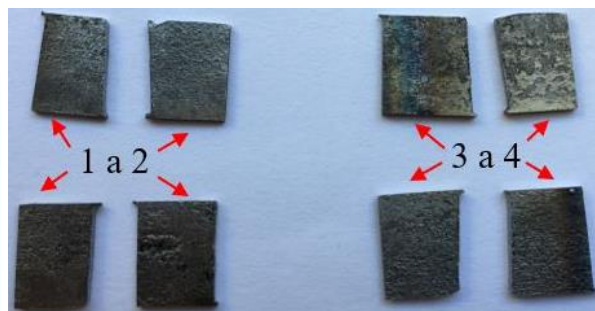
Principem je spalování vzorku pomocí kyslíku za vzniku  $CO_2$  a oxidu siřičitého  $SO_2$ . Vzniklé spaliny následně projdou prachovým filtrem a absorberem vlhkosti pro čištění. Následuje infračervený absorber, který detekuje obsah uhlíku a síry ve spáleném vzorku. Zařízení, které se používají pro zjišťování obsahu uhlíku a síry v oceli se nazývají analyzátoři. [49]

K ověření, zda byly dodané vzorky dobře nacementovány lze využít spalovací infračervenou absorpční metodu. Měření probíhalo na spalovacím analyzátoru G4 Icarus CS HF na Ústavu strojírenské technologie na VUT. Pro měření bylo důležité připravit vzorky tak, aby ideálně obsahovaly jen nacementovanou vrstvu bez dalšího základního materiálu. Hodnota obsahu uhlíku a síry ve spáleném vzorku totiž vznikne jako průměr všech hodnot celého objemu

spáleného vzorku a nerozlišuje se, zda u povrchu je větší koncentrace uhlíku a hlouběji do vzorku je koncentrace nižší. Stanovená hloubka cementace firmou je 0,8 až 1 mm s obsahem uhlíku 0,95 až 1,05 hm.%. Proto bylo nutné provést výřezy ze vzorků o maximální tloušťce 1 mm a s hmotností 0,5 až 1 g. Vzorky se vyřezávali na metalografické pile Labotom a byly vyřezány z oblasti materiálu céčka, viz obr. 91. Výřezy byly provedeny na vzorcích 1 a 2, kde vznikly celkem 4 ks vzorků, viz obr. 92. Další výřezy proběhly na vzorcích 3 a 4 ve stejné části, a i zde se vyřezaly 4 ks vzorků, viz obr. 92. Poté došlo ke spálení jednotlivých vzorků. Naměřené hodnoty uhlíku a síry obsažené v povrchové vrstvě vzorků jsou vypsány v tab. 13, respektive v tab. 14.



Obr. 91 Vyřezaná oblast.



Obr. 92 Vyřezané vzorky.

Tab. 13 Naměřené hodnoty obsahu uhlíku.

Vzorek	Použití pasty Condursal	Obsah hm.% C	Průměrná hodnota vypočítaná ze 4 ks vzorků	Obsah uhlíku v základním materiálu.
1 a 2	ANO	0,37	0,373	0,33 (0,27-0,33)
		0,363		
		0,389		
		0,368		
3 a 4	NE	0,434	0,432	
		0,427		
		0,429		
		0,437		



Tab. 14 Naměřené hodnoty obsahu síry.

Vzorek	Použití pasty Condursal	Obsah hm.% S	Průměrná hodnota	Obsah síry v základním materiálu.
1 a 2	ANO	0,004	0,0048	max. 0,035
		0,004		
		0,005		
		0,006		
3 a 4	NE	0,004	0,0048	
		0,004		
		0,005		
		0,006		

Dle naměřených hodnot lze vidět, že obsah uhlíku ve vzorcích 1 a 2 dosahuje hodnoty 0,373 hm.%, což není uvnitř rozmezí 0,27 až 0,33 hm.%, který má základní materiál. Protože byla zde použita pasta Condursal, měl by obsah uhlíku na těchto vzorcích dosahovat obsahu uhlíku o hodnotě základního materiálu. Obsah uhlíku v povrchové vrstvě vzorků 3 a 4 je 0,432 hm.%, což je vyšší hodnota, než má základní materiál, ale na nacementovanou vrstvu je to obsah nízký, protože pewag stanovuje jeho hodnotu na 0,7 hm.%. Navíc teorie říká že u nacementovaných povrchů je obsah uhlíku oproti základnímu materiálu zvýšen 2 krát až 3 krát, v tomto případě je to pouze 1,3 krát. Z naměřených hodnot vyplývá, že je možné, že došlo ke špatné nebo jen částečné cementaci vzorků. Další možností je, že vlivem tepla z následujících procesů mohlo dojít ke zvýšené difuzi uhlíku dále do základního materiálu. Naměřená hodnota síry ve vzorcích 1 a 2 je stejná jako ve vzorcích 3 a 4 a její hodnota je 0,0048 hm.%, což odpovídá obsahu síry v základním materiálu oceli 30MnB5, který má maximální hodnotu 0,035 hm.%.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda je možné vynechat z výrobního postupu ochrannou pastu Condursal, která má za úkol ochránit místa budoucích svarů céčka před nacementováním. K vynechání ochranné pasty může dojít pouze za předpokladu, že se nezmění kvalita výrobku. Motivací spolupracující firmy pewag s. r. o. je snížení výrobních nákladů a úspory času, pokud bude možné operaci nátěru pastou Condursal odstranit.

