

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program:      B 2301      Strojní inženýrství  
Studijní zaměření:      Strojírenská technologie – technologie obrábění

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Obrábění laserových návarů při rychlých opravách forem

Autor:      **Bc. Jan LIŠKA**

Vedoucí práce:      **Ing. Jan HNÁTÍK, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

## Poděkování

Při této příležitosti bych chtěl poděkovat Ing. Janu Hnátíkovi Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce. Dále pak Ing. Pavlu Fojtíčkovi., konzultantovi a vedoucímu nástrojárny, Ing. Michalu Laskovi, technologovi a Romanu Aiblovi, mistrovi nástrojárny ze zadavatelské firmy Robert Bosch, spol. s r.o. za cenné připomínky a rady, které mi v průběhu práce poskytli. nakonec bych rád poděkoval všem, kteří mi svou podporou a pomocí umožnili dokončit tuto práci.

### Prohlášení o autorství

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni .....

.....  
Bc. Jan Liška

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Liška	Jméno Jan	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>VEDOUČÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hnátík, Ph.D.	Jméno Jan	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Obrábění laserových návarů při rychlých opravách forem		

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	72	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	72	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p style="text-align: center;">Cílem této práce bylo zjistit, ověřit a případně navrhnout zlepšení technologických a organizačních postupů při rychlých opravách forem. Byly provedeny experimenty za účelem zjištění kvality povrchu laserových návarů.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Laser, Laserové navařování, Obrábění</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Liška	Name Jan	
<b>FIELD OF STUDY</b>	“Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hnátík, Ph.D.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	The machining of the laser weld at quick reparation of the mould		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------------	-------------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	72	<b>TEXT PART</b>	72	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	---------------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION  TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>The aim diploma thesis was to ascertain, verify and alternatively suggests technological and organizational procedures at at quick reparation of the mould. Experiments have been done for the purpose of quality surface of laser weld.</p>
<b>KEY WORDS</b>	Laser, Laser weld, Machining

## Obsah

Obsah .....	6
Seznam obrázků .....	7
Seznam tabulek .....	8
Seznam grafů .....	9
Přehled použitých jednotek .....	9
1 Úvod do problematiky a cíle řešení .....	10
1.1 Harmonogram vypracování diplomové práce .....	12
2 Popis současného stavu .....	13
2.1 Vstřikování plastů .....	14
2.1.1 Princip .....	14
2.1.2 Stroje pro vstřikování plastů .....	15
2.1.3 Formy pro vstřikování plastů .....	16
2.2 Technologie laserového navařování .....	17
2.2.1 Princip .....	17
2.2.2 Laserové návarové materiály .....	20
2.3 Elektroerozivní obrábění (EDM) .....	21
2.3.1 Princip technologie .....	21
3 Přehled situace v nástrojárně .....	25
3.1 Technologie laserového navařování .....	25
3.1.1 Laserový systém ACP .....	25
3.1.2 Laserové návarové materiály .....	26
3.1.3 QuFe10 .....	26
3.1.4 QuFe20 .....	27
3.1.5 QuFe30 .....	27
3.1.6 QuCu80 .....	28
3.1.7 QuAlX10 .....	29
3.2 Technologie obrábění laserových návarů .....	30
3.2.1 Frézování laserových návarů .....	30
3.2.2 Soustružení laserových návarů .....	32
3.2.3 Broušení laserových návarů .....	33
3.2.4 Elektroerozivní obrábění laserových návarů .....	40
4 Navržení experimentu .....	42
4.1 Součást .....	42
4.2 Laserové navařování .....	43
4.2.1 Návar č. 1 .....	44
4.2.2 Návar č. 2 .....	45
4.2.3 Návar č. 3 .....	46
4.3 Obrábění laserových návarů .....	47
4.3.1 Ruční obrábění .....	47
4.3.2 Frézování .....	48
4.3.3 Elektroerozivní hloubení .....	48
4.4 Testování obrobeneých návarů .....	50
4.4.1 Drsnost povrchu .....	50
4.4.2 Mikrotvrдость .....	54
4.4.3 Tribologická zkouška .....	57
5 Technicko – ekonomické zhodnocení .....	63
5.1 Laserové navařování .....	63

5.2	Ruční broušení .....	64
5.3	Frézování .....	65
5.4	Elektroerozivní hloubení.....	65
5.5	Drsnost povrchu .....	67
5.6	Mikrotvrdot .....	68
5.7	Tribologická zkouška.....	69
5.8	Ekonomické zhodnocení.....	70
6	Závěr .....	71
	Použitá literatura .....	72

## Seznam obrázků

Obr. 1-1	– Oprava laserovým návarem.....	10
Obr. 2-1	– Cyklus vstřikování plastů [3] .....	14
Obr. 2-2	- Vstřikovací stroj –.....	15
Obr. 2-3	– Forma pro vstřikování plastů.....	16
Obr. 2-4	– Laserový návar .....	17
Obr. 2-5	- Konstrukce laseru.....	18
Obr. 2-6	– velikost laserového návaru .....	20
Obr. 2-7	– Dráty pro navařování laserem od firmy Quada [11] .....	20
Obr. 2-8	– Princip elektroerozivního obrábění [12] .....	21
Obr. 2-9	– EDM Elektroerozivní obrábění [12] .....	22
Obr. 2-10	- Elektroerozivní hloubička Ingersoll Gantry 1200 [7].....	23
Obr. 2-11	- Drátová řezačka Mitsubishi FA20S s přímým odměřováním, zatápěcí [7].	24
Obr. 3-1	- Laserový systém ACP02 od firmy MEPAC CZ.....	26
Obr. 3-2	– Návarové dráty pro laser [11].....	29
Obr. 3-3	– Vertikální obráběcí centrum Hermle C40U .....	30
Obr. 3-4	– Vertikální obráběcí centrum DECKEL MAHO DMU 50 eVolution .....	31
Obr. 3-5	– Naměřovací přístroj Zoller Venturion 450.....	31
Obr. 3-6	– CNC soustruh TRENS SE 320.....	32
Obr. 3-7	– Hrotový soustruh SUI 32 A.....	32
Obr. 3-8	– Přímá pneumatická bruska PFERD PGAS 1/800 [8].....	34
Obr. 3-9	– Přehled tvarů brusných tělísek .....	35
Obr. 3-10	– Porovnání tvrdosti brusiva .....	36
Obr. 3-11	– Porovnání hospodárnosti diamantu a CBN s korundem .....	36
Obr. 3-12	– Brusivo Diamant .....	37
Obr. 3-13	– Brusivo CBN .....	37
Obr. 3-14	– Bruska univerzální hrotová BUAJ 28 .....	39
Obr. 3-15	- Rovinná bruska JUNG JF530 .....	39
Obr. 3-16	– Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 40.....	40
Obr. 3-17	- Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 2000.....	41
Obr. 3-18	- Elektroerozivní hloubička FORM 3000.....	41
Obr. 4-1	– Přepad ze vstřikovacího potrubí FRL.....	42
Obr. 4-2	- Laserový systém ACP02 od firmy MEPAC CZ.....	44
Obr. 4-3	- brusné kameny BORIDE .....	47
Obr. 4-4	– Vertikální obráběcí centrum Hermle C40U .....	48
Obr. 4-5	– frézovací hlava v vyměnitelnými břitovými destičkami .....	48
Obr. 4-6	- Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 2000.....	48
Obr. 4-7	– program pro elektroerozivní hloubení.....	49
Obr. 4-8	– Konfokální mikroskop OLYMPUS LEXT OLS 3000.....	50

Obr. 4-9 - Drsnost Návaru 2 po ručním broušení .....	51
Obr. 4-10 - Drsnost Návaru 2 po frézování .....	52
Obr. 4-11 - Drsnost Návaru 2 po elektroerozivním hloubení .....	52
Obr. 4-12 – Srovnání povrchů .....	53
Obr. 4-13 – Schéma měření tvrdosti podle Vickerse [13] .....	55
Obr. 4-14 – Otisk indentoru v materiálu .....	56
Obr. 4-15 – Měření uhlopříčky .....	56
Obr. 4-16 – Tribologická zkouška .....	57
Obr. 4-17 – Metoda PIN-on-DISC .....	57
Obr. 4-18 – Dráha kuličky - PIN on DISC .....	58
Obr. 4-19 – QuFe10 - vzorek .....	59
Obr. 4-20 - QuFe10 - návar .....	59
Obr. 4-21 – QuFe20 - vzorek .....	59
Obr. 4-22 – QuFe20 – návar .....	60
Obr. 4-23 – QuFe20 - trhlina .....	60
Obr. 4-24 – QuFe30 - vzorek .....	61
Obr. 4-25 – QuFe30 - návar .....	61
Obr. 4-26 – QuFe30 – trhlina 1 .....	61
Obr. 4-27 – QuFe30 – trhlina 2 .....	62
Obr. 5-1 – Návar QuFe20 .....	63
Obr. 5-2 – Ruční broušení .....	64
Obr. 5-3 - Frézování .....	65
Obr. 5-4 - Program pro elektroerozivní hloubení .....	66
Obr. 5-5 – Elektroerozivní hloubení .....	66
Obr. 5-6 – Srovnání povrchů .....	68
Obr. 4-23 – QuFe20 - trhlina .....	69
Obr. 4-26 – QuFe30 – trhlina 1 .....	69
Obr. 4-27 – QuFe30 – trhlina 2 .....	69

## Seznam tabulek

Tab. 3-1 – Chemické složení QuFe10 .....	26
Tab. 3-2 - Chemické složení QuFe20 .....	27
Tab. 3-3 - Chemické složení QuFe30 .....	28
Tab. 3-4 - Chemické složení QuCu80 .....	28
Tab. 4-1 – Chemické složení oceli W.Nr. 1.2367 .....	43
Tab. 4-2 - Chemické složení drátu QuFe10 .....	44
Tab. 4-3 – Tech. parametry návaru č. 1 .....	45
Tab. 4-4 - Chemické složení drátu QuFe20 .....	45
Tab. 4-5 - Tech. parametry návaru č. 2 .....	46
Tab. 4-6 - Chemické složení drátu QuFe30 .....	46
Tab. 4-7 - Tech. parametry návaru č. 3 .....	46
Tab. 4-8 - Hodnoty drsnosti pro ručním broušení .....	51
Tab. 4-9 - Hodnoty drsnosti pro frézování .....	51
Tab. 4-10 - Hodnoty drsnosti pro elektroerozivní hloubení .....	52
Tab. 4-11 – Shrnutí hodnot drsnosti .....	53
Tab. 4-12 – Druhy měření tvrdosti podle Vickerse [13] .....	54
Tab. 4-13 – Shrnutí hodnot mikrotvrdosti .....	55
Tab. 4-14 - Šířka dráhy kuličky .....	58



Tab. 5-1 – Technologické podmínky pro laserové navařování .....	63
Tab. 5-2 – Shrnutí hodnot drsnosti .....	67
Tab. 5-3 – Shrnutí hodnot mikrotvrdosti .....	68
Tab. 5-4 - Šířka dráhy kuličky .....	69

## Seznam grafů

Graf 4-1 – Závislost drsnosti povrchu na druhu obrábění .....	53
Graf 4-2 – Závislost mikrotvrdosti na druhu návarového drátu .....	55
Graf 5-1 – Závislost drsnosti povrchu na druhu obrábění .....	67
Graf 4-2 – Závislost mikrotvrdosti na druhu návarového drátu .....	68

## Přehled použitých jednotek

P	Výkon	[W]
f	Frekvence	[Hz]
$v_c$	Řezná rychlost	[m/min]
f	Posuv	[mm/min]

## 1 Úvod do problematiky a cíle řešení

Společnost Robert Bosch, spol. s r.o. – České Budějovice (dále jen RBCB) je předním světovým výrobcem plastových výlisků používaných v automobilové, průmyslové a spotřební technice.

Hlavní výrobní program RBCB tvoří nádržové čerpadlové moduly, rozvaděče paliva/zpětné vedení paliva, plynové pedály, sací moduly, multifunkční pohony, škrtkové klapky, víka hlav válců a moduly pro redukci NOx. Odběrateli jsou téměř všechny významné evropské, některé japonské, asijské a jihoamerické automobilky.

Oddělení Vývoje a pořízování nástrojů (TEF2) se zabývá vývojem a pořízováním nástrojů na vstřikování technicky náročných výlisků, servisem těchto nástrojů a optimalizací technologie vstřikování. Jedná se o nástroje o hmotnosti od 200 kg do 5000 kg, vyráběné díly jsou v rozmezí od 3 do 2400 gramů, používané technické materiály jsou především POM, PA, PPS a PPA. Oddělení TEF2 aplikuje mnoho technologií, jako např. 2K nástroje, GIT, nástroje pro vstřikovací stroje horizontální, vertikální a s otočnými stoly, víceúrovňové vyhazování dílu, automatizace chodu nástroje a vstřikovacího procesu. Dále poskytuje celosvětovou podporu výrobním závodům firmy Bosch v oblasti konstrukce, technologie, výroby forem a procesu vstřikování. V neposlední řadě vybírá, audituje a hodnotí dodavatele - nástrojárny.

Pro servis a běžné opravy nástrojů pro vstřikování plastů je vyčleněno pododdělení TEF22 – Nástrojárna. Při některých opravách se používají laserové návary které je následně nutno obrábět. Laserová technologie navařování se řadí mezi nejnovější a nejdokonalejší způsoby navařování. Navařované místo je prakticky studené a návary touto technologií naprosto přesné. Opravy laserem mají obrovský ekonomický význam, jsou velmi výhodným aspektem při snižování výrobních nákladů pro případ oprav a údržby nástrojů. Laserový návar vzniká v důsledku působení laserového svazku na materiál, který se nataví a do místa natavení se přidáním přídatného materiálu vytvoří návar. Díky malému tepelnému ovlivnění se dají laserem navařovat velmi jemné detaily a drobné součásti, aniž by se součást zdeformovala či poškodila.



Obr. 1-1 – Oprava laserovým návarem

### **Přednosti laserového navařování:**

- vysoká trvanlivost navařovaného místa
- možnost navařování velmi jemných detailů, hran a tvarů
- minimální tepelná deformace součásti
- lze svařovat různorodé materiály
- vysoká flexibilita a opakovatelnost
- snadná automatizace procesu
- pomocí přídavných materiálů lze ovlivňovat budoucí složení svaru nebo návaru
- opravy střížných hran

Lisovací formy podléhají v závislosti na zvyšujícím se počtu kusů k neodvratnému opotřebení. V automatických nebo poloautomatických výrobních procesech jsou nástroje vystavovány maximálnímu zatížení. Opotřebení nebo vylomení je téměř zákonité. Laserové svařování - navařování, je velmi výhodným aspektem při snižování výrobních nákladů pro případ oprav a údržby nástrojů.

Z důvodů zavedení systému štíhlé výroby a tudíž nutnosti rychle a pružně reagovat na potřeby zákazníků se RBCB rozhodla zadat diplomovou práci Západočeské univerzitě v Plzni na téma „Obrábění laserových návarů při rychlých opravách forem. V této práci bude zpracován současný stav při opravách forem, přehled strojního praku nástrojárny a navržen experiment. V závěru bude zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení zjištěných poznatků.

Cílem této práce je zjistit, ověřit a navrhnout zlepšení technologických a organizačních postupů při rychlých opravách forem pro vstřikování plastů.

Práce je rozdělena teoretickou a praktickou část. V teoretické části je zpracován přehled současného stavu v RBCB a strojní vybavení používané pro opravy forem. V praktické části je navržen experiment spočívající v obrobení tří skupin návarů o třech různých typech návarových drátů. Každá skupina byla obrobena různou technologií.

## **1.1 Harmonogram vypracování diplomové práce**

1. Zvolení tématu DP	červen 2011
2. Přidělení tématu vedoucím práce	září 2011
3. Upřesnění a podrobnější rozpracování tématu s konzultantem ze zadávající firmy	listopad 2011
4. Vypracování dvou až tří bodů teoretické části DP pro získání zápočtu z SPM	leden 2012
5. Návrh experimentu a jeho odsouhlasení s konzultantem ze zadávající firmy	únor 2012
6. Realizace experimentu, hodnocení a porovnání výsledků včetně zapracování do DP	březen 2012
7. Odevzdání k posouzení práce konzultantovi a vedoucímu práce	květen 2012
8. Obhajoba DP	červen 2012

## 2 Popis současného stavu

Opravy forem pro vstřikovací lisy ve firmě RBCB jsou následující:

- **Plánované** – opravy opakující se v pravidelných intervalech (např. čištění, navařování hran, apod.) – opravy s nejnižší prioritou
- **Neplánované** – opravy se střední prioritou, do této kategorie se mohou posunout z nižší kategorie v případě požadavků výroby
- **Záchranná brzda** – opravy s nejvyšší prioritou, kdy při zastavením výroby hrozí nesplnění zakázky a penalizace od zákazníka

Formy se v RBCB dělí na

- malé – oprava do 8 hodin od nahlášení závady
- střední – oprava do 12 hodin
- velké – oprava do 48 hodin

Základní rozdělení oprav v nástrojárně je na:

- Ruční - tyto opravy provádí zkušení a odborně zaškolení nástrojaři. Používají vhodné, prověřené a certifikované nástroje. Pro strojní obrábění je k dispozici rozsáhlý strojový park jehož přehled je rozebrán v kapitole 3 Přehled situace v nástrojárně.
- Strojní – pro strojní opravy forem je v nástrojárně RBCB rozsáhlý strojový park pro konvenční i nekonvenční obrábění. Tyto stroje obsluhují zkušení pracovníci.

	Směna			
	Ranní	Odpolední	Noční	So + Ne
<b>Nástrojaři</b>	Plná obsazenost	5	2	2
<b>Obraběči</b>	Plná obsazenost	Plná obsazenost	Neobsazeno	Neobsazeno

Tab 2-1 – obsazenost směn v TEF22

## 2.1 Vstřikování plastů

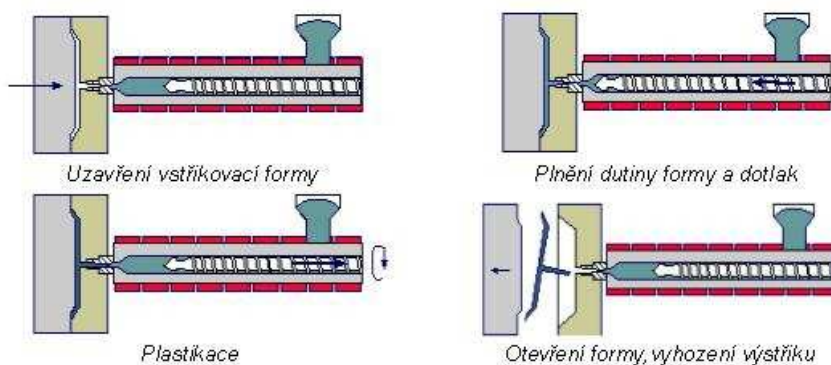
### 2.1.1 Princip

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. [3]



Obr. 2-1 – Cyklus vstřikování plastů [3]

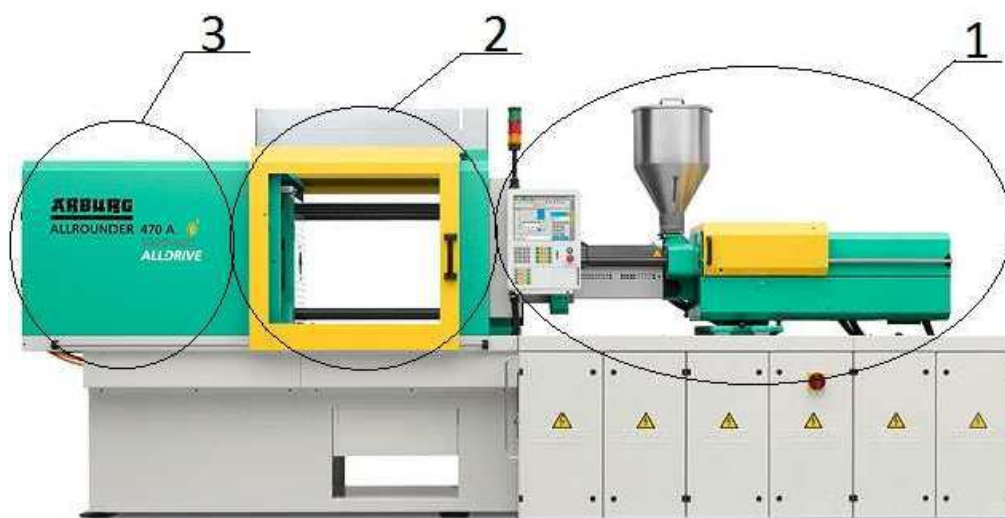
## 2.1.2 Stroje pro vstřikování plastů

Stroj pro vstřikování plastů je složen ze tří základních částí. Vstřikovací jednotky (1), která přivádí plast do vstřikovací formy, ta bude umístěna uprostřed (2) a nakonec uzavírací jednotky (3), která se stará o otvírání a uzavírání formy. Mezi vstřikovací jednotkou a formou je umístěn ovládací panel.

Proces vstřikování plastů začíná u vstřikovací jednotky (1). Plast je ve formě granulí přiváděn do násypky, tyto dále putují k tzv. plastifikačnímu šneku. Šnek se otáčí a ve spodním ústí násypky nabírá granulát, který dopravuje do vyhřívané části jednotky, tzv. tavicí komory, a zároveň jej stlačuje. Zde se granulát taví a jako tavenina se hromadí před čelem šneku. Šnek se při otáčení zároveň posouvá zpět (tj. směrem od formy). Při dostatečném množství taveniny se šnek zastaví a přestane se otáčet. V tu chvíli zastává funkci pístu a pohybem vpřed vstříkne taveninu skrze vstřikovací trysku a vtokovou soustavu do dutiny formy. A celý proces plastifikace se může opakovat (během chladnutí výstřiků a jejich vyhození z formy).

Vstřikovací forma umístěná v prostor 2 má za úkol dát požadovaný tvar všem výliskům, rozvádět roztavený plast stejnou rychlostí do všech dutin formy a postupně ochlazovat vzniklé výstřiky.

Poslední částí je uzavírací jednotka (3), ta slouží k uzavírání a otevírání formy. Hlavní veličinou uzavírací jednotky je uzavírací síla. Ta musí být tak velká, aby nedošlo k otevření či odlehnutí formy při vstříknutí taveniny do dutiny formy. Uzavírací jednotky dnes používají různé uzavírací systémy, jako jsou hydraulické, mechanické či kombinace těchto dvou, a dále elektrické. Uzavírací jednotka také slouží při otevírání formy jako pohon pro vyhazovací desky, které vyhazuje výrobky z funkční části formy, pokud nejsou používány speciální stroje pro vyndávání výlisků.



