

STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ

Projekt priemyselného výskumu

Výskum inteligentných systémov a procesov s použitím princípov Industry 4.0 so zameraním na spájanie ťažko spojitelných materiálov vysokokoncentrovanými zdrojmi energie – laserom a elektrónovým lúčom

Žiadateľ: PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

Spoluriešiteľ: MLC Bratislava, SjF UNIZA Žilina

Doba riešenia: 12/2019 – 11/2021



Priebežná oponentúra za obdobie 12/2018 – 12/2019
Bratislava

ÚDAJE O PROJEKTE

Názov projektu:

Výskum inteligentných systémov a procesov s použitím princípov Industry 4.0 so zameraním na spájanie ťažko spojitelných materiálov vysokokoncentrovanými zdrojmi energie – laserom a elektrónovým lúčom. High - Tech Weld

Druh projektu:

Projekt priemyselného výskumu

Číslo projektu:

Zmluva 1227/2018

Doba riešenia projektu:

12/2018 – 11/2021

Zodpovedný riešiteľ:

Ing. Daniel Dřímal, PhD.

Riešiteľ:

PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

Kopčianska 14

851 01 Bratislava

E-mail: pzvar@pzvar.sk

www.pzvar.sk

Spoluriešiteľské organizácie:

Medzinárodné laserové centrum

Ilkovičova 3

841 04 Bratislava 4

E-mail: Frantisek.Uherek@ilc.sk

www.ilc.sk

Žilinská univerzita v Žiline - Strojnícka fakulta

Univerzitná 1

010 26 Žilina

E-mail: Milan.Saga@fstroj.uniza.sk

www.uniza.sk

HARMONOGRAM RIEŠENIA PROJEKTU

Názov etapy	Začiatok	Koniec
1. Výskum a inovácia laboratórnych experimentálnych komplexov s implementáciou princípov Industry 4.0 a Smart Industry 2019.	12/2018	12/2019
2. Výskum zvarovania a zvariteľnosti obtiažne spojitelných ľahkých zliatin elektrónovým lúčom. Výskum zvarovania a zvariteľnosti ťažko spojitelných kovových materiálov laserovým lúčom.	01/2020	12/2020
3. Výskum zvarovania a zvariteľnosti ťažko spojitelných moderných vysokopevných ocelí elektrónovým lúčom. Výskum eliminácie tvorby kráterov pri laserovom zvarení.	01/2021	11/2021

FINANCOVANIE PROJEKTU

- Plánovaná výška oprávnených nákladov na projekt:

Položka/Rok	2018	2019	2020	2021	Spolu
Vlastné prostriedky (€)	0	148 621	163 790	136 632	449 043
Požadovaná dotácia (€)	481 000	463 000	213 000	177 000	1 334 000
Celkové náklady (€)	481 000	611 621	376 790	313 632	1 783 043
Podiel vlastných prostriedkov (%)	0 %	24,30 %	43,47 %	43,56 %	25,18 %

- Rozdelenie financií medzi hlavného riešiteľa a spoluriešiteľov

	Dotácia	Vlastné zdroje	Spolu
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.	1 150 000	444 200	1 594 200
MLC Bratislava	92 000	0	92 000
UNIZA Žilina	92 000	4 843	96 843
Spolu	1 334 000	449 043	1 783 043

HLAVNÉ CIELE PROJEKTU

- **Zvýšenie konkurencieschopnosti** riešiteľského pracoviska v oblasti **produkcie High-Tech elektrónovolúčových a laserových technologických komplexov.**
- Vytvorenie **poznatkovej bázy** v oblasti **zvárania ťažko spojitelných materiálov** a ich spracovania **elektrónovolúčovými a laserovými** technológiami:
 - v oblasti vysokoproduktívneho zvárania tlakovoliatych hliníkových zliatin kvalitu zvarov súčiastok,
 - výroba extrémne namáhaných komponentov pre energetický a chemický priemysel.