K tomuto posouzení byla vybrána na kolopásu oblast svaru mezi příčnickem a céčkem, kde materiál příčnicku je ocel 27MnCrB5 – 2 a materiál céčka je ocel 30MnB5, který je cementován do hloubky 0,8 až 1 mm. Z této oblasti byly vyrobeny celkem 4 vzorky, kde vzorky 1 a 2 jsou vyrobené stávajícím typem výroby tzn. s použitím pasty Condursal a vzorky 3 a 4 jsou vyrobeny bez pasty Condursal. Vyrobené vzorky se následně podrobily sadě předem určených zkoušek. Tyto zkoušky si firma sama vybrala anebo byly určeny jako vhodné pro posouzení této studie pro získání kvalitních výsledků.

Sadu zkoušek tvořila tahová zkouška, která ale neukázala žádné rozdíly mezi vzorky vyrobené s nebo bez pasty Condursal. Nejvyšší potřebná síla k přetržení vzorku byla u vzorku 3 a to 109,5 kN a nejnižší byla u vzorku 4 a to 84,3 kN. Stejný závěr plyne ze zkoušky houževnatosti, kde nejvyšší hodnota nárazové práce byla u vzorku 4 a to 34,1 J a nejnižší u vzorku 2 s hodnotou 31,4 J.

Další fází bylo zkoumání makrostruktury na vybroušených a naleptaných vzorcích. Ani zde nebyly pozorovány žádné velké rozdíly ve struktuře vzorků s pastou Condursal a bez ní. Velikost TOO se nijak výrazně neměnila a u všech vzorků se pohybuje podobně od 2,67 po 4,14 mm. Po makrostruktuře byla pozorována mikrostruktura, kde nebyly zaznamenány žádné rozdíly mezi vzorky s pastou a bez pasty. U všech čtyř vzorků je struktura svarového kovu martenzitická s acikulárním feritem, struktura TOO je martenzitická a základní materiál má martenzitickou strukturu se zbytkovým austenitem. Další částí experimentu bylo provedení měření zbytkového austenitu na vzorcích, kde pro měření byla vybrána oblast u povrchu v TOO a částečně i v základním materiálu. Všechny vzorky nevykazovaly žádný detekovaný zbytkový austenit nad 2 hm. %.

Nejdůležitějším vyhodnocujícím parametrem byla tvrdost, která se měřila jak na povrchu, tak i uvnitř svaru. Porovnáním tvrdosti uvnitř svaru mezi sebou, tj. porovnání vzorků 1 a 2 se vzorky 3 a 4, nebylo vidět žádný velký rozdíl v průběhu ani v hodnotách tvrdosti. To samé platí u tvrdosti změřené na povrchu, kde se také tvrdost vzorků s pastou a bez pasty průběhově a hodnotově nijak neliší. Hodnoty tvrdosti na povrchu ale nedosahují potřebné stanovené hodnoty  $740 \pm 40$  HV. Z tohoto důvodu byla provedena zkouška měření obsahu uhlíku v nacementované vrstvě všech čtyř vzorků. Změřením uhlíku bylo zjištěno, že vzorky s pastou obsahují 0,373 hm.% uhlíku oproti 0,33 hm.%, kterou obsahuje základní materiál. K čemuž by při použití pasty dojít nemělo a hodnota by měla být stejná jako má základní materiál. U vzorků bez použití pasty, kde se očekává zvýšení hodnoty 2 až 3 krát, došlo ke zvýšení pouze na hodnotu 0,432 hm.% uhlíku, místo požadovaných 0,7 hm.%.

Vyhodnocením tvrdosti vzorků na povrchu se ukázalo, že vzorky byly špatně vyrobeny, protože nejvyšší dosažená tvrdost na povrchu je 578 HV5 a stanovená hodnota je  $740 \pm 40$  HV. Tohle tvrzení dokládá i zkouška měření obsahu uhlíku, kde není dosaženo potřebné hodnoty nasycení povrchu na 0,7 hm.% C. Na základě dodaných vzorků tedy nelze říct, zda použití pasty Condursal má na kvalitu výrobku vliv. Lze pouze říct, že na těchto dodaných vzorcích s obsahem uhlíku na povrchu 0,432 hm.% a tvrdostí max. 578 HV5, pasta Condursal nemá na kvalitu výrobku vliv. Tenhle případ, ale neodpovídá reálné výrobě kolopásu.