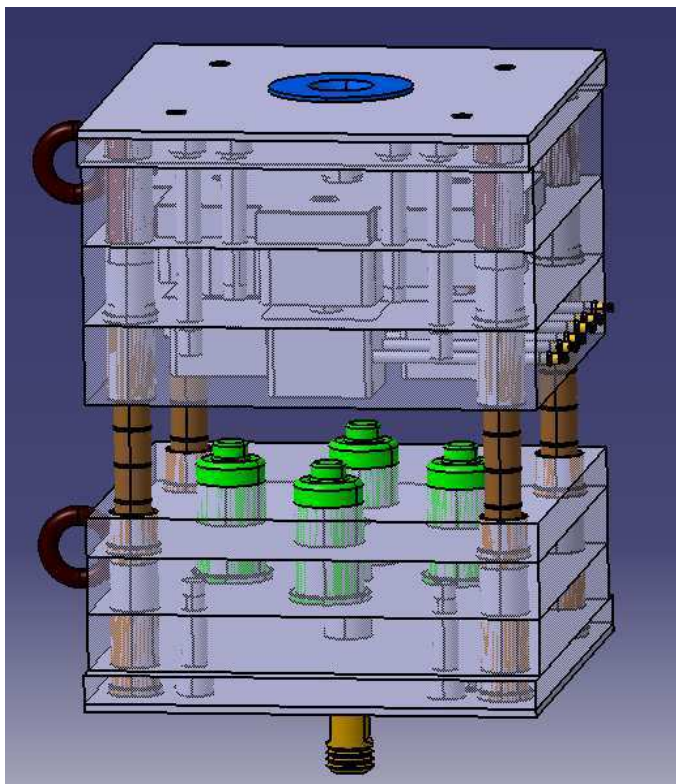
Obr. 2-2 - Vstřikovací stroj –  
1 – vstřikovací jednotka, 2 – prostor pro vstřikovací formu, 3 – uzavírací jednotka

### 2.1.3 Formy pro vstřikování plastů

Forma pro vstřikování plastů jsou nástroje, při jehož použití na speciálním vstřikovacím stroji vznikne výrobek z plastické hmoty. Dnes používané vstřikovací formy jsou technicky komplikovaná zařízení, na která se kladou nemalé nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. Z metodických důvodů si rozdělme vstřikovací formu na dvě oblasti.

Tou první je tvarová dutina. To jest prostor, kam bude na vstřikovacím stroji vtlačena plastová tavenina. Ta po ztuhnutí v dutině získá tvar konečného výrobku. Konstrukční řešení dutiny bývají velmi rozmanitá a kromě několika málo pravidel technologičnosti konstrukce se tvar řídí především funkčními, tvarovými a vzhledovými požadavky na plastový výrobek.

Druhou oblastí je vlastní konstrukční stavba nástroje, která ve většině případů vykazuje značné prvky podobnosti. Převážná většina forem se dnes sestavuje ze stavebnicového systému standardních komponent, které jsou na trhu. Konstrukční stavba takovýchto forem se skládá ze skupiny paralelních desek s různou funkcí a z řady dalších, v nich vložených nebo k nim připojených součástí. Jsou to vodící sloupky a pouzdra, spojovací součásti, vtokový, chladicí a vyhazovací systém apod. Stavebnice se používají zejména proto, že díky nim není nutno vyvíjet a vyrábět každou jednotlivou součást formy. Navíc se jedná o velmi profesionálně promyšlené systémy, které optimálně splňují řadu funkčních požadavků.



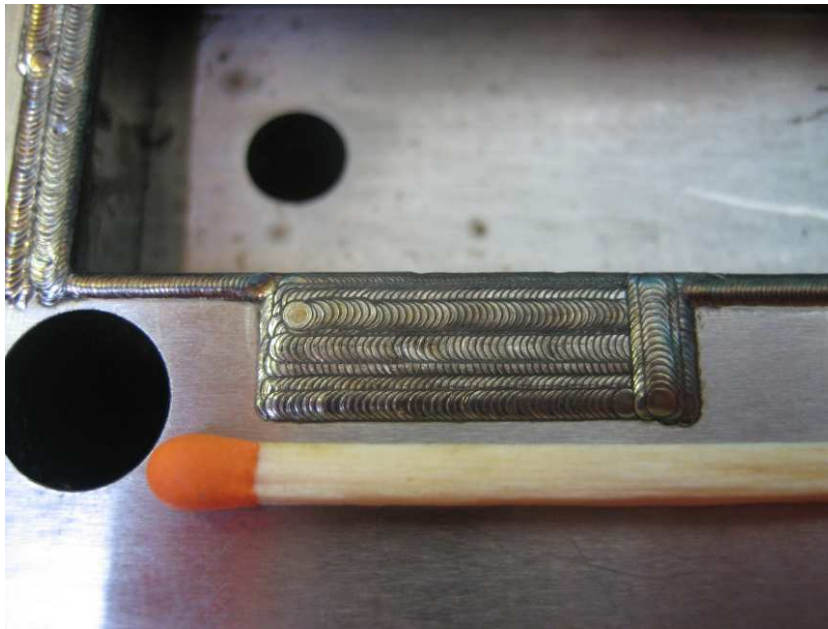
Obr. 2-3 – Forma pro vstřikování plastů



## 2.2 Technologie laserového navařování

### 2.2.1 Princip

Dosud známé a běžně používané metody opravování forem a nástrojů navařováním, jako je navařování plazmou, WIG - navařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře argonu, MIG/MAG, impulzní mikronavařování (plátkování), jsou sice velkým přínosem při opravách, přesto se u nich potýkáme s určitými nedostatky. Energie přiváděná při některých metodách na obrobek bývá často pro jemné a precizní opravy příliš vysoká, dochází ke značnému zahřívání návaru a jeho okolí, což se následně projevuje zápaly, změnou struktury a metalurgických vlastností původního materiálu v oblasti návaru a tím i křehkostí a změnou tvaru postiženého místa. Problém často bývá i v možnosti nanesení omezeného počtu navařovaných vrstev, v přístupnosti opravovaného místa a také v kvalitním provaření a spojení navařovacího a základního materiálu.



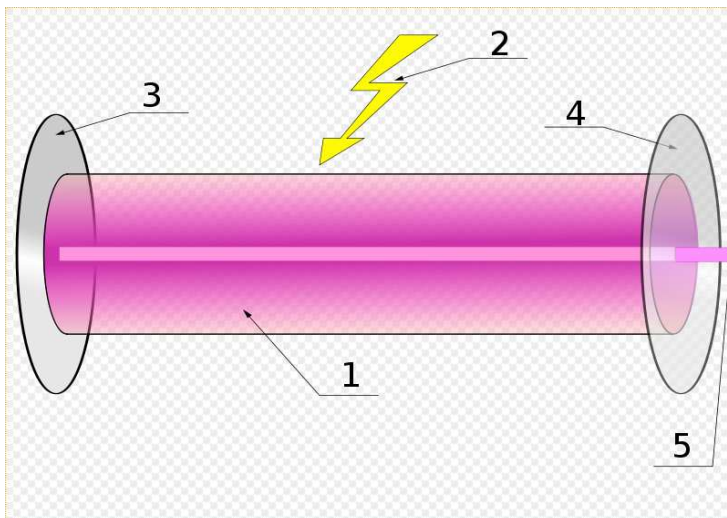
Obr. 2-4 – Laserový návar

Nyní se do oblasti výroby forem a nástrojů stále více dostává lehce a především bezpečně použitelná laserová technologie. Již delší dobu je známé navařování neželezných kovů laserem ve šperkařství, optice nebo v dentálních laboratořích. Aplikaci této technologie nebylo možné přenést na navařování nástrojových ocelí v její čisté podobě, protože legované oceli používané při výrobě forem a nástrojů mají značný podíl uhlíku, feritu, chromu a dalších prvků, které v extrémně krátkém čase (měřeném v milisekundách) roztavení a tuhnutí reagují vytvářením rozdílné struktury. Vysoce koncentrovaný jemný laserový paprsek přivádí potřebnou energii přímo na určené místo, bez většího tepelného vlivu na okolí návaru.

Při navařování elektrickým obloukem dosahuje teplota v místě navařování až 500 °C, a i když se od bodu návaru do okolí citelně snižuje, tepelné vlivy se projevují až 15 mm od tohoto bodu. U laserového navařování je teplota v bodě návaru cca 36 °C

a nezasahuje dále než 1,5 mm od návaru. To je podstatná výhoda oproti ostatním používaným metodám, neboť umožňuje navařování vnitřních hran na těžko přístupných a hluboko ležících místech. Návary jsou tak vysoce precizní, vytvářené až na desetiny milimetru, a tím se minimalizuje také jejich začišťování a další opracování obrobku. Laserové navařování umožňuje velmi rychlé opravy forem a nástrojů při opotřebení způsobeném vysokým tlakem, teplotou, mechanickým zatěžováním, opravy zlomených nástrojů, modifikaci nástrojů např. při změně požadavků na vzhled nebo i na funkčnost nástroje.

Princip navařování pomocí laserových přístrojů spočívá ve vybuzení laserového paprsku přes zábleskovou výbojku pomocí krystalu Nd:YAG. Pulzní laser má délku vlny 1064 nm. Dráha laserového paprsku probíhá přes soustavu zrcátek a optických čoček až k obrobku. Tento systém se nachází v uzavřeném robustním krytu a je tak netečný vůči tepelným výkyvům a mechanickým vlivům. Laserová technologie otevřela novou cestu precizního navařování, při jehož vývoji byla bezpečnost obsluhy a ostatních osob prioritní záležitostí, což se odráží především ve vývoji uzavřených laserů Cronitex, které nemají žádné zvýšené nároky na ochranné osobní pomůcky (především oči). V uzavřených laserech lze navařovat obrobky až 350 kg těžké a u strojů s otevřenou pracovní kabinou i obrobky podstatně těžší. Ochranný plyn přiváděný do místa navařování zaručuje vytvoření hladkého návaru bez pórů. Nastavitelná optika pro tvorbu laserového paprsku umožňuje vytvořit bezvrubý (plynulý) návar na hranách, strmých plochách, v koutech a na hlubokých tvarech bez nahřátí a následné deformace obrobku a také bez nutnosti měnit během práce polohu navařovaného obrobku. Integrované chlazení laserového paprsku garantuje stabilní výkon takovýchto přístrojů. Kvalitu návaru ovlivňuje i možnost obsluhy sledovat celý proces navařování pomocí mikroskopu nebo na obrazovce.



**Obr. 2-5 - Konstrukce laseru**

1-aktivní prostředí, 2-zdroj záření, 3-odrazné zrcadlo, 4-polopropustné zrcadlo, 5-laserový paprsek

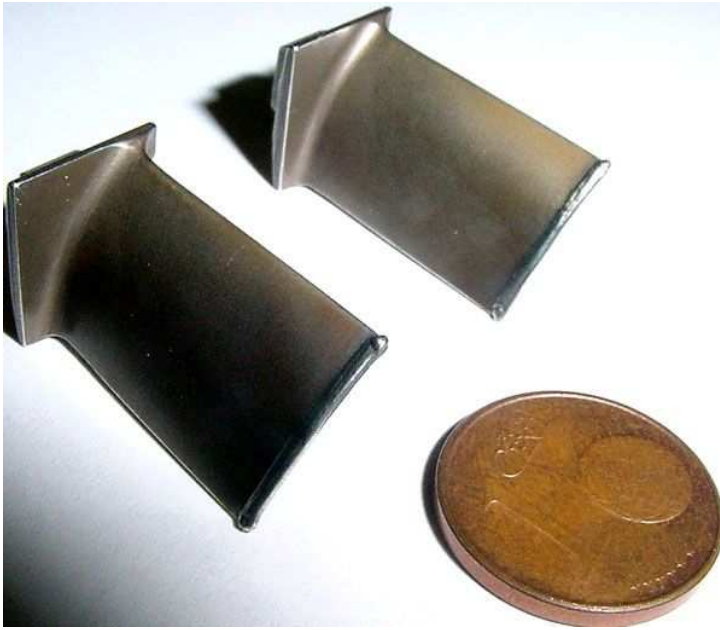
Nedílnou součástí těchto oprav se stalo navaření chybějícího materiálu na nástroj. Právě obor navařování nástrojových ocelí udělal v posledních letech velký krok dopředu. Do popředí se stále více dostává navařování laserem, které má oproti ostatním metodám mnoho prokazatelných výhod, jež přímo nebo nepřímo pozitivně ovlivňují časovou a finanční náročnost opravy. Nástroje navařované např. metodou WIG nebo

plazmatem se často musí před navařováním předehtřívát a bezprostředně po něm tepelně upravovat. To bývá spojeno se zápaly návaru a jeho okolí, se změnami metalurgických vlastností a struktury původního materiálu, se zkrhnutím postiženého místa, pnutím a s neodstranitelnou deformací dílce. Oproti tomu navařování laserem je prováděno za pokojové teploty za studena a tedy s minimálním tepelným ovlivněním, které je v bodě navařování cca 36 °C a zasahuje max. do vzdálenosti 1,5 mm od tohoto bodu. Výsledkem je nejenom perfektně a šetrně provedený návar bez staženin a pórů, ale i velká úspora peněz a času na přípravu a na tepelné úpravy navařovaného dílce. Oproti ostatním metodám vytváří laser precizní návary v desetinách milimetru, čímž dochází ke znatelnému zkracování časů na začištění a další opracování návaru. S minimalizací opracování návaru je tedy spojena další úspora času a finančních prostředků. ***Laserové navařování je šetrným a finančně přiměřeným řešením pro každou situaci.*** Tak jako u každé nové technologie, je i u práce s laserovým paprskem hlavní prioritou bezpečnost obsluhy a okolí pracoviště. Bezpečnost práce nejlépe řeší uzavřené laserové kabiny, neboť při navařování v uzavřené kabině nejsou nutná žádná další bezpečnostní opatření. Kapacita kabiny a nosnost stolu je jediným omezujícím faktorem při navařování velkých dílců. Pro tyto případy jsou k dispozici mobilní pracoviště, pro která není problém navařit velké několikátunové nástroje přímo bez jejich demontáže. U mobilních laserů není veden obrobek pod pevně fixovanou pozicí laserového paprsku, ale naopak laser je volně veden nad navařovaným dílem, samozřejmě přitom musí být nasazena pomocná zařízení, která uvádějí laserové a pozorovací optické zařízení do potřebné pozice. U této metody jsou ovšem více než na místě zvýšená bezpečnostní opatření, která mohou být pro okolí navařování značně omezující, ale u velkých dílců se jak časově, tak i finančně zcela jistě vyplatí.

Výsledkem laserového navařování jsou přesné, plynulé a hladké návary bez pórů a trhlin. Návary jsou kvalitně provařeny se základním materiálem a v žádném případě nemůže dojít k jejich odpadnutí. Laserové navařování neohrožuje daný díl spálením, staženinami, změnami rozměrů, pnutím v materiálu nebo jeho deformací.[6]

#### **Přednosti laserového navařování:**

- Navařením ploch tvrdými/tuhými materiály lze zvyšovat jejich ořezuvzdornost
- Lze dosáhnout rozměrových změn na nástrojích bez tepelných poškození nástrojů (nepatrná nebo žádná tepelná deformace)
- Nepatrné nebo žádné následné opracování
- Žádné následné tepelné zpracování není nutné
- Žádné tepelné propady
- Kritická místa lze navařit
- Díky automatizovanému výrobnímu procesu velmi krátké dodací lhůty
- Žádné používání chladících prostředků ani chemikálií není nutné



Obr. 2-6 – velikost laserového návaru

## 2.2.2 Laserové návarové materiály

Laserové návarové materiály tvoří v současné době významnou část v oblasti návarových materiálů. Nacházejí využití při navařování v oblasti zdravotnické techniky, výrobě senzorů, jemné mechaniky, mikroelektroniky, leteckého průmyslu, dentální techniky či přesného strojírenství. Díky miniaturizaci návaru a minimálnímu ovlivnění okolí přitom zachraňují drahé díly, šetří náklady na další zpracování, změny a úpravy rozměrů a umožňují miniaturizaci a výrobu dílů, které by jinak nebylo možné realizovat. Laserové navařování přesných nástrojů a forem tak přináší významné časové a ekonomické úspory všude tam, kde musí být rychle dosaženo změn tvaru či opravy na původní míry. Dobré laserové navařovací materiály jsou vedle zkušeného svářeče a vhodného laserového navařovacího systému nutným předpokladem pro dosažení kvalitních laserových návarů.



Obr. 2-7 – Dráty pro navařování laserem od firmy Quada [11]

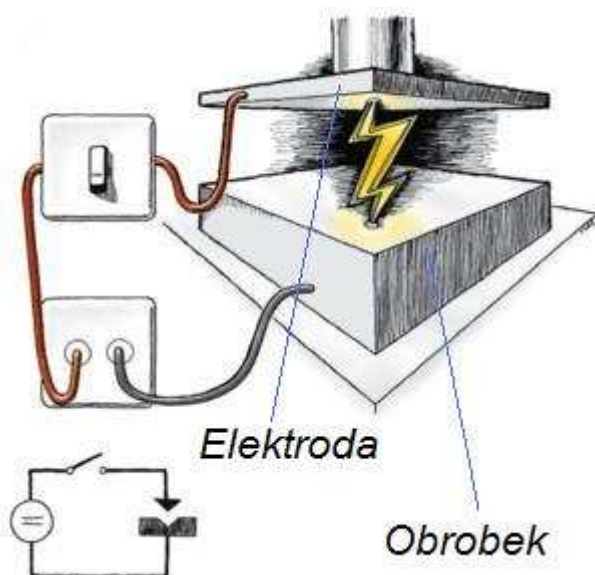
## 2.3 Elektroerozivní obrábění (EDM)

EDM (Electrical Discharge Machining, obrábění elektrickým výbojem) je proces elektrojiskrového obrábění, jenž k odstranění materiálu z obrobku erozí používá sérii elektrických výbojů (jisker). Metoda EDM je klíčovou technologií ve výrobě prvotřídních forem a lisovacích nástrojů pro sériovou výrobu plastových, skleněných či kovových součástí. Metoda EDM se však s úspěchem používá pro přímé obrábění tvarově složitých a přesných součástí. Celkem existují dva typy obrábění EDM: **řezání drátem a hloubení**.

EDM je jednou z moderních nekonvenčních metod obrábění. Základní podmínkou pro její aplikaci je elektrická vodivost obráběného materiálu. Tato metoda je nejčastěji využívána při výrobě vstřikovacích forem na plasty, při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při obrábění problematicky obrobitelných kovů.

### 2.3.1 Princip technologie

V současnosti se málokdy setkáme s výrobkem při jehož výrobě by nebyla použita technologie elektroerozivního obrábění. Přesto se o této technologii málo ví. Princip této metody je možné popsat tak, že na nástroj (elektrodu) je přivedeno elektrické napětí a při vzájemném přiblížení obrobku a nástroje dochází k elektrickému výboji, čímž dochází k roztavení mikroskopických částeczek materiálu obrobku a díky jejich následnému vyplavení a odstranění z prostoru obrábění dochází k dělení nebo opracování obrobku do požadovaného tvaru či rozměru.



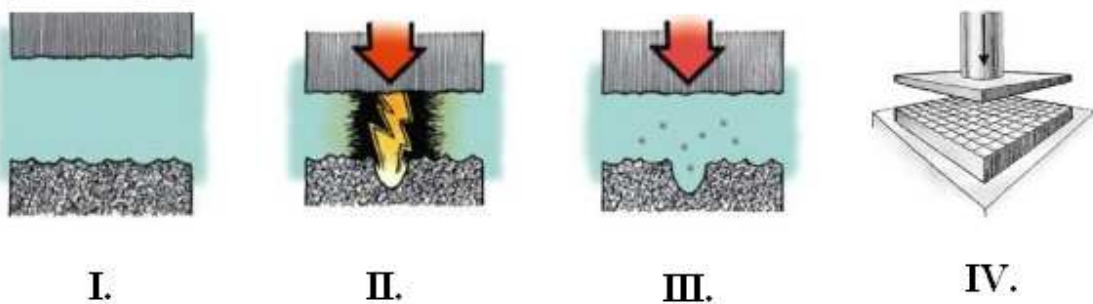
Obr. 2-8 – Princip elektroerozivního obrábění [12]

Princip EDM (Electrical Discharge Machining, obrábění elektrickým výbojem) je jednoduchý. Obráběný kus a nástroj jsou umístěny do pracovní polohy tak, aby se nedotýkaly. Mezera mezi nimi se vyplní dielektrikem. Obráběná součást a nástroj jsou

kabelem napojeny na stejnosměrný proud. Do obvodu je zapojen spínač. Když je vypnutý, vzniká mezi součástí a nástrojem elektrické napětí.

Kontrolovaný výboj, který přeskočí mezi dvěma kovovými částmi, vytvoří několik malých kráterů, přičemž se část materiálu odebere. Mikrokrátery, díky kterým se materiál odděluje, vzniknou lokálním natavením materiálu díky velmi vysoké teplotě uvnitř výboje.

Součást, použitá jako nástroj je ta, na které se krátery vytvářejí co nejméně. Nazývá se „ELEKTRODA“. „OBROBEK“ je součást, kde chceme odebrat co nejvíce materiálu je ta, kde krátery mají co největší velikost. EDM proces probíhá v kapalině, známé jako „DIELEKTRIKUM“.



Obr. 2-9 – EDM Elektroerozivní obrábění [12]

- I.** - Na začátku neprotéká žádný proud, neboť dielektrikum funguje jako izolátor.
- II.** - Jakmile se mezera sníží na určitou vzdálenost (velmi malou), udeří el. výboj - jiskra.
  - Během výboje se napětí snižuje a vzniklý proud způsobí nárůst teploty uvnitř jiskry.
  - Díky tomu se malé částičky kovu nataví a vypaří.
- III.** - Když se spínač rozezne, natavený materiál se rozptýlí tak jako při výbuchu, plazmový kanál výboje se deionizuje a zůstane malý kráter.
- IV.** - Pokud se provede série výbojů, vytvoří se několik kráterů, jeden vedle druhého, čímž se dosáhne neustálého odebrání materiálu na povrchu obráběné součásti.

V obou procesech se elektrická energie ze zdroje přeměňuje na požadovaný výsledek pomocí inteligentně řízených pulsů, vytvářených elektronicky řízeným generátorem.