ŠPECIFICKÉ CIELE PROJEKTU

- Materiálový a technologický výskum zameraný na možnosti **zvýšenia stability procesu zvarovania hliníkových zliatin elektrónovým lúčom**. Stanovenie zákonitosti a možnosti použitia optimálnej **kombinácie pulzácie výkonu** elektrónového lúča spoločne s **dynamickým vychyľovaním**. Úspešné zvládnutie problematiky umožní zvarovanie predovšetkým odliatkov z hliníkových zliatin s vnútornými nečistotami a zlepšenie produktivity a znížene zmätkovitosti.
- Materiálový a technologický výskum **zvarovania obežných kolies turbokompresorov** pre chemický a energetický priemysel s 2D a 3D geometriou lopatiek. Riešenie geometrie spoja lopatiek a technológie zvarovania. Návrh **postupov a technológií** pre zvarovanie 3D zakrivených lopatiek pomocou **kombinovanej technológie zvarovania elektrónovým lúčom**, ktorá by využívala teplo zvaracieho procesu, na vytvorenie **spájkovaného spoja** v nezvarenej časti.
- **Eliminácia vrubových účinkov** nedokonalostí povrchu zvarov lopatiek s 2D geometriou je pomocou **modifikácie štruktúry povrchu** riadeným spracovaním **elektrónovým lúčom**.

ŠPECIFICKÉ CIELE PROJEKTU

- Materiálový a technologický výskum **spájania obtiažne zvariteľných materiálov laserovým lúčom** so zameraním na materiálovú kombináciu grafitická liatina – HSLA oceľ. **Optimalizácia procesných parametrov a tepelného režimu** spoločne s použitím prídavných materiálov, ktoré umožnia výrobu prevodových komponentov pre automobilový priemysel.
- **Identifikácia vzniku defektov** v zvarových spojoch pri ukončovaní čelných rotačných laserových zvarov kovových materiálov, optimalizácia procesu s cieľom zamedzenie ich vzniku, ako aj na ich presnú identifikáciu pomocou sledovania procesu prostredníctvom vysokorýchlostnej CMOS kamery.
- Pre úspešné zvládnutie výskumných aktivít boli navrhnuté **funkčné uzly**, zlepšujúce **aplikačné možnosti laserových a elektrónovolúčových komplexov** s prihliadnutím na ich aplikáciu aj v priemyselnej praxi.

ETAPA Č. 1

Trvanie etapy: 12/2018 – 12/2019

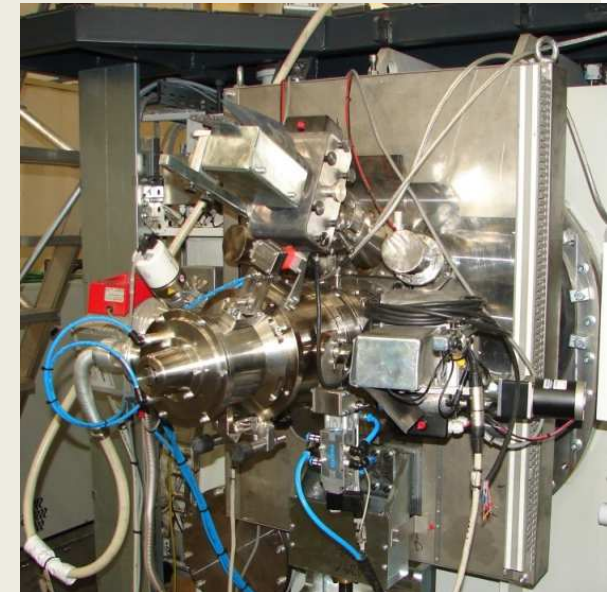
Aktivity:

- Výskum a inovácia experimentálnych komplexov s implementáciou princípov Industry 4.0 a Smart Industry.
- Výskum funkčných uzlov rozširujúcich experimentálne výskumné pracoviská s cieľom zlepšenia konštrukčných a technologických parametrov zariadení pre potreby výskumu a aplikačnej praxe.
 - Funkčný uzol riadeného nastavovania elektrónovolúčového dela na miesto interakcie elektrónového lúča so zváraným materiálom.
 - Funkčný uzol naklápania a adjustácie elektrónovolúčového dela určený na uhlovú korekciu elektrónového lúča.
 - Funkčný uzol doplnkovej lineárnej osi polohovania.
 - Funkčný uzol podávania drôtu do zvaracej komory
 - Funkčný uzol záznamu výsledkov operácií hodnotenia kvality technologickej operácie v zmysle nárokov Industry 4.0.
 - Funkčný uzol riadeného naklápania laserovej hlavy integrovaný s odmeriavaním pracovnej vzdialenosti.
 - Funkčný uzol nastavovania a integráciu systému podávania drôtu s laserovou hlavou.
 - Funkčný uzol on-line sledovanie procesu tvorby zvarového kúpeľa pri laserovom zváraní.

REALIZOVANÉ VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol riadeného nastavovania elektrónovolúčového dela na miesto interakcie elektrónového lúča so zváraným materiálom.

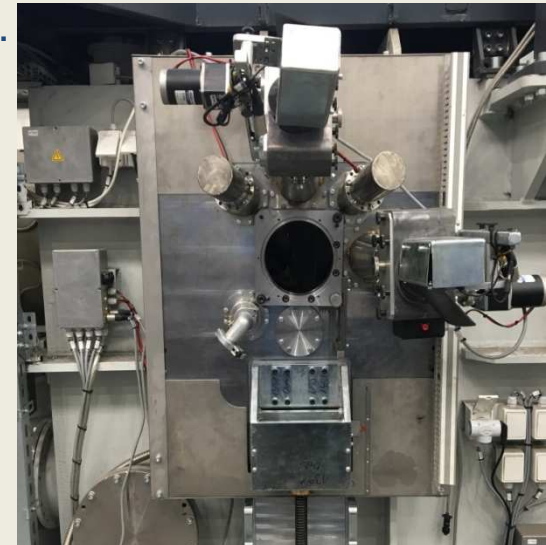
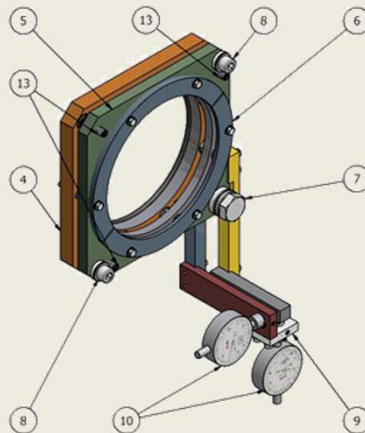
- Umožňuje plynulo realizovať **presné korekcie polohy elektrónového lúča** na miesto zvárania pri udržaní pracovného vákua a so zapnutým elektrónovým lúčom.
- Rozsah pohybu 160 mm s presnosťou lepšou ako 0,1 mm.
- Dodatočné zväčšenie rozsahu nastavovania ± 45 mm použitím excentrickej príruby.
- Vzájomný pohyb je zabezpečený pomocou presnej guľôčkovej skrutky s pohybovou maticou.
- Dizajn nového funkčného uzla umožňuje integráciu už vyvinutých pozorovacích a osvetľovacích modulov.
- Bez potreby ďalších konštrukčných zásahov na zváracej komore.
- Úspešné funkčné skúšky prebehli v roku 2019 a potvrdili správnosť konštrukčného riešenia funkčného uzla.



REALIZOVANÉ VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol naklápania a adjustácie elektrónovolúčového dela

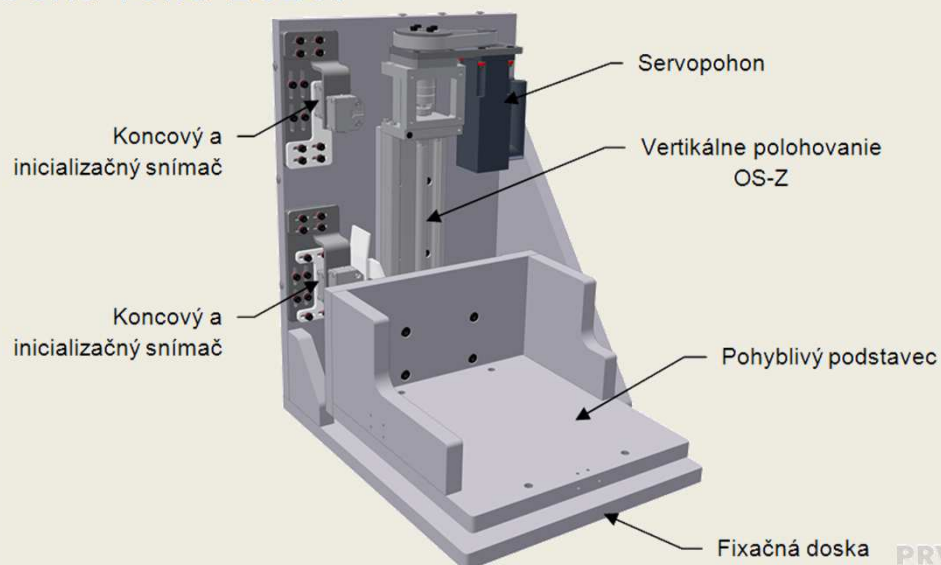
- Jemné nastavenie orientácie elektrónového dela voči zvarencom.
- Uhlová korekcia odchýlok smerovania elektrónového lúča spôsobených mikrodeformáciami zvaracej komory.
- Navrhnuté a realizované riešenie presné uhlové korekcie elektrónového lúča v dvoch na navzájom kolmých smeroch v rovine kolmej na os elektrónového dela. Smer a veľkosť korekcie je možné kontrolovať pomocou integrovaných odchýlkomerov.
- Funkčné skúšky prebehli v roku 2019 a potvrdili správnosť konštrukčného riešenia funkčného uzla.
- Uzol vykazuje tesnosť aj počas nastavovacích pohybov v oboch smeroch bez pozorovateľného vplyvu na vákuum v zvaracej komore.
- Úspešné funkčné skúšky v roku 2019.



REALIZOVANÉ VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol doplnkovej lineárnej osi

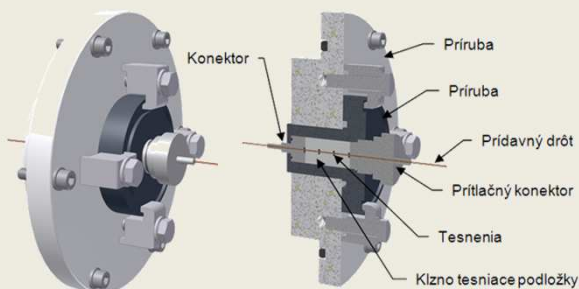
- **Odstraňuje nutnosť kompenzovať fokusačný prúd** (polohu ohniska) a umožní udržiavanie konštantnej pracovnej vzdialenosti.
- **Presné a stabilné smerovanie prídavného materiálu** vo forme drôtu pri legovaní a pretavovaní za účelom **modifikácie povrchových štruktúr** a mikroštruktúr.
- **Riadenie** funkčného uzla je plne **integrované** do **riadiaceho systému** a programového vybavenia výskumného pracoviska.
- V roku 2019 realizovaný výskum funkčného uzla a bola pripravená a vydaná výkresová dokumentácia, samotný funkčný uzol je vo fáze výroby. Funkčné skúšky priebehu v priebehu roku 2020.



VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol podávania drôtu do zvaracej komory

- Boli rozpracované a experimentálne overené rôzne varianty riešenia podávania drôtu do komory.
- Podávací mechanizmus umiestnený mimo vákuovej komory s prechodom podávacieho drôtu do vákuovej komory cez špeciálnu **tesniacu prechodovú prírubu**.
 - Hlavnou **výhodou** je možnosť použitia **priemyselnej podávačky** studeného drôtu pre oblúkové zvaranie **bez** potreby **úpravy** elektroniky pre prostredie **vysokého vákuua**.
 - Nevýhodou riešenia je nutnosť rôznych vyhotovení podľa priemeru prídavného drôtu, krátka životnosť tesnení a pomerne veľké odpory pri podávaní drôtu.