---

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. Využití dřeva napříč odvětvími, 2024. Online. MeziStromy. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/oblasti-vyuziti-dreva/vyuziti-dreva/odborny>.
  2. Harvestorové technologie lesní těžby, 2022. Online. Druhé, aktualizované vydání. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-842-4. Dostupné z: <https://ut.ldf.mendelu.cz/wcd/w-ldf-ut/soubory/htlt skriptum.pdf>.
  3. PEWAG, 2024. Lesnické kolopásky pewag pro optimální záběr a vysokou ochranu půdy. Online. Pewag. Dostupné z: <https://www.pewag.cz/shop/forestry-traction/lesnicke-stroje.html>.
  4. John Deere 1470G, 2005. Online. In: MERIMEX s. r. o. Dostupné z: <https://www.merimex.cz/john-deere/stroje-john-deere/harvestory/john-deere-1470g/>.
  5. PEWAG, 2023. Podklady od spolupracující firmy: Podklady pro DP. Data poskytnuty od spolupracující firmy.
  6. SLOVÁČEK, Marek, 2024. E-mailová komunikace: Konzultace. Online.
  7. SMETANOVÁ, Anna, 2018. Materiály 2: Mechanické a technologické vlastnosti. Dostupné také z: <https://www.zamekkurim.cz/security/Dum%20-%20Digitalni%20ucebni%20materialy/13 Sada Materialy 2/VY 32 INOVACE 13 03 Mechanicke a technologicke vlastnosti.pdf>.
  8. PTÁČEK, Luděk, 2002. Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM. ISBN 80-720-4248-3.
  9. DAVIS, J.R, 2002. Surface Hardening of Steels - Understanding the Basics. Online. ASM International. ISBN 978-1-68015-953-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpSHSUB003/toc?cid=kpSHSUB003>.
  10. Tepelné zpracování ocelí, 2023. Online. Ústav Materiálových věd a inženýrství. Dostupné z: [https://umvi.fme.vutbr.cz/wpcontent/themes/umvi\\_website/assets/materials/winter/3SV/Prednaska/04-Druhy.pdf](https://umvi.fme.vutbr.cz/wpcontent/themes/umvi_website/assets/materials/winter/3SV/Prednaska/04-Druhy.pdf).
  11. PIŠEK, DAVID, 2015. CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELÍ. Bakalářská práce, vedoucí Ing. KAREL NĚMEC, Ph.D. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102172](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102172).
  12. JIRKA, Tomáš, 2015. Srovnání způsobů cementace používaných v praxi. Diplomová práce, vedoucí Doc. Dr. Ing. Antonín KRÍŽ. Plzeň: Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni. Dostupné také z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20329/1/DP\\_Tomas%20Jirka\\_odevzdani.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20329/1/DP_Tomas%20Jirka_odevzdani.pdf).
  13. CAMPBELL, F. C., 2013. Metals Fabrication - Understanding the Basics. Online. ASM International. ISBN 978-1-68015-515-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpMFUB000J/toc?cid=kpMFUB000J>.
  14. Annealing Boxes for Models N 7/H - N 161/13. Online. In: NABERTHERM GMBH. Nabertherm. Dostupné z: <https://nabertherm.com/en/products/industry/thermal-process/processes-under-protective/furnaces-protective-gas-boxes-0>.
  15. Salt bath carburizing. Online. In: AALBERTS. Aalberts. Dostupné z: [https://www.google.com/search?q=Saltbathcarburizingscaled&sca\\_esv=e89bb2ca36dfcdc4&rlz=1C1KNTJ\\_csCZ1077CZ1077&biw=2133&bih=1058&udm=2&prmd=sivbmnz&s\\_xsr=ADLYWILUGEU\\_ongJuNOepdQ3ZvtsAK0cXA:1715788562078&source=lnms&ved=1t:200715&ictx=111#vhid=unyFaAeBt0yO2M&vssid=mosaic](https://www.google.com/search?q=Saltbathcarburizingscaled&sca_esv=e89bb2ca36dfcdc4&rlz=1C1KNTJ_csCZ1077CZ1077&biw=2133&bih=1058&udm=2&prmd=sivbmnz&s_xsr=ADLYWILUGEU_ongJuNOepdQ3ZvtsAK0cXA:1715788562078&source=lnms&ved=1t:200715&ictx=111#vhid=unyFaAeBt0yO2M&vssid=mosaic).
  16. RAJAN, T.V.; SHARMA, C.P. a SHARMA, Ashok, 2013. Heat Treatment: Principles and Techniques. Second Edition. PHI. ISBN 978-81-203-4095-4.
-

17. PLYNOVÉ A ELEKTRICKÉ ŠACHTOVÉ PECE: chemicko-tepelné zpracování cementace, nitridace, pasivac, 2010. Online. In: Allbiz. Dostupné z: <https://cz.all.biz/plynove-a-elektricke-sachtove-pece-chemicko-g61023>.
18. HERRING, Daniel H., 2018. Vacuum Heat Treatment: Principles/Practices/Applications. Volume 2. USA: BNP Media. ISBN 978-0-9767565-0-7.
19. GOLDSTEINAS, Aymeric a MASSHOLDER, Jan, 2015. Optimizing Case-Depth Uniformity in the Vacuum Carburizing Process. Online. Thermal Processing. S. 6. Dostupné z: <https://thermalprocessing.com/optimizing-case-depth-uniformity-in-the-vacuum-carburizing-process/>.
20. SALABOVÁ, Petra, 2013. Podtlaková cementace. 2013. Č. 3. Tribotechnika: Časopis o tření, opotřebování a mazání. Dostupné také z: [https://www.scribd.com/embeds/144596602/content?start\\_page=1&view\\_mode=book&access\\_key=key24msy9xmeorm0d9f2j8&shw\\_recommendations=false](https://www.scribd.com/embeds/144596602/content?start_page=1&view_mode=book&access_key=key24msy9xmeorm0d9f2j8&shw_recommendations=false).
21. LINDE. Furnace atmospheres no. 1: Gas carburising and carbonitriding. Expert edition. Germany. Dostupné také z: [https://static.prd.echannel.linde.com/wcsstore/REN\\_Industrial\\_Gas\\_Store/Gas-carburising-an-carbonitriding-brochure-EN.pdf](https://static.prd.echannel.linde.com/wcsstore/REN_Industrial_Gas_Store/Gas-carburising-an-carbonitriding-brochure-EN.pdf).
22. KOMORÁŠ, Miroslav a JAN, Vít, 2017. Vliv legur na prokalitelnost cementačních ocelí. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Dostupné také z: <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/e2688e68-2222-4a9f-a22473096c945185/content>.
23. VOJTĚCH, Dalibor, 2006. Kovové materiály. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-7080-600-1.
24. Převodní tabulka značení ocelí – dle EN, 2015. Online. E-konstrukér: Portál pro strojní konstruktéry. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli-dle-en>.
25. Steel grades, 2012. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.steel-grades.com/>.
26. Třídy ocelí dle ČSN. Online. RIPRA S.R.O. Ripra s.r.o. Dostupné z: <https://pdms-help.webnode.cz/news/tridy-oceli-dle-csn/>.
27. ECOSOND S.R.O, 2024. CONDURSAL 0118: Ochranný nátěr proti cementaci do hloubek 3 mm neobsahující organická ředidla. Dostupné také z: [http://ecosond3.grhosting.cz/upload/documents/TL\\_Condursal\\_0118.pdf](http://ecosond3.grhosting.cz/upload/documents/TL_Condursal_0118.pdf).
28. Nüssle: CONDURSAL, CONDURON, 2024. Online. In: ECOSOND S.R.O. Ecosond, Tepelné zpracování kovů. Dostupné z: <http://www.ecosond.cz/cs/zastoupeni-znacek/nussle.html>.
29. KUBÍČEK, Jaroslav, 2006. TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ: Díl 1 ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. Díl 1. Brno. Dostupné také z: [https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te\\_technologie\\_2\\_svarovani\\_tavne\\_kubicek.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_svarovani_tavne_kubicek.pdf).
30. DOLEJSKÝ, Tomáš, 2020. Základní kurz svařování MIG/MAG: se souborem testových otázek. 6. aktualizované vydání. Svařování. Ostrava: ZEROSS. ISBN 978-80-86698-10-6.
31. MIG/MAG SVAŘOVÁNÍ: Celosvětově nejpoužívanější metody svařování. Online. In: MESSER TECHNOGAS S. R. O. Messer Gases for Life. Dostupné z: <https://www.messer.cz/mig/mag-svarovani>.
32. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 2001. Svařování. Ostrava: ZEROSS. ISBN 80-85771-81-0.
33. STAHLWERK MIG MAG AK36 / MB36 Sada opotřebitelných dílů Premium. Online. In: STAHLWERK SCHWEISSGERÄTE GMBH. STAHLWERK. Dostupné z: <https://www.stahlwerk-schweissgeraete.de/MIGMAG-AK36-MB36-Premium-Verschleissteile-Set300Pro-cs>.

- 
34. Pulzní svařování MIG/MAG – proč vlastně, 2021. Online. FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Fronius Perfect Welding Blog. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/pulzni-svarovani-mig-mag/>.
  35. GMAW\_Steel\_85Ar-15CO2\_Short-Circuit Transfer, 2013. Online. In: CCWJOfficial. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tpXFGpSXONY>.
  36. GMAW\_Steel\_85Ar-15CO2\_Spray Transfer, 2013. Online. In: CCWJOfficial. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Lz69cSMV86w>.
  37. BOC – MIG welding pulsed arc slow motion, 2022. Online. In: BOC South Pacific. Dostupné z: <https://www.youtube.com/shorts/YZHrV41Q5vs>.
  38. ROHAN, Pavel a GURČÍK, Tomáš, 2019. Vliv složek ochranných atmosfér na WAAM. Online. In: MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vliv-slozek-ochrannych-atmosfer-na-waam>.
  39. ESAB. Technická příručka: Příručka pro svařování pod tavidlem. Online. In: DOCPLAYER. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11256739-Technicka-prirucka-prirucka-pro-svarovani-pod-tavidlem.html>.
  40. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 2001. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS. ISBN 80-85771-85-3.
  41. ESAB. Svařitelnost některých technických materiálů a volba přídavných materiálů. Online. Dostupné také z: [https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/N1\\_svaritelnost\\_materialu\\_ESAB.pdf](https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/N1_svaritelnost_materialu_ESAB.pdf).
  42. HOUDEK, Radim, 2022. Změna materiálů dílů pro výrobu řetězů harvestorů. Diplomová práce, vedoucí Marian Sigmund. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136982>.
  43. OCHODEK, Vladislav, 2012. Stanovení tepoty přehřevu. VŠB TU Ostrava. Dostupné také z: [https://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/stanoveni\\_teploty\\_predevu\\_2012.pdf](https://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/stanoveni_teploty_predevu_2012.pdf).
  44. Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení, 2012. Online. CWS-ANB. Česká svářečská společnost ANB. Dostupné z: <https://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>.
  45. DOBROVOLNÝ, Jan, 2017. Studium mikrostruktury a mechanických vlastností ocelových vzorků zhotovených 3D tiskem. Diplomová práce, vedoucí Petr Mohyla. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie. Dostupné také z: <https://core.ac.uk/download/pdf/94770457.pdf>.
  46. SOBOTOVÁ, Jana; JENÍKOVÁ, Zdeňka; HORNÍK, Jakub a ČIŽMÁROVÁ, Elena, 2022. Nauka o materiálu I. a II.: cvičení. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-06975-2.
  47. Zkouška rázem v ohybu. Online. In: ELUC. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1567>.
  48. Sedm Metod Pro Stanovení Obsahu Uhlíku V Oceli. Online. HONGKONG TING XUAN INDUSTRIAL CO., LTD. CTX Hongkong Ting Xuan Industrial Co., Limited. Dostupné z: <https://cz.refinermills.com/news/seven-methods-for-determining-carbon-content-i-66606661.html>.
  49. BECH, Luděk, c 2024. Spalovací prvková analýza kovových prášků a kovových dílů vyrobených aditivní výrobou. Praha. Dostupné také z: <https://www.metalco.cz/user/documents/upload/PDF%20soubory/Spalovac%C3%AD%20prvkov%C3%A1%20anal%C3%BDzakovov%C3%BDch%20pr%C3%A1%20k%C5%A1k%C5%AF%20a%20kovov%C3%BDch%20d%C3%ADl%C5%AF%20vyroben%C3%BDch%20aditivn%C3%AD%20v%C3%BDrobou.pdf>.
-



50. CITACE PRO, 2024. Online. Generátor citací. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/cs/>.  
[cit. 2024-05-18].

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
CET	Uhlíkový ekvivalent	[-]
d	Tloušťka svařené oblasti	[mm]
F <sub>m</sub>	Síla potřebná k roztržení	[N]
HD	Obsah difuzního vodíku	[ml·/100g]
I	Svařovací proud	[A]
KCU	Rychlost svařování	[J]
KCV	součinitel pro výpočet síly přidržovače	[J]
Q	Vnesené teplo	[kJ.mm <sup>-1</sup> ]
T <sub>p</sub>	Teplota přehřevu	[°C]
T <sub>pCET</sub>	Teplota vlivu chemického složení	[°C]
T <sub>pd</sub>	Teplota vlivu tloušťky svařovaných materiálů	[°C]
T <sub>pHD</sub>	Teplota vlivu obsahu difuzního vodíku ve svarovém kovu	[°C]
T <sub>pQ</sub>	Teplota vlivu tepelného příkonu	[°C]
n	Rychlost svařování	[mm.s <sup>-1</sup> ]
η	Účinnost svařovací metody	[-]

## Zkratky

Označení	Legenda
A	Austenit
A <sub>z</sub>	Zbytkový austenit
F	Ferit
GMAW	Gas Metal Arc Welding
hm. %	Hmotnostní procenta
HRC	Tvrдость dle Rockwella
HV	Tvrдость dle Vickerse
IIW	Mezinárodní svářečský institut
M	Martenzit
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
M <sub>t</sub>	Tetragonální martenzit
M <sub>k</sub>	Kubický martenzit
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
UV	Ultrafialové záření
WIG	Wolfram Inert Gas
XRD	Rentgenová strukturní analýza
ε	Přechodový karbid

---

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Atest oceli 27MnCrB5-2
Příloha 2	Atest oceli 30MnB5
Příloha 3	Atest přídavného materiálu OK 12.51
Příloha 4	Makrostruktura vzorku 1
Příloha 5	Makrostruktura vzorku 4
Příloha 6	Mikrostruktura vzorku 1
Příloha 7	Mikrostruktura vzorku 4
Příloha 8	Diagram XRD analýzy vzorku 2
Příloha 9	Diagram XRD analýzy vzorku 4



Podjetje za proizvodnjo jekel d.o.o.

Železarska cesta 3, 3220 Štore, Slovenija  
tel.: +386 3 7805 100, fax: +386 3 7805 384

Date: 31.05.2019

## INSPECTION CERTIFICATE

EN 10204/3.1

No.: ATK1907364

### Purchaser

RETEZARNA CESKA TREBOVA S.R.O.  
SMETANOVO NABREŽI 934  
CZ-51754 VAMBERK  
CZECH REPUBLIC

Order No.: 4500026518

Our order No.: 03-18-02064/002

Delivery note: 30-19-03028

Delivery date: 31.05.2019

Transport: By truck 6H56487 5E74743

Product: ROLLED SQUARE STEEL EN 10059 EN 10083-3 - 27MnCrB5-2 / SB27M12CB (Wnr.:1.7182)

Cast No.	Quality	Dim (mm)	Weight (kg)	Bundle	Melting furnace	Dim. of billet
80188	27MnCrB5-2	50	21.750	16	E	#180

### CHEMICAL COMPOSITION OF CAST (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	B	Ti
0,28	0,25	1,23	0,013	0,009	0,47	0,08	0,02	0,010	0,15	0,022	0,0045	0,030

### MECHANICAL PROPERTIES

Hardness in as delivered condition: 200 HB;

Heat treatment of samples: QUENCHED AND TEMPERED

Temperature (°C): 900(+20-20)/500(+100-100)

Media: Oil, Water

Yield stress N/mm <sup>2</sup>	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Reduction of area	Impact test			Tip	°C
				Joule 1	Joule 2	Joule 3		
794	925	15,9	59,8	105	109	113	KV	20

We hereby certify, that the material described above complies with the terms of the order contract.

Inspection supervisor  
ZEC VEJJKO, dipl.inž.



Podjetje za proizvodnjo jekel d.o.o.