Schopnosti současných EDM strojů jsou extrémní: vysoká rychlost obrábění, vysoký odběr materiálu, extrémně bezobslužný provoz, provázání navazujících operací a ukládání opakovaných úloh, stejně jako prakticky 100% kontrola výsledného tvaru a kvality obráběného povrchu od zcela hladkého po extrémně hrubý.

**EDM hloubení** - při hloubení je požadovaný tvar vyroben negativně z kovu jako třírozměrná elektroda. Složením pohybů v hlavních osách x, y, c, z, lze vytvořit nejrůznější tvary, osazení, dutiny, které by jinými způsoby obrábění nešly vyrobit.

**EDM drátové řezání** - při drátovém řezání je požadovaný tvar uložen v počítači a předán stroji jako program, podle kterého stroj vyřeže požadovaný tvar samostatně, vedením drátu podél naprogramovaných křivek.

Drát vyřeže do materiálu naprogramovanou dráhu, vedení drátu je spojeno s pohyby os X-Y a U-V. Drát se neustále obnovuje.

Obráběnými materiály mohou být všechny elektricky vodivé materiály, nezávisle na jejich tvrdosti (všechny kovy, grafit, tvrdokov atd.). Nejpoužívanějším drátem je povlakovaný drát nebo mosazný drát, který má průměr 0,25mm. Základní materiál je měď s povlakem zinku. Povlak má tloušťku 15  $\mu\text{m}$ . Hloubení i drátové řezání je součástí mnoha výrobků, které najdete při běžném životě. Příkladem jsou například zámky firmy TOKOZ.



Obr. 2-10 - Elektroerozivní hloubička Ingersoll Gantry 1200 [7]

Největší výhodou této metody je skutečnost, že ji lze použít tam, kde všechny ostatní selhávají, a to zejména při obrábění problematických tvarů, materiálů a v neposlední řadě i velmi přesných rozměrů. Pro účinnost elektroerozivního obrábění není určující ani tak tvrdost materiálu, jako jeho vodivost, teplota tavení a kvalita. Touto metodou lze dosahovat přesnosti obrábění v řádu tisícín milimetru a drsnosti povrchu Ra 0,2, což v praxi znamená, že mnohdy lze nahradit i broušení, a to zejména v místech, kde je to jinak technologicky vyloučené. K samotnému obrábění se na drátových řezačkách používá většinou mosazný drát o průměru od 0,05 - 0,36 mm a na hloubičkách, což je druhá kategorie těchto strojů, je materiálem elektrody převážně grafit, měď nebo wolframová měď. Výhodou je to, že všechny elektroerozivní stroje jsou už v základu vybaveny čtyřosým obráběním, což umožňuje výrobu tvarů, které si při zvolení konvenčního obrábění vyžádají jiné technologické postupy, konstrukci výrobku i mnohem delší výrobní čas, nebo jsou téměř nevyrobitelné. Samotné obrábění není nijak energeticky náročné, příkony strojů se pohybují v rozmezí 10 až 15 kWh. Proces obrábění je vždy prováděn ve vodní lázni nebo dielektriku, které je nutno filtrovat od částec vyrodovaného materiálu.

Technologie EDM má samozřejmě i své nevýhody. Hlavní nevýhodou je omezení maximální rychlosti řezání okolo 500 mm<sup>2</sup>/min a maximální řezaný úkos 45°.

Nelze obrábět dutiny s negativním úkosem a samozřejmě na samém začátku je nutné vyvrtání otvoru pro navlékání drátu.

Další nevýhodou je vyšší pořizovací cena stroje, proti tomu je třeba brát v úvahu nesporně velké výhody. Díky vysokým schopnostem automatizace a několika dennímu bezobslužnému provozu je zajištěna velmi zajímavá ziskovost. Další výhodou je spotřební materiál. Drát je velmi levný (oproti obráběcím nástrojům pro klasické obrábění), navíc ho po použití lze recyklovat. Čistota provozu (bez třísek) společně s nezávislostí technologie na tvrdosti obráběného materiálu jsou nespornými výhodami této technologie. Díky snadnému propojení s CAD-CAM systémy je EDM zcela variabilní.

### **Elektroerozivní drátové řezání**

Elektroerozivní drátové řezání vytváří pomocí přesného drátu (elektrody) programované kontury do obrobku. Často se drátovou erozí obrábějí složité střížnice, střížníky a vložky forem. Drát lze naklonit a tímto způsobem lze vytvářet obrobky s kónusy nebo s různými profily na vrchní a spodní straně. Drát je většinou z mědi nebo mosazi, holé nebo povlakované a má průměr od 0,02 až 0,33 mm.



Obr. 2-11 - Drátová řezačka Mitsubishi FA20S s přímým odměřováním, zatápěcí [7]



### 3 Přehled situace v nástrojárně

Pro opravy forem je v nástrojárně RBCB k dispozici rozsáhlý strojový park. A to jak pro navařování forem, tak pro obrábění laserových návarů. V následující kapitole je uveden přehled strojů včetně stručného přehledu jejich technických parametrů.

#### 3.1 Technologie laserového navařování

##### 3.1.1 Laserový systém ACP

Firma RBCB používá laser ACP02 od firmy MEPAC CZ s.r.o. Tento systém je určen pro navařování nástrojů a forem od velmi malých tvarů, až po formy o velkých rozměrech a hmotnostech. Jeho koncepce vychází z ověřené řady ACP01, která je na trhu již od roku 2003. Systém je dostatečně robustní, při běžném zacházení dostatečně otřesuvzdorný, jako celek velmi dobře mobilní i s veškerými doplňky včetně bomby s ochranným plynem (argon) a lze jej jednoduše transportovat.

##### Technické parametry laserového zdroje KUBO 100 EVO

Hmotnost	80 kg
Výška	694mm
Šířka	360mm
Hloubka	844mm
Pracovní teplota	10 – 35 °C
Pracovní vlhkost max.	90%, nesmí docházet ke kondenzaci
Povolené vibrace	při práci žádné
Hlučnost	menší než 70dB
Napájení	jednofázové, 230V (+/- 10%) / 50Hz
Kmitočet	50 – 63 Hz (+/- 1%)
Vstupní proud	max. 15,3A (efektivní hodnota)
Pojistka	16AT

##### Vlastnosti laserového zdroje KUBO 100 EVO

Laserový zdroj třídy IV	(třída 1 dle WWB systému )
Laserové médium	Nd: YAG
Šířka impulsu	0,3 až 20ms s krokem nastavení po 0,1ms
Vlnová délka	1064nm
Průměrný výkon	max. 100W +/- 20% 1ms, 20Hz
Maximální energie impulsu	80J - F.O.800um
APF tvarování impulsu	20 přednastavených tvarů (+ zákaznická možnost tvarování impulsu)
Opakovací kmitočet laser.impulsů	1-20 Hz
Optický kabel s optickými vlákny o pr.	600um - 800um
Chlazení integrované,	typ vzduch voda
Výstupní stabilita	+/- 3%
Max pracovní cyklus	80%

##### Vlastnosti naklápěcího a polohovacího systému

Hmotnost naklápěcího a polohovacího systému (bez zdroje)	275 kg
Napájení	230V (+/- 10%)

Kmitočet  
Zabudovaný jistič  
Příkon

50 – 63 Hz (+/- 1%)  
6A  
300W



Obr. 3-1 - Laserový systém ACP02 od firmy MEPAC CZ

### 3.1.2 Laserové návarové materiály

Ve firmě Robert Bosch spol. s r.o. se pro laserové navařování používají tyto typy návarových materiálů:

### 3.1.3 QuFe10

Tento typ je upřednostňován při změnách a opravách tvarových dílů ze zušlechtěných ocelí typu 1.2311, 1.2312, 1.2162, 1.2738 a 1.5424. Tento návarový materiál je možno opracovávat erodováním (jiskřením), lze jej také velmi dobře obrábět, brousit, tvarovat, leštit, chromovat, leptat, nitridovat, kalit i zušlechtit.

#### Přibližné chemické složení v %

Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr	Fe
0,53	0,04	0,45	0,86	0,04	1,2	zbytek

Tab. 3-1 – Chemické složení QuFe10

### Mechanické vlastnosti

Materiál:	1.5424 (DIN norma)
Pevnost v tahu	> 570 N/mm <sup>2</sup>
Tažnost	23 – 27%

### Aplikační možnosti návarového materiálu

L	velmi dobře leštitelný materiál
F	velmi dobrá obrobiteľnosť (CNC obrábění)
N	velmi dobře nitridovatelný materiál
C	velmi dobrá chromovatelnost
E	lze dobře opracovat EDM jiskřením
K	velmi dobrá kalitelnost či zušlechťitelnost
D	velmi dobrá leptatelnost (důležité pro chemické dezénování)
B	velmi dobrá broušitelnost

### 3.1.4 QuFe20

Tento typ se používá pro navařování otěruvzdorných vrstev, které odolávají silnému otěru a tlaku spojenými s velkými rázy a zvýšenou provozní teplotou. Aplikace tohoto typu najde proto uplatnění u kovacích nástrojů, válcovacích trnů a stříhacích ostří pro práci zatepla. Opracování návarů provádějte broušením nebo pomocí nástrojů ze slinutých karbidů. Doporučeno pro materiály 1.2082, 1.2083, 1.2343, 1.2344, 1.2367 až 1.2606.

#### Přibližné chemické složení v %

Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr	Fe
0,35	0,3	1,2	7,0	2,0	0,3	zbytek

Tab. 3-2 - Chemické složení QuFe20

### Mechanické vlastnosti

Materiál:	3-GZ-55-T speciální slitina (dle DIN normy)
Tvrdość čistě návarového materiálu:	53-58 HRc
Naměkkko žíhán při 820 °C	cca 235 HB
Kalen při 1050°C / v oleji	58 HRc
Popuštěn při 600 °C	53 HRc

### Aplikační možnosti návarového materiálu

T	velmi dobrá odolnost proti opotřebení zatepla
O	zvýšená otěruvzdornost
S	vhodný pro střížné či kovací nástroje
B	velmi dobrá broušitelnost

### 3.1.5 QuFe30

Tento typ je univerzálním typem pro navařování na dílech, které jsou vystaveny silným nárazům při středních nárocích na odolnost proti abrazi. Hlavními oblastmi použití jsou střížné nástroje a formy pro automobilový průmysl. Tento návarový materiál je i přes svou vysokou tvrdost houževnatý, odolný proti popraskání a dobře

drží břit. Návar je možné opravit broušením. Doporučeno pro materiály 1.4718, 1.2379, 1.2436, 1.2601 a podobné.

**Přibližné chemické složení v %**

C	Si	Mn	Cr	Fe
0,5	3,0	0,5	9,5	zbytek

Tab. 3-3 - Chemické složení QuFe30

**Mechanické vlastnosti**

Materiál:	1.4718 (DIN norma)
Tvrdość čistě návarového materiálu:	54-60 HRC
Naměkko žíhán při 800 °C	cca 250 HB
Kalen při 1000°C / v oleji	62 HRC

**Aplikační možnosti návarového materiálu**

K	velmi dobrá kalitelnost či zušlechtitelnost
O	zvýšená ořezuvzdornost
S	vhodný pro střížné či kovací nástroje
B	velmi dobrá brousitelnost

**3.1.6 QuCu80**

Tento materiál se používá pro navařování, vyvařování trhlin a svařování bronzů typu Ampco, Moldmax a podobných materiálů, které jsou používány například jako chladicí vložky u vstřikovacích forem na plasty, u armatur, či tažných nástrojů. Tento materiál lze také použít jako spojovací materiál mezi hliníkovou bronzí a ocelí. Návary tímto materiálem je možné provádět také na nástrojových ocelích nebo litinách. Má dobré kluzné vlastnosti, je odolný proti mořské vodě a proti tvorbě kavit (bublinek). Doporučeno pro materiály 2.1367, CuAl bronzí z více materiálů, vytváření plátování na litinových materiálech a ocelích.

**Přibližné chemické složení v %**

Al	Mn	Fe	Ni	Cu
7,5	13,0	2,5	2,5	zbytek

Tab. 3-4 - Chemické složení QuCu80

**Mechanické vlastnosti**

Materiál:	2.1367 (DIN norma)
Pevnost v tahu	650 Mpa
Mez průtažnosti	400 MPa
Tažnost	20%
Tvrdość	220 HB

**Aplikační možnosti návarového materiálu**

W	vhodný pro navařování měděných slitin
T	velmi dobrá odolnost proti opotřebení zatepla
V	výplňový materiál, eliminuje vznik a šíření prasklin
G	materiál pro navařování na ocelolitinu

### 3.1.7 QuAlX10

Tento materiál je zastudena vytvrzenou slitinou AlSi(X) s nízkým bodem tání a dobrými vlastnostmi z hlediska tečení. Návarový materiál je lesknoucí, tvorba trhlinek při navařování je mizivá. Velmi dobré parametry z hlediska leštění, současně je dosahováno vysoké pevnosti bez vytváření trhlinek. Doporučeno pro materiály svařování spojů a navařování na slitinách pro tváření: AlMgCuZn..., na litinách AlSiMg..., AlSiCu...

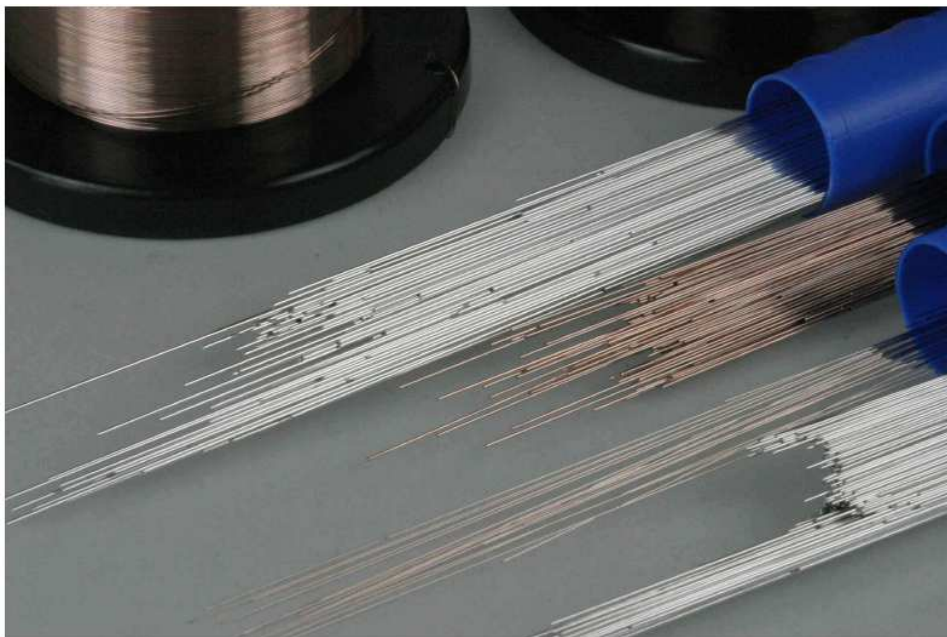
#### Mechanické vlastnosti

Materiál:	speciální slitina
Rozmezí tavení	521 – 585 oC
Pevnost v tahu	310 N/mm <sup>2</sup>
Mez průtažnosti	265 N/mm <sup>2</sup>

#### Aplikační možnosti návarového materiálu

L velmi dobře leštitelný materiál

A vhodný pro navařování hliníkových slitin



Obr. 3-2 – Návarové dráty pro laser [11]

## 3.2 Technologie obrábění laserových návarů

Laserové návary jsou ve firmě Robert Bosch spol. s r.o. obráběny následujícími konvenčními i nekonvenčními technologiemi.

### 3.2.1 Frézování laserových návarů

**Frézování** – je obrábění rovinných nebo tvarových ploch několikabřítým nástrojem. Nástroj koná hlavní řezný pohyb (rotační) a obrobek vedlejší (posuvný) pohyb.

Ve strojovém parku nástrojárny RBCB dvě CNC frézky. První z nich je vertikální pětiosé CNC obráběcí centrum C40U od firmy Hermle.

#### TECHNICKÉ PARAMETRY:

▪ Pojezdové dráhy: (X/Y/Z) [mm]	850 x 700 x 500
▪ Posuv: (X/Y/Z) [m/min.]	45
▪ Rozsah otáček: [1/min.]	18.000
▪ Výkon pohonu: [kW]	43
▪ Upínání nástroje:	SK 40
▪ Nástrojová místa:	38
▪ Velikost stolu: [mm]	1.070 x 700
▪ Potřeba místa (DxŠxV): [m]	2350 x 3150 x 2900
▪ Hmotnost stroje: [kg]	9.500
▪ Připojovací hodnota: [kVA]	43
▪ Řídící systém	Heidenheim iTNC 530



Obr. 3-3 – Vertikální obráběcí centrum Hermle C40U

Druhým vertikálním obráběcím centrem je pětiosý DECKEL MAHO DMU 50 eVolution..

**TECHNICKÉ PARAMETRY:**

▪ Pojezdové dráhy: (X/Y/Z) [mm]	500 x 380 x 380
▪ Posuv: (X/Y/Z) [m/min.]	500 x 450 x 450
▪ Rozsah otáček: [1/min.]	20 - 18.000
▪ Výkon pohonu: [kW]	55
▪ Upínání nástroje:	SK 40
▪ Nástrojová místa:	32
▪ Velikost stolu: [mm]	800 x 480
▪ Potřeba místa (DxŠxV): [m]	3550 x 2250 x 2500
▪ Hmotnost stroje: [kg]	12.500
▪ Připojovací hodnota: [kVA]	43
▪ Řídicí systém	Heidenheim iTNC 530



**Obr. 3-4 – Vertikální obráběcí centrum DECKEL MAHO DMU 50 eVolution**

Pro naměřování nástrojů se používá přístroj Venturion 450 od firmy Zoller. Jedná se o modulární naměřovací přístroj s pneumatickým blokováním os, elektronickým jemným posuvem a ovládáním obou os jednou rukou. Používá měřicí systém Heidenhein, pneumatiku Bosch, vedení THK, kameru Sony a pohony Uhing.



**Obr. 3-5 – Naměřovací přístroj Zoller Venturion 450**

### 3.2.2 Soustružení laserových návarů

Nástrojárna RBCB je vybavena dvěma soustruhy: TRENS SE 320 numeric a SUI 32 A od firmy TOS Galanta

#### TECHNICKÉ PARAMETRY SE 320 numeric:

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| ▪ Oběžný průměr nad ložem [mm]    | 320        |
| ▪ Oběžný průměr nad suportem [mm] | 170        |
| ▪ Vzdálenost mezi hroty [mm]      | 750        |
| ▪ Vrtání hlavního vřetena [mm]    | 42,57 [mm] |
| ▪ Výkon hlavního motoru [kW]      | 7          |
| ▪ Max. otáčky vřetena [min-1]     | 3 500      |



Obr. 3-6 – CNC soustruh TRENS SE 320

#### TECHNICKÉ PARAMETRY SUI 32 A:

- |                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| ▪ Točná délka [mm]                | 750 |
| ▪ Oběžný průměr nad ložem [mm]    | 320 |
| ▪ Oběžný průměr nad suportem [mm] | 190 |
| ▪ Vzdálenost mezi hroty [mm]      | 750 |
| ▪ Vrtání hlavního vřetene [mm]    | 36  |
| ▪ Celkový příkon [kW]             | 4   |



Obr. 3-7 – Hrotový soustruh SUI 32 A



### 3.2.3 Broušení laserových návarů

**Broušení** – je obrábění mnohobřítým nástrojem v podstatě shodné s frézováním. Na rozdíl od frézování mají břity (zrna) nestejnou geometrii a jsou rozděleny nepravidelně po obvodu brousícího kotouče. Zásadní rozdíl od frézování je velikost odebírané třísky která u broušení kolísá mezi 0,0001 až 0,002 mm<sup>2</sup>. Malé tloušťky třísek mají za následek vysoké hodnoty měrných řezných odporů. Brousící nástroj je tvořen zrny brusiva, které je pojivem spojeno v tuhé těleso vhodného tvaru a tvrdosti. Kromě brousícího nástroje používáme rovněž brousící pomůcky – volná zrna brusiva používané jako brousící a leštící prášky a pasty.

Brusivo lze rozdělit na přírodní (diamant, křemičitý písek, pískovec, přírodní korund, smirek, pazourek, pemza, granát) a umělé (umělý korund, karbid křemíku, karbid bóru, umělý diamant a kubický nitrid bóru). Mezi pojiva řadíme keramická, silikátová (směs hlíny, křemičitého prachu a vodního skla, magnezitová, kovová (brusivo diamant a nitrid bóru), organická (ty jsou pružné)

#### 3.2.3.1 Ruční broušení

##### *Pneumatické ruční brusky*

Pro ruční broušení se v Robert Bosch spol. s r.o používají pneumatické brusky PFERD PGAS 1/800. Jedná se o přímou brusku s pneumatickým pohonem, maximálními otáčkami 80 000 ot/min a výkonem 75W. Tento typ brusky má odvod vzduchu dozadu a vyznačuje se nízkou hlučností při práci díky zabudovanému tlumiči hluku. Tato bruska je vhodná pro jemné frézařské, brusičské a gravírovací práce. Je lehká, snadno ovladatelná, vede se jako tužka. Uložení hřídele pro přesně vystředěný běh bez obvodového házení. Pro bezproblémový chod je nutné používat olejový přimazávač který dodá 1 kapku oleje za minutu. Pneumatické stroje jsou „vysokootáčkové stroje“ mezi pohony. V porovnání s elektrickými pohony nebo pohony ohebných hřídelí dosahují vyšších otáček. Disponují – vztaheno k jejich nepatrné velikosti – vysokým výkonem. Robustní a odolné lamelové a turbínové motory mají dlouhou životnost a jsou nenáročné na servis.

##### **Oblasti použití:**

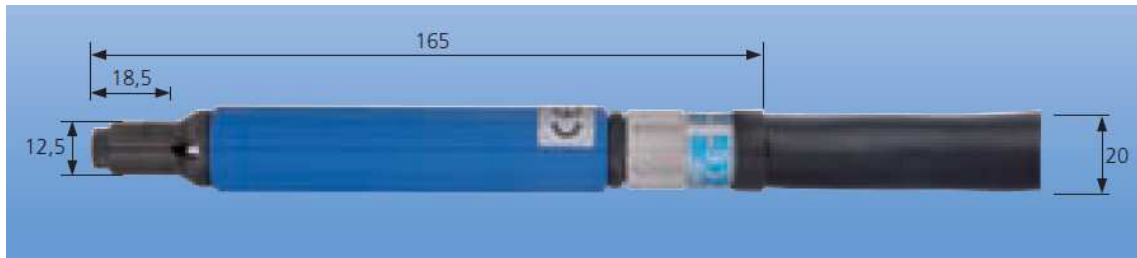
Pneumatické stroje jsou velmi všestranné. Obzvláště ve středních a větších provozech, kde je k dispozici rozvod stlačeného vzduchu, se efektivně a spolehlivě používají v sériové výrobě a na výrobních linkách.

##### **Výhody:**

- Kompaktní ergonomická konstrukce
- Nepatrná hmotnost
- Technicky vyvrálé
- Vysoký výkon ve srovnání s hmotností
- Mnohostranně použitelné
- Pevně definované otáčky
- Bez nebezpečí přetížení, protože motor je zatížitelný až do jeho zastavení
- Kryt izolovaný proti chladu a vibracím
- Nenáročné na údržbu

- Snadný servis
- Hospodárné.

V závislosti na zvoleném nástroji PFERD jsou jako alternativy na výběr různá upnutí nástrojů, např. kleštiny nebo hřídele se závitem. Každému stroji jsou přiřazeny vhodné kleštiny



Obr. 3-8 – Přímá pneumatická bruska PFERD PGAS 1/800 [8]

### ***Brusná tělíska***

Jako nástroje se do pneumatických brusek používají stopková brusná tělíska. Firma PFERD nabízí velmi rozsáhlý program stopkových brusných tělísek s keramickými pojivy a pojivy ze syntetických pryskyřic. Z velkého výběru druhů zrn, velikostí zrn a stupňů tvrdosti se vyrábějí nástroje nejrůznějších tvarů přizpůsobené jednotlivým případům použití. Na moderních výrobních zařízeních se vyrábějí stopková brusná tělíska vysoké tvarové stálosti, úzkého tolerančního pásma a konstantně vysoké kvality.

#### **Brusivo**

Zásadně se používají dva druhy zrn s mezinárodně stanovenými označeními podle ISO 525 .

A = korund ( $Al_2O_3$ )

C = karbid křemíku (SiC)

Pro jednoznačnější určení směsí zrn z ISO 525 se používá následující rozlišení:

AD = ušlechtilý korund tmavě červený

AW = ušlechtilý korund bílý

AR = ušlechtilý korund růžový

AN = normální korund

AH = pórovitý korund

CN = karbid křemíku zelený

CU = karbid křemíku šedý

CO = keramické zrno

ADW = směs korundu AD + AW

AWN = směs korundu AW + AN

ARN = směs korundu AR + AN

ADR = směs korundu AD + AR

AWCO = směs korundu AW + CO

### Velikosti zrn

Velikosti zrn jsou specifikovány podle ISO 525 a ISO 8486. Velikosti zrn zapracovaných do stopkových brusných tělísek PFERD se řídí tvarem a průměrem brusného tělíska.

### Tvary



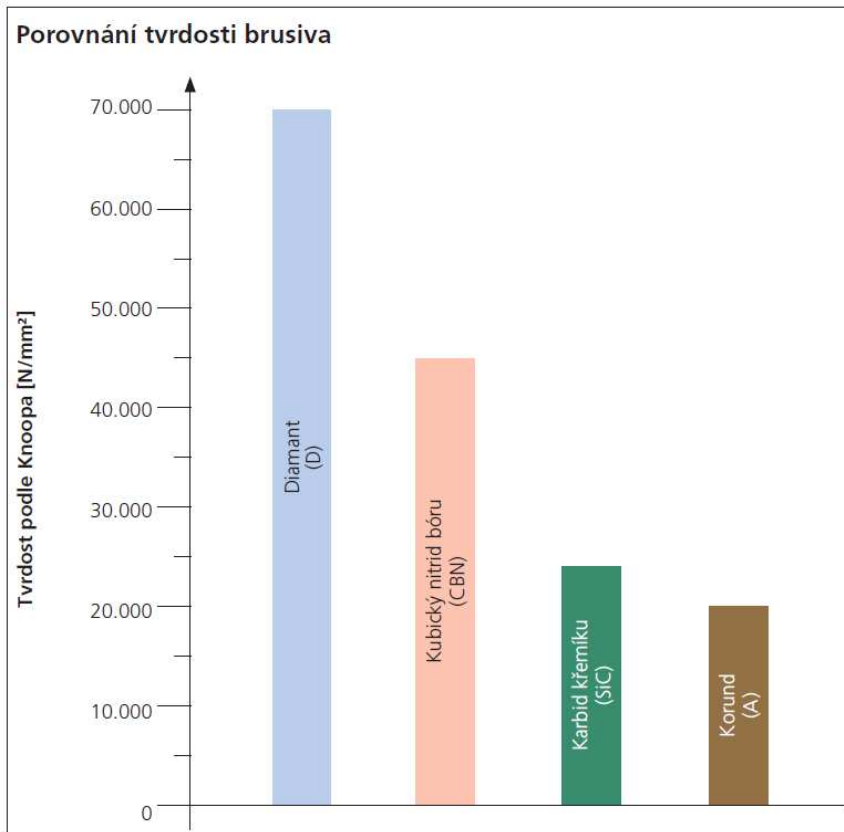
Obr. 3-9 – Přehled tvarů brusných tělísek

### *Diamantové a CBN nástroje*

Pro obrábění laserových návarů se používají diamantové a CBN nástroje. Tyto se označují se jako supertvrdé, protože výrazně předčí konvenční brusiva, korund a karbid křemíku, pokud se týče tvrdosti. Diamant se vyskytuje v přírodě, ale také se vyrábí synteticky jako CBN. Za extrémně vysokého tlaku a působení vysokých teplot je čistý uhlík (C) syntetizován na diamant, popř. na nitrid bóru s pravidelnou krystalickou mřížkou. Díky podmínkám syntézy mohou být brusivům propůjčovány vždy různé rezné vlastnosti. CBN zaostává – jak ukazuje Obr. 3-4 – jen nepatrně za diamantem, pokud se týče tvrdosti.

#### **Výhody brusných nástrojů s diamantem a CBN:**

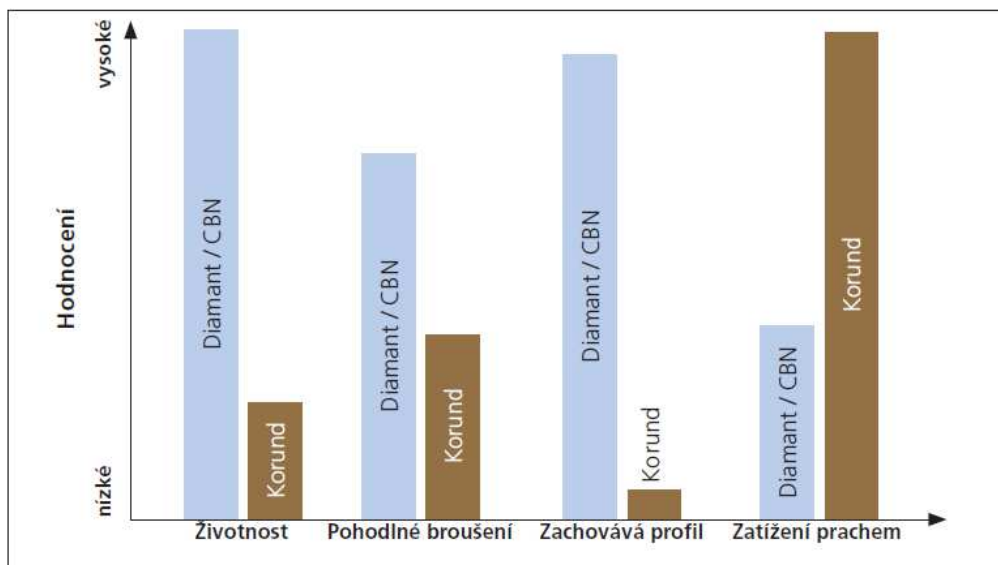
- Vynikající životnost a stálost profilu
- Krátké časy potřebné na opracování
- Zkrácení vedlejších ztrátových časů, protože nástroj musí být méně často orovnáván nebo vyměňován
- Zabránění tepelnému poškození obrobku, protože při broušení vznikají nižší teploty
- Rovnoměrná úroveň kvality v rozsahu velkého počtu obrobků.



Obr. 3-10 – Porovnání tvrdosti brusiva

### Porovnání hospodárnosti diamantu a CBN s korundem

Diamantové a CBN nástroje se vyznačují delší životností, lepšími řeznými vlastnostmi a větší stálostí profilu oproti srovnatelným nástrojům s normálním nebo zirkon-korundem. Přitom je výrazně nižší prašnost. Tím je z hlediska uživatele zajištěno optimální opracování. Informace uvedené na Obr. 3-5 platí za optimálních podmínek a při dodržení požadovaných parametrů..

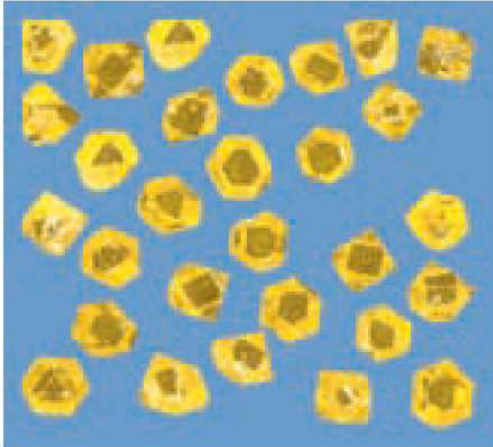


Obr. 3-11 – Porovnání hospodárnosti diamantu a CBN s korundem

### ***Brusivo diamant***

#### **Doporučení pro použití diamantu**

Brusiva diamant a CBN si navzájem nekonkurují, ale doplňují se. Pro opracování oceli není diamant vhodný, protože chemická reakce mezi železem (Fe) v oceli a uhlíkem (C) diamantu způsobuje velmi rychlé opotřebení diamantového nástroje. Opracovávání oceli diamantem je proto zpravidla neekonomické.



**Obr. 3-12 – Brusivo Diamant**

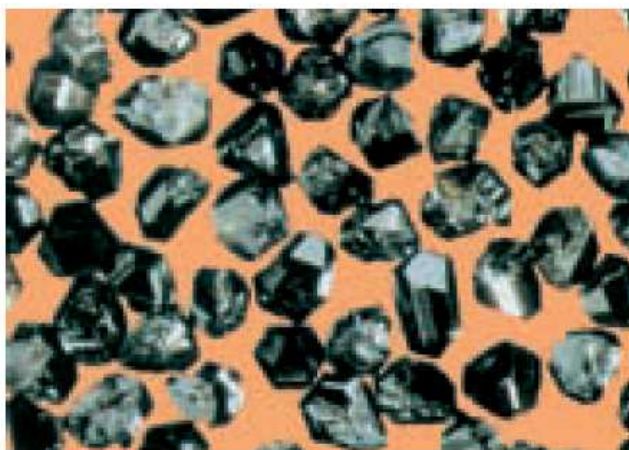
#### **Diamantové nástroje jsou vhodné k opracování:**

- tvrdokovu (spékaný i vylisek)
- skla, porcelánu, keramiky (také inženýrská keramika)
- vrstev chránící proti opotřebení
- grafitu, uhlíku pro elektrotechniku
- duroplastu nebo plastu zpevněného skleněnými vlákny
- přírodního a umělého kamene
- ohnivzdorného materiálu

### ***Brusivo CBN***

#### **Doporučení pro použití CBN**

CBN zaostává jen nepatrně za diamantem, pokud se týče tvrdosti, nereaguje však se železem (Fe) v oceli.



**Obr. 3-13 – Brusivo CBN**

### **CBN nástroje se hodí k opracovávání**

- rychlořezných ocelí
- nástrojových ocelí
- cementačních ocelí
- ocelí na výrobu kuličkových ložisek
- chromových ocelí
- kalených ocelových materiálů s tvrdostí nad 54 HRC

V nástrojárně firmy RBCB se používají převážně diamantové jehlové pilníky dodávané v sadách různých tvarů. Pilníky jsou i pro opracovávání oceli zásadně potahovány diamantovým zrnem. Při malé rychlosti, kterou se pilník pohybuje po materiálu, vznikají jen nízké teploty, které nepostačují k chemickému opotřebování diamantového zrna. Proto existuje možnost využívat vyšší tvrdosti diamantů (v porovnání s CBN) ve smyslu optimální životnosti nástroje.

### **3.2.3.2 Broušení mezi hroty**

Pro broušení laserových návarů mezi hroty (nakulato) se v nástrojárně RBCB používá hrotová bruska univerzální BUAJ 28. Výrobce je TOS Hostivař.

Hrotové brusky se používají hlavně pro broušení vnějších rotačních válcových i kuželových ploch a také pro obrábění otvorů (pohybující se pracovní stůl na jedné straně vřeteník na druhé koník). Hlavní řezný pohyb koná nástroj, vedlejší pohyb koná stůl s obrobkem.

#### **TECHNICKÉ PARAMETRY:**

- |                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| ▪ Oběžný průměr                   | 280mm,            |
| ▪ max. hmotnost obrobku:          |                   |
| - v hrotech                       | 70kg,             |
| - letmo včetně upínače            | 32kg,             |
| ▪ celkový příkon                  | 9,3kVA,           |
| ▪ rozměry (délka x šířka x výška) | 3950x1650x1500mm, |
| ▪ hmotnost stroje                 | 2500kg.           |



Obr. 3-14 – Bruska univerzální hrotová BUAJ 28

### 3.2.3.3 Rovinné broušení

Pro rovinné broušení laserových návarů používají nástrojaři brusku JF 530 od firmy JUNG.

#### TECHNICKÉ PARAMETRY:

- Brusná délka: 500 mm
- Brusná šířka: 200 mm
- Plocha stolu: 600x200 mm
- Rozměry brusného kotouče mm: 250x25
- Rozměry stroje d x š x v: 3100x1700x2000 mm
- Hmotnost stroje: 2300 kg



Obr. 3-15 - Rovinná bruska JUNG JF530

### 3.2.4 Elektroerozivní obrábění laserových návarů

Pro elektroerozivní hloubení se v RBCB používají stroje ROBOFORM 40 a ROBOFORM 2000 od firmy Charmilles Technologies a FORM 3000 od firmy AGIE Charmilles.

#### TECHNICKÉ PARAMETRY:

##### **ROBOFORM 40**

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| ▪ pracovní vana.            | pevná             |
| ▪ rozjezdy os X/Y/Z [mm]    | 350x250x300       |
| ▪ rozměr obrobku X/Y/Z.[mm] | 810x520x340       |
| ▪ váha obrobku [kg]         | 500               |
| ▪ stůl-hlava min/max.[mm]   | 150/450           |
| ▪ váha elektrody do.[kg]    | 50                |
| ▪ dielektrikum.[l]          | 350               |
| ▪ CNC řízení CT100.         | odděleně stojící  |
| ▪ generátor ISOPULS.[A]     | 32/64             |
| ▪ odměřování.               | skleněná pravítka |



Obr. 3-16 – Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 40

##### **ROBOFORM 2000**

- |                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| ▪ Pojezdové dráhy: (X/Y/Z) [mm] | 320 x 220 x 320 |
| ▪ Rozměr nádoby [mm]            | 1050 x 570      |
| ▪ Řídicí systém                 | Charmilles      |





Obr. 3-17 - Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 2000

### **FORM 300**

#### **Stroj**

▪ Rozměr stroje (D x Š x V) [mm]	1790 x 2860 x 3110
▪ Hmotnost stroje bez dielektrika [kg]	6620kg
▪ Dráha pojezdu X, Y, Z [mm]	600 x 400 x 500
▪ Osová rychlost X, Y [m/min]	6
▪ Osová rychlost Z [m/min]	15
▪ Rozlišení polohování X, Y, Z [ $\mu\text{m}$ ]	0,1

#### **Elektroda a obrobek**

▪ Rozměr obrobku (D x Š x V) [mm]	1200 x 800 x 350mm
▪ Max.hmotnost elektrody [kg]	50
▪ Max.hmotnost obrobku [kg]	2000

#### **Dielectric systém**

▪ Vanou úroveň [mm]	0-390
---------------------	-------

#### **Dielektrikum**

▪ Kapacita [l]	940
▪ Počet filtrů	8 Paper filter cartridges

#### **Generátor**

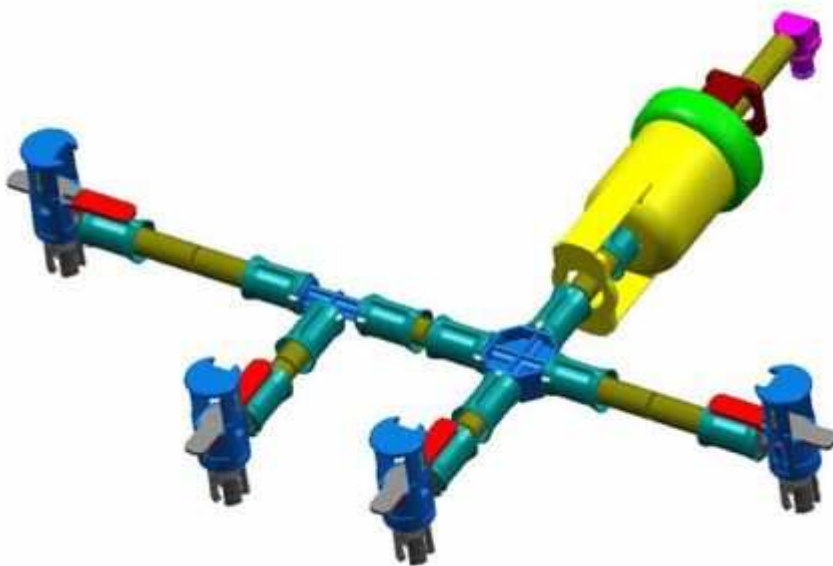
▪ Typ generátoru	ISPGIntegrovaný
▪ Max. proud při obrábění [A]	60
▪ Minimální drsnost povrchu (Ra) [ $\mu\text{m}$ ]	0,1



Obr. 3-18 - Elektroerozivní hloubička FORM 300

## 4 Navržení experimentu

Pro potřeby této diplomové práce byl navržen experiment který měl za cíl zjistit závislost kvality povrchu na druhu obrábění navařovaného materiálu. Po dohodě s konzultantem ve firmě RBCB ing. Fojtíčkem byl vybrán vzorový díl a to vyřazené (neopravitelné) jádro z formy SZ92001.CB01 (2K) „Přepad ze vstřikovacího potrubí“, evidenční číslo jádra POZ.205. Na tuto součást byly navařeny tři skupiny návarů, v každé skupině byly tři návary různými typy navařovacích drátů. Každá z těchto skupin byla obrobena různou technologií. Následně byla na každé skupině zjišťována drsnost obrobeného povrchu u jednotlivých návarů. Návary v jedné vzorové skupině, a to frézování, byly podrobeny zkoušce na mikrotvrdosti.



Obr. 4-1 – Přepad ze vstřikovacího potrubí FRL

### 4.1 Součást

Součást použitá pro experiment je vyrobena z oceli W.Nr. 1.2367, jedná se o nástrojovou ocel pro práce za tepla. Alternativní označení ČSN 19 552, DIN X38CrMoV53. Testovaná součást byla z výroby zakalena na 60 HRC

#### Charakteristika

Jedná se ochrom-molybden-vanadovou ocel vhodnou ke kalení v oleji a na vzduchu s velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností za tepla a odolností proti popuštění. Materiál má také vyniká velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Tento materiál vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Ocel je vhodná pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 1800 N/mm<sup>2</sup>, a na nástroje chlazené vodou. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko. V porovnání s ocelí ČSN 19 552 má tato ocel snížený obsah Si a zvýšený obsah Mo což ve svém důsledku umožňuje dosažení větší pevnosti.

### Vhodnost použití

Pro formy na pevné a pohyblivé díly jádra a jiné části forem pro tlakové lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin zinku a hořčíku. Nástroje pro tváření za tepla tj. velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek. Matrice, trny, čelisti a razníky zejména s vysokou pevností přes 1800 N/mm<sup>2</sup> chlazené vodou. Velmi namáhané průtlačníky a jiné pomocné nástroje pro protlačování neželezných kovů za tepla, průtlačnice na hliník a jeho slitiny. Nástroje pro stříhání za tepla, např. malé a středně velké nože nůžek, ostříhovací matrice a prostřihovací trny.

Značka oceli	Chemické složení v %							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max	S max
DIN X38CrMoV53	0,35- 0,40	0,30- 0,60	0,30- 0,50	4,70- 5,20	2,70- 3,30	0,40- 0,70	0,03	0,03
ČSN 19 552	0,32- 0,40	0,20- 0,50	0,80- 1,20	4,50- 5,50	1,10- 1,60	0,35- 0,60	0,03	0,03

Tab. 4-1 – Chemické složení oceli W.Nr. 1.2367

Součást byla nejprve čištěna po dobu 15 minut při teplotě 60,2°C v ultrazvukové čističce KRAINTEK W1/100-75-60 za použití odmašťovadla STAR BRIGHT. Tento postup odmašťování je v RBCB běžným standartem..

## **4.2 Laserové navařování**

Na součásti POZ.205 byly provedeny tři skupiny návarů třemi různými druhy navařovacích drátů, tj. v každé skupině byly tři návary různými typy drátu. Navařování bylo prováděno v nástrojárně zadávající firmy RBCB. Byl použit laserový systém ACP02 od firmy MEPAC CZ s.r.o. Tento systém je určen pro navařování nástrojů a forem od velmi malých tvarů, až po formy o velkých rozměrech a hmotnostech. Systém je dostatečně robustní, při běžném zacházení dostatečně otřesuvzdorný, jako celek velmi dobře mobilní i s veškerými doplňky včetně bomby s ochranným plynem (argon) a lze jej jednoduše transportovat. Podrobnosti o tomto systému jsou uvedeny výše v kapitole 2.2 Technologie laserového navařování. Průměrný výkon systému je maximálně. 100W +/- 20% 1ms, 20Hz. Na stroji se nenastavují skutečné hodnoty ve Watech, ale pouze procentuální poměr, pro zjištění skutečného výkonu je nutno přepočítat. V tomto konkrétním případě se použitá procenta přímo rovnají použitému výkonu.



Obr. 4-2 - Laserový systém ACP02 od firmy MEPAC CZ

#### 4.2.1 Návar č. 1

Pro první návar v každé skupině byl použit navařovací drát QuFe10, průměr drátu 0,4 mm. Tento typ navařovacího drátu je upřednostňován při změnách a opravách tvarových dílů ze zušlechtěných ocelí typu 1.2311, 1.2312, 1.2162, 1.2738 a 1.5424. Tento návarový materiál je možno opracovávat erodováním (jiskřením), lze jej také velmi dobře obrábět, brousit, tvarovat, leštit, chromovat, leptat, nitridovat, kalit i zušlechtit.

#### Přibližné chemické složení v %

Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr	Fe
0,53	0,04	0,45	0,86	0,04	1,2	zbytek

Tab. 4-2 - Chemické složení drátu QuFe10

#### Mechanické vlastnosti

Materiál: 1.5424 (DIN norma)  
Pevnost v tahu > 570 N/mm<sup>2</sup>  
Tažnost 23 – 27%

### Aplikační možnosti návarového materiálu

- L velmi dobře leštitelný materiál
- F velmi dobrá obrobitelnost (CNC obrábění)
- N velmi dobře nitridovatelný materiál
- C velmi dobrá chromovatelnost
- E lze dobře opracovat EDM jiskřením
- K velmi dobrá kalitelnost či zušlechtitelnost
- D velmi dobrá leptatelnost (důležité pro chemické dezénování)
- B velmi dobrá broušitelnost

Pro navařování návaru č. 1 byly použity následující technologické parametry:

Průměr drátu [mm]	Výkon (Power) [%]	Průměr bodu (Spot) [mm]	Frekvence [Hz]	Profil (Shape)	Duty [%]
0,4	16	1	7		100

Tab. 4-3 – Tech. parametry návaru č. 1

V dalších dvou skupinách byly návary opakovány při použití stejných technologických parametrů.

### 4.2.2 Návar č. 2

Pro druhý návar v každé skupině byl použit návarový drát QuFe20 o průměru 0,5 mm. Tento typ navařovacího drátu se používá pro navařování otěruvzdorných vrstev, které odolávají silnému otěru a tlaku spojenými s velkými rázy a zvýšenou provozní teplotou. Aplikace tohoto typu najde proto uplatnění u kovacích nástrojů, válcovacích trnů a stříhacích ostří pro práci zatepla. Opracování návarů provádějte broušením nebo pomocí nástrojů ze slinutých karbidů. Doporučeno pro materiály 1.2082, 1.2083, 1.2343, 1.2344, 1.2367 až 1.2606.

### Přibližné chemické složení v %

Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr	Fe
0,35	0,3	1,2	7,0	2,0	0,3	zbytek

Tab. 4-4 - Chemické složení drátu QuFe20

### Mechanické vlastnosti

- Materiál: 3-GZ-55-T speciální slitina (dle DIN normy)
- Tvrdość čistě návarového materiálu: 53-58 HRc
- Naměkko žihán při 820 °C cca 235 HB
- Kalen při 1050°C / v oleji 58 HRc
- Popuštěn při 600 °C 53 HRc

### Aplikační možnosti návarového materiálu

- T velmi dobrá odolnost proti opotřebení zatepla
- O zvýšená otěruvzdornost
- S vhodný pro střížné či kovací nástroje
- B velmi dobrá broušitelnost

Pro navařování návaru č. 2 byly použity následující technologické parametry:

Průměr drátu [mm]	Výkon (Power) [%]	Průměr bodu (Spot) [mm]	Frekvence [Hz]	Profil (Shape)	Duty [%]
0,5	25	0,9	7		100

Tab. 4-5 - Tech. parametry návaru č. 2

V dalších dvou skupinách byly návary opakovány při použití stejných technologických parametrů.

### 4.2.3 Návar č. 3

Pro třetí návar v každé skupině byl použit návarový drát QuFe30 o průměru 0,5 mm. Tento typ navařovacího drátu je univerzálním typem pro navařování na dřevě, které jsou vystaveny silným nárazům při středních nárocích na odolnost proti abrazi. Hlavními oblastmi použití jsou střížné nástroje a formy pro automobilový průmysl. Tento návarový materiál je i přes svou vysokou tvrdost houževnatý, odolný proti popraskání a dobře drží břit. Návar je možné opracovat broušením. Doporučeno pro materiály 1.4718, 1.2379, 1.2436, 1.2601 a podobné.

#### Přibližné chemické složení v %

C	Si	Mn	Cr	Fe
0,5	3,0	0,5	9,5	zbytek

Tab. 4-6 - Chemické složení drátu QuFe30

#### Mechanické vlastnosti

Materiál:	1.4718 (DIN norma)
Tvrdost čistě návarového materiálu:	54-60 HRc
Naměkko žíhán při 800 °C	cca 250 HB
Kalen při 1000°C / v oleji	62 HRc

#### Aplikační možnosti návarového materiálu

K	velmi dobrá kalitelnost či zušlechtitelnost
O	zvýšená otěruvzdornost
S	vhodný pro střížné či kovací nástroje
B	velmi dobrá broušitelnost

Pro navařování návaru č. 3 byly použity následující technologické parametry:

Průměr drátu [mm]	Výkon (Power) [%]	Průměr bodu (Spot) [mm]	Frekvence [Hz]	Profil (Shape)	Duty [%]
0,5	25	1	7		100

Tab. 4-7 - Tech. parametry návaru č. 3

V dalších dvou skupinách byly návary opakovány při použití stejných technologických parametrů.

### 4.3 Obrábění laserových návarů

Jak je uvedeno výše každá skupina laserových návarů byla obrobena různou technologií. První skupina byla obrobena ručně, druhá na vertikálním frézovacím centru a třetí na elektroerozivní hloubičce. Veškeré obrábění bylo prováděno pracovníky nástrojárny firmy RBCB.

#### 4.3.1 Ruční obrábění

Při ručním broušení byl návar nejprve **hrubován** a to pneumatickou bruskou PFERD PGAS 1/800 při otáčkách 75.000 ot/min. Jako nástroje bylo použito keramické brusné tělísko o průměru 3 mm, velikosti zrna 30, válcového tvaru (ZY) a tvrdosti H. Stopková brusná tělíška tvrdosti H jsou vyrobena z keramického pojiva a směsi brusných zrn z normálního korundu a bílého ušlechtilého korundu. Díky relativně měkkému pojivu mezi brusnými zrny se během broušení docílí vysokého úběrového výkonu. Tvrdost H je ve spojení s vysokými obvodovými rychlostmi obzvláště vhodná pro použití na plochách tvrdé a houževnaté oceli.

#### VÝHODY

- Vynikající měkké chování při broušení a zároveň velmi dobré brusné vlastnosti.
- Dobře štěpitelný bílý ušlechtilý korund s ostrými hranami vede na kalených ocelových součástech k vysokým hodnotám úběru.
- Otevřené komůrky na zachytávání třísek umožňují dobrý odvod tepla.
- Díky použití houževnatého normálního korundu ve směsi brusných zrn se docílí dlouhé životnosti, přestože jsou spojeny měkkým pojivem.

Poté byl návar obrobena načisto plochým diamantovým pilníkem DF4112 (ze sady DF4205) od firmy PFERD o střední velikost zrna D126.

Pro dokončovací operaci byl použit brusný kamen BORIDE AB 180. Tyto kameny se hodí svou tvrdou vazbou syntetické pryskyřice pro detailní práce v drážkách, žebrech a rytinách všude tam, kde jsou ostré hrany. Kameny jsou zvláště vhodné pro oceli tvrdší než 54 HRC. Jsou použitelné v přímočarých nástavcích a při práci s ultrazvukovým přístrojem.



Obr. 4-3 - brusné kameny BORIDE

### 4.3.2 Frézování

Druhou technologií použitou při obrábění laserových návarů bylo frézování. Součást byla ofrézována na pětiosém CNC vertikálním obráběcím centru C40U od firmy Hermle (podrobnosti viz kapitola 3.2.1 Frézování laserových návarů). Návar byl obráběn frézovací hlavou  $\varnothing 32$ , při řezné rychlosti  $V_c=200$  m/min, otáčkách  $S=2000$  ot/min a posuvu  $f=500$  mm/min.



Obr. 4-4 – Vertikální obráběcí centrum Hermle C40U



Obr. 4-5 – frézovací hlava v vyměnitelnými břitovými destičkami

### 4.3.3 Elektroerozivní hloubení

Poslední testovanou obráběcí technologií bylo elektroerozivní hloubení. Toto bylo prováděno na stroji ROBOFORM 2000 od firmy Charmilles Technologies (podrobnosti viz kapitola 3.2.4 Elektroerozivní obrábění laserových návarů).



Obr. 4-6 - Elektroerozivní hloubička ROBOFORM 2000



Pro obrábění byl použit následující program:

```
1:PN/DIR
2:COORD/METR
3: ; VOLBA PRIORITY
4: ; RYCHLOST
5: ; KONECNY POVRCH
6: ; MALE OPOTREBENI
7:AUXF/22
8:TECHNO/F,GUCUAC
9:FLUSH/EL,0,LR,1
10:L1=$1
11:AXE/Z
12:FROM/X,0,Y,0,Z,10
13:DOWN/L,L1,H,-$2,E,352
14:ORB/L,L1,H,-0.160,E,352
15:ORB/L,L1,H,-0.150,E,323
16:ORB/L,L1,H,-0.104,E,293
17:ORB/L,L1,H,-0.075,E,282
18:ORB/L,L1,H,-0.058,E,271
19:ORB/L,L1,H,-0.041,E,251
20:ORB/L,L1,H,-0.026,E,241
21:ORB/L,L1,H,-0.014,E,220,RET
22:FLUSH/LR,0
23:END
```

**Obr. 4-7 – program pro elektroerozivní hloubení**

## 4.4 Testování obrobených návarů

### 4.4.1 Drsnost povrchu

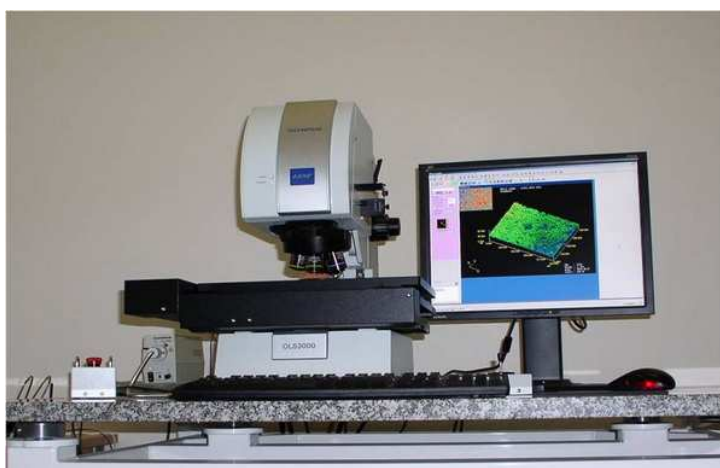
Drsnost povrchu obrobených laserových návarů byla zjišťována v laboratořích Katedry materiálové metalurgie na konfokálním rastrovacím mikroskopu OLYMPUS LEXT OLS 3000 za pomoci Ing. Jiřího Hodače, Ph.D.

Mikroskop LEXT OLS3000 je představitelem nové generace optických systémů s vysokou přesností 3D zobrazování a měření v reálném čase. Nabízí nové možnosti při vývoji a kontrole rozličných materiálů a součástek. Je zvláště vhodný pro nově vznikající aplikace v mikro- a nanotechnologických odvětvích, která kladou stále vyšší nároky na nestandardní způsoby nedestruktivního bezkontaktního měření a kontrolu materiálů, miniaturních součástek, velmi jemných spojů a také na kontrolu drsnosti povrchů se submikronovou přesností.

Základním principem konfokálního rastrovacího mikroskopu LEXT OLS3000 je to, že netvoří obraz vcelku, nanejvýš, ale bod po bodu, řádkováním. Pomocí řádkování jsou tedy snímány optické řezy v rovině X-Y a díky přesnému definovanému posuvu objektivu v ose Z, i jednotlivé optické řezy.

Díky vynikajícímu rozlišení 0,12  $\mu\text{m}$  a rozsahu zvětšení 120x až 14 400x je LEXT přímo určen pro badatele, kteří pracují mezi limity běžných optických mikroskopů a řádkovacích elektronových mikroskopů (SEM). Na rozdíl od situace v SEM lze jakýkoli vzorek vložit přímo na stolek mikroskopu bez předběžné přípravy. LEXT je ideálně vhodný pro ultra-detailní pozorování povrchů a měření nutná při výrobě mikrozařízení, jako je MEMS (Micro Electro Mechanical System), při vývoji nových materiálů a u dnešních kompaktních zařízení také při prostorově zhuštěnější povrchové montáži.

Pomocí konfokálního laserového rastrovacího mikroskopu Lext OLS3000 lze měřit skutečné vzdálenosti, objemy, plochy a průměty různých materiálů. Výhodou je dále měření drsnosti povrchů, měření pórovitosti, měření sporing faktorů, měření profilů, analýza částic, kontrola materiálů, povlaků a mnoho dalších funkcí vždy v 3D zobrazení.



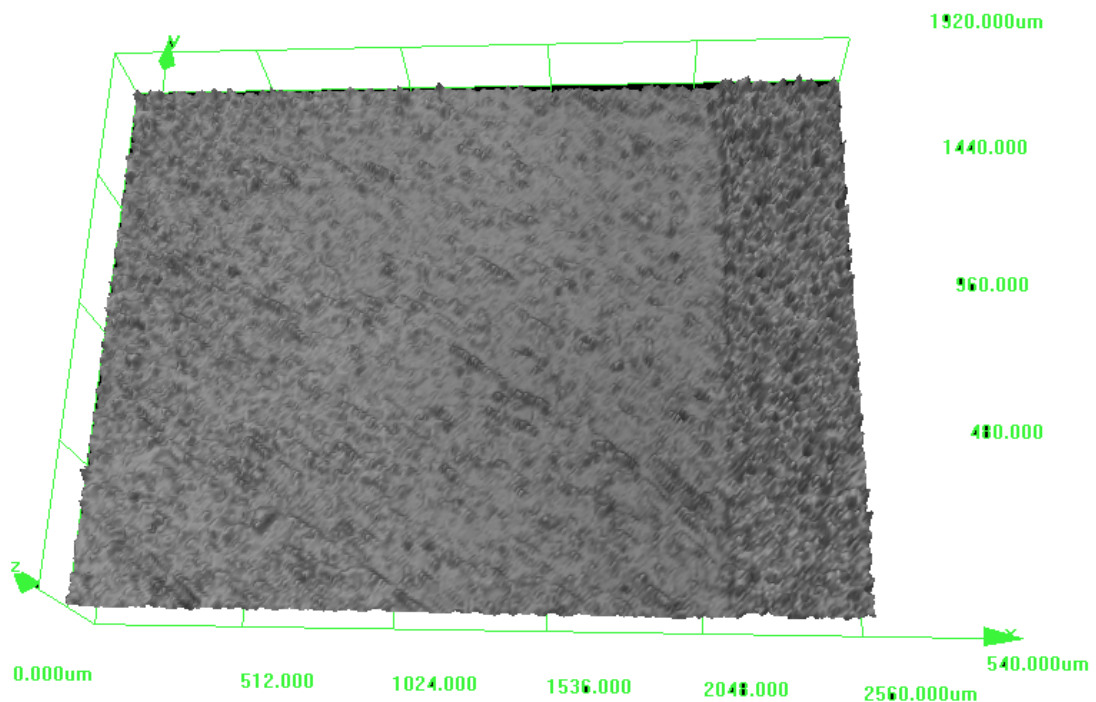
Obr. 4-8 – Konfokální mikroskop OLYMPUS LEXT OLS 3000

### Ruční broušení

Při zkoumání laserových návarů obrobených ručním broušením byly zjištěny následující hodnoty:

	Návar 1	Návar 2	Návar 3	Průměr
<b>Ra</b>	0,64	0,62	0,61	0,62
<b>SRa</b>	0,82	0,83	0,84	0,83
<b>Rz</b>	4,56	4,5	4,48	4,51
<b>SRz</b>	14,25	14,23	14,21	14,23

Tab. 4-8 - Hodnoty drsnosti pro ručním broušením



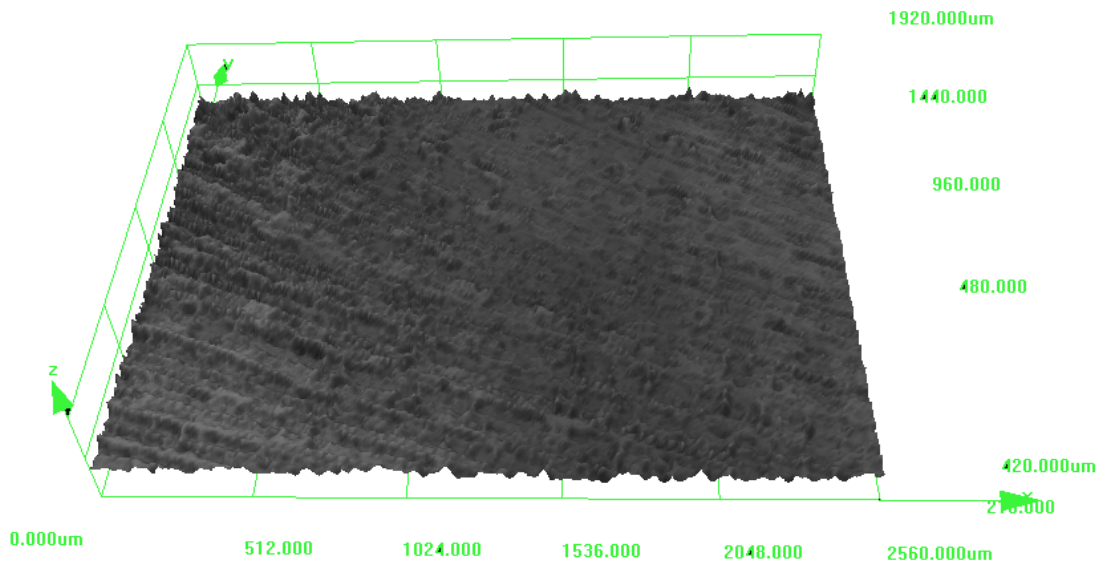
Obr. 4-9 - Drsnost Návaru 2 po ručním broušením

### Frézování

Při zkoumání laserových návarů obrobených frézováním byly zjištěny následující hodnoty:

	Návar 1	Návar 2	Návar 3	Průměr
<b>Ra</b>	0,68	0,69	0,69	0,69
<b>SRa</b>	1,01	1,0	1,01	1,01
<b>Rz</b>	4,27	4,31	4,35	4,31
<b>SRz</b>	17,66	17,53	17,61	17,6

Tab. 4-9 - Hodnoty drsnosti pro frézování



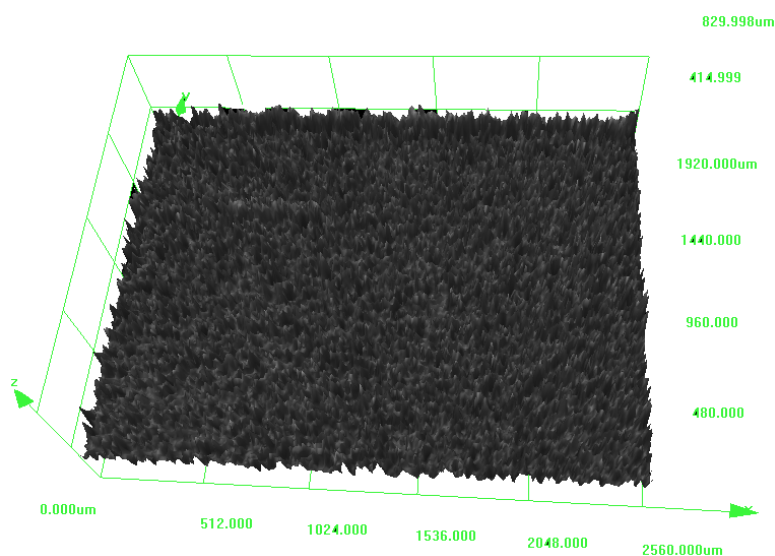
Obr. 4-10 - Drsnost Návaru 2 po frézování

### Elektroerozivní hloubení (EDM)

Při zkoumání laserových návarů obroběných elektroerozivním hloubením byly zjištěny následující hodnoty:

	Návar 1	Návar 2	Návar 3	Průměr
<b>Ra</b>	2,82	2,78	2,72	2,77
<b>SRa</b>	3,36	3,3	3,31	3,32
<b>Rz</b>	17,86	17,83	17,81	17,83
<b>SRz</b>	34,07	34,13	34,11	34,1

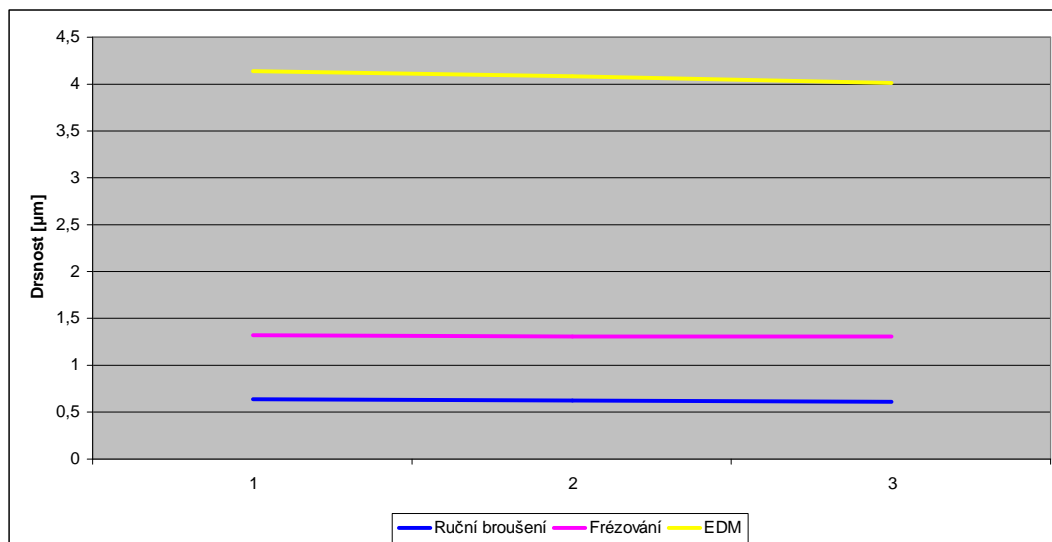
Tab. 4-10 - Hodnoty drsnosti pro elektroerozivní hloubení



Obr. 4-11 - Drsnost Návaru 2 po elektroerozivním hloubení

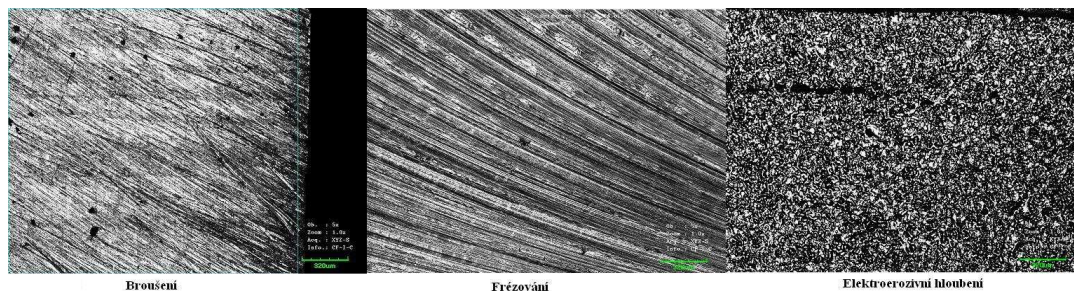
Druh obrábění	Druh drsnosti	Návar 1 [μm]	Návar 2 [μm]	Návar 3 [μm]	Průměr [μm]
Ruční obrábění	Ra	0,64	0,62	0,61	0,62
	SRa	0,82	0,83	0,84	0,83
	Rz	4,56	4,5	4,48	4,51
	SRz	14,25	14,23	14,21	14,23
Frézování	Ra	0,68	0,69	0,69	0,69
	SRa	1,01	1,0	1,01	1,01
	Rz	4,27	4,31	4,35	4,31
	SRz	17,66	17,53	17,61	17,6
Elektroerozivní hloubení	Ra	2,82	2,78	2,72	2,77
	SRa	3,36	3,3	3,31	3,32
	Rz	17,86	17,83	17,81	17,83
	SRz	34,07	34,13	34,11	34,1

Tab. 4-11 – Shrnutí hodnot drsnosti



Graf 4-1 – Závislost drsnosti povrchu na druhu obrábění

Z zjištěných hodnot uvedených v tabulce 4-11 a Grafu 4-1 vyplývá, že rozdíly v drsnosti povrchu mezi jednotlivými druhy obrábění existují, obzvláště mezi ručním broušením a elektroerozivním hloubením jsou markantní. Nicméně rozdíly v drsnosti mezi jednotlivými druhy návarového drátu při stejném typu obrábění jsou zanedbatelné. Můžeme tudíž konstatovat, že nebyl prokázán vliv použitého druhu návarového drátu na výslednou drsnost povrchu.



Obr. 4-12 – Srovnání povrchů

#### 4.4.2 Mikrotvrdość

Druhým krokem při testování laserových návarů bylo měření mikrotvrdości podle Vickerse. Pro potřeby této práce byla proměřena pouze jedna skupina a to skupina číslo 2 obráběná frézováním.

Zkouška tvrdosti podle Vickerse patří mezi statické zkoušky tvrdosti materiálu. Způsob jejího provedení je popsán a ujednocen normou ČSN EN ISO 6507. Princip spočívá ve vnikání zkušebního tělesa - indentoru - do zkoumaného materiálu a následného zjišťování míry deformace tohoto materiálu. Jakožto indentor se v tomto případě používá diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136°, měřítkem tvrdosti materiálu jsou délky dvou úhlopříček vtisknutého jehlanu. Vickersova zkouška se označuje HV, je značně univerzální, lze ji použít na tvrdé i měkké materiály. Její výhodou je též to, že výsledná hodnota tvrdosti nezávisí na zatěžovací síle, jelikož vtisky jsou pro různé síly geometricky přibližně stejné [13].

Označení	Symbol tvrdosti	Zkušební zatížení F [N]	Zkušební metoda
Zkouška tvrdosti podle Vickerse	HV 5 ÷ HV 100	49,03 ÷ 980,7	ČSN EN ISO 6507/1
Zkouška tvrdosti podle Vickerse při nízkém zatížení	HV 0,2 ÷ < HV 5	1,961 ÷ < 49,07	ČSN EN ISO 6507/2
Zkouška mikrotvrdości podle Vickerse	< HV 0,2	< 1,961	ČSN EN ISO 6507/3

Tab. 4-12 – Druhy měření tvrdosti podle Vickerse [13]

#### Vztah pro měření tvrdosti podle Vickerse

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

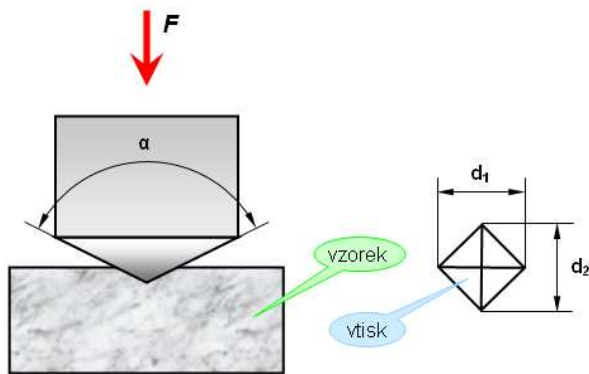
**HV**... tvrdost podle Vickerse

**F**... zkušební zatížení v [N]

**α** ... vrcholový úhel vnikacího tělesa (jehlanu);  $\alpha = 136^\circ$

**d**... úhlopříčka vtisku v [mm];  $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

konstanta...  $0,102 = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,807}$

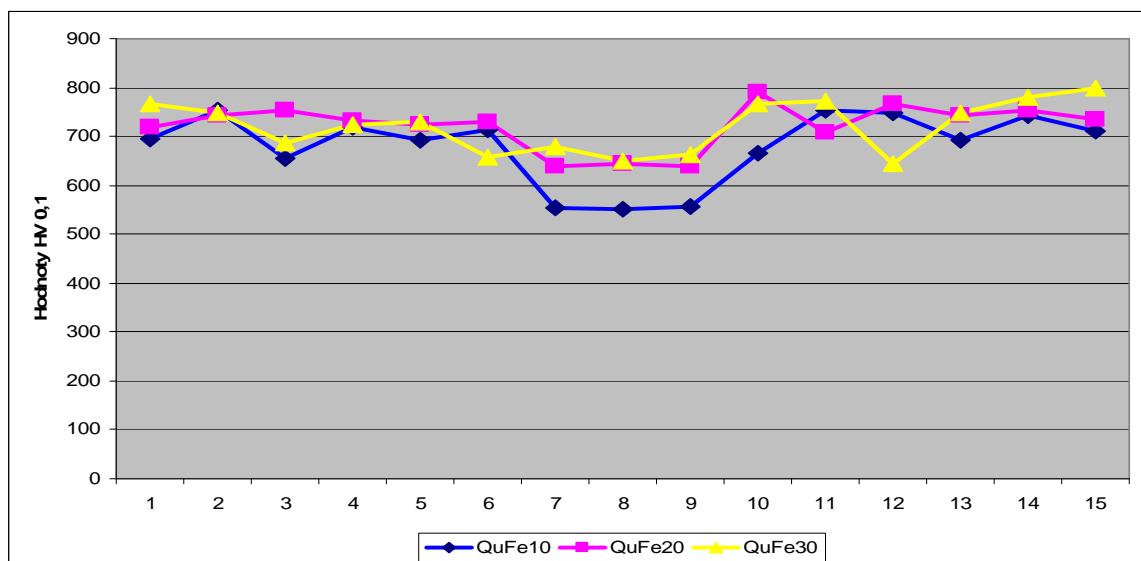


Obr. 4-13 – Schéma měření tvrdosti podle Vickerse [13]

Celé testování probíhalo v souladu s touto normou. Testováno bylo v laboratořích Katedry materiálové metalurgie na mikrotvrdoměru WMHT-002 od firmy Walter Uhl Technische mikroskopie GMBH & Co. Jedná se o poloautomatický přístroj pro měření mikrotvrdosti kde obsluha nastaví zkušební zatížení a místo vtisku a po stisku tlačítka „Do indentation“ provede přístroj další činnost automaticky. Teplota v místnosti byla 24,3°C dle normy vyhovující (10°-35°). Při tomto testu bylo použito zkušební zatížení 100 g (tj. 0,1 kg) výsledná tvrdost bude dle normy značena XXX HV 0,1. Při třech zkušebních vtiscích bylo zjištěno, že uhlopříčky  $d_1$  a  $d_2$  se pohybují v rozmezí 14  $\mu\text{m}$  až 16  $\mu\text{m}$ , nastavená vzdálenost mezi vtisky 0,3 mm byla dostačující (dle normy min 2,5d). Povrch zkoušené součásti byl nejprve broušen korundovým smirkovým papírem o hrubosti 800, poté korundovým smirkovým papírem o hrubosti 1200 a nakonec leštěn diamantovou pastou s velikostí zrna 3  $\mu\text{m}$ . Bylo provedeno 15 vtisků vždy tak aby nejméně dva vtisky byly do návaru a nejméně pět vtisků bylo na každou stranu od návaru.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QuFe10	696	754	654	719	691	713	554	550	556	665	754	748	691	743	711
QuFe20	719	742	754	731	725	730	640	644	638	792	708	767	742	754	736
QuFe30	767	747	686	725	730	659	680	649	664	768	773	644	748	779	799

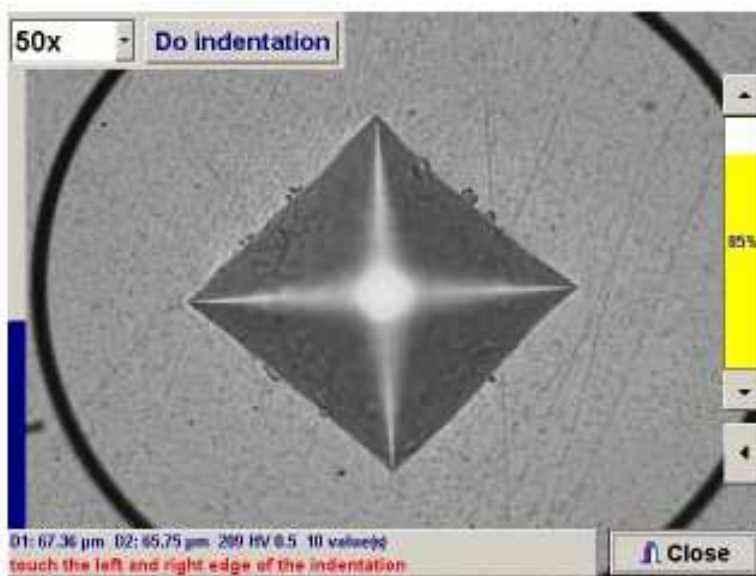
Tab. 4-13 – Shrnutí hodnot mikrotvrdosti



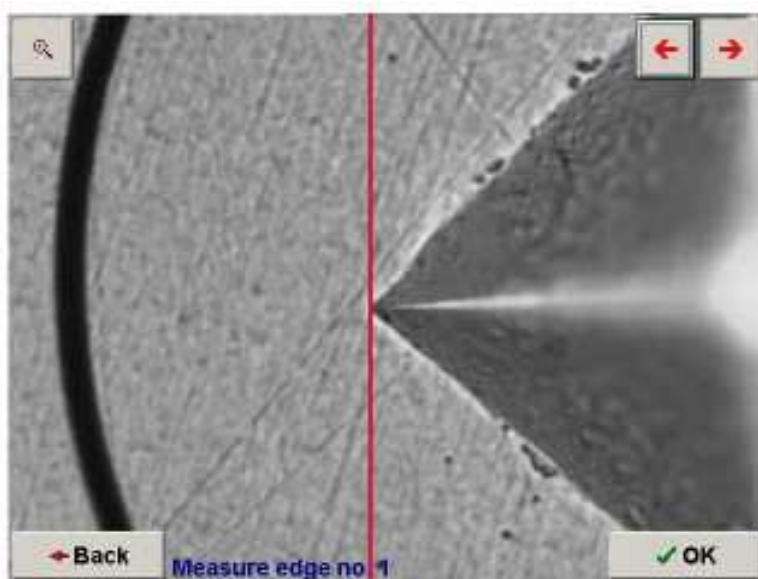
Graf 4-2 – Závislost mikrotvrdosti na druhu návarového drátu

V tabulce naměřených hodnot jsou tučným červeným písmem označeny hodnoty naměřené v návarech. Z tabulky i z grafu je patrné, že nejnižší tvrdost má drát QuFe10, průměrná naměřená tvrdost je 553 HV 0,1 což podle srovnávací tabulky přibližně odpovídá hodnotě 52,3 HRC. Drát QuFe20 má průměrnou naměřenou tvrdost 641 HV 0,1 což odpovídá hodnotě 57,3 HRC. Výrobce pro tento drát udává rozmezí tvrdosti čistého návaru 53-58 HRC, zjištěná hodnota odpovídá. Průměrná naměřená tvrdost pro drát QuFe30 je 663 HV 0,1 což přibližně odpovídá hodnotě 58,3 HRC. Výrobce pro tento drát udává rozmezí tvrdosti čistého návaru 54-60 HRC, zjištěná hodnota odpovídá.

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejvyšší tvrdost má návarový drát QuFe30, druhý v pořadí je drát QuFe20 a nejnižší tvrdost má drát QuFe10. Tato skutečnost odpovídá údajům které uvádí výrobce ve svém katalogu.



Obr. 4-14 – Otisk indentoru v materiálu



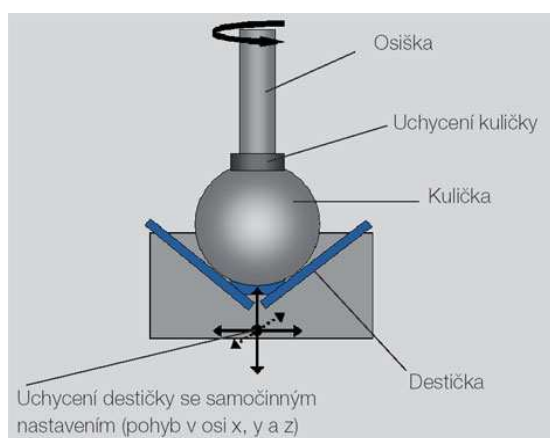
Obr. 4-15 – Měření uhlopříčky



### 4.4.3 Tribologická zkouška

Posledním bodem testování byla tribologická zkouška. Pro potřeby této práce byla proměřena pouze jedna skupina a to skupina číslo 2 obráběná frézováním

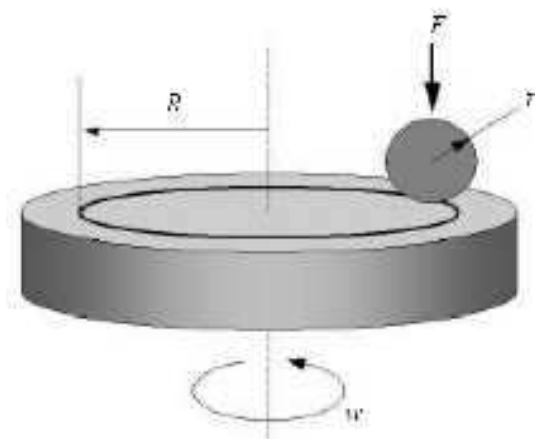
**Tribologie** (z řeckého τριβω - třít) je mezioborová věda, zabývající se obecně vzájemným působením povrchů tuhých těles při jejich relativním pohybu nebo při pokusu o vzájemný pohyb a s tím související technologií. Při vzájemném pohybu dvou nebo více materiálů, popřípadě při interakci materiálu s prostředím dochází ke ztrátě materiálu z povrchu, což je proces známý jako opotřebení. Hlavní typy opotřebení jsou odírání, tření (přilnavost a soudržnost), eroze a koroze. Opotřebení lze minimalizovat povrchovou úpravou pevných látek nebo pomocí maziv (pro kluzné nebo valivé opotřebení).



Obr. 4-16 – Tribologická zkouška

#### Metoda „PIN-on-DISC“

Měření spočívá ve vlačování pevně uchyceného zkušebního tělíska (pinu) ve tvaru kuličky nebo hrotu z libovolného materiálu předem definovanou silou do zkušební vzorku, který se otáčí danou rychlostí. Po každém provedeném testu se analyzuje rozsah a mechanismus poškození tenké vrstvy (tribologická stopa), hodnotí se opotřebení kuličky („PIN“) a průběh koeficientu tření v závislosti na počtu cyklů.



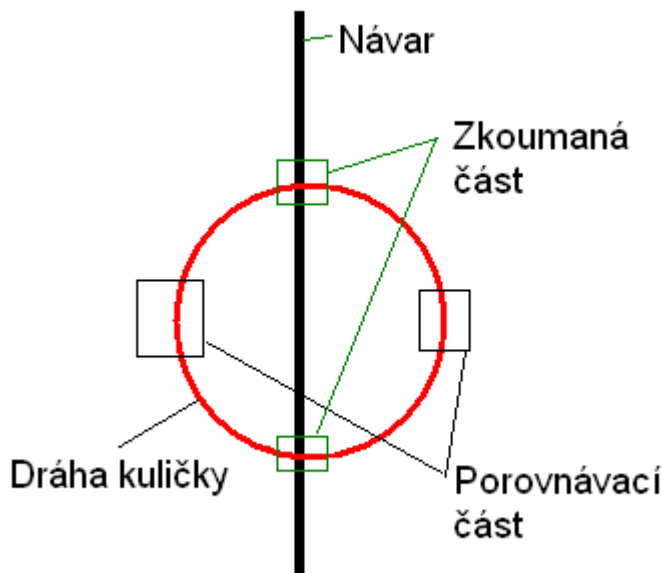
Obr. 4-17 – Metoda PIN-on-DISC

Zkouška byla prováděna na přístroji ..... v laboratořích Katedry materiálové metalurgie na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Povrch zkoušené součásti byl nejprve broušen korundovým smirkovým papírem o hrubosti 800, poté korundovým smirkovým papírem o hrubosti 1200 a nakonec leštěn diamantovou pastou s velikostí zrna 3  $\mu\text{m}$ .

Zkouška metodou „PIN-on-DISC“ byla provedena na každém typu návarového drátu stejně jako v předchozích zkouškách. Jako „PIN“ tělíčko byla použita kalená kulička z oceli ČSN14109. Podmínky zkoušky: zatížení 10 N, rychlost kuličky 10 m/s a poloměr stopy 8mm, počet cyklů 500, teplota 23°C, vlhkost 50%. Opořebení bylo hodnoceno z vytvořených kontaktních stop vytvořených během tribologického testu.

Postup při zkoušce je zřejmý z Obr. 4-16 a byl shodný u všech tří návarů. Dráha kuličky byla vedena přes návar, po ukončení zkoušky byly na konfokálním rastrovacím mikroskopu OLYMPUS LEXT OLS 3000 vyfoceny dvě části kružnice v původním materiálu a dvě části kružnice na návaru.



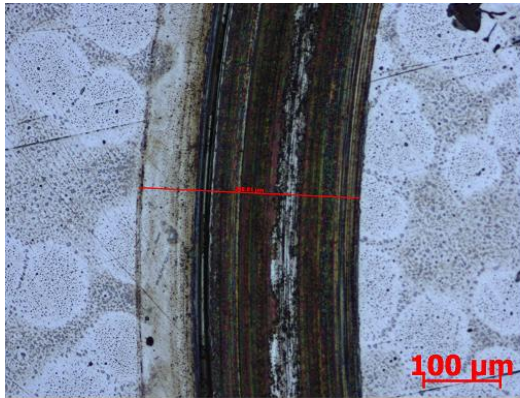
Obr. 4-18 – Dráha kuličky - PIN on DISC

	QuFe10 [ $\mu\text{m}$ ]	QuFe20 [ $\mu\text{m}$ ]	QuFe30 [ $\mu\text{m}$ ]
Vzorek 1	277,67	325,52	349,84
Vzorek 2	288,81	379,79	343,4
Návar 1	277,84	315,25	344,04
Návar 2	305,51	351,83	347,79

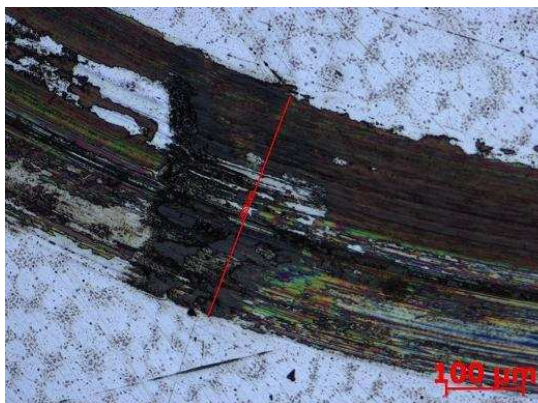
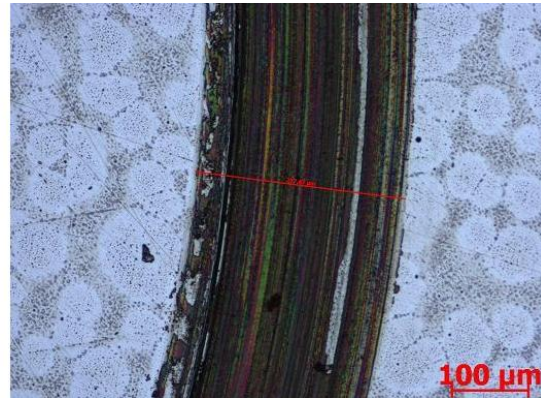
Tab. 4-14 - Šířka dráhy kuličky

### QuFe10

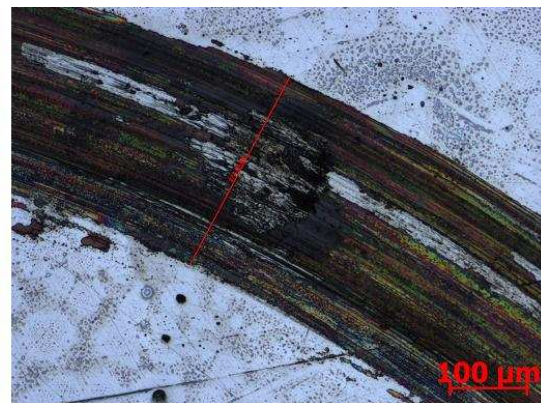
Na tomto návaru nebyly zjištěny odchylky od porovnávacího vzorku, šířka dráhy kuličky na vzorku byla 277,67  $\mu\text{m}$  a 288,81  $\mu\text{m}$ , na návaru 277,84  $\mu\text{m}$  a 305,51  $\mu\text{m}$ . Na Obr. 4-20 je patrný pouze optický rozdíl mezi návarem a původním materiálem.



Obr. 4-19 – QuFe10 - vzorek

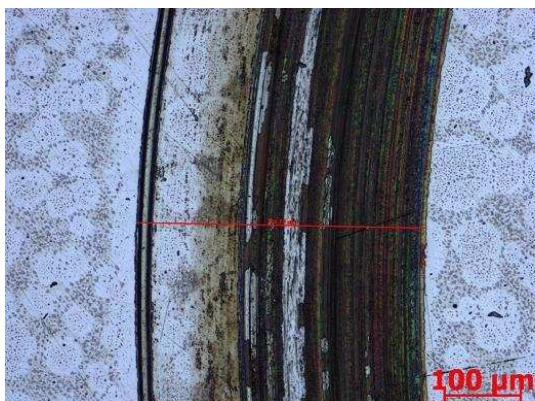


Obr. 4-20 - QuFe10 - návar

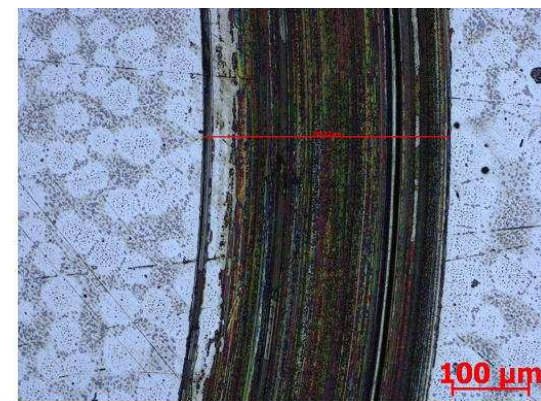


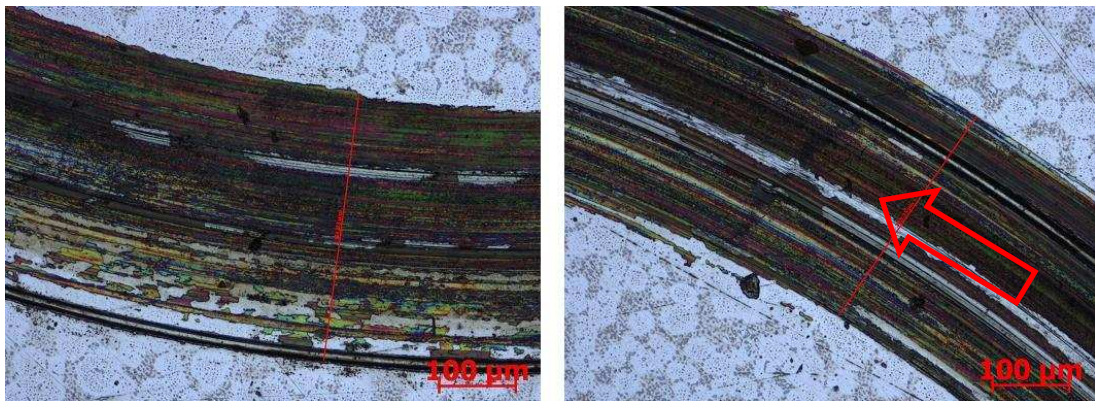
### QuFe20

Na tomto typu návaru také nebyly v šířce drážky zjištěny výrazné odchylky od porovnávacího vzorku, šířka dráhy kuličky na vzorku byla 325,52  $\mu\text{m}$  a 379,79  $\mu\text{m}$ , na návaru 315,25  $\mu\text{m}$  a 351,83  $\mu\text{m}$ . Na obrázcích 4-22 a 4-23 je však patrná trhлина na rozraní návaru a původního materiálu. To potvrzuje závěr z kapitoly 4.4.2 Mikrotvrdost, že návarový materiál QuFe20 je tvrdší než původní materiál.

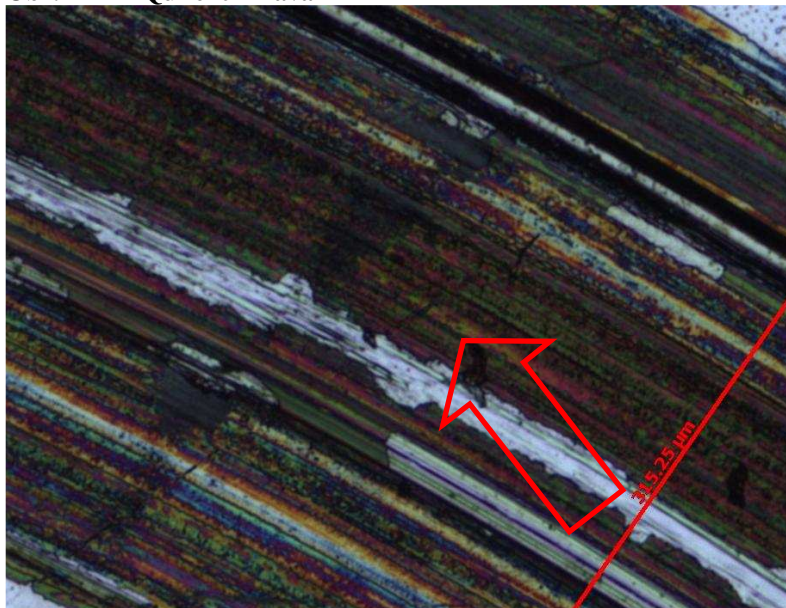


Obr. 4-21 – QuFe20 - vzorek





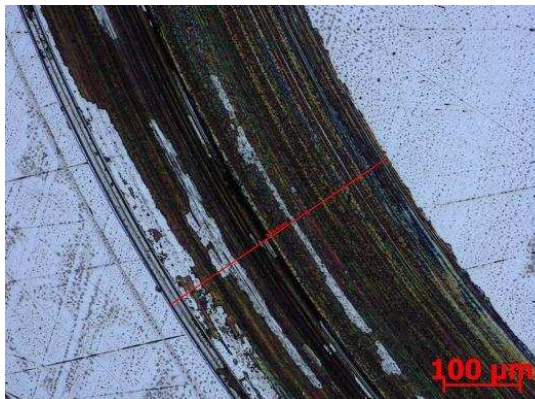
Obr. 4-22 – QuFe20 – návar



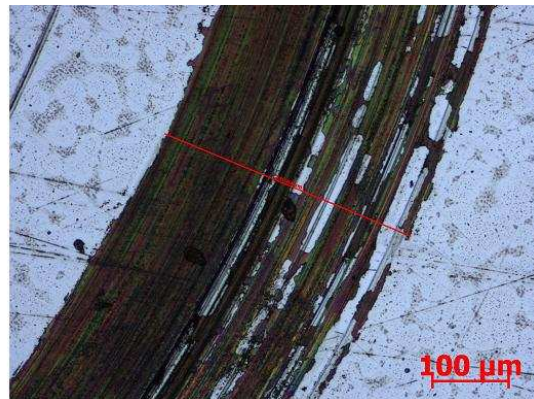
Obr. 4-23 – QuFe20 - trhlina

### QuFe30

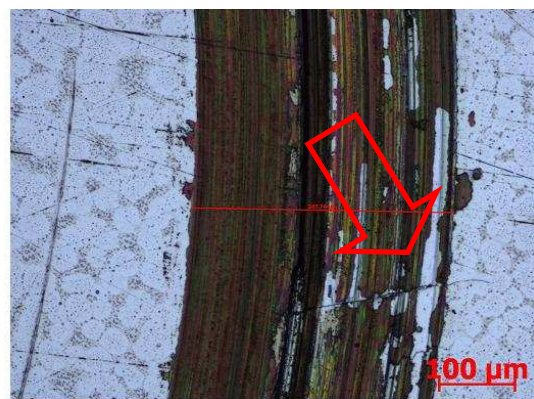
Stejně jako u předchozích dvou měření nebyly zjištěny výrazné odchylky od porovnávacího vzorku, šířka dráhy kuličky na vzorku byla 349,84 µm a 343,4 µm, na návaru 344,04 µm a 347,79 µm. Na Obr. 4-25 jsou výrazné trhliny na rozraní návaru a původního materiálu. Také zde je potvrzen závěr z kapitoly 4.4.2 Mikrotvrдость, že návarový materiál QuFe30 je tvrdší než původní materiál. Návarový materiál QuFe30 je dokonce výrazně tvrdší než původní materiál.



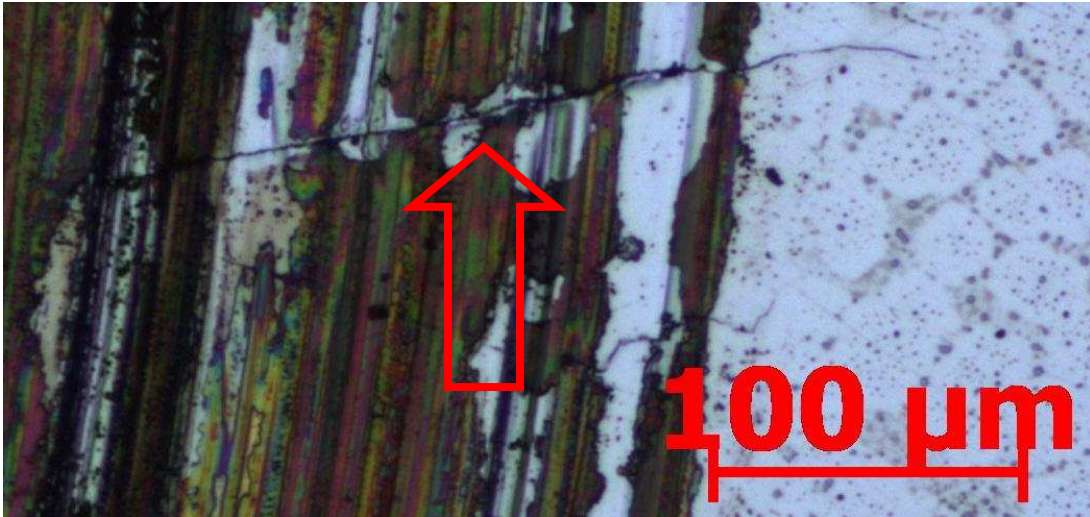
Obr. 4-24 – QuFe30 - vzorek



Obr. 4-25 – QuFe30 - návar



Obr. 4-26 – QuFe30 – trhlina 1



Obr. 4-27 – QuFe30 – trhlina 2

Tribologická zkouška prokázala, že návarový materiál QuFe10 nemá vysokou tvrdost a je spíše houževnatější. U materiálu QuFe20 byly zjištěny trhliny což nasvědčuje tomu, že tento má vyšší tvrdost. Materiál QuFe30 má dokonce výrazně vyšší tvrdost jak dokládají velmi patrné trhliny.

## 5 Technicko – ekonomické zhodnocení

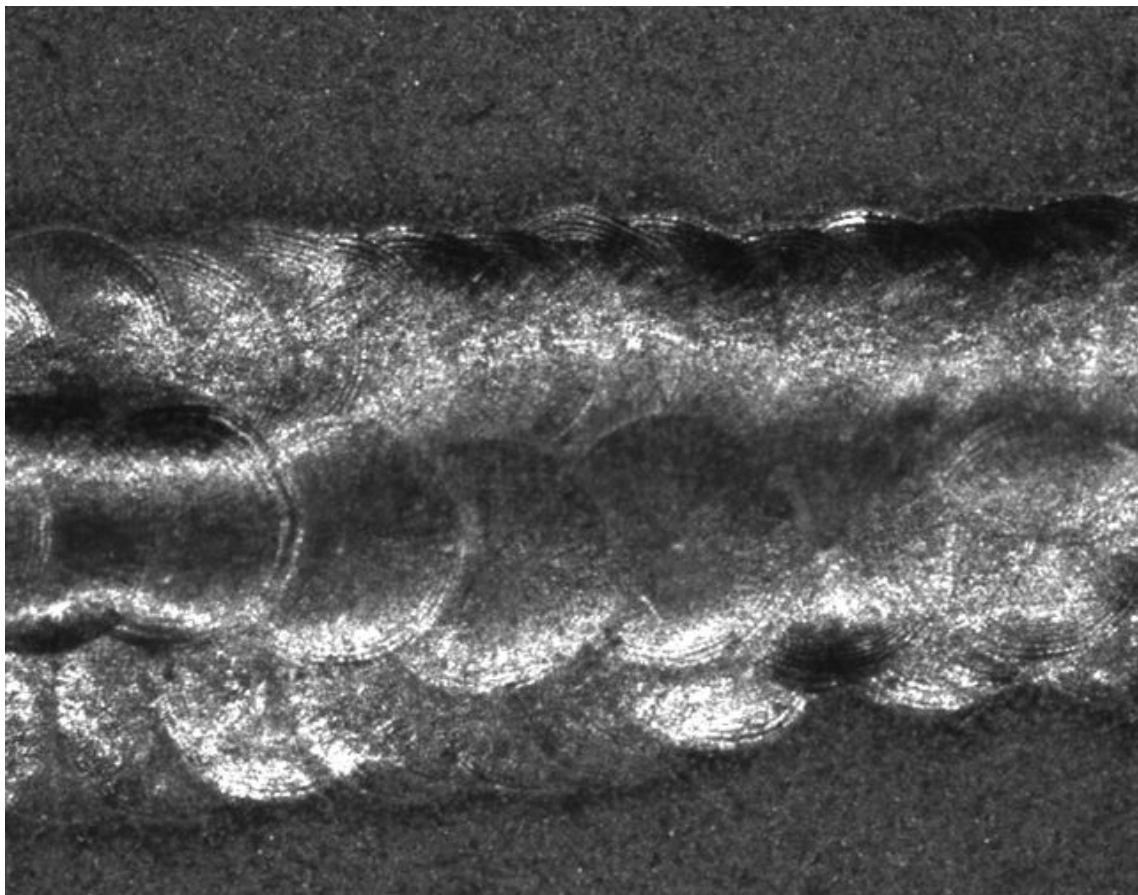
Bylo rozhodnuto porovnat kvalitu různých návarových materiálů pro laserové navařování ocelí při rychlých opravách forem. Byly navařeny tři skupiny návarů o třech různých návarových materiálech QuFe10, QuFe20 a QuFe30. Každá z těchto skupin byla obrobena různou technologií, první byla obrobena ručním broušením, druhá frézováním a třetí elektroerozivním hloubením.

### 5.1 Laserové navařování

Bylo potvrzeno, že technologické podmínky udávané výrobcem se ověřily a doporučeno je i nadále používat. Na laserovém systému ACP02 od firmy MEPAC CZ s.r.o se nenastavují skutečné hodnoty ve Watech, ale pouze procentuální poměr, pro zjištění skutečného výkonu je nutno přepočítat.

Materiál drátu	Průměr drátu [mm]	Výkon (Power) [%]	Průměr bodu (Spot) [mm]	Frekvence [Hz]	Duty [%]
QuFe10	0,4	16	1	7	100
QuFe20	0,5	25	0,9	7	100
QuFe30	0,5	25	1	7	100

Tab. 5-1 – Technologické podmínky pro laserové navařování



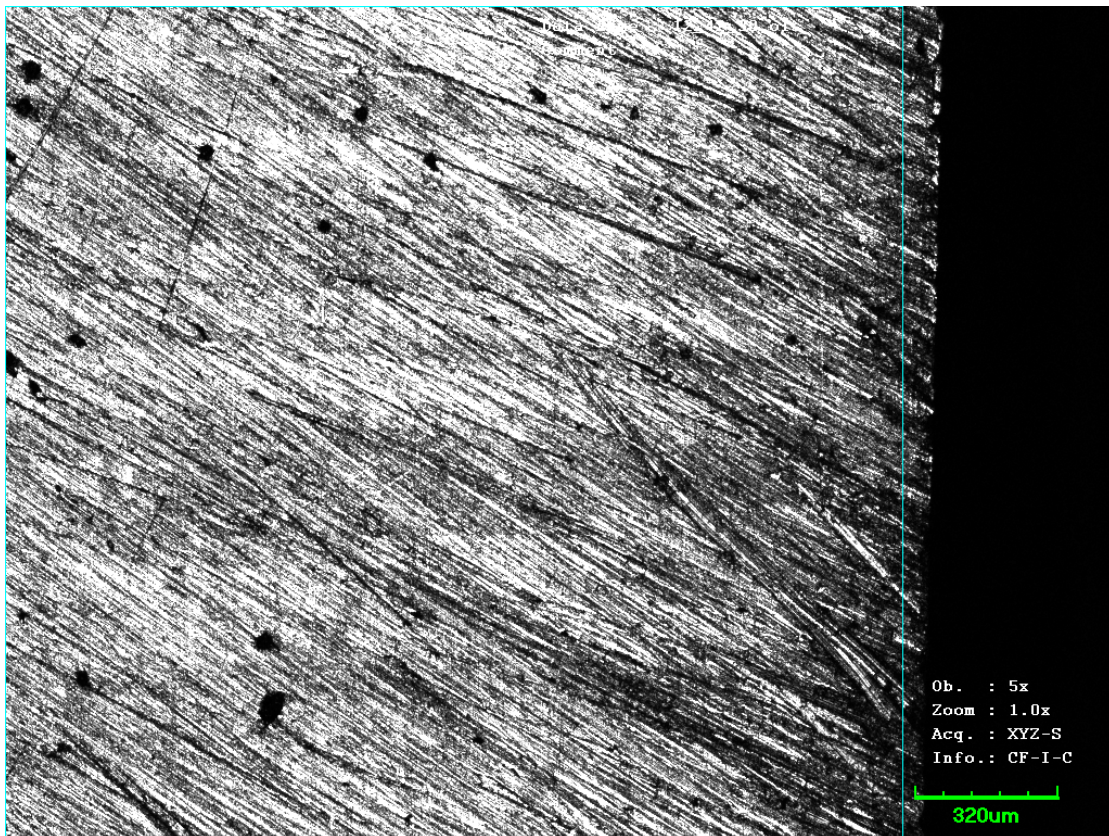
Obr. 5-1 – Návar QuFe20

## 5.2 Ruční broušení

Při ručním broušení byla první skupina návarů nejprve **hrubována** a to pneumatickou bruskou PFERD PGAS 1/800 při otáčkách 75.000 ot/min. Jako nástroje bylo použito keramické brusné tělísko o průměru 3 mm, velikosti zrna 30, válcového tvaru (ZY) a tvrdosti H. Poté byl návar obroben načisto plochým diamantovým pilníkem DF4112 (ze sady DF4205) od firmy PFERD o střední velikost zrna D126. Pro dokončovací operaci byl použit brusný kamen BORIDE AB 180.

Při tomto způsobu obrábění byla zjištěna nejlepší kvalita povrchu, která je dostatečná pro finální výrobek a to jak pro neviditelné tak i pro viditelné plochy.

Tento způsob obrábění klade vysoké nároky na zručnost a zkušenost nástrojaře, proto není vhodný pro obrábění větších ploch. Doporučuje se používat jej pro velmi rychlé opravy a to zejména hran. Při tomto způsobu obrábění také není možné zaručit rozměrovou a tvarovou přesnost proto je vhodné tuto metodu používat pouze tam kde není toto předepsáno (např. radius).



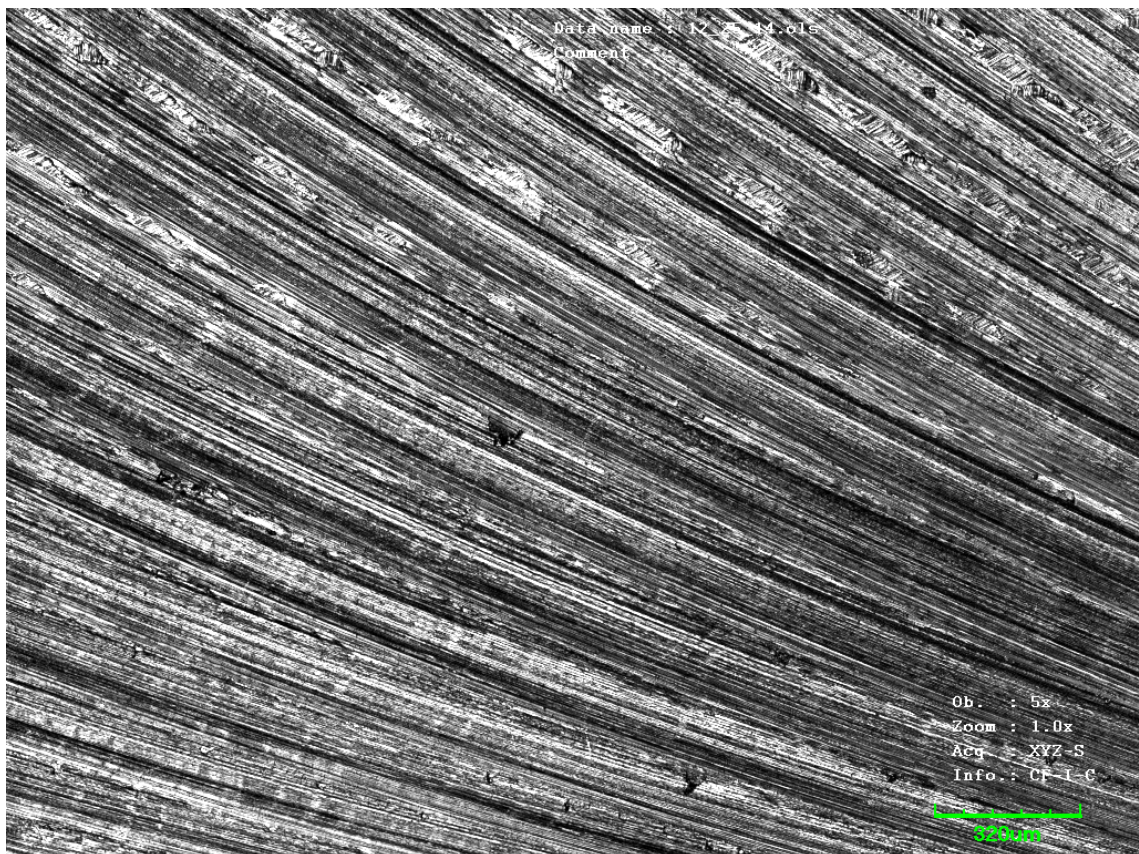
Obr. 5-2 – Ruční broušení



### 5.3 Frézování

Součást byla ofrézována na pětiosém CNC vertikálním obráběcím centru C40U od firmy Hermle (podrobnosti viz kapitola 3.2.1 Frézování laserových návarů). Návar byl obráběn frézovací hlavou  $\varnothing 32$ , při řezné rychlosti  $V_c=200$  m/min, otáčkách  $S=2000$  ot/min a posuvu  $f=500$  mm/min.

Kvalitou povrchu se tento způsob obrábění zařadil na druhé místo. Tento povrch je dostatečný pro neviditelné plochy, pro viditelné a dosedací plochy je vhodné použít další dokončovací technologii (pro plochy např. rovinné broušení). Pro finální (viditelné) plochy a hrany doporučuji úpravu technologických podmínek případně změnu nástroje. Tento způsob obrábění je vhodný pro obrábění rovinných i tvarových ploch. Pro urychlení obráběcích operací doporučuji nepoužívat program pro obrábění celého tvaru, ale rozdělit program a vybrat pouze nutnou část.



Obr. 5-3 - Frézování

### 5.4 Elektroerozivní hloubení

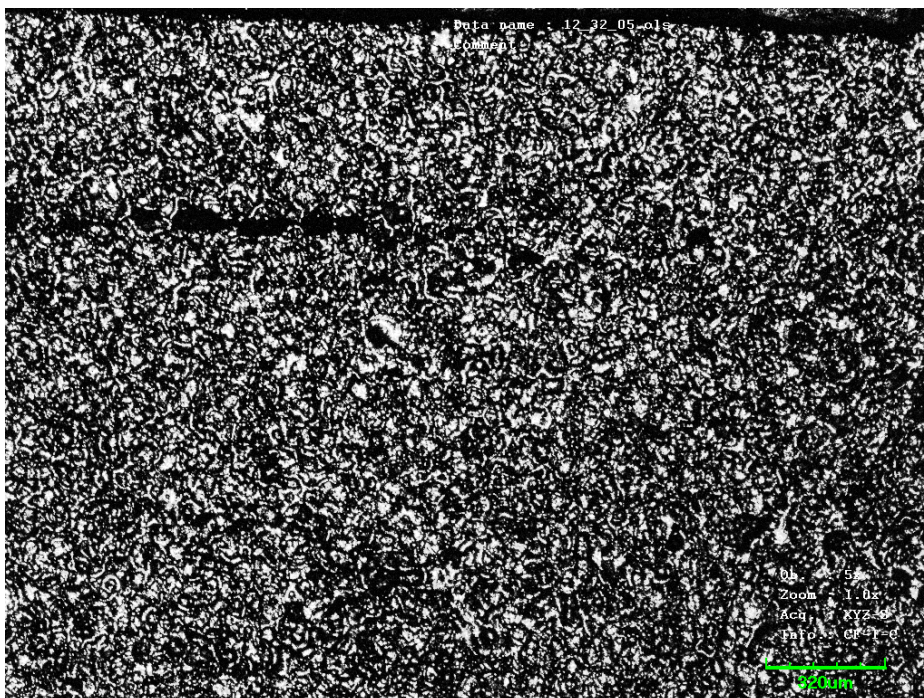
Poslední testovanou obráběcí technologií bylo elektroerozivní hloubení. Toto bylo prováděno na stroji ROBOFORM 2000 od firmy Charmilles Technologies. Technologické podmínky viz Obr. 5-3.

```
1:PN/DIR
2:COORD/METR
3: ; VOLBA PRIORITY
4: ; RYCHLOST
5: ; KONECNY POVRCH
6: ; MALE OPOTREBENI
7:AUXF/22
8:TECHNO/F,GUCUAC
9:FLUSH/EL,0,LR,1
10:L1=$1
11:AXE/Z
12:FROM/X,0,Y,0,Z,10
13:DOWN/L,L1,H,-$2,E,352
14:ORB/L,L1,H,-0.160,E,352
15:ORB/L,L1,H,-0.150,E,323
16:ORB/L,L1,H,-0.104,E,293
17:ORB/L,L1,H,-0.075,E,282
18:ORB/L,L1,H,-0.058,E,271
19:ORB/L,L1,H,-0.041,E,251
20:ORB/L,L1,H,-0.026,E,241
21:ORB/L,L1,H,-0.014,E,220,RET
22:FLUSH/LR,0
23:END
```

Obr. 5-4 - Program pro elektroerozivní hloubení

Tento typ obrábění vykazoval nejhorší dosaženou kvalitu povrchu. Tento povrch může být dostatečný pro neviditelné plochy, pro viditelné a dosedací plochy je vhodné upravit technologické podmínky. Touto metodou lze obrábět pouze vodivé materiály, nicméně lze obrobit téměř jakýkoliv tvar. Pro účinnost elektroerozivního obrábění není určující ani tak tvrdost materiálu, jako jeho vodivost, teplota tavení a kvalita. Touto metodou lze dosahovat přesnosti obrábění v řádu tisícín milimetru a drsnosti povrchu Ra 0,2.

Pro zvýšení efektivity oprav forem a rychlejší vyhledávání elektrod se doporučuje zavést jejich typové rozdělení a elektronickou evidenci.



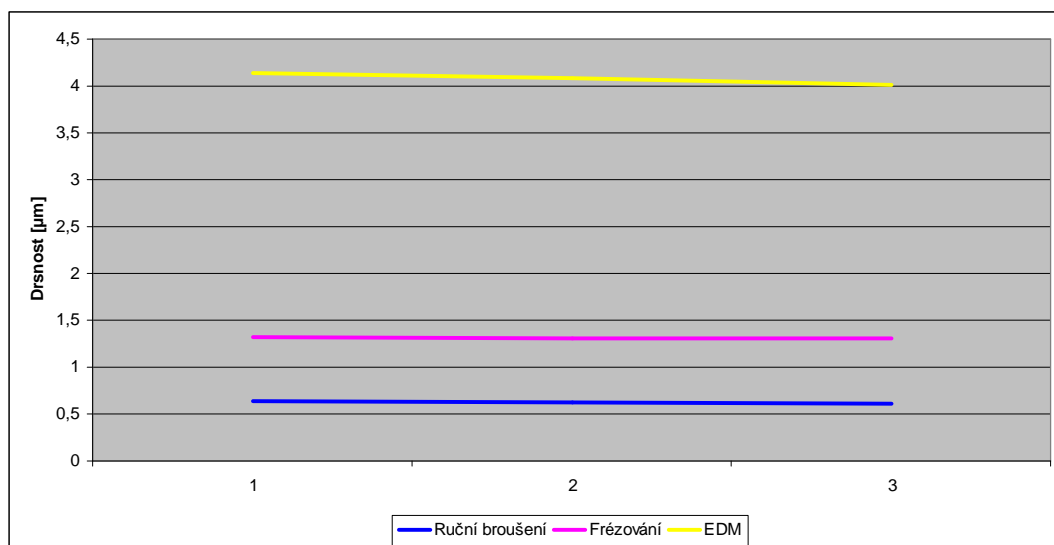
Obr. 5-5 – Elektroerozivní hloubení

## 5.5 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu obrobených laserových návarů byla zjišťována v laboratořích Katedry materiálové metalurgie na konfokálním rastrovacím mikroskopu OLYMPUS LEXT OLS 3000 za pomoci Ing. Jiřího Hodače, Ph.D.

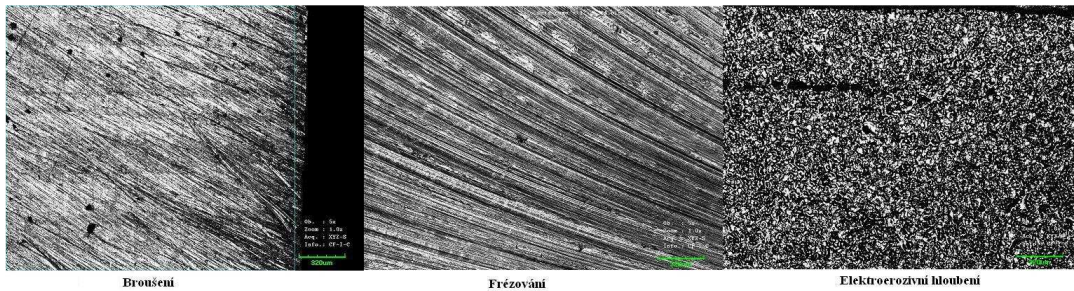
Druh obrábění	Druh drsnosti	Návar 1 [μm]	Návar 2 [μm]	Návar 3 [μm]	Průměr [μm]
Ruční obrábění	Ra	0,64	0,62	0,61	0,62
	SRa	0,82	0,83	0,84	0,83
	Rz	4,56	4,5	4,48	4,51
	SRz	14,25	14,23	14,21	14,23
Frézování	Ra	0,68	0,69	0,69	0,69
	SRa	1,01	1,0	1,01	1,01
	Rz	4,27	4,31	4,35	4,31
	SRz	17,66	17,53	17,61	17,6
Elektroerozivní hloubení	Ra	2,82	2,78	2,72	2,77
	SRa	3,36	3,3	3,31	3,32
	Rz	17,86	17,83	17,81	17,83
	SRz	34,07	34,13	34,11	34,1

Tab. 5-2 – Shrnutí hodnot drsnosti



Graf 5-1 – Závislost drsnosti povrchu na druhu obrábění

Ze zjištěných hodnot uvedených v tabulce 5-2 a Grafu 5-1 vyplývá, že rozdíly v drsnosti povrchu mezi jednotlivými druhy obrábění existují, obzvláště mezi ručním broušením a elektroerozivním hloubením jsou markantní. Nicméně rozdíly v drsnosti povrchu mezi jednotlivými druhy návarového drátu při stejném typu obrábění jsou zanedbatelné. Můžeme tudíž konstatovat, že nebyl prokázán vliv použitého druhu návarového drátu na výslednou drsnost povrchu.



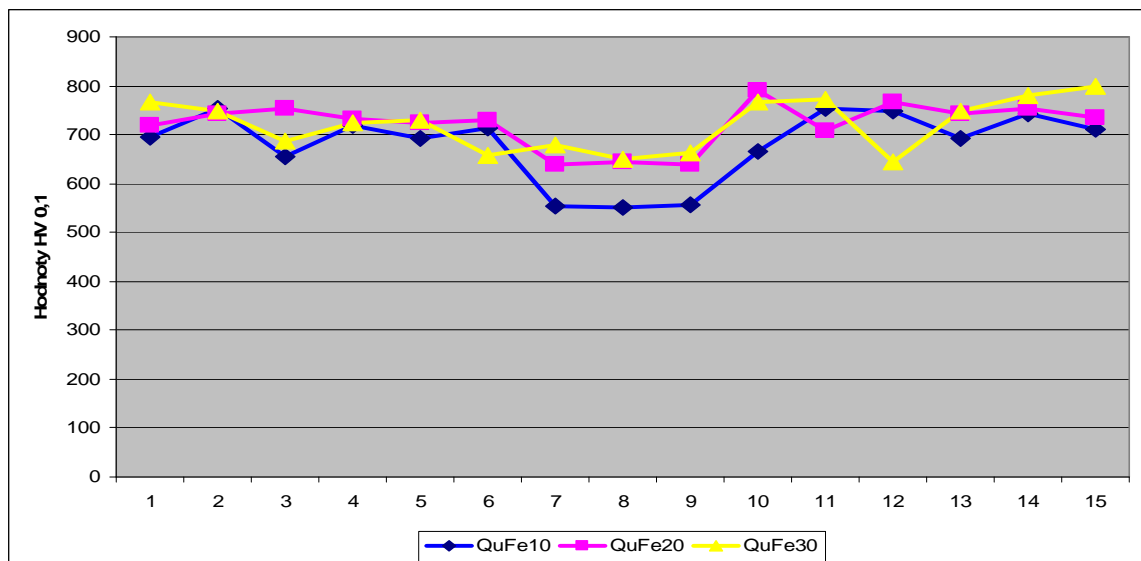
Obr. 5-6 – Srovnání povrchů

## 5.6 Mikrotvrdost

Druhým krokem při testování laserových návarů bylo měření mikrotvrdosti podle Vickerse. Pro potřeby této práce byla proměřena pouze jedna skupina a to skupina číslo 2 obráběná frézováním. Bylo provedeno 15 vtisků vždy tak aby nejméně dva vtisky byly do návaru a nejméně pět vtisků bylo na každou stranu od návaru.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QuFe10	696	754	654	719	691	713	554	550	556	665	754	748	691	743	711
QuFe20	719	742	754	731	725	730	640	644	638	792	708	767	742	754	736
QuFe30	767	747	686	725	730	659	680	649	664	768	773	644	748	779	799

Tab. 5-3 – Shrnutí hodnot mikrotvrdosti



Graf 5-2 – Závislost mikrotvrdosti na druhu návarového drátu

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejvyšší tvrdost má návarový drát QuFe30, druhý v pořadí je drát QuFe20 a nejnižší tvrdost má drát QuFe10. Tato skutečnost odpovídá údajům které uvádí výrobce firma MEPAC CZ s.r.o ve svém katalogu.

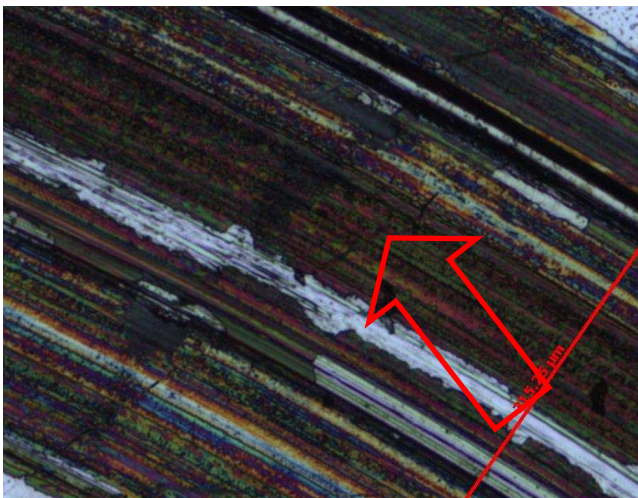
Tepelné ovlivnění původního materiálu v okolí svaru (popuštění) nebylo prokázáno.

## 5.7 Tribologická zkouška

Posledním bodem testování byla tribologická zkouška. Pro potřeby této práce byla proměřena pouze jedna skupina a to skupina číslo 2 obráběná frézováním

	QuFe10 [ $\mu\text{m}$ ]	QuFe20 [ $\mu\text{m}$ ]	QuFe30 [ $\mu\text{m}$ ]
Vzorek 1	277,67	325,52	349,84
Vzorek 2	288,81	379,79	343,4
Návar 1	277,84	315,25	344,04
Návar 2	305,51	351,83	347,79

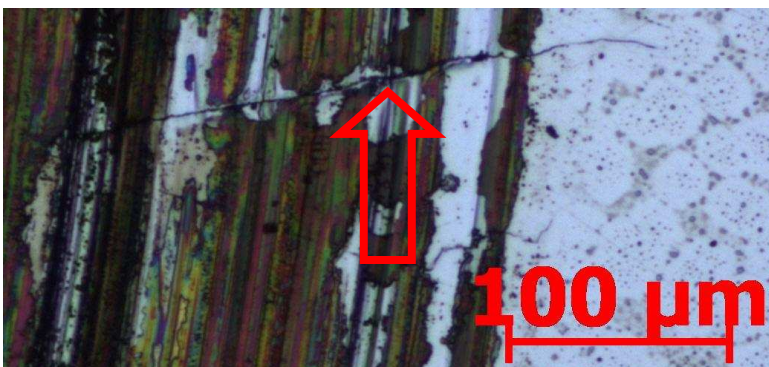
Tab. 5-4 - Šířka dráhy kuličky



Obr. 5-7 – QuFe20 - trhlina



Obr. 5-8 – QuFe30 – trhlina 1



Obr. 5-9 – QuFe30 – trhlina 2

Tribologická zkouška prokázala, že návarový materiál QuFe10 nemá vysokou tvrdost a je spíše houževnatý. U materiálu QuFe20 byly zjištěny trhliny což nasvědčuje tomu, že tento má vyšší tvrdost. Materiál QuFe30 má dokonce výrazně vyšší tvrdost jak dokládají velmi patrné trhliny. Zjištěné výsledky odpovídají údajům uváděným v katalogu výrobce návarových drátů firmy MEPAC s.r.o.

## **5.8 Ekonomické zhodnocení**

Provést zhodnocení ekonomického přínosu této práce je obtížné. Porovnání dosažených výsledků při obrábění by bylo vzhledem k velmi rozdílné kvalitě obrobeného povrchu nepřesné. Zjišťování vynaložených finančních nákladů pro dosažení stejné kvality povrchu zase časově i finančně náročné. Obrábění laserových návarů bylo prováděno ve firmě RBCB za plného provozu a tudíž muselo být na žádost vedení zkráceno na nejkratší možnou dobu. Také bylo vedením firmy RBCB zakázáno zveřejňovat hodinové sazby strojů i pracovníků. Proto by bylo nutné pracovat pouze s odhadovanými strojními sazbami a výsledné hodnoty by byly spekulativní. Z tohoto důvodu se zpracovatel této práce po dohodě s vedoucím práce rozhodl upustit od číselných výpočtů.

Přenesení výsledků zjištěných při provádění experimentů do praxe bude dlouhodobé vzhledem k tomu, že bude nutné zhodnotit opotřebení návarů v běžném provozu. Časový interval ve kterém se formy vracejí k pravidelné údržbě se pohybuje v řádech měsíců a přesahuje rámec této práce.

RBCB je předním dodavatelem komponent pro automobilový průmysl, který nejen že vyrábí výlisky z plastu jako například víko hlavy válců - ZKH, ale má i linky na montáž součástí pro automobily (např. nádržový čerpadlový modul - FPM).

Cena hodinového prostoje vstřikovacího lisu je v řádu stovek až tisíců korun, prostoje montážní linky pro výrobu nádržového modulu FPM jde do desítek tisíc korun. Pokuta za prostoje výrobní linky ve firmě Škoda Auto v Mladé Boleslavi je v řádech statisíců korun za hodinu.

Z těchto důvodů je nutné zajistit co nejdélší životnost forem a také co nejvyšší efektivitu při jejich opravách. A naopak co nejnižší počet neplánovaných oprav a havárií.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, ověřit a případně navrhnout zlepšení technologických a organizačních postupů při rychlých opravách forem pro vstříkovaní plastů.

Práce byla rozdělena teoretickou a praktickou část. V teoretické části byl zpracován přehled současného stavu v RBCB a strojní vybavení používané pro opravy forem. V praktické části byl navržen experiment spočívající v obrobení tří skupin návarů o třech různých typech návarových drátů. Každá skupina byla obrobena různou technologií.

Z výsledků dosažených při experimentu vyplývají následující závěry:

- optimální technologické podmínky pro laserové navařování jednotlivými druhy drátů (viz Tab. 5-1)
- rozdíly v drsnosti povrchu mezi jednotlivými druhy obrábění existují, obzvláště mezi ručním broušením a elektroerozivním hloubením jsou markantní. Nicméně rozdíly v drsnosti mezi jednotlivými druhy návarového drátu při stejném typu obrábění jsou zanedbatelné. Můžeme tudíž konstatovat, že nebyl prokázán vliv použitého druhu návarového drátu na výslednou drsnost povrchu.
- z hodnot zjištěných při měření mikrotvrdosti vyplývá, že nejvyšší tvrdost má návarový drát QuFe30, druhý v pořadí je drát QuFe20 a nejnižší tvrdost má drát QuFe10. Tato skutečnost odpovídá údajům které uvádí výrobce ve svém katalogu. Neprokázalo se tepelné ovlivnění původní součásti v okolí svaru.
- tribologická zkouška prokázala, že návarový materiál QuFe10 není tvrdší než materiál použitého vzorku - oceli W.Nr. 1.2367. U materiálu QuFe20 byly zjištěny trhliny což nasvědčuje tomu, že tento je tvrdší než materiál vzorku. Materiál QuFe30 je dokonce výrazně tvrdší než vzorek, toto dokládají velmi patrné trhliny.

Ekonomický přínos této práce je obtížné zhodnotit vzhledem k tomu, že bude nutné zhodnotit opotřebení návarů v běžném provozu a časový interval ve kterém se formy vracejí k pravidelné údržbě přesahuje rámec této práce.

Na závěr si zpracovatel DP dovoluje navrhnout následující opatření

- dodržování technologických podmínek pro laserové navařování uvedených v Tab. 5-1
- zavedení pohotovosti pro obráběče o víkendech pro zvýšení efektivity při neplánovaných opravách a haváriích
- zadat DP na Katedru materiálové metalurgie pro lepší pochopení tvorby laserových návarů

## Použitá literatura

### Knižní publikace

- [1] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*. Skriptum, Praha ČVUT, 1989
- [2] VRBOVÁ, Miroslava. *Lasery a moderní optika*. Praha : Prometheus, 1994. 474 s. ISBN 80-85849-56-9.
- [3] MILAN DVOŘÁK A KOLEKTIV, *Technologie II*. Skriptum, Brno : CERM, 2001

### Články v časopisech

- [4] ŠULC, J. *Průmyslové aplikace laserových systémů*, Technik, 07/2004, *Economia*
- [5] LAO s.r.o, *Návod k obsluze*, 2007
- [6] Vyšlo v časopise MM Spektrum MM 2001 / 4, 11. dubna 2001 v rubrice Výroba / Tváření, strana 67
- [7] POSLUŠNÝ, Petr Vyšlo v časopise MM Spektrum MM 2006 / 7, 17. červenci 2006 v rubrice Trendy / Nekonvenční technologie, Strana 37 dostupné na <http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-obrabeni.html>

### Publikace na internetu

- [8] Katalog firmy PFERD dostupný na:  
[http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3\\_soubory/kat\\_209\\_cz.pdf](http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3_soubory/kat_209_cz.pdf)
- [9] Katalog firmy PFERD dostupný na:  
[http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3\\_soubory/kat\\_203\\_cz.pdf](http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3_soubory/kat_203_cz.pdf)
- [10] Katalog firmy PFERD dostupný na:  
[http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3\\_soubory/kat\\_205\\_cz.pdf](http://www.abefekt.cz/editor/image/stranky3_soubory/kat_205_cz.pdf)
- [11] Katalog návarových drátů firmy MEPAC CZ dostupný na  
<http://www.mepac.cz/image/pictures/web/laserovanavarovedratykatolog.pdf>
- [12] <http://www.toolscomp.cz/technologie/edm-elektrojiskrove-obrabeni/>
- [13] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Zkou%C5%A1ka\\_tvrlosti\\_podle\\_Vickerse](http://cs.wikipedia.org/wiki/Zkou%C5%A1ka_tvrlosti_podle_Vickerse)
- [14] <http://www.walteruhl.com>