PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

Zborník prednášok

PZVAR MEETING 2026

Hotel ATRIUM High Tatras Nový Smokovec

30.09.-02.10.2026



ISBN 978-80-89421-22-0

Príspevky uverejnené v zborníku boli recenzované.

Recenzenti:

doc. Ing. Peter Polák, PhD.

Ing. František Kolenič, PhD.

ZVÁRAČ profesionál

OBSAH

JEDNA PLUS JEDNA MÔŽE BYŤ VIAC AKO DVA
Ing. Daniel Cmarko, ESAB Slovakia, s.r.o., Bratislava
p. Pavel Humlach, EWM HIGHTEC WELDING s.r.o., Jiříkov, ČR

KONCEPČNÝ NÁVRH ROBOTIZÁCIE PRACOVISKA ELEKTRÓNOLÚČOVÉHO ZVÁRANIA URČENÉHO PRE PRODUKTÍVNU VÝROBU KOMPONENTOV ELEKTROMOBILITY
Ing. Peter Forgáč, Ing. Slavomír Lipár, PhD., Ing. Tomáš Fodrek, IWE, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

ROBOT AKO KONTROLÓR A ZVÁRAČ. AUTOMATIZOVANÁ DETEKCIA VÁD METÓDAMI NDT A ROBOTICKÉ ZVÁRANIE.
Ing. Peter Semančík, Rossum Integration s.r.o., Trenčín

TLAKOVÉ ZARIADENIA PODĽA SMERNICE 2014/68/EÚ (PED) – ZÁKLADNÉ POŽIADAVKY A POSUDZOVANIE ZHODY
Ing. Martin Desát, Ing. Štefan Furik, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ. DISTRIBUCE NDT PRODUKTŮ
p. Andrej Feraj, ENERGOSERVIS spol. s r.o., Chomutov, ČR

ZVÁRANIE ROBOTEC
Ing. Miroslav Debnár, Robotec s.r.o., Sučany

VYUŽITIE TFM PRI PAUT
Ing. Matúš Geľatko, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove

ZARIADENIE PZ EBW MINI URČENÉ NA ELEKTRÓNOVO-LÚČOVÉ ZVÁRANIE KOMPONENTOV S ROTAČNÝMI ZVARMI
Ing. Slavomír Lipár, PhD., PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

FRONIUS VELO: PRESNÉ VEDENIE PRE RUČNÉ ZVÁRACIE PROCESY
p. Patrik Kosmál, Fronius Slovensko, s.r.o., Trnava

VPLYV LOKÁLNEJ OHYBOVEJ TUHOSTI NA ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI ZVAROVÝCH SPOJOV VYSOKOPEVNÝCH OCELÍ
prof. Ing. Miloš Mičian, PhD., Ing. Martin Frátrik, PhD., Strojnícka fakulta, ŽU Žilina

VÝZNAM A PRÍNOS AKREDITÁCIE PRE SPOLOČNOSŤ
Ing. Štefan Král, PhD., Slovenská národná akreditačná služba, Bratislava

NÁVRH GEOMETRIE A HODNOTENIE VÝKONOVÝCH VLASTNOSTÍ NÁSTROJA NA ZVÁRANIE FSW
Doc. Ing. Jozef Bárta, PhD., Slovenská technická univerzita, UVTE MTF v Trnave

3D SKENOVANIE AKO ZDROJ DÁT PRE HODNOTENIE POVRCHOVÝCH ARTEFAKTOV VYTVORENÝCH ABRAZÍVNYM VODNÝM PRÚDOM
doc. Ing. František Botko, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove

SYSTÉM GENEROVANIA ELEKTRÓNOVÉHO LÚČA. KOMPLEXNÉ RIEŠENIE RIADENIA ZVÁRACIEHO PROCESU
Ing. Roman Darovec, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

MODULÁRNY DIZAJN ELEKTRÓNOVÉHO DELA. SYSTÉM GENEROVANIA ELEKTRÓNOVÉHO LÚČA
Ing. Pavol Maštalír, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

INOVATÍVNE TECHNOLÓGIE PRÍPRAVY ZVAROVÝCH PLÔCH NA 3D TVAROCH PRI VÝROBE TLAKOVÝCH NÁDOB
Mgr. art. Ján Flaškár, MicroStep, s.r.o., Bratislava

IMPLEMENTÁCIA UMELEJ INTELIGENCIE AKO ASISTENČNÉHO SYSTÉMU NDT INŠPEKTORA PRI KONTROLE ZVAROV A VÝKOVKOV
Ing. Marek Grega, PhD., Prof. Ing. Janette Brezinová, PhD., Ing. Jakub Brezina, PhD., Katedra automobilovej výroby, Strojnícka fakulta, TU Košice

DOKONALOSŤ V KAŽDOM ZVARE – ORBITÁLNE ZVÁRANIE
p. Andrej Procházka, Solík SK, s.r.o., Považská Bystrica

KOMBINÁCIA LEPENIA A INÝCH METÓD SPÁJANIA MATERIÁLOV
p. Marián Krivánek, SVV Praha, s.r.o., Moravany, ČR

FANUC, TECHNOLÓGIE ÚSPECHU
Ing. Martin Hrabčák, FANUC Slovakia s.r.o., Nitra

RUČNÉ ZVÁRANIE LASEROM
Ing. Attila Tarcsi, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

REVÍZIA NORMY STN EN ISO 14732: 2026, ZMENY
Ing. Branislav Šimovič, Peter Interholz, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

NOVÁ STN EN ISO 3834-6: 2026
Ing. Eva Gubóová, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

NORMY SÚVISIACE SO ZVÁRANÍM A NDT
Ing. Štefan Furik, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

Príspevky uverejnené v zborníku boli recenzované.

Za obsahovú stránku príspevkov zodpovedajú autori.

ISBN 978-80-89421-22-0

EAN 9788089421220

Jedna plus jedna je viac ako dva.

- Ing. Daniel Cmarko, ESAB Slovakia s.r.o.
- Pavel Humlach, EWM HIGHTEC WELDING s.r.o.

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

Oskar Kjellberg 1870-1931

Švédsky inžinier v roku 1904 vynašiel obaľovanú elektródu.

Zakladá spoločnosť Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB)

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1910-1920

- Založenie prvých dcérskych spoločností za hranicami Švédska:

Anglo Swedish a Belgian-Swedish Electric Welding Companies

Londýn a Antverpy – 2 najväčšie lodné prístavy na svete.

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1920 ESAB IV- Prvá celozváraná loď

1921 Vlastná výroba zváracích strojov

1923 Prvý zvárací transformátor

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1930 -1950

- Automatizácia a rozmach zvárania pod tavivom
- Spoločnosť expanduje do:

  Francúzska,

  Brazílie

  Austrálie

  Kanady

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1930 -1950

HELIARC –Patentovaný firmou Linde Air Product (L-Tec)

HEL – helium

ARC - Oblúk

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1950 -1980

Nové logo

Zaradenie GMAW technológie do portfólia

AB Svetsia - LHG400 1976

OK 48P

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

1980 -2000

Marathon Pac – plne recyklovatelné veľkokapacitné balenie drôtu (1989)

FSW – prvé komerčné priemyselné zariadenie

NWG hlava

Rozvoj CNC riadenia pre páliace stroje

OK AristoRod (1997)

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

10.000 +

147 krajín

ciac ako 40 značiek

26 výrobných závodov

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

Prídavné materiály

Autogénna technika

Oblúkové zváranie

Automatizované delenie plazmou

Automatizované zváranie

Ručné delenie plazmou

Komplexná ponuka produktov.

Ochranné pomôcky

Regulačná technika

Digitálne riešenia

Drážkovanie a exotermické delenie

Príslušenstvo

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Príbeh ESABU je príbeh zvárania.

2024 - 2025

120 rokov od založenia ESAB

Akvizícia EWM

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WE ARE
WELDING

EWM – Více než 65 let inovací ve svařování

Technologie | Kvalita | Udržitelnost | Digitalizace

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

EWM WELTWEIT

T S C H E C H I E N
Komponentenfertigung

D E U T S C H L A N D
Gerätefertigung

C H I N A
Gerätefertigung
Nur für den chinesischen Mark t

PRODUKTION

EIGENER VERTRIEB UND SERVICE

WELTWEIT ÜBER 400 VERTRIEBS - UND SERVICESTÜTZPUNKTE

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

EWM CZ+SK

Výrobní závod Jiříkov/Rumburk
OC Benešov
OC Ostrava
OC Trenčín SK

Zajišťujeme servisní péči v našich v našich obchodních centrech

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Historie společnosti

Od výrobce komponentů ve výkonové elektronice
k systémovému dodavateli ve svařovací technice

Gründung durch
Edmund Szczesny

1957 **1972** **1985** **1993**

Historie společnosti

Od výrobce komponentů ve výkonové elektronice
k systémovému dodavateli ve svařovací technice

1. EWM Niederlassung Mülheim-Kärlich

Werk in Tschechien

1994 **1995** **1997** **2000** **2005** **2006** **2007**

Historie společnosti

/ Od dodavatele zařízení k systémovému dodavateli a technologickému lídrovi ve svařovacích technologiích

Expert 3.0 MIG/MAG

EWM Jiříkov
Tschechische Republik

Řada svařovacích zdrojů XQ

Expert 3.0 WIG

Vstup společnost ARMIRA do EWM

2017 **2018** **2022** **2023** **2025**

Historie společnosti – technologické milníky

1957

Diody, Thyristory,
Usměrňovače, Síťové díly,
Invertorové kompon. atd.

1988

Světově první
WIG-AC/DC-Invertor

1988

Private Label-produkty
Messer Griesheim

1993

První digitální
MIG-Pulsní zdroj

2000

Modulární a digitální
Svařovací systém s
kompletním přenosem dat

2003

Celosvětově první
WIG-Synergický
ovládací systém

Historie společnosti – technologické milníky

2009

Nový design / logo

2015

Monitorování X-Net

2017

Zdroje Titan XQ

2021

Zdroje TIG XQ Expert 3.0

2023

Svařovací proces EWM-REACT

2025

Zdroje MIG/MAG XQ Expert 3.0

Vývoj svařovacích zdrojů WIG/TIG

Novinka 2007

Tetrix 230 AC/DC 2013

Tetrix 230 XQ AC/DC Expert 3.0

Vývoj svařovacích zdrojů

První invertory

První digitální zdroje

welding 4.0

- Digitálně řízené procesy
- Kompletní řešení pro každý úkol

Vývoj svařovacích zdrojů

2005

2015

welding 4.0

- Digitálně řízené procesy
- Kompletní řešení pro každý úkol

Vývoj svařovacích zdrojů řídící panely

Řízení T.200

Řízení Comfort 2.0

Řízení Expert 3.0

Vývoj svařování

Krokově přepínatelný

První inventor

welding 4.0

- Digitálně řízené procesy
- Kompletní řešení pro každý úkol

Welding 4.0 zajištění kvality při svařování

Průmysl 4.0?

Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4.0

Industry 4.0 je termín, který se vrací do výzkumné unie německé federální vlády a stejnojmenného projektu ve strategii high-tech federální vlády; Popisuje také výzkumnou platformu. Průmyslová výroba bude propojena s moderními informačními a komunikačními technologiemi. Technickým základem jsou inteligentní a digitálně propojené systémy.
S jejich pomocí je třeba umožnit převážně samoorganizovanou výrobu: lidé, stroje, zařízení, logistika a výrobky komunikují a spolupracují přímo v průmyslu 4.0. Vytváření sítí by mělo umožnit optimalizaci nejen jednoho výrobního kroku, ale celého hodnotového řetězce. Síť by měla rovněž zahrnovat všechny fáze životního cyklu produktu - od myšlenky výrobku přes vývoj, výrobu, používání a údržbu až po recyklaci.

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0

Průmysl 4.0?

"NSA může také chtít vědět,
kolik vajec je ve vaší ledničce,
ale to je další záležitost."

Průmysl 4.0? Bude tofungovat, potřebujeme topři svařování?

?

Technologie stále pokračují dál a dál!

Také u svařování to pokračuje?

Welding 4.0

Připojení všech ostatních svařovacích zdrojů

Připojení všech svařovacích zdrojů - schematické zapojení

Nakonec však jsou dvě nejdůležitější otázky při svařování:

Drží to?

Jak drahé to bylo?

Řešení offline -přenos dat přes USB

Vnitřní paměť až 28 dnů svařování

Přístup z libovolného zařízení v síti

Online řešení -přenos dat přes síť

Přístup z libovolného zařízení v síti

Online řešení – software Xnet

Přístup z libovolného zařízení v síti

Svařování v reálném čase a záznam svařovacích dat

Svařování v reálném čase a záznam svařovacích dat

Správa svařovacích zdrojů

Software X net + X button

Přístup z libovolného zařízení v síti

Založení personálu -X button

/ Databáze svářečů

/ Kvalifikace svářečů

/ Rozsah

/ Prodloužení kvalifikace

/ Další datum zkoušky

/ Přiřazení XButtonů

Založení personálu -X button

Založení personálu -X button

Založení personálu -X button

Přehled personálu - X button

Implementace: Identifikace svářeče X button

Software X net ,X button + WPQ X Manager

Přístup z libovolného zařízení v síti

Svařovací dokumentace – pWPS, WPQR, WPS

/ Správa kvalifikace pro svařování (WPQ)

/ Vytvoří WPQR a WPS jako digitální databázi

/ Návrh svaru v grafickém editoru

/ Plánování sekvencí svařování pomocí editoru

Kontrola parametrů -pWPS, WPQR, WPS

Kontrola parametrů -pWPS, WPQR, WPS

Přehled -pWPS, WPQR, WPS

Založte personálu + kontrola dodržení parametrů WPS

- / Databáze svářečů
- / Kvalifikace svářečů
- / Rozsah
- / Prodloužení kvalifikace
- / Další datum zkoušky
- / Přiřazení XButtonů
- / Porovnání s předepsanou WPS (monitorování)

Kontrola parametrů -pWPS, WPQR, WPS

/ Správa kvalifikace pro svařování (WPQ)

/ Vytvoří WPQR a WPS jako digitální databázi

/ Návrh svaru v grafickém editoru

/ Plánování sekvencí svařování pomocí editoru

Implementace : Svařování v reálném čase

Software X net ,X button , WPQ X Manager + Bauteilmodul (Modul výrobků)

Přístup z libovolného zařízení v síti

Modul výrobků – informace o výrobku

Modul výrobků – informace o výrobku

Modul výrobků – informace o výrobku

Modul výrobků – seznam výrobků

Implementace: Identifikace svařovaného dílu a svářeče

Implementace: Svařování v reálném čase

Po svařování: Data s hodnocením

Po svařování: Data s hodnocením

Výhoda monitorování v reálném čase



Příprava

Svařování

Zkoušení

Oprava

- Delší reakční čas
- Vyšší náklady



Příprava

Svařování a monitorování v reálném čase
Echtzeit

Zkoušení

Oprava

- Krátký reakční čas
- Snížení nákladů

Shrnutí a hodnocení

Shrnutí a hodnocení

Shrnutí a hodnocení

Shrnutí a hodnocení

Výpočet nákladů s Xnet

Výpočet nákladů s Xnet

Vyhodnocení dat z Xnet pomocí BI nástrojů, příklad Qlikview

Smyčka kvalitysvařování

Požadavky:

Síťové propojení zařízení
Digitální svařovací dokumentace
Digitalizace zaměstnanců
Digitální popis a dokumentace výrobků

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Warrior Edge

500A

Robust Feed IP54

4 x ročne aktualizácia

Trueflow

7 rôznych zváracích procesov

RFID

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Pripojiteľnosť

- Universal Connector
- Možnosť pripojiť všetky zariadenie
- WiFi

WarriorEdge

LAN

WiFi

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

InduSuite

- Indusuite
  - Weldcloud Notes
  - WeldcloudAssembly
  - Weldcloud Productivity
  - Weldcloud Fleet
  - Flocloud
  - OCTOPUZ

WeldCloud Notes	**OCTOPUZ**	**WeldCloud Productivity**	**FloCloud**	**WeldCloud Fleet**	**WeldCloud Assembly**
Kompletná dokumentácia	*Programovanie robotov*	*Sledovanie produktivity*	*Sledovanie spotreby plynu*	*Strojné vybavenie*	*Dosledovateľnosť*

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite

OCTOPUZ Sequences

- **Žiadne chýbajúce zvary** presne daná postupnosť zvarov
- **Kontrola zvarov** každý zvar je porovnaný s prednastavenými hodnotami
- **Zvýšenie produktivity** optimálny sled zvarov, priradené správne zváracie parametre

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

- **WARRIOR EDGE SYSTEM + InduSuite**

Ako to fuguje

Zodpovedná osoba

Zvárač

1	**2**	**3**	**4**	**5**
Návrh zváracej sekvencie	Zváracie pracovisko so sekvenciou	Vykonanie zvarov podľa sekvencie OCTOPUZ Sequences	PASSFAIL Vyhodnotenie zvarov podľa preddefinovaných pravidiel	Monitorovanie parametrov v InduSuite

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

Ďakujeme za pozornosť.

Proprietary & Confidential | ESAB Welding & Cutting Products

KONCEPČNÝ NÁVRH ROBOTIZÁCIE PRACOVISKA ELEKTRÓNOLÚČOVÉHO ZVÁRANIA URČENÉHO PRE PRODUKTÍVNU VÝROBU KOMPONENTOV ELEKTROMOBILITY

Peter FORGÁČ[1], Slavomír LIPÁR[2], Tomáš FODREK[3]
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

[1]ORCID: 0009-0001-0022-8844, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia
[2]ORCID: 0000-0002-2528-9053, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia
[3]ORCID: 0000-0001-6534-8321, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia

Abstrakt
Robotizácia existujúcich výrobných zariadení predstavuje špecifickú integračnú úlohu, pri ktorej je návrh automatizácie limitovaný pôvodnou konštrukciou stroja, jeho pracovným cyklom a požiadavkami na zachovanie technologickej funkcie zariadenia. Tento príspevok sa zaoberá koncepciou robotizácie obslužných operácií elektrónovolúčového zváracieho komplexu určeného pre veľkosériovú výrobu komponentov elektromobility. Na základe analýzy manuálneho pracovného cyklu sú identifikované priestorové, manipulačné a tiež silové požiadavky, ktoré sú rozhodujúce pre návrh robotického systému. Osobitná pozornosť je venovaná operáciám spojeným s mechanickým upínaním dielov, ktoré predstavujú kritické body automatizácie existujúceho pracoviska. Následne je predstavený postup návrhu robotizovaného riešenia, ktorý zahŕňa definovanie požiadaviek na priemyselný robot, výber konkrétneho typu robota a overenie jeho pracovného priestoru a dosahu v simulačnom prostredí softvéru FANUC Roboguide. Výsledkom je koncepcia robotizovaného pracoviska rešpektujúca technologický cyklus zariadenia, priestorové obmedzenia a požiadavky možnosti zachovania manuálnej prevádzky a servisného prístupu.

Kľúčové slová: automatizácia, robotizácia, priemyselný robot, elektrónovolúčové zváranie

Abstract
The robotisation of existing production equipment presents a specific integration challenge, in which the design of the automation system is constrained by the machine's original design, its operating cycle, and the requirements for maintaining the equipment's technological function. This paper deals with the concept of robotising the handling operations of an electron beam welding complex intended for the large-scale production of electromobility components. Based on an analysis of the manual work cycle, spatial, handling, and force requirements are identified, which are crucial for the design of the robotic system. Particular attention is paid to operations involving the mechanical clamping of workpieces, which represent critical points in the automation of the existing workstation. Subsequently, the procedure for designing a robotic solution is presented, which includes defining the requirements for an industrial robot, selecting a specific robot type, and verifying its workspace and reach in the FANUC Roboguide simulation environment. The result is a concept for a robotised workstation that takes into account the equipment's technological cycle, spatial constraints, and the requirement to maintain the option of manual operation and service access.

Keywords: automation, robotisation, industrial robot, electron beam welding

1. Úvod

Elektrónovolúčové zváranie (EBW – Electron Beam Welding) patrí medzi technologicky vyspelé metódy spájania materiálov, ktoré nachádzajú uplatnenie v aplikáciách s vysokými požiadavkami na presnosť, kvalitu zvarového spoja a minimalizáciu tepelného ovplyvnenia zváraných dielov. Kvôli týmto vlastnostiam sa EBW využíva najmä v leteckom, kozmickom, automobilovom a jadrovom priemysle, ako aj v zdravotníctve a pri výrobe presných a technologicky náročných komponentov. Pri veľkosériovej výrobe výslednú produktivitu pracoviska neurčuje iba samotný čas zvárania. Významnú úlohu zohrávajú aj obslužné a manipulačné operácie, príprava dielov, výmena prípravkov a nadväzujúce činnosti medzi jednotlivými zváracími cyklami. Významným faktorom je zároveň čas potrebný na čerpanie zváracej komory a dosiahnutie požadovanej úrovne vákua, ktorý môže v celkovom výrobnom cykle predstavovať významnú časovú položku. [3,4,6]

V prípade existujúceho výrobného zariadenia je dodatočná robotizácia odlišná od návrhu novej robotickej bunky. Je tomu tak najmä kvôli tomu, že robotický systém musí byť integrovaný do už definovaného pracovného priestoru a musí rešpektovať pôvodnú konštrukciu stroja, pohyb jeho mechanizmov, technologickú postupnosť operácií, servisný prístup prípadne zachovanie možnosti manuálnej obsluhy. [1] Výsledné riešenie je preto kompromisom medzi požadovanou mierou automatizácie a obmedzeniami existujúceho zariadenia.

Cieľom príspevku je predstaviť postup návrhu robotizácie obslužných operácií existujúceho elektrónovolúčového zváracieho komplexu s označením ZH8, ktorý sa nachádza v spoločnosti PZ (PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.). Spoločnosť PZ získala podporu výskumného projektu z Úradu podpredsedu vlády Slovenskej republiky pre Plán obnovy a znalostnú ekonomiku s cieľom komplexnej inovácie zváracieho komplexu. Projekt pozostáva z viacerých pracovných balíkov, pričom jedným z nich je implementácia silovo-poddajného robota, na ktorú je zameraný aj tento príspevok. Pozornosť je sústredená na analýzu manuálneho pracovného cyklu, identifikáciu kritických operácií, definovanie požiadaviek na robotický systém a overenie jeho mechanického osadenia a priestorovej integrácie. Bezpečnostná koncepcia je uvedená iba v rozsahu potrebnom na posúdenie prevádzkových režimov pracoviska.

2. Východiskové podmienky robotizácie pracoviska

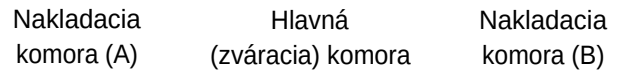
Návrh robotizácie vychádza z existujúcej koncepcie zváracieho komplexu ZH8, jeho technologických špecifík a súčasného spôsobu obsluhy. Cieľom koncepčného návrhu je robotizovať vybrané obslužné činnosti súvisiace s manipuláciou s dielmi a prípravkami v nakladacej komore. V rámci tejto práce je uvažovaná robotizácia obsluhy jednej z dvoch nakladacích komôr, pričom navrhované riešenie predstavuje prvú etapu automatizácie pracoviska. Po experimentálnom overení navrhnutého riešenia a jeho odladení v reálnych podmienkach je možné obdobný princíp aplikovať aj na druhú nakladaciu komoru. Takto koncipované riešenie vytvára predpoklad pre plnú automatizáciu obsluhy pracoviska.