Železarska cesta 3, 3220 Štore, Slovenija  
tel.: +386 3 7805 100, fax: +386 3 7805 384

Date: 31.05.2019

## INSPECTION CERTIFICATE

EN 10204/3.1

No.: ATK1907363

### Purchaser

RETEZARNA CESKA TREBOVA S.R.O.  
SMETANOVO NABREŽI 934  
CZ-51754 VAMBERK  
CZECH REPUBLIC

Order No.: 4500023814

Our order No.: 03-18-01733/004

Delivery note: 30-19-03028

Delivery date: 31.05.2019

Transport: By truck 6H56487 5E74743

Product: ROLLED FLAT STEEL EN 10092-1-B EN 10083-3 - 30MnB5 (Wnr.:1.5531) / SB30M12CB

Cast No.	Quality	Dim (mm)	Weight (kg)	Bundle	Melting furnace	Dim. of billet
79262	30MnB5	48x18	1.705	2	E	#180

### CHEMICAL COMPOSITION OF CAST (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	B	Ti
0,33	0,29	1,28	0,010	0,004	0,21	0,07	0,03	0,010	0,11	0,027	0,0029	0,023

### MECHANICAL PROPERTIES

Hardness in as delivered condition: 220 HB;

Jominy DIN EN ISO 642

mm	1	1,5	2	3	3,5	4	5	6	6,5	7	8	9	10	11	12	13	15	20
HRC		54		52			50			48		45		43		40	39	35
mm	25	30	35	40	45	50												
HRC	33	29																

We hereby certify, that the material described above complies with the terms of the order contract.

Inspection supervisor  
ZEC VEJJKO, dipl.inž.





## ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA / TEST REPORT

v souladu s/acc to EN 10204 - 2.2

Datum/Date: 2018-12-20

Číslo certifikátu/Cert no: EC25423947 rev. 0

Naše objednávka/Our order: 2080383  
Naše reference/Our ref: Web user - Movex CMP020 HUN  
Číslo zákazníka/Cust no: CZB00082  
Datum obj. zákazníka/Your date: 20181023

Vaše objednávka/Your order: E636866  
Vaše reference/Your ref:  
Vaše faxové číslo/Your fax:  
Váš e-mail/Your e-mail:

DODÁVKA/DELIVERY LOT číslo/Lot no: PVS51022250 Množství/Quantity: 7000 KG

### VÝROBEK/PRODUCT

Značka/Brand: ESAB  
Popis/Desc: OK Autrod 12.51 1.2mm 250kg  
Číslo výrobku/Item no: 1251129320

### KLASIFIKACE/CLASSIFICATIONS

EN ISO 14341-A: G 3Si1  
EN ISO 14341-A: G 38 3 C1 3Si1  
EN ISO 14341-A: G 42 4 M20 3Si1  
EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si1  
SFA/AWS A5.18: ER70S-6  
CSA W48: B-G 49A 3 C1 S6  
JIS Z 3312: YGW 12(C1)

### MECHANICKÉ VLASTNOSTI/MECHANICAL PROPS

Standard/norma/Standard: EN  
Ostatní/Auxiliary: M21 (EN ISO 14175)  
Stav/podmínky/Condition: As Welded

### PEVNOST/TENSILE

ReL	Rm	A4-A5
470 MPa	560 MPa	26 %

### ZKOUŠKA RÁZEM/IMPACT

Temp	+20 °C	-20 °C	-30 °C	-40 °C
KV	130 J	120 J	100 J	90 J

### CHEMICKÉ SLOŽENÍ/ CHEMICAL COMPOSITION

#### Wire/strip

#### Ostatní/Auxiliary:

C	0.078%
Si	0.85%
Mn	1.46%
P	0.013%
S	0.012%
Cr	0.03%
Ni	0.04%
Mo	0.01%
Cu	0.07%
V	0.004%
Al	0.005%
Ti+Zr	0.01%

### KOMENTÁŘ/COMMENTS

Certificate complies with requirements specified in ASME Sec II C, ed. 2013 Schedule F

Výrobek je dodán podle programu QA, který splňuje normu EN ISO 9001.  
Tento certifikát je zhotoven elektronicky a je platný bez podpisu.  
Veškeré dotazy prosím adresujte na:

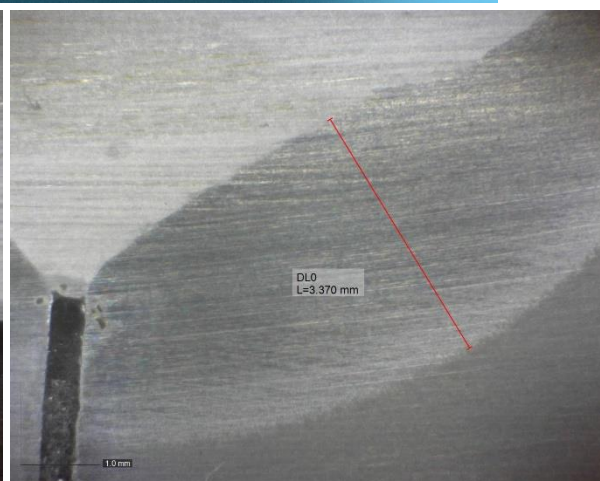
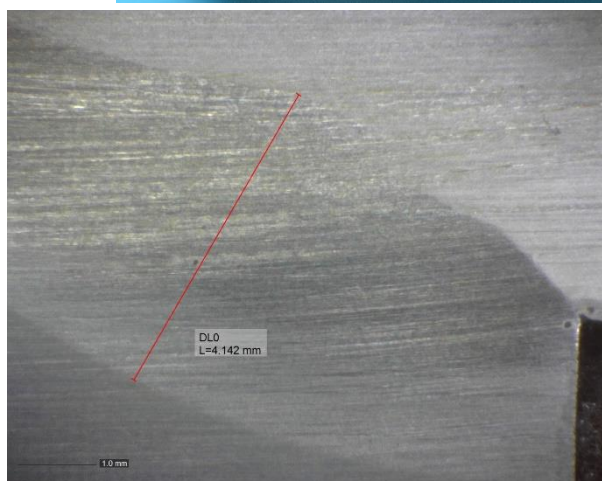
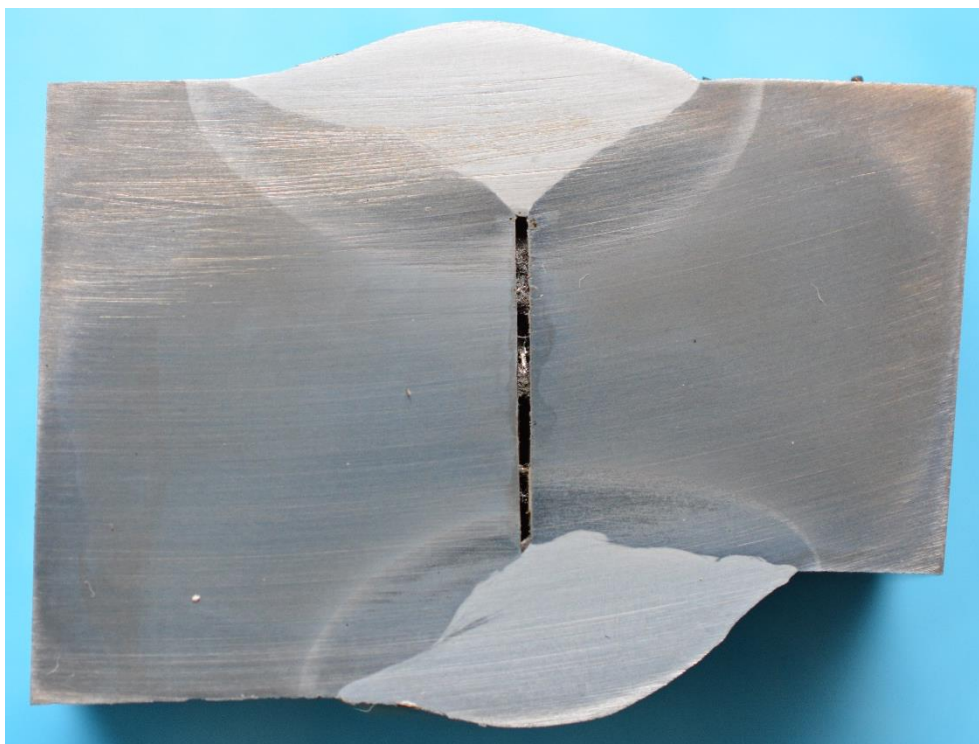
**ESAB VAMBERK, s.r.o., Smetanovo náb. 334, Vamberk 517 54, tel. +420 494 501 476, order@esab.cz**

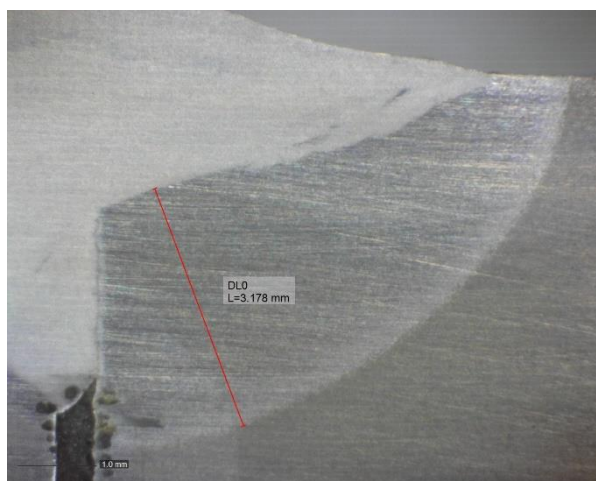
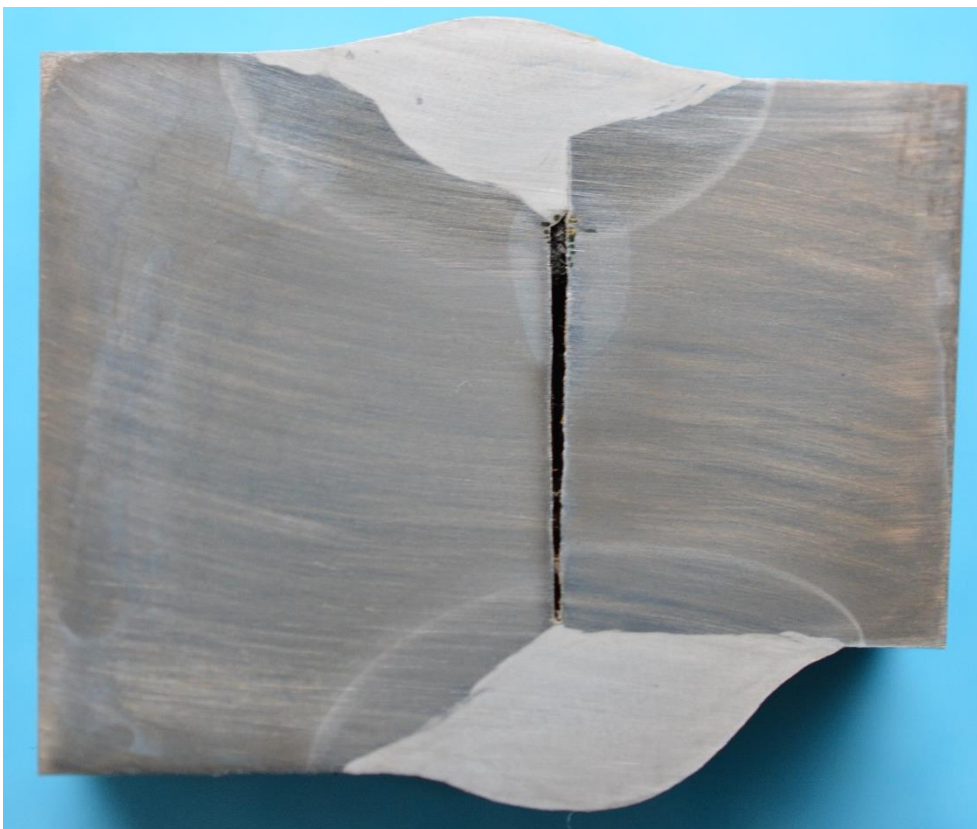
Product supplied under a QA Programme fulfilling the EN ISO 9001 standard.  
This certificate is produced electronically and is valid without signature.  
Please refer any queries to: (see above)

#### Za správnost/Validation

Jose Abal Lopez

Product Manager









Zvětšení 12,5 krát



Svarový kov – TOO při zvětšení 1000 krát.



TOO – Základní materiál při zvětšení 1000 krát.



TOO při zvětšení 1000 krát.



Svarový kov při zvětšení 1000 krát.



Základní materiál při zvětšení 1000 krát.





Zvětšení 12,5 krát



Svarový kov – TOO při zvětšení 1000 krát.



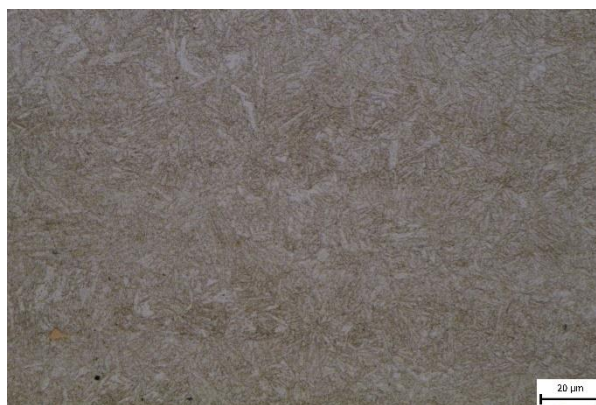
TOO – Základní materiál při zvětšení 1000 krát.



TOO při zvětšení 1000 krát.



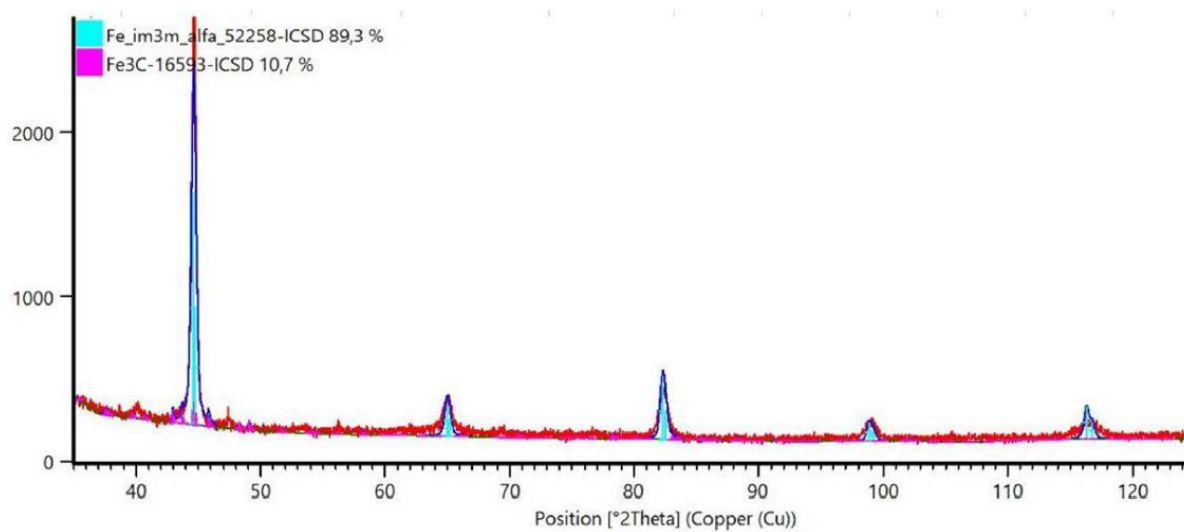
Svarový kov při zvětšení 1000 krát.



Základní materiál při zvětšení 1000 krát.

Příloha 8  
Diagram XRD analýzy vzorku 2

1/1



Příloha 9  
Diagram XRD analýzy vzorku 4

1/1