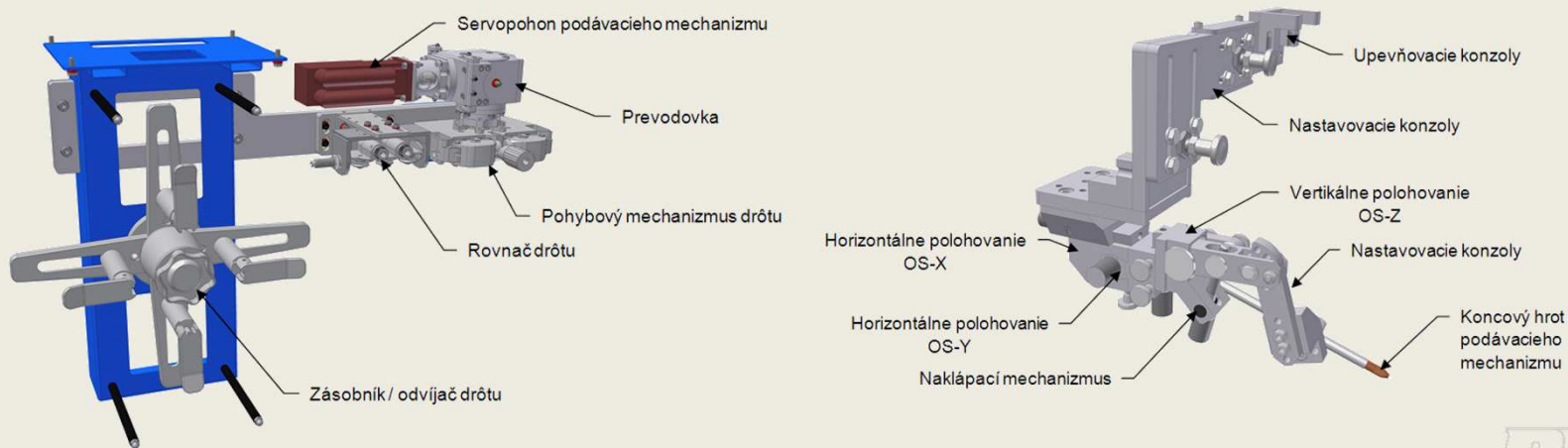


- Zásobník drôtu s podávacím mechanizmom umiestnený do **pomocnej vákuovej komory**.
 - **Eliminuje nespoľahlivosť tesnení** prechodovej príruby, ale je potrebné **upraviť podávací mechanizmus**, tak aby bol schopný pracovať v prostredí **vákuua**.

VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol podávania drôtu do zvaracej komory

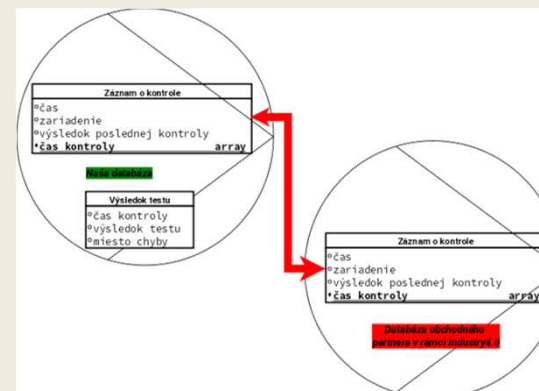
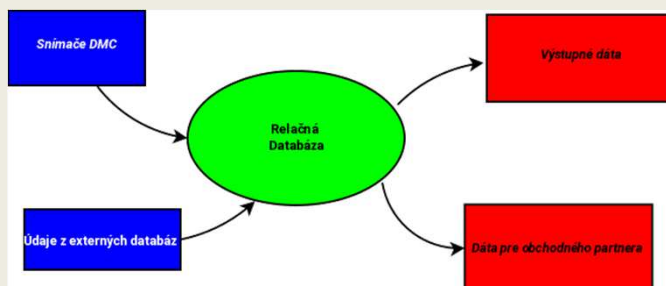
- Funkčný uzol **podávania drôtu** umiestnený priamo do **zvaracej komory**.
 - **Celý funkčný uzol** je umiestnený do **vákuovej komory** a pozostáva z dvoch oddelených celkov. Prvá časť má funkciu **zásobovania a podávania drôtu** a druhá časť zabezpečuje **smerovanie drôtu do elektrónovolúčového procesu**.
 - **Pohon** podávacieho mechanizmu je zabezpečený použitím **servopohonu integrovaného do riadiaceho systému**.
 - Počas roku 2019 bol realizovaný výskum zameraný na návrh funkčného uzla. Bola vypracovaná výrobná výkresová dokumentácia pre funkčný uzol podávania drôtu umiestneného v zvaracej komore a v súčasnosti je funkčný uzol vo výrobe. Funkčné skúšky na experimentálnom pracovisku budú podľa harmonogramu realizované v priebehu roku 2020.



VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol záznamu výsledkov hodnotenia kvality technologickej operácie v zmysle nárokov Industry 4.0.

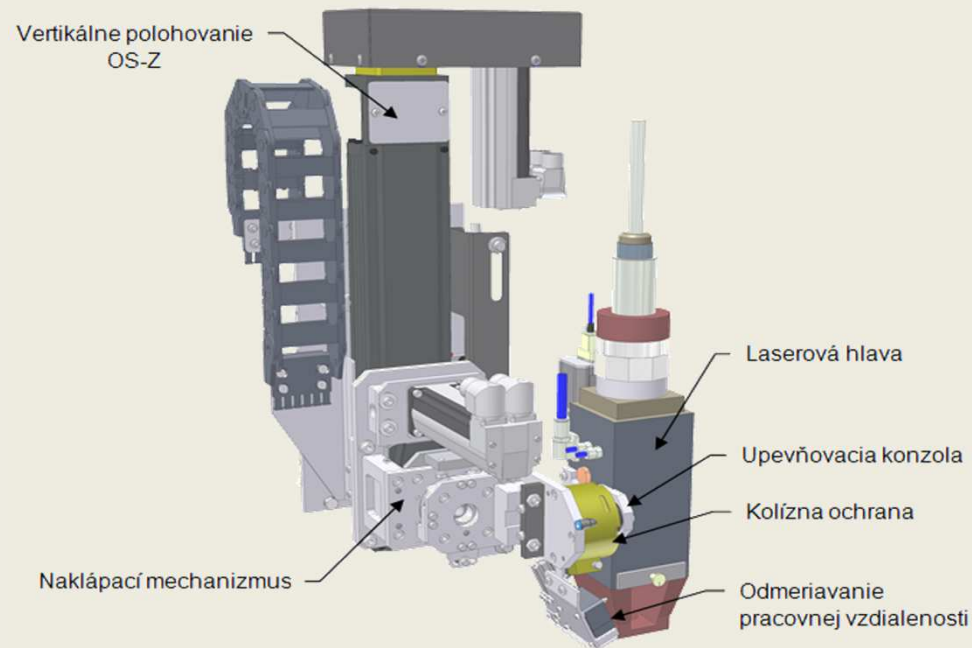
- **Rozširuje rozsah** získaných procesných dát o výsledky následných kontrolných operácií.
- **Vytvorenie databázy** s uloženým záznamom technologickej operácie a k týmto záznamom **evidencia výsledkov kontroly** (kontrola tesnosti, rovinnosti a vzhľadu zvaru).
- **Záznam výsledkov** kontroly operátorom **pomocou rozhrania Human Machine Interface (HMI)**.
- **Záznam** obsahuje **informáciu o charaktere a lokalizácii defektu**.
- Analýza získaných údajov v databáze a ich previazanie s priebehom parametrov počas technologických operácií zvarovania umožnia efektívne štatisticky vyhodnocovať úspešnosť operácie zvarovania a vyhodnocovať kritické miesta procesov.
- Funkčný uzol je vo fáze realizácie.



VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol riadeného naklápania laserovej hlavy integrovaný s odmeriavaním pracovnej vzdialenosti

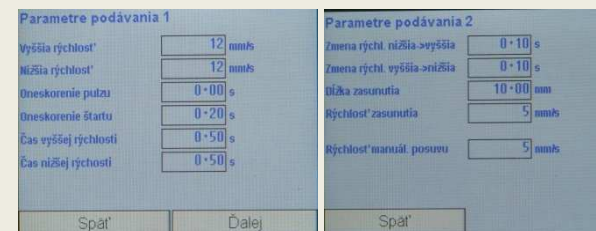
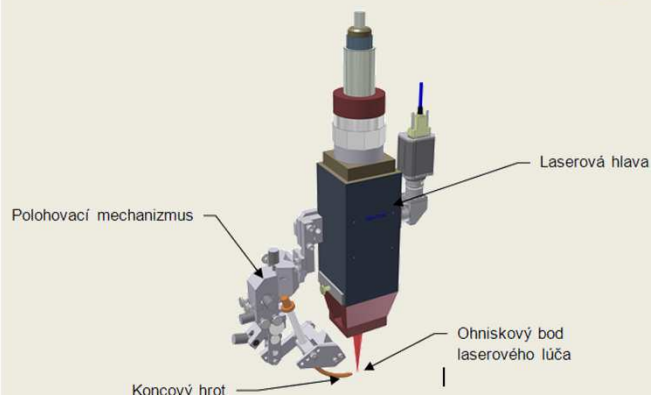
- **Naklápanie laserovej hlavy** okolo horizontálnej osi.
- **Integrované odmeriavanie pracovnej vzdialenosti** zabezpečuje efektívne a presné polohovanie laserovej hlavy voči zváraným dielom.
- V roku 2019 bola vypracovaná výrobná výkresová dokumentácia pre funkčný uzol riadeného naklápania, ktorý je aktuálne v procese výroby. Funkčné skúšky budú realizované v roku 2020.



VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol pre nastavenie a integráciu systému podávania drôtu s laserovou hlavou

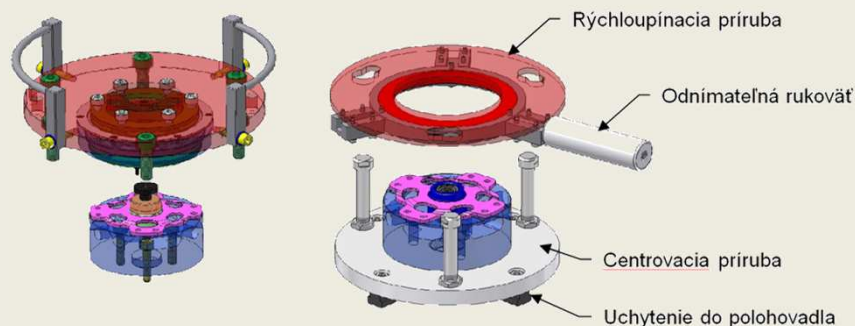
- Pridávanie materiálu do laserového procesu predchádzať tvorbe defektných zvarov alebo naváranie povrchov a výskum laserového zvárania a spracovania kovových materiálov s pridávaním materiálom.
- Pri použití **podávačky** s funkčným uzlom na zariadení PZ 1208 Lasertech je ovládanie **integrované do riadiaceho systému** a príkazy na ovládanie sú súčasťou programovacieho jazyka riadiaceho PC.
- **Komunikácia** prebieha prostredníctvom **komunikačnej linky** na báze **ethernetu**.
- Pre potrebu výroby funkčného uzla bola vypracovaná výkresová dokumentácia a funkčný uzol je pred dokončením. Po ukončení výroby bude jeho funkčnosť riešenia odskúšaná v priebehu roku 2020.



VÝSTUPY ZA ETAPU Č. 1

Funkčný uzol pre on-line sledovanie procesu tvorby zvarového kúpeľa pri laserovom zváraní

- Univerzálne výskumné zariadenie, umožňujúce **snímanie procesu zvárania, spájkovania a povrchového spracovania** kovových materiálov za použitia laserového lúča.
- **Nízko-rýchlostná CMOS** kamera je integrovaná do laserovej hlavy zvaracieho zariadenia sníma technologický **proces** v osi laserového lúča.
- **Vysokorýchlostná kamera** osadená, **mimo laserovej hlavy**.
- Pre snímanie technologického procesu nízko rýchlostnou CMOS kamerou je funkčný uzol navyše vybavený upínacím medzičlenom umožňujúcim použitie vymeniteľných úzkopásmových svetelných filtrov, tieniacich svetelné žiarenie od samotného zvaracieho procesu.
- Funkčný uzol sa nachádza v procese výroby podľa vydanéj výrobnej dokumentácie. Skúšky sú plánované na rok 2020.



ZÁVER

- Práce boli zamerané na výskum a návrh funkčných uzlov pre High-Tech elektrónové a laserové technologické komplexy.
- Aplikácia nových funkčných uzlov má za cieľ **zlepšiť konštrukčné a technologické vlastnosti technologických komplexov** ako aj umožniť **implementáciu** zásad a postupov **Industry 4.0** do produkčného a kontrolného procesu riešiteľa.
- Počas trvania etapy č. 1 bolo **navrhnutých 7 funkčných uzlov**, pre ktoré bola vypracovaná výrobná dokumentácia a aktuálne **sú vo výrobe**.
- **Funkčný uzol riadeného nastavovania elektrónového dela a funkčný uzol naklápania a adjustácie elektrónového dela** boli počas roku 2019 **vyrobené** a funkčne **odskúšané**.
- Zvyšné funkčné uzly sú vyrábané v priebehu etapy č. 2 (2020) a budú pripravené na experimenty v zmysle navrhnutého harmonogramu.

HLAVNÉ VÝSTUPY RIEŠENIA ETAPY Č. 1

Hmotné výstupy projektu zavedené do praxe za predchádzajúce obdobie sú:

- Výskum a realizácia funkčného uzla riadeného nastavovania elektrónovolúčového dela na miesto interakcie elektrónového lúča.
- Výskum a realizácia funkčného uzla naklápania a adjustácie elektrónovolúčového dela.

Nehmotné výstupy projektu za predchádzajúce obdobie sú:

- Overený technologický postup zvarania elektrónovým lúčom vnútornej časti výmenníka tepla nezávislého vykurovania vyrobeného z tlakovoliatej hliníkovej zliatiny
- Publikácia v domácom recenzovanom nekarentovanom časopise – vedecký článok:
Kolenič. F., Dřimal D., Šimek M.: Príspevok k vytváraniu povrchových vrstiev na tvárnej liatine pretavením nástrekov lúčovými technológiami, Zvárač. č. 3, roč. XVI, 2019, ISSN 1336-5045, str. 3
- Publikácia na domácich a zahraničných vedeckých konferenciách:
Faragula P., Lipár S., Šimek M., Dřimal D.: Funkčný uzol riadeného naklápania laserovej hlavy integrovaný s odmeriavaním pracovnej vzdialenosti, In. Technológia zvarania 2019 – Technológia rozvoja priemyslu Európskej únie, 5. Novembra 2019, Bratislava, ISBN 978-80-8096-265-4
- Publikácia na domácich a zahraničných vedeckých konferenciách:
Dřimal D., Kolenič. F., Šimek M.: Creation of corrosion resistant coatings on ductile iron by remelting flame sprayed layer using laser and electron beam, In. 3rd International Biannual Conference "Electron Beam Welding and Related Technologies (EBW2019)" 12–15 November 2019, Moscow, Russian Federation, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 759, ISSN 1757-8981 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/759/1/012007>

FINANČNÉ PROSTRIEDKY V ROKU 2018

Dotácia zo ŠR:	Vlastné prostriedky:	Intenzita pomoci:
Plán: 481 000,00 €	Plán: 0,00 €	Plán: 100,00 %
Čerpanie: 454 344,57 €	Čerpanie: 1 135,37 €	Skutočnosť: 99,75 %

FINANČNÉ PROSTRIEDKY V ROKU 2019

Dotácia zo ŠR:	Vlastné prostriedky:	Intenzita pomoci:
Plán: 463 000,00 €	Plán: 148 621,00 €	Plán: 75,70 %
Čerpanie: 463 000,00 €	Čerpanie: 147 001,81 €	Skutočnosť: 75,90 %