2.1 Technologické špecifiká EBW procesu

Pri elektrónovolúčovom zváraní sa energia sústredeného lúča elektrónov premieňa po dopade na povrch dielu na teplo. Proces prebieha vo vákuu, ktoré obmedzuje interakciu elektrónov s molekulami plynov a umožňuje stabilné sústredenie lúča. Z pohľadu produktívnej výroby predstavuje významnú časovú položku vytvorenie požadovanej úrovne vákua. [5] Konštrukcia výrobného zariadenia preto musí okrem samotného zvárania zabezpečiť efektívnu prípravu ďalších dielov počas čerpania, zvárania a tzv. zavzdušňovania jednotlivých priestorov.

2.2 Koncepcia zváracieho komplexu ZH8

Analyzovaný zvárací komplex ZH8 (Obr. 1) je jednoúčelové zariadenie určené pre veľkosériovú výrobu. Pozostáva z hlavnej zváracej komory a dvoch nakladacích komôr umiestnených po jej stranách. Nakladacia komora A sa nachádza na ľavej strane hlavnej zváracej komory a nakladacia komora B sa nachádza na jej pravej strane. V hlavnej komore prebieha samotné zváranie pri vysokom vákuu, zatiaľ čo nakladacie komory slúžia na prípravu dielov a prípravkov a na predčerpanie na úroveň stredného vákua. Striedavá činnosť nakladacích komôr umožňuje využiť čas technologického cyklu na prípravu ďalších dielov a tým obmedziť neproduktívny čas zariadenia.



Obr. 1 Zobrazenie zváracieho komplexu ZH8

2.3 Väzba výrobného cyklu na obslužné operácie

Plánovaná robotizácia obslužných činností tohto zariadenia by nemala narušiť kadenčný charakter výroby. Manipulačné operácie v nakladacej komore by mali byť vykonané v časovom intervale, počas ktorého prebiehajú technologické operácie vo zvyšnej časti zariadenia. Z tohto dôvodu je pri návrhu potrebné hodnotiť nielen dosah a nosnosť robota, ale aj čas pohybov, dostupnosť jednotlivých pozícií a možnosť súbehu obslužných (robotických) a technologických operácií.

3. Analýza manuálneho pracovného cyklu z pohľadu automatizácie

Východiskom návrhu bola dekompozícia súčasnej manuálnej obsluhy nakladacej komory. Nakladacia komora je vybavená dvoma vedľa seba umiestnenými pracovnými pozíciami, ktoré sú po upnutí obrobkov a vytvorení stredného vákua premiestnené do hlavnej zváracej komory prostredníctvom automaticky riadeného vozíka. V hlavnej zváracej komore prebieha samotný zvárací proces vo vysokom vákuu. Zvárací proces je rozdelený na dve etapy, ktoré si vyžadujú dve samostatné upnutia obrobku. Prvá etapa pozostáva z vytvorenia tzv. stehov, ktoré sa vykonáva vždy len na jednej z pracovných pozícií, teda na jednom z dvoch dielov. Druhá etapa, predstavuje hlavné zváranie, ktoré prebieha na druhej pracovnej pozícii. Po ukončení oboch etáp dochádza ku premiestneniu automaticky riadeného vozíka späť do nakladacej komory, kde operátor vyloží zvarenec po druhej etape (hotový diel) a namiesto neho vloží nový diel určený na prvú etapu zvárania – stehovanie. Následne preloží vrchnú časť prípravku z pozície vedľajšieho dielu na tento nový diel, ktorý je týmto pripravený na prvú etapu zvárania – stehovanie. Týmto je diel na druhej pozícii (už po prvej etape zvárania) pripravený na druhú etapu zvárania.

Postup manuálneho procesu obsluhy po ukončení zváracieho cyklu je nasledovný: operátor otvorí nakladaciu komoru, uvoľní a premiestni vrchné časti prípravku, vyberie hotový diel, identifikuje nové diely prostredníctvom DMC (Data Matrix Code) kódov, vloží ich do spodnej časti prípravku,

založí a upne vrchné časti prípravku a následne komoru zatvorí. Vyššie uvedenú dekompozíciu prehľadne uvádza tab. 1, ktorá poukazuje na charakter úlohy a rozhodujúce požiadavky. Ostatné technologické operácie zariadenia sú riadené automaticky prostredníctvom PLC (Programmable Logic Controller).

Tab. 1 Klasifikácia obslužných operácií z pohľadu robotizácie

Skupina operácií	**Charakter úlohy**	**Rozhodujúca požiadavka**
Manipulácia so zváraným dielom	Uchopenie, premiestnenie, založenie	Dosah, presnosť, spoľahlivé uchopenie
Manipulácia s vrchnými časťami prípravku	Odobratie a opätovné založenie	Nosnosť, orientácia efektora, kolízny priestor
Ovládanie rýchlo-upínačov	Kontaktná silová operácia	Potrebná sila približne 600 N, zaťaženie zápästia
Identifikácia dielov	Manipulácia s dielom pre snímanie DMC kódov	Dosah, spoľahlivé uchopenie
Otvorenie a zatvorenie komory	Koordinácia s pohybovým mechanizmom stroja	Komunikácia s riadiacim systémom a bezpečnostné blokovanie

Za kritickú možno považovať najmä operáciu mechanického upínania. Rýchlo-upínače majú za úlohu fixáciu dielu v prípravku a vytvorenie predpätia dielu pred zváraním. Experimentálne bola pri ich ovládaní stanovená potrebná sila približne 600 N vo vyznačených smeroch na obr. 2. Pri voľbe robota nie je možné túto požiadavku posudzovať iba z hľadiska menovitej nosnosti. Rozhodujúce je aj prípustné momentové a silové zaťaženie zápästia a spôsob, akým bude sila prenesená prostredníctvom koncového efektora.

Obr. 2 Znázornená silová požiadavka pri ovládaní rýchlo-upínačov

4. Technické obmedzenia retrofit robotizácie

Návrh robotizácie existujúceho pracoviska je ovplyvnený viacerými technickými obmedzeniami vyplývajúcimi z pôvodnej konštrukcie zariadenia a jeho priestorového usporiadania. Pri retrofit riešení je preto potrebné zabezpečiť integráciu robotického systému v súlade s bezpečnosťou obsluhy a bez narušenia existujúcich technologických funkcií a prístupu k zariadeniu.

4.1 Priestorové obmedzenia

Umiestnenie robota je limitované existujúcou konštrukciou zariadenia a dispozičného rozloženia pracovného priestoru. Robot musí dosiahnuť do požadovaných manipulačných bodov nakladacej komory, ktoré predstavujú obmedzený priestor a nesmie kolidovať s jednotlivými časťami zariadenia. Ďalšou podmienkou je zvoliť také umiestnenie robota, ktoré nebude obmedzovať pracovný priestor obsluhy v prípade potreby manuálnej prevádzky zariadenia. Súčasne musí zostať zachovaný prístup k zariadeniu pre pravidelnú údržbu a servisné zákroky.

4.2 Manipulačné a silové požiadavky

Robotický systém musí zvládnuť kombináciu voľných manipulačných pohybov a kontaktných operácií. Pri návrhu koncového efektora bude potrebné skombinovať manipuláciu so zváranými dielmi, manipuláciu s časťami prípravku a ovládanie rýchlo-upínačov. Konštrukcia koncového efektora preto musí rešpektovať priestorové obmedzenia pracovného priestoru, rozmery a hmotnosť prenášaných prvkov, teplotu manipulovaných dielov a diagram prípustného zaťaženia zápästia robota.

4.3 Zachovanie manuálneho a servisného režimu

Jednou z podmienok návrhu je neobmedziť možnosť manuálnej obsluhy v prípade poruchy robotického systému alebo počas servisných zásahov. Umiestnenie robota a jeho podstavca preto musí umožniť prístup pracovníka k nakladacej komore a zachovať pôvodné funkčné väzby zariadenia. Z tohto vyplýva, že bude možné zvoliť manuálnu alebo robotizovanú prevádzku obslužných činností pracoviska. Táto požiadavka výrazne zužuje počet možností umiestnenia robota.

5. Návrh koncepcie robotizovaného pracoviska

Na základe vykonanej analýzy pracovného cyklu a identifikovaných technických obmedzení bol vytvorený koncepčný návrh robotizovaného pracoviska. Cieľom je overiť realizovateľnosť navrhovaného riešenia z hľadiska dosiahnuteľnosti všetkých požadovaných manipulačných bodov, kolízií a zachovania funkčnosti existujúceho pracoviska.

5.1 Definovanie požiadaviek na robotický systém

Na základe analýzy pracovného cyklu boli ako základné parametre pre výber robota stanovené dosah, nosnosť a opakovateľnosť polohy. Zohľadnené boli aj rozsahy pohybu jednotlivých kĺbov, prípustné zaťaženie zápästia, krytie a možnosť prevádzky v režime umožňujúcom bezpečnú interakciu s pracovníkom tzv. kolaboratívna aplikácia. Pre navrhovanú aplikáciu bol zvolený silovo-poddajný robot FANUC CRX-30iA s menovitou nosnosťou 30 kg, dosahom 1756 mm a jednosmernou opakovateľnosťou polohy 0,05 mm.

5.2 Overenie pracovného priestoru prostredníctvom simulácie

Vhodnosť robota a jeho umiestnenia bola overovaná v simulačnom prostredí FANUC Roboguide. Do virtuálneho prostredia bol importovaný 3D model zváracieho komplexu a boli vytvorené tri varianty umiestnenia robota. Hodnotené boli najmä dosiahnuteľnosť pracovných bodov, riziko kolízií, zachovanie servisného prístupu a možnosť manuálnej obsluhy. Na základe týchto hodnotiacich kritérií bol zvolený variant umiestnenia robota, ktorý je zobrazený na obr. 3 spolu s jeho pracovným priestorom. Vyznačený pracovný priestor vyplýva z dosahu pripojovacej príruby robota. Po osadení koncového efektora na pripojovaciu prírubu dôjde vzhľadom na jeho rozmery k predĺženiu vzdialenosti medzi prírubou a manipulačným bodom, čím sa pracovný dosah robota rozšíri.

Obr. 3 Výsledný variant umiestnenia robota a overenie dosahu v prostredí FANUC Roboguide

Výsledná poloha robota bola zvolená tak, aby zabezpečila dostatočný dosah do pracovného priestoru nakladacej komory a zároveň minimalizovala kolízne stavy s existujúcou konštrukciou. Pre mechanické uchytenie robota bol navrhnutý samostatný podstavec s požiadavkou na dostatočnú tuhosť a stabilitu. Podstavec bol následne vyrobený a robot bol osadený do navrhnutej polohy (Obr. 4) vyplývajúcej z výsledného variantu umiestnenia robota.

Obr. 4 Realizované osadenie robota pri nakladacej komore B

Mechanické osadenie robota predstavuje iba jednu časť celkovej integrácie. Pre vytvorenie automatizovaného pracovného cyklu je potrebné doplniť koncový efektor, systém dopravy pripravených a zvarených dielov a komunikačné väzby medzi robotom, bezpečnostnými prvkami a nadradeným PLC zváracieho komplexu.

Najvýznamnejšou otvorenou konštrukčnou úlohou je návrh multifunkčného koncového efektora. Ten má zabezpečiť manipuláciu so zváranými dielmi, premiestňovanie jednotlivých častí zváracieho prípravku a ovládanie mechanických rýchlo-upínačov. Pri jeho návrhu bude potrebné optimalizovať geometriu, hmotnosť a polohu ťažiska tak, aby výsledné zaťaženie zostalo v medziach stanovených výrobcom robota.

6. Prevádzková a bezpečnostná koncepcia

Dodatočná integrácia robota mení charakter pôvodne manuálneho pracoviska a vytvára nové riziká spojené s pohybom robota, manipuláciou s dielmi a vzájomnou interakciou človeka a zariadenia. Navrhovaná koncepcia preto počíta s monitorovaním priestoru pred robotickým

pracoviskom a s rozdielnou reakciou riadiaceho systému podľa polohy pracovníka. Napriek použitiu silovo-poddajného robota však jeho samotné vlastnosti nemožno považovať za dostatočné opatrenie na zabezpečenie bezpečnosti celého pracoviska. Bezpečnosť musí byť posudzovaná na úrovni celej robotickej aplikácie, pričom je potrebné vykonať identifikáciu nebezpečenstiev a posúdenie rizík s ohľadom na konkrétne pracovné podmienky, koncový efektor, manipulované diely, pracovný priestor a spôsob interakcie pracovníka s robotickým systémom. Na základe výsledkov posúdenia rizík musia byť následne stanovené a implementované vhodné technické a organizačné opatrenia. Tento prístup je v súlade s požiadavkami, ktoré opisuje medzinárodná norma ISO 10218-2:2025 [2] pre bezpečnosť pri integrácii priemyselných robotických aplikácií.

Pri približovaní pracovníka sa predpokladá postupný prechod medzi prevádzkovými stavmi: bežný automatický režim, kolaboratívny režim so zníženými rýchlosťami pohybu a vyvíjanou silou, kolaboratívny režim s minimálnymi rýchlosťami pohybu a vyvíjanou silou a úplné zastavenie pri vstupe do bezprostredne chráneného priestoru. Tieto prechody medzi prevádzkovými stavmi si je možné predstaviť na základe vyznačených zón na obr. 5. Zóna vyznačená žltou farbou reprezentuje oblasť kde dôjde ku zmene prevádzkového režimu z bežného automatického do kolaboratívneho so zníženými rýchlosťami pohybu a vyvíjanou silou robota. Červená zóna je určená pre prechod do kolaboratívneho režimu s minimálnymi rýchlosťami pohybu a vyvíjanou silou. Pri zaznamenaní človeka v sivej zóne dôjde ku bezpečnostnému tzv. “tvrdému” zastaveniu všetkých pohybov. Súčasťou bezpečnostnej logiky musí byť aj koordinácia s pohybom veka nakladacej komory, ktoré predstavuje významné bezpečnostné riziko. Finálne parametre bezpečnostných funkcií budú predmetom komplexného posúdenia po dokončení pracoviska.

Obr. 5 Navrhované prevádzkové a bezpečnostné zóny robotizovaného pracoviska

7. Záver

Predložený príspevok predstavil koncepčný návrh robotizácie obslužných úloh existujúceho elektrónovolúčového zváracieho komplexu ZH8. Analýza súčasného manuálneho pracovného cyklu umožnila identifikovať jednotlivé manipulačné a obslužné úlohy a stanoviť požiadavky na ich následnú robotizáciu. Na základe tohto a požiadaviek spomínaného projektu v úvode tohto článku bol pre navrhovanú aplikáciu zvolený silovo-poddajný robot FANUC CRX-30iA. Jeho vhodnosť a zvolené umiestnenie boli overené v simulačnom prostredí FANUC Roboguide, pričom sa posudzovala najmä dosiahnuteľnosť požadovaných manipulačných bodov, kolízne obmedzenia a zachovanie servisného a manuálneho prístupu k zariadeniu. Doterajšia etapa

projektu potvrdila priestorovú realizovateľnosť zvolenej koncepcie a umožnila montáž robota do reálneho pracovného priestoru zariadenia.

Komplexné vyhodnotenie prínosu navrhovanej retrofit robotizácie však bude možné vykonať až po dokončení ďalších integračných etáp. Tie zahŕňajú najmä návrh a realizáciu multifunkčného koncového efektora, integráciu systému dopravy dielov, vytvorenie potrebných komunikačných väzieb a experimentálne overenie a odladenie pracovného cyklu v reálnych podmienkach. Následne bude možné porovnať manuálny a robotizovaný spôsob obsluhy z hľadiska cyklového času, ako aj posúdiť vplyv robotizácie na produktivitu, ergonómiu a prevádzkovú stabilitu pracoviska.

Navrhnutý koncept zároveň predstavuje prvú etapu postupnej automatizácie pracoviska, keďže v rámci tejto práce je uvažovaná robotizácia obslužných činností jednej z dvoch nakladacích komôr. Po experimentálnom overení a odladení riešenia v reálnych podmienkach bude možné princíp robotizovanej obsluhy aplikovať aj na druhú nakladaciu komoru. Výsledkom takéhoto rozšírenia bude plne automatizovaná obsluha zváracieho komplexu ZH8.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná z výzvy Úradu podpredsedu vlády Slovenskej republiky pre Plán obnovy a znalostnú ekonomiku PK 2/2025 - Automatizácia a robotizácia na základe Zmluvy číslo 247/2025.

Literatúra

[1] CHEMWENO, P. - TORN, R.-J. Innovative robotization of manual manufacturing processes. In Procedia CIRP [online]. 2022. Vol. 106, s. 96–101. [cit. 2026-08-11]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122001627>.

[2] ISO 10218-2:2025 Robotics — Safety requirements, Part 2: Industrial robot applications and robot cells.

[3] KAUR, A. et al. Electron beam characterisation methods and devices for welding equipment. In Journal of Materials Processing Technology [online]. 2015. Vol. 221, s. 225–232. [cit. 2026-09-18]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013615000679>.

[4] REISGEN, U. - GACH, S. Electron beam welding. In Advanced Joining Processes [online]. [s.l.]: Elsevier, 2021. s. 35–65. [cit. 2026-09-10]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128207871000024>.

[5] SAHA, T.K. - RAY, A.K. Vacuum - the ideal environment for welding of reactive materials. In Journal of Physics: Conference Series [online]. 2008. Vol. 114, s. 012047. [cit. 2026-09-05]. Dostupné na internete: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/114/1/012047/pdf>.

[6] SIDDHARTH, P.N. - SATHIYA NARAYANAN, C. A review on Electron Beam Welding process. In Journal of Physics: Conference Series [online]. 2020. Vol. 1706, no. 1, s. 012208. [cit. 2026-08-25]. Dostupné na internete: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1706/1/012208/meta>.

automation | technology | engineering | services

Rossum Integration s.r.o.

Brno | Business and development center

I. Zelíska
CEO

M. Černý
CEO

F. Fraňo
CEO

Rossum Integration CZ s.r.o.

Trenčín | Application center and development center

M. Černý
CEO

A. Černý
CEO

NUMBERS

2025

11 mil. €	90	200+	1.300 m^2	2.300 m^2
EST. TURNOVER	EMPLOYEES	INSTALLATIONS	OFFICE	ASSEMBLY

STAFFING

MECHANICAL DESIGN	**15** mechanical engineers
PLC SYSTEM AND ELECTRO DESIGN	**8** PLC programmers **4** Eplan engineers
ROBOTICS	**12** robotic programmers
PROJECT MANAGEMENT	**6** project managers
ASSEMBLY SERVICE	**35** service technicians

INDUSTRY SHARE

AUTOMOTIVE	20%
FOOD	30%
ENGINEERING	20%
ELECTROTECHNICAL	10%
BATTERY	5%
OTHER	10%
SERVICE	5%

Complex industry lines

Robotic manipulation and testing

Automatic visual inspection

Testing devices

Conveyor Bosch system

Manual workstation

Poka-yoke systems

Automatic screwing machines

AUTOMOTIVE

INDUSTRY

AUTOMOTIVE INDUSTRY

Complex industry lines	**Automatic electrobox assembly**
Cycletime	6 sec.
Product definition	Power box for automotive
Quality inspection	Output functional test

Dessaulter system | Leak test | Robotic assembly

AUTOMOTIVE INDUSTRY

Robotic manipulation and testing	**Machining and assembly of braking disc**
Cycletime	22 sec.
Product definition	Riveted breaking disk
Quality inspection	Riveting force control

Riveting Kistler machine | Sugino spindles | Induct heating

Loading/Unloading Machines

Automatic Measurement

Automatic Visual Inspection

Automatic Tool Corrections

Deburring

Robotic manipulation

Testing

Complex industry lines

ENGINEERING

INDUSTRY

ENGINEERING INDUSTRY

Application	Production line
Cycletime	35 s / part
Product	aluminum part
No. of robots	6
No. of Robodrills	10
No. of linear tracks	2

- Bin picking
- Tool changing
- Laser marking
- Machine tending
- Washing
- ISO Clean Room
- Leak testing
- Quality inspection
- Palletization

ENGINEERING INDUSTRY

Application	Production line
Cycletime	60 s / part
Product	steel part
No. of robots	6
No. of CNC machines	5
No. of measuring cells	2

- Bin picking
- Press calibrating
- Machine tending
- Cleaning
- Measuring
- Induction heating
- Quality inspection

Complex food grade automatic lines

End of line palletization

Automatic boxing machines

Automatic wrapping machines

Weighting systems

FOOD

INDUSTRY

FOOD INDUSTRY

End of line palletization **Palletization of BUJ boxes**

Cycletime	21 sec.
Product definition	Bouillon cubes
Quality inspection	Checking integrity of the boxes

AGV | Auomated feeding of interlayers | Robotic palletization

FOOD INDUSTRY

End of line palletization	**Robotic Pal/Depal system with pouring**
Cycletime	6 sec. per crate
Product definition	Loose candies
Quality inspection	Contamination control of crates

Mettler Toledo | Weigthing system | Robotic Palletization

kontrola ultrazvukom

kontrola popálenín

kontrola trhlín

kontrola štruktúry

meranie / kontrola rozmerov

kamerová kontrola kvality povrchu

ROBOT

AKO KONTROLÓR

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Kontrola ultrazvukom
Cyklový čas	20 - 60 s / ks
Produkt	Ložiskové telieska
Počet robotov	2
Kontrola vnútorných chýb	sondy Olympus

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Kontrola popálenín
Cyklový čas	20 - 60 s / ks
Produkt	Ložiskové telieska
Počet robotov	2
Kontrola popálenín	Rollscan 350

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Meranie a kontrola rozmerov
Cyklový čas	30 s / ks
Produkt	Oceľový valec
Počet robotov	2
Meranie rozmerov (10x)	Keyence
Kontrola závitu (2x)	SMAC
Kamerová kontrola (1x)	Keyence

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Kontrola trhlín a štruktúry
Cyklový čas	60 s / ks
Produkt	Oceľový valec
Počet robotov	1
Kontrola trhlín	ibg – optická / crack sonda

- DEMAG
- Robot handling
- NDT - cracks
- NDT - dents
- NDT - structure
- NOK strategy

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Kontrola trhlín a štruktúry
Cyklový čas	60 s / ks
Produkt	Oceľový valec
Počet robotov	1
Kontrola štruktúry	skúšobná / kompenzačná cievka

- DEMAG
- Robot handling
- NDT - cracks
- NDT - dents
- NDT - structure
- NOK strategy

ROBOT AKO KONTROLÓR

Aplikácia	Meranie a kontrola rozmerov
Cyklový čas	2,5 – 9,5 min / ks
Produkt	Kruhový výkovok 300 – 4 200 mm
Počet robotov	1
Meranie rozmerov	Keyence (24 x 15° / 30 x 12°)

MIG / MAG zváranie

oceľ

hliník

brúsenie

ROBOT
AKO ZVÁRAČ

ROBOT AKO ZVÁRAČ

Aplikácia	Robotická zváracia bunka
Technológia zvárania	MIG
Produkt	Hliníkový zvarenec
Počet robotov	1
Polohovadlo	FANUC H-frame

ROBOT AKO ZVÁRAČ

Aplikácia	Robotická zváracia bunka
Technológia zvárania	MIG
Produkt	Oceľové dvere
Počet robotov	1
Polohovadlo	FANUC (3 x)
Koncept	štúdia / simulácia

Material flow analysis

Product design

Offline simulations and analysis

Searching for cost reduction in production

Test and validation of solution

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Personal leasing

Flexible service contract

Remote service control

24/7 servis support

Hot-line

Spare part management

Warranty service

Sales and after sales support

SERVICE

ČO TEDA VIEME ?

Zváranie

učíme sa rýchlo

Meranie a kontrola

kvalitu máme pod kontrolou

Robotika a Automatizácia

skúsenosti premieňame na riešenia

ROSSUM integration SK
Bratislavská 592, Trenčín 911 05

ROSSUM integration CZ
Žarošická 13, Brno 628 00

Tlakové zariadenia podľa smernice 2014/68/EÚ (PED)

Základné požiadavky a posudzovanie zhody

Ing. Martin Desát
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s.

PED v skratke

Čo je potrebné vedieť pred technickými detailmi

Otázka	PED 2014/68/EÚ
Rozsah	Tlakové zariadenia a zostavy s PS > 0,5 bar
Typy zariadení	Nádoby, potrubia, tlakové príslušenstvo, bezpečnostné príslušenstvo a zostavy
Základný princíp	Kategória → modul → splnenie základných bezpečnostných požiadaviek (ESR) → konečné posúdenie
Výsledok	CE označenie + EÚ vyhlásenie o zhode

Na čo sa smernica PED nevzťahuje

Príklady zariadení vylúčených z rozsahu smernice 2014/68/EÚ (PED)

- Diaľkové potrubné vedenia
- Siete na dodávku, rozvod a vypúšťanie vody
- Jednoduché tlakové nádoby
- Aerosólové rozprašovače
- Zariadenia určené na prevádzku vozidiel
- Zariadenia určené na použitie ako zbrane, strelivo alebo vojenský materiál
- Zariadenia osobitne určené na použitie v jadrových zariadeniach
- Zariadenia na ovládanie vrtov
- Vysoké pece a ich komponenty
- Lode, rakety, lietadlá a mobilné zariadenia na mori
- Tlakové zariadenia s ohybným plášťom (pneumatiky, nafukovacie člny, lopty, vzduchové vankúše)
- Tlmiče výfuku a sania
- Fľaše a plechovky na sýtené nápoje
- Vykurovacie telesá teplovodných vykurovacích systémov

Skupina tekutín: Skupina 1 alebo Skupina 2

PED, článok 13 – skupina tekutiny je jedným zo vstupov do kategorizácie

Skupina 1 – nebezpečné látky a zmesi

Vybrané nebezpečné látky a zmesi podľa CLP, napr.:
- výbušné látky
- horľavé plyny, kvapaliny a tuhé látky
- oxidujúce látky
- samozápalné a samovoľne reagujúce látky
- organické peroxidy
- látky reagujúce s vodou za vzniku horľavých plynov
- akútne toxické látky

Skupina 1 zahŕňa aj tekutiny, ak maximálna dovolená teplota zariadenia (TS) prekračuje bod vzplanutia tekutiny.

Skupina 2 – ostatné látky a zmesi

Látky a zmesi, ktoré nepatria do skupiny 1.

Typické príklady podľa konkrétnych podmienok:
- voda
- para
- vzduch
- dusík
- argón
- CO_2

Ak sa nádoba skladá z niekoľkých tlakových priestorov, klasifikuje sa podľa najvyššej kategórie príslušnej pre jednotlivé tlakové priestory.
Ak tlakový priestor obsahuje niekoľko tekutín, klasifikácia sa vykoná podľa tekutiny, ktorá vyžaduje najvyššiu kategóriu.

Ktorú tabuľku prílohy II použiť?

Typ zariadenia → charakter tekutiny → skupina 1/2 → diagram → kategória

Zariadenie	Charakter tekutiny	Skupina 1 (nebezpečné látky a zmesi)	Skupina 2 (ostatné látky a zmesi)
Nádoby	Plyny, skvapalnené plyny, pary	Diagram 1	Diagram 2
Nádoby	Kvapaliny	Diagram 3	Diagram 4
Ohrievané zariadenia	Para / prehriata voda > 110 °C	Diagram 5	Diagram 5
Potrubia	Plyny, skvapalnené plyny, pary	Diagram 6	Diagram7
Potrubia	Kvapaliny	Diagram 8	Diagram 9

Pri kvapalinách rozhoduje tlak pár pri TS:
> 0,5 bar nad atmosférickým tlakom → tabuľky pre plyny/pary
≤ 0,5 bar nad atmosférickým tlakom → tabuľky pre kvapaliny
(referenčný atmosférický tlak = 1,013 bar)

Od parametrov zariadenia k tabuľke, kategórii a modulu

- Diagram č. 1 nádoby určené pre plyny, skvapalnené plyny – skupina 1

Výnimka: nádoby určené pre nestabilné plyny a spadajúce do kategórie I alebo II sú na základe tabuľky výnimočne klasifikované v kategórii III

- Diagram č. 2 – nádoby urečené pre plyny, skvapalnené plyny – skupina 2

Výnimka: Prenosné hasiace prístroje a fľaše pre dýchacie prístroje sa musia výnimočne klasifikovať najmenej v kategórii III.

- Diagram 4 – nádoby určené pre kvapaliny – skupina 2

Výnimka: Zostavy určené na výrobu teplej vody podľa článku 4 ods. 2 druhého pododseku podliehajú buď EÚ skúške typu – Modul B (návrh typu), pokiaľ ide o požiadavky prílohy I bodov 2.10, 2.11, 3.4, 5 písm. a) a 5 písm. d), alebo úplnému zabezpečeniu kvality – Modul H.

- Diagram 5 – Tlakové zariadenia ohrievané s rizikom prehriatia

Výnimka: Návrh tlakových hrncov sa výnimočne podrobí procesu posudzovania zhody ekvivalentnému najmenej jednému z modulov kategórie III.

- Diagram 6 – potrubia určené pre plyny, skvapalnené plyny – skupina 1

Výnimka: Potrubia určené pre nestále plyny a patriace do kategórie I alebo II na základe tabuľky 6 sú výnimočne klasifikované v kategórii III.

- Diagram 7 – potrubia určené pre plyny, skvapalnené plyny – skupina 2

Výnimka: Všetky potrubia obsahujúce tekutiny pri teplote vyššej ako 350 °C a patriace do kategórie II na základe tabuľky 7 sú výnimočne klasifikované v kategórii III.

Moduly posudzovania zhody podľa kategórie

Článok 14 PED

Kategória	Prípustné moduly / kombinácie modulov
I	A
II	A2; D1; E1
III	B (návrh typu)+D; B (návrh typu)+F; B (výrobný typ)+E; B (výrobný typ)+C2; H
IV	B (výrobný typ)+D; B (výrobný typ)+F; G; H1

Výrobca môže použiť aj postup posudzovania zhody určený pre vyššiu kategóriu, ak je pre dané zariadenie použiteľný.

Čo jednotlivé moduly prakticky znamenajú?

Annex III – zjednodušený prehľad

Modul	Princíp posudzovania
A	Vnútorná kontrola výroby – bez zapojenia notifikovanej osoby
A2	Vnútorná kontrola výroby + kontrolované skúšky zariadení v náhodných intervaloch
B	EÚ skúška typu – výrobný typ alebo návrhový typ
C2	Zhoda s typom + kontrolované skúšky zariadení v náhodných intervaloch
D / D1	Zabezpečenie kvality výrobného procesu
E / E1	Zabezpečenie kvality výrobku
F	Zhoda s typom založená na overovaní tlakového zariadenia
G	Overovanie jednotlivého tlakového zariadenia
H	Úplné zabezpečenie kvality
H1	Úplné zabezpečenie kvality a preskúmanie návrhu

Modul B sa vždy kombinuje s následným modulom pre fázu výroby. Ostatné prípustné moduly môžu predstavovať samostatný postup posudzovania zhody podľa príslušnej kategórie.

Technické jadro PED

Modul určuje spôsob posúdenia, ESR určujú požiadavky, ktoré musí tlakové zariadenie spĺňať

Návrh
Výpočtová metóda alebo experimentálna metóda

Materiály

Výroba

Trvalé spoje

NDT
Nedeštruktívne skúšanie

Konečné posúdenie

Certifikáty zváračov, operátorov a NDT personálu musia jednoznačne preukazovať príslušnú kvalifikáciu, rozsah oprávnenia a tam, kde to PED vyžaduje, schválenie príslušnou treťou stranou podľa prílohy I bodov 3.1.2 a 3.1.3.

Pre zvárané tlakové zariadenia sú kľúčové najmä požiadavky na trvalé spoje, NDT, materiály a konečné posúdenie.

PED a harmonizované normy

PED 2014/68/EÚ

Stanovuje právne záväzné základné bezpečnostné požiadavky (ESR)

HARMONIZOVANÁ NORMA

Ak je jej referencia normy uverejnená v Úradnom vestníku EÚ a je správne použitá, poskytuje predpoklad zhody s ESR, ktoré pokrýva.

INÉ TECHNICKÉ RIEŠENIE

Použitie harmonizovanej normy nie je povinné. Výrobca však musí preukázať splnenie príslušných ESR iným technickým riešením.

Príklady: EN 13445 – nevyhrievané tlakové nádoby • EN 13480 – kovové priemyselné potrubia • ďalšie harmonizované materiálové a výrobné normy

Vždy je potrebné overiť aktuálnu referenciu harmonizovanej normy uverejnenú v Úradnom vestníku EÚ.

Analýza nebezpečenstiev a hodnotenie rizík

Identifikované nebezpečenstvá a riziká sa musia zohľadniť pri návrhu a výrobe.

Nebezpečenstvo	Možný následok	Opatrenie na zníženie rizika	Príklad dôkazu
Pretlak	Porušenie tlakovej obálky	Návrh + ochrana proti prekročeniu dovolených limitov	Výpočet / nastavenie bezpečnostného príslušenstva
Porucha zvaru	Únik/porušenie zariadenia	WPS/WPQR + kvalifikácia personálu + NDT	WPQR/WPS / certifikáty / NDT protokoly
Nevhodný materiál	Krehký lom / strata pevnosti	Výber materiálu s ohľadom na PS a TS	Materiálová špecifikácia / PMA / výpočet
Korózia	Zníženie hrúbky steny	Vhodný materiál + kontroly	Výpočet / materiálová špecifikácia

Výrobca musí vykonať a zdokumentovať analýzu nebezpečenstiev a hodnotenie rizík a jej výsledky zohľadniť pri návrhu a výrobe tlakového zariadenia.

PED nepredpisuje konkrétnu metódu hodnotenia rizík (napr. FMEA).

Materiály pre tlakové časti

Kontrolná otázka	Čo musí byť preukázané
Vhodnosť materiálu	Vlastnosti materiálu zodpovedajú PS, TS, médiu a návrhovým podmienkam
Špecifikácia materiálu	Materiál vo výpočte = výkres = kusovník (BOM) = skutočne použitý materiál
Materiálová dokumentácia	Materiálový dokument podľa EN 10204 a príslušných požiadaviek PED
Materiálová špecifikácia podľa PED	Harmonizovaná norma STN EN 12516-1, STN EN 13445-2... / EAM / PMA podľa konkrétneho prípadu

Hlavné tlak namáhané časti zariadení kategórie II, III a IV: dokumentácia materiálu musí mať formu certifikátu špecifickej kontroly výrobku (príloha I, bod 4.3).

PMA – Osobitné posúdenie materiálu (Particular Material Appraisal)

Keď materiál nie je pokrytý harmonizovanou normou

ČO JE PMA?

Posúdenie vhodnosti konkrétneho materiálu na použitie v tlakovom zariadení, ak sa nepoužije materiál podľa harmonizovanej normy alebo EAM.

ČO SA OVERUJE?

Chemické a mechanické vlastnosti, teplotný rozsah, húževnatosť, dodací stav a údaje pre návrhový výpočet.

CATEGORY III–IV

PMA konkrétneho materiálu vykonáva notifikovaná osoba zodpovedná za posudzovanie zhody daného tlakového zariadenia.

EN 10204 3.1 ≠ PMA: Certifikát 3.1 dokladuje výsledky kontroly dodaného materiálu; PMA posudzuje vhodnosť materiálu pre konkrétnu PED aplikáciu.

PMA musí byť konzistentné s materiálom uvedeným vo výpočte, výkresovej dokumentácii a s návrhovými podmienkami PS a TS.

Trvalé spoje – PED príloha I, 3.1.2

Požiadavky na postupy a personál vykonávajúci trvalé spoje

- Trvalé spoje a priľahlé oblasti nesmú obsahovať povrchvé ani vnútorné chyby, ktoré by mohli nepriaznivo ovplyvniť bezpečnosť zariadenia.
- Vlastnosti spojov musia dosahovať minimálne vlastnosti spájaných materiálov, pokiaľ návrhový výpočet nezohľadňuje iné relevantné hodnoty.
- Časti prispievajúce k tlakovej odolnosti zariadenia a časti priamo k nim spojené musia byť spájané vhodne kvalifikovaným personálom podľa vhodných pracovných postupov.
- Pre tlakové zariadenia kategórie II, III a IV musia byť pracovné postupy a personál schválené kompetentnou treťou stranou.
- Kompetentnou treťou stranou môže byť notifikovaná osoba (NoBo) alebo uznaná organizácia tretej strany.

Schválenie postupov a personálu musí byť jednoznačne preukázateľné príslušným certifikátom alebo schvaľovacím dokumentom s identifikáciou schvaľujúcej tretej strany, rozsahu kvalifikácie a väzbou na PED 2014/68/EÚ, prílohu I, bod 3.1.2.

NDT zvarových spojov

Rozdiel medzi kvalifikáciou personálu a schválením podľa PED

Kategória I–II

NDT musí vykonávať
vhodne kvalifikovaný personál.

Kategória III–IV

NDT personál musí byť navyše schválený
uznanou organizáciou tretej strany

Pri audite: metóda • rozsah • postup • personál • kritéria prípustnosti • protokol • sledovatelnosť

Kat. III–IV: samotná kvalifikácia personálu (napr. podľa ISO 9712) nie je totožná so schválením požadovaným PED podľa prílohy I, bodu 3.1.3.

Tepelné spracovanie po zváraní

PED 2014/68/EÚ – príloha I, bod 3.1.4

- Ak výrobný proces môže zmeniť vlastnosti materiálu v rozsahu, ktorý by mohol ohroziť bezpečnosť zariadenia, musí sa vo vhodnej fáze výroby vykonať vhodné tepelné spracovanie.
- Pri PWHT sa overujú požadované parametre podľa materiálu, hrúbky, WPS/WPQR a aplikovanej normy.
- Záznam o PWHT má umožniť overiť najmä teplotu, čas výdrže, rýchlosť ohrevu a chladenia a identifikáciu výrobku.
- Meracie zariadenia a termočlánky musia byť **vhodné, riadené a podľa potreby kalibrované/overované**.

Konečné posúdenie

Overenie hotového tlakového zariadenia

Konečná kontrola

Kontrola dokumentácie + vizuálna kontrola hotového zariadenia

Tlaková skúška

Spravidla hydrostatická tlaková skúška

Bezpečnostné zariadenia

Pri zostavách kontrola bezpečnostných zariadení podľa potreby

Hydrostatický skúšobný tlak PT musí dosiahnuť minimálne vyššiu z nasledujúcich hodnôt:
PT ≥ 1,25 × tlak zodpovedajúci maximálnemu prevádzkovému zaťaženiu alebo PT ≥ 1,43 × PS.

Použije sa vyššia z oboch hodnôt.

Konečné posúdenie potvrdzuje, že hotové tlakové zariadenie spĺňa príslušné požiadavky PED.

Technická dokumentácia

Kontroluje sa nielen existencia dokumentov, ale aj vzájomná zhoda údajov.

- Výkresy, schémy, opis zariadenia a návrhové / pevnostné výpočty
- Analýza nebezpečenstiev a rizík a identifikácia aplikovateľných ESR
- Použité normy a technické špecifikácie
- Materiálové certifikáty, PMA/EAM podľa potreby a sledovateľnosť materiálov
- WPS, WPQR, kvalifikácie zváračov, operátorov a zváracieho dozoru
- NDT postupy, kvalifikácie personálu a protokoly
- Konečná kontrola, tlaková skúška/skúška tesnosti, štítok a EÚ vyhlásenie o zhode

Záznamy a korešpondencia týkajúce sa postupov posudzovania zhody sa vypracujú v úradnom jazyku členského štátu, v ktorom je usadený orgán zodpovedný za vykonávanie týchto postupov, alebo v jazyku, ktorý tento orgán akceptuje.

Archivácia: EÚ vyhlásenie o zhode + technická dokumentácia → 10 rokov od uvedenia zariadenia/zostavy na trh.

EU prehlásenie o zhode

1. **Identifikácia tlakového zariadenia alebo zostavy**: typ, číslo výrobku/výrobnej dávky alebo sériové číslo
2. **Výrobca**: meno/názov a adresa výrobcu, prípadne splnomocneného zástupcu
3. **Zodpovednosť výrobcu**: vyhlásenie sa vydáva na výhradnú zodpovednosť výrobcu
4. **Predmet vyhlásenia**: opis a identifikácia zariadenia/zostavy + použitý postup posudzovania zhody
   - *pri zostave aj opis zariadení tvoriacich zostavu a použitých postupov*
5. **Súlad s legislatívou EÚ:** vyhlásenie, že predmet je v zhode s príslušnými harmonizačnými právnymi predpismi Únie – napr. smernicou 2014/68/EÚ (PED).
6. **Použité normy / technické špecifikácie**: odkazy na harmonizované normy alebo iné technické špecifikácie
7. **Notifikovaná osoba – ak je relevantné**: názov, adresa a identifikačné číslo, vykonané posúdenie zhody, číslo vydaného certifikátu a podľa potreby odkaz na príslušný certifikát.
8. **Doplňujúce informácie a podpis:** Podpísané za a v mene, miesto a dátum vydania, meno, funkcia a podpis oprávnenej osoby.

EÚ vyhlásenie o zhode vypracúva a podpisuje výrobca. Vypracovaním vyhlásenia výrobca preberá zodpovednosť za zhodu zariadenia alebo zostavy s požiadavkami PED.

Označovanie a štítok

Na všetkých tlakových zariadeniach:

- rok výroby,
- označenie tlakového zariadenia v súlade s jeho charakterom, ako je označenie typu, série alebo výrobná dávka a výrobné číslo,
- dôležité maximálne/minimálne prípustné limity.

Podľa typu zariadenia, ďalšie informácie:

- objem **V [l]**
- menovitý rozmer **DN**
- skúšobný tlak **PT [bar]**
- nastavený tlak bezpečnostného zariadenia
- výkon **[kW]**
- napájacie napätie **[V]**
- stupeň plnenia **[kg/l]**
- maximálna hmotnosť obsahu **[kg]**
- hmotnosť prázdneho zariadenia **[kg]**
- skupina tekutiny

CE značka

- CE označenie sa umiestňuje po úspešnom posúdení zhody a pred uvedením zariadenia alebo zostavy na trh.
- Musí byť viditeľné, čitateľné a nezmazateľné; umiestňuje sa na zariadenie alebo jeho výrobný štítok.
- Vyjadruje, že výrobca preberá zodpovednosť za zhodu výrobku s príslušnými požiadavkami PED.
- Za CE označením nasleduje identifikačné číslo notifikovanej osoby, ak je zapojená do fázy kontroly výroby.
- Minimálna výška CE označenia je 5 mm

3 možnosti označenia podľa PED

1. Bez CE označenia – SEP: Tlakové zariadenia a zostavy podľa čl. 4 ods. 3 – správna technická prax (SEP) → CE označenie podľa PED sa neumiestňuje

2. CE bez čísla notifikovanej osoby: napr. kategória I – modul A, bez účasti NoBo vo fáze kontroly výroby → CE

3. CE + číslo notifikovanej osoby: Ak je NoBo zapojená do fázy kontroly výroby → CE 0XXX

Najčastejšie nedostatky z praxe

Čo sa oplatí skontrolovať ešte pred auditom alebo posudzovaním zhody

Oblasť	Typický nedostatok
PS / TS	Údaje na štítku, vo výpočte a v technickej dokumentácii nie sú konzistentné
Materiál	Výkres, výpočet, materiálový certifikát a PMA/EAM nie sú vzájomne konzistentné
WPQR / WPS	Rozsah kvalifikácie WPQR nepokrýva skutočné výrobné zvary
Personál	Neplatná alebo nevyhovujúca kvalifikácia, prípadne chýbajúce schválenie podľa PED
NDT	NDT protokol nemá jednoznačnú väzbu na konkrétny zvar/výrobok alebo chýbajú požadované údaje
Konečné posúdenie	Nejasný skúšobný postup, skúšobný tlak, kritériá prípustnosti alebo neplatná kalibrácia meradiel

Ďakujem za pozornosť

Otázky?

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

SLOVAK FAMILY COMPANY

MORE THEN 1100 PROJECTS

MORE THEN 25 YEARS

MORE THAN 80 EMPLOYEES

10,44 MILION € TURNOVER

SK / CZ / DE / PL / ES / FR / LA / HU

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

ROBOTIC WELDING

Mig/Mag
Tig
Laser

ROBOTIC SPOT WELDING

Resistance welding
Riveting

COLABORATIVE ROBOTIC WELDING

Mig/Mag
Tig

ROBOTIC WELDING ACCESSORIES

Welding jigs
Control jigs
Positioners
Sliders

MANUAL WELDING

Mig/Mag
Tig
MMA
Stud welding
Laser

RESISTANCE WELDING

Spot welding
Projection welding

WELDING MECHANIZATION

Mig/Mag
Tig
Orbital welding

WELDING ACCESSORIES

Fume extraction systems
Positioners
Balancers

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Online programming

Problem

The initial challange for operators is understanding coordinate systems
Programming trajectories is time- consuming

Solution

Joy Pen
Suitable for simple welding workstations or mobile cells
Built-in gyroscopic and motion sensor

Tablet
Using an iPad with Lidar sensor, measurement and welding trajectories
can be generated directly from the scanned object

Offline programming (VC)

Universal compatibility with any robot system
Fast and accurate robot programming
Zero Production downtime
Feasibility and availability verification
Advanced simulation and digital twin
Automatic Path solver
Faster commissioning and higher productivity

Arc technology

Synchrofeed

Process enables stable, high-speed welding through synchronized control of wire feeding and welding current, ensuring excellent arc stability and weld quality

AC/MIG

Process enables high-speed, high-quality welding with low heat input through precise control of DC+ and DC- polarity

D-ARC

Process enables highly efficient single-layer welding of thick materials with wire feed speeds of up to 100 m/min and welding currents of up to 1000 A

Plasma welding

Sensors

Problem

Variations in the dimensions of individual workpieces
Insufficient preparation quality for robotic welding
Significant dimensional deformations during the welding process

Solution

Touch sensor
Arc sensor
Offline laser sensor
Online tracking laser sensor

All functions integrated into a single control system- simple and intuitive to operate

The first real welding cobot

High trajectory accuracy optimal for welding
User friendly programming/teaching
High frequency resistance (TIG)
Spatter proof design
High durability, dust and spraywater protection
Complete OTC welding portfolio applicable

Easily Automate Robotic Welding (EASY ARC)

Compact mobile design (space saving, flexible and cost effective)
Easy operation with a simple control system
Industrial-grade, reliable robot with high precision, ensuring consistent welding quality
Professional welding power source
MIG/MAG and TIG welding
Option to add external axes
Supplied with CE documentation to ensure safety compliance
All products from a single manufacturer ensure seamless communication and integration

The solution for industrial-standard mass production

Two fixed tables for mounting clamping fixtures
Reversible 180° indexing table for mounting clamping fixtures
Two horizontal rotary positiones (250,500,1000 kg)
2-station horizontal rotary positioner (250,500,1000 kg)

How we implement a robotic workstation?

Scope of the project:

Welding of oversized structure

Slider of own construction

Torch cleaning stations

Positioner of own construction

Robot + PLC programming

Training

Product:

Chassis under Crone trailers

Scope of the project:

Robotic 3D cutting with plasma

Slider of own construction

Air filtration unit

Robot + PLC programming

Training

Product:

Mining products

Scope of the project:

Welding of oversized structures

Slider of own construction

Torch cleaning station

Laser search sensor

Robot + PLC programming

Training

Product:

Horizontal boring mill

Scope of the project:

Taking care of hundreds of OTC robots

MIG + TIG welding robots + accessories

Service of robots OTC

Training of staff

Product:

Parts for KIA & Hyundai

Scope of the project:

Complete MIG + TIG welding cell

Exchange system between TIG + MIG torch

Robot + PLC programming

Training

Offline programming

Product:

Different large welded structures

Scope of the project:

Laser welding cell

Automatic changing system laser welding /

3D cutting head

Universal welding jigs – large variety of products

Product:

Electrical boxes

Scope of the project:

Complete MIG welding cells

Welding robots implementation

Torch cleaning stations

Positioners

Welding jigs

HMI display

Programming, PLC programming

Product:

Seat frames for JLR, PSA

Scope of the project:

MIG welding with laser sensor

Two station welding with slider

Welding of large structure

Positioners

Robot + PLC programming

Training

Product:

Agriculture machine parts

Scope of the project:

Complete MIG welding cells

Welding robot implementation

Two station welding cell

Torch cleaning station

Compact cell with automatic rolling doors and Welding jigs

HMI panels + visualization

Programming, PLC programming

Product:

Car body parts

Scope of the project:

Complete spot welding cell

Welding robots implementation

Spot gun cleaning stations

Camera inspection for spot gun

Welding jigs

HMI panels + visualization

Programming, PLC programming

Product:

Car body parts

Scope of the project:

Complete riveting cells

Riveting robots implementation

Riveting gun implementation

Feeding system for rivets

Gun cleaning station

Riveting fixtures and PLC programming

HMI panels + visualization

Product:

Car body parts

Scope of the project:

Compact TIG welding cell

With additional material

Welding jigs

Compact cell with automatic rolling doors

PLC + robot programming

Training

Product:

Boiler, Heat pumps

Scope of the project:

Complete robotic welding cell

1 welding robot with accessory

2 working station

Cleaning stations

Robot + PLC programming

Training

Product:

Parts for dental chairs

Scope of the project:

Complete robotic welding cells

MIG / MAG welding

Implementation of 2 robots into each cell

Welding jigs integration

Robot + PLC programming

Training

Product:

Products for construction industry

Scope of the project:

Two Yaskawa robot integration

Fronius welding sources with CMT

Large 2 ton positioner

PLC + robot programming

Training

Product:

Parts for heavy industry

Scope of the project:

Four robot integration

Two sliders, one built in pavement

30 m long sliders

2 Large 4 ton positioners

Construction of welding jigs

PLC + robot programming and Training

Product:

Cargo containers

Scope of the project:

Complete robotic welding cells

1 welding robot on track

MIG/MAG welding technology

Robot + PLC programming

Training

Product:

Fence

Scope of the project:

2 welding robots integration

1 slider with manipulation

30 m long slider

2 positioners for manual grinding

PLC + robot programming and

Training

Product:

Cabins

Scope of the project:

Complete robotic welding cell

1 welding robot with accessory

2 working station

Cleaning stations

Robot + PLC programming

Training

Product:

Parts for train

Scope of the project:

Complete robotic welding cell

1 welding robot

1 positioner

Mig welding technology

Robot + PLC programming

Training

Product:

Parts for roller coasters

Scope of the project:

Complete robotic welding cell

1 welding robot

1 positioner

MIG/MAG welding technology

Robot + PLC programming

Training

Welding Jigs

Product:

Parts for roller coasters

Design and construction of jigs

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

CNC MACHINING

2X3 axis CNC MACHINE

1X5 AXIS CNC MACHINE

1X LATHE MACHINE

PROFESIONAL STAFF

Customer welding tests

Thanks to our welding engineers, we can provide our customers with special welding test reports.

CE Certification in Progress

AMR+ Collaborative robot integration
EU Market Readiness (CE standard)
Multi technology Application
Suitable for welding on large structures
Position correction using a laser sensor
AI-Powered Guideless Navigation
Easy to configure

Partners

+421 911 034 679
robotec@robotec.sk

Hlavná 3
038 52 Sučany
Slovenská Republika

Využitie TFM pri PAUT

Matúš Geľatko[1], Michal Hatala[1], Tomáš Coranič[1], Svetlana Radchenko[1], Radoslav Vandžura[1], František Botko[1]
[1]Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešove

Abstrakt

Príspevok popisuje nedeštruktívne testovanie zvarov metódou PAUT (Phased Array Ultrasonic Testing). Hlavným cieľom je overenie výhod metódy TFM (Total Focusing Method), interpretovaných na konkrétnom príklade kontroly zvarového spoja, pri ktorom metódy UT a PAUT narážajú na obmedzenia, spôsobené jeho geometriou. Riešená problematika predstavuje prínos pre oblasť nedeštruktívneho testovania zvarov a nadobudnutie nových poznatkov pre vedeckú a pedagogickú činnosť.

Úvod

Technologický vývoj prináša komplexné a sofistikované riešenia do všetkých oblastí moderného priemyslu, čo zahŕňa aj metódy nedeštruktívneho testovania. Najvýraznejší pokrok posledných rokov predstavuje metóda testovania ultrazvukom Phased Array, čo potvrdzuje jej rozšírená implementácia do reálnej praxe [1]. Základný princíp tejto metódy spočíva vo využití snímača s väčším počtom meničov (elementov), v počte 16, 32, 64, 128... Konkrétny počet aktívnych meničov, využitých pri identifikácii (apertúra), závisí od požiadaviek kontroly. Zobrazenie indikácií štandardne zahŕňa lineárny L-scan pre priamy UT zväzok a sektorový S-scan pre uhlový zväzok, pričom je možné využiť aj doplňujúce zobrazenia (B-scan, C-scan...). V zjednodušenom vyjadrení sú tieto zobrazenie vytvorené spojením jednotlivých A-scanov pre každý element (uhol). Časovým oneskorením budenia je možné tvarovať samotný zväzok v podobe jeho fokusovania, či smerovania [2]. Prínosným rozšírením Phased Array testovania je metóda TFM, ktorá umožňuje detailnejšiu interpretáciu získaných dát, vyššie rozlíšenie a jednoduchšie pochopenie výskytu indikácii v sledovanej oblasti hodnoteného materiálu. Princíp spočíva v zbere dát (FMC – Full Matrix Capture), v rámci ktorého každý z aktívnych elementov fokusuje do bodov rastra indexovanej oblasti na základe zvoleného rozlíšenia. Odozvu z týchto bodov prijíma každý ďalší element, čo v konečnom dôsledku znamená, že pri sonde s 32 elementami a aktívnou apertúrou využívajúcou všetky elementy, pracuje sonda v režime 32 vysielačov a 1024 A-skenov. Surové dáta získané pomocou FMC následne TFM spracováva do digitálnej podoby pre ich interpretáciu na zobrazovacom zariadení. Pri aplikácii je dôležité poznať oblasť záujmu v rámci hodnotenej geometrie a na základe toho zvoliť vhodný „Wave Set“ [3].

Obr.1 Fokusovanie a smerovanie zväzku pri PA metóde a zber dát pri FMC (TFM)

Nasledujúci obrázok interpretuje zobrazenie 3 bočných valcových vývrtov v referenčnej vzorke v podobe zobrazenia S-scanu Phased Array metódy a v podobe END zobrazenia indexovanej oblasti TFM metódy. Výhodou oboch metód je tiež ukladanie dát s následným vyhodnocovaním pomocou softvéru, s možnosťou zmien uhlov, zobrazení, či zosilnenia.

Obr.2 S-scan PA metódy a END zobrazenie TFM metódy

1. Definovanie problému

Potenciálny prínos TFM metódy pri PAUT testovaní bol overený na ½ V zvaroch nosníka z materiálu S690QL, ktoré boli vytvorené na dĺžke 180 mm, po 2 kusy na 2 protiľahlých stranách na oboch koncoch (spolu 8 zvarov). PT skúška na okraji zvarov ukázala indikácie v koreni, kvôli čomu bolo potrebné overiť integritu zvarov po celej dĺžke.

Obr. 3 Geometria zvaru a indikácie PT skúšky

2. Kalibrácia zariadenia

Pri PAUT testovaní bol použitý prístroj OLYMPUS OmniScan X3 v konfigurácii 32:128 a na záznam dát bol pripojený enkodér Phoenix C-CLAMP s rozlíšením 65,6 kr./mm. V rámci PAUT metódy predchádza kalibrácii „Scan Plan“, ktorý definuje skúšanú geometriu, použitú sondu, jej parametre a príslušenstvo. Pre identifikáciu bola použitá sonda s 32 elementami a 5 MHz frekvenciou, implementovaná na uhlovú predsádku s referenčným uhlom 57°. Pre PA režim bolo použitých 32 elementov v rozsahu uhlov 42–72° s projekčnou fokusáciou na okraj zvarového kovu pod uhlom 45°. Následná kalibrácia zahŕňala nastavenie časovej základne (ČZ), oneskorenia predsádky, citlivosti a tvorbu TCG (Time Corrected Gain) krivky. Pre TFM režim indexovaná oblasť ohraničovala zvar v jeho priereze s rozlíšením zberu dát (FMC) 0,17 mm a zvolený „Wave Set“ bol selektovaný so zameraním na koreň zvaru (TT). Kalibrácia zahŕňala nastavenie citlivosti tvorbou TCG krivky v indexovanej oblasti. Počas identifikácie pomocou oboch režimov bola zaznamenaná dĺžka zvaru 180 mm s inkrementom enkodéra 1 mm. Nasledujúci obrázok tiež interpretuje obmedzenie v dosahu PA metódy, ktoré by mohlo nastať pod vplyvom dotyku čelnej plochy predsádky s okrajom krycej vrstvy, bez možnosti ďalšieho pohybu sondy bližšie k ose zvaru.

Obr. 4 Scan Plan pre meranie zvaru metódami PA a TFM

2. Testovanie zvarov

Pre interpretáciu meraných dát pomocou PA testovania bola použitá kombinácia klasického A-scanu (amplitúdové zobrazenie), S-scanu (sektorové zobrazenie zväzku) a C-scanu (pôdorysný pohľad na hodnotenú oblasť). Obr. 5 interpretuje meranie zvarov A1 a A4. Je zjavné, že zvar A1 je bez chýb vo zvare. Indikácia na S-scane zodpovedá tvarovému echu od protiľahlej hrany na obvode nosníka. Vo zvare A4 boli identifikované prevažne priečne chyby v koreni po celej dĺžke 71° uhlom, čo zodpovedá okraju uhlového rozsahu. Ich pozíciu a veľkosť kolmo na os zvaru nebolo možné určiť z dôvodu obmedzeného dosahu zväzku.

Obr. 5 Zobrazenie identifikácie zvarov A1 a A4 PA metódou

Pri TFM testovaní bola pre interpretáciu meraných dát použitá kombinácia zobrazení END (pohľad do osi zvaru), SIDE (bokorysný pohľad na hodnotenú oblasť) a TOP (pôdorysný pohľad na hodnotenú oblasť). Pre porovnanie Obr. 6 zobrazuje identifikácie bezchybného zvaru A1 a zvaru s koreňovými chybami A4. Tu je zjavné, že pri vhodnej kalibrácii TFM režimu je možné získať relevantnejšie výsledky.

Obr. 6 Zobrazenie identifikácie zvarov A1 a A4 TFM metódou

Pozíciu a veľkosť spomínaných indikácií v smere kolmom na os zvaru je možné hodnotiť pri TOP zobrazení v rámci TFM režimu. Táto jednoznačná výhoda voči PA režimu sa prejavila pri porovnaní TOP a C-scan zobrazení, interpretovanom na nasledujúcom Obr. 7.

Obr. 7 Porovnanie TOP (TFM) a S-scan (PA) zobrazení zvaru A4

Záver

Na základe popísaných výsledkov je možné skonštatovať nasledujúce dôležité závery:

- PAUT umožňuje testovanie zvarov, kde je UT metóda obmedzená rozsahom ČZ z hľadiska počtu krokov a minimálnej vzdialenosti skenovania kolmo na os zvaru.
- TFM prináša identifikáciu defektov pri komplikovaných geometriách, kde je PAUT metóda obmedzená uhlovým rozsahom zväzku.
- TFM nemožno chápať ako komplexnú náhradu, ale rozšírenie metód PAUT a UT.
- Vedecký a akademický prínos príspevku spočíva v nadobudnutí nových poznatkov v oblasti metód UT, PAUT a TFM.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-25-0272 a VV-MVP-24-0190. Príspevok vznikol v rámci riešenia projektov VEGA 1/0551/26 and KEGA 004TUKE-4/2026. Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Výskum pokročilých technológií zvyšovania efektívnosti viacvalentných energetických systémov pre trvalo udržateľný rozvoj priemyslu, kód ITMS21+: 401101C504, spolufinancovaného Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Rozvoj excelentných výskumných kapacít v oblasti aditívnych technológií pre Priemysel 21 storočia, kód ITMS: 313011BWN5, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] Abdollahi-Mamoudan, F., Ibarra-Castanedo, C., & Maldague, X. P. (2025). Non-destructive testing and evaluation of hybrid and advanced structures: a comprehensive review of methods, applications, and emerging trends. Sensors, 25(12), 3635.

[2] Xu, Q., & Wang, H. (2022). Sound field modeling method and key imaging technology of an ultrasonic phased array: A review. Applied Sciences, 12(16), 7962.

[3] Deutsch, K., Roye, W., Rast, H., & Benoist, P. (2016, August). High resolution phased array imaging using the total focusing method. In Proceedings of the 19th World Conference on Non-Destructive Testing. Munich, Germany (Vol. 8).

ZARIADENIE PZ EBW MINI URČENÉ NA ELEKTRÓNOVO-LÚČOVÉ ZVÁRANIE KOMPONENTOV S ROTAČNÝMI ZVARMI

Slavomír LIPÁR[1], Tomáš FODREK[2], Kamil BACIGAL[3], Roman DAROVEC[4]
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

[1]ORCID: 0000-0002-2528-9053, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia
[2]ORCID: 0000-0001-6534-8321, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia
[3]ORCID: 0009-0005-5256-5075, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia
[4]ORCID: 0000-0002-7570-864X, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Slovakia

Abstrakt:
Elektrónovo-lúčové zváranie umožňuje vytvárať kvalitné a presné zvarové spoje, napriek tomu je často vnímané ako finančne náročná technológia. Pri menších súčiastkach však nemusí byť hlavným problémom samotné zváranie, ale neefektívne využívanie veľkej vákuovej komory a čas potrebný na prípravu procesu. Z týchto skúseností vznikla koncepcia kompaktného zváracieho zariadenia PZ EBW MINI, určeného pre rotačné zvary do priemeru 300 mm. Jej cieľom je spojiť malý objem komory, jednoduchšie zváracie prípravky a kratší výrobný cyklus.

Príspevok nadväzuje na koncepciu predstavenú v roku 2025 [7] a opisuje jej postupné rozpracovanie do konkrétneho konštrukčného riešenia. Vákuová komora už prechádza výrobou, navrhnutý je mechanizmus pohybu elektrónového dela a pokračuje riešenie rámu, vákuového systému a ďalších častí zariadenia. Dôležitým smerovaním je modulárne usporiadanie, ktoré má umožniť prispôsobenie zariadenia rôznym zákazkám aj spôsobom začlenenia do výroby.

Kľúčové slová: elektrónovo-lúčové zváranie, PZ EBW MINI, vákuová komora, rotačné zvary, modulárna konštrukcia, efektivita zvárania

Abstract:
Electron beam welding enables the production of high-quality, precise welded joints, yet it is often perceived as an expensive technology. For smaller components, however, the main challenge may lie not in the welding operation itself, but in the inefficient use of a large vacuum chamber and the time required for process preparation. These practical considerations led to the concept of PZ EBW MINI, a compact welding system designed to produce circular welds up to 300 mm in diameter. Its aim is to combine a small chamber volume with simpler welding fixtures and a shorter production cycle.

This paper builds on the concept presented in 2025 [7] and describes its progression towards a detailed engineering design. The vacuum chamber is already being manufactured, the electron gun positioning mechanism has been designed, and development of the frame, vacuum system and other machine subsystems is ongoing. A key design objective is a modular configuration that allows the system to be adapted to different production requirements and integrated into various manufacturing environments.

Keywords: electron beam welding, PZ EBW MINI, vacuum chamber, circular welds, modular design, welding efficiency

1 Úvod

Pri náročných súčiastkach nerozhoduje iba to, či sa dajú zvariť, ale aj to, akú kvalitu spoja dokážeme dosiahnuť. Dôležitá môže byť jeho pevnosť, tesnosť aj zachovanie rozmerovej presnosti dielu. Elektrónovo-lúčové zváranie umožňuje vytvárať hlboké a úzke zvary s malým tepelným ovplyvnením okolia, často na jeden prechod a bez prídavného materiálu. Uplatnenie preto nachádza v sériovej produkcii, ale aj pri výrobe unikátnych dielov a prototypov [1, 2].

Podobne ako laserové zváranie patrí medzi technológie, ktoré dokážu presne sústrediť energiu do miesta zvaru. Jedným z dôležitých rozdielov pri ich bežnom priemyselnom použití je pracovné prostredie. Zatiaľ čo laserové zváranie sa často uskutočňuje za atmosférického tlaku, elektrónovo-lúčové zariadenia opisované v tomto článku využívajú vákuum [1-3]. To obmedzuje kontakt roztaveného kovu s plynmi okolitej atmosféry a vytvára priaznivé podmienky na dosahovanie kvalitných zvarov [1, 2].

Praktický význam vhodnej voľby technológie ukazujú aj skúsenosti spoločnosti PRVÁ ZVÁRAČSKÁ s vybranými tlakovo liatymi hliníkovými súčiastkami. Ich zváranie môže komplikovať vnútorná pórovitosť a nečistoty pochádzajúce z procesu odlievania [4]. Pri niektorých z týchto dielov sa elektrónovým lúčom podarilo dosiahnuť kvalitnejšie zvary než pri skúšaných laserových postupoch, vrátane splnenia požiadaviek skúšok tesnosti. Nejde teda o to, ktorá technológia je všeobecne lepšia, ale ktorá dokáže spoľahlivo splniť požiadavky konkrétnej súčiastky.

Vákuum je tak jednou z technologických výhod elektrónovo-lúčového zvárania, jeho vytvorenie však vyžaduje čas a technické vybavenie. Pri menších súčiastkach sa práve táto príprava môže stať významnou časťou celého výrobného cyklu. Vzniká preto otázka, ako zachovať výhody zvárania vo vákuu a súčasne obmedziť čas a náklady potrebné na jeho dosiahnutie. Práve táto otázka je jedným z východísk vývoja PZ EBW MINI.

Spoločnosť PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., sa dlhodobo venuje vývoju a používaniu elektrónovo-lúčových zváracích zariadení. V jej strojovom parku sa nachádzajú jednoúčelové zariadenia určené na opakovanú výrobu určitého sortimentu aj univerzálne zariadenia využívané pri výskume, kusovej a malosériovej výrobe. Rozdiely medzi nimi nespočívajú iba vo veľkosti, ale aj v spôsobe manipulácie so súčiastkami, vnútornom vybavení komory a možnostiach prispôsobenia konkrétnej zákazke. Cena zvárania preto nezávisí iba od samotného zvaru. Ovplyvňuje ju aj to, aké zariadenie použijeme a ako efektívne dokážeme využiť jeho možnosti.

Materiál, tvar súčiastky a požadovaný počet kusov bývajú vo veľkej miere určené zákazníkom. Zákazníkovi, ktorý potrebuje zvariť dva prototypy, nemôžeme jednoducho povedať, aby priniesol tisíc kusov, pretože by sa nám lepšie využívala vákuová komora. Čo však ovplyvniť môžeme, je výber zariadenia a spôsob organizácie zváracieho procesu. Práve týmto smerom sa uberá vývoj PZ EBW MINI.

V roku 2025 bola predstavená jeho základná koncepcia [7]. Dnes už nejde iba o predstavu možného usporiadania stroja. Pôvodná myšlienka sa postupne premieňa na výrobnú dokumentáciu, konkrétne mechanizmy a prvé vyrobené diely.

2 Elektrónovo-lúčové zváranie

Vytvorenie elektrónového lúča je výsledkom činnosti viacerých navzájom prepojených systémov. Ich súčasťou sú generátory, elektrické vedenia, regulačné prvky a ďalšie

komponenty. Jedným z najdôležitejších prvkov je elektrónové delo, ktorého úlohou je vytvoriť a usmerniť elektrónový lúč. Pri jeho dopade na zváraný materiál sa energia lúča premieňa na teplo [1, 2].

Na vytvorenie kvalitného zvaru však nestačí iba dodať dostatočné množstvo energie. Dôležité je aj to, ako presne a účinne sa táto energia sústredí do miesta zvaru.

Prenesene sa to dá prirovnať ku kvalitným šošovkám v ďalekohľade. Lepšie šošovky umožnia vytvoriť ostrejší obraz. Podobne aj vhodne navrhnuté elektrónové delo a správne nastavenie lúča umožňujú sústrediť energiu tam, kde je potrebná, a obmedziť zbytočné ohrievanie okolia [1, 2, 5]. Výsledkom môžu byť kvalitné zvary pri menšom tepelnom ovplyvnení súčiastky a menších deformáciách. Pri vhodnej kombinácii materiálu, geometrie a parametrov procesu sa tým môže znížiť aj potreba následného opracovania.

Ďalšou zásadnou súčasťou opisovaných elektrónovo-lúčových zariadení je vákuové prostredie. Súčiastky sa zvárajú vo vákuovej komore, v ktorej sa potrebný tlak dosahuje a udržiava pomocou čerpacieho systému. Vákuum je teda neoddeliteľnou súčasťou procesu, ale zároveň prináša požiadavky na konštrukciu zariadenia a organizáciu výroby [1, 2].

3 Opis problematiky

Vákuová komora má po vyrobení určitý tvar a rozmery. Pri veľkých súčiastkach predstavujú tieto rozmery jasné obmedzenie: ak sa zvarenec do komory nezmestí, potrebujeme väčšie zariadenie alebo iné riešenie.

Pri malých súčiastkach je problém opačný. Do veľkej komory sa síce zmestia bez problémov, ale často využijú iba malú časť jej priestoru. Napriek tomu je potrebné pri každom cykle odčerpať celú komoru. Ak samotné zváranie trvá krátko, môže príprava vákuového prostredia tvoriť významnú časť celkového výrobného času.

Požiadavky zákazníkov sú pritom veľmi rôznorodé. Dopytované súčiastky majú rozmery od približne 10 mm až po viac ako 1 000 mm. Líšia sa tvarom zvaru, materiálom, požiadavkami na tolerancie a tesnosť, ale aj množstvom — od jedného kusu po státisícové série. Zariadenie, ktoré je veľmi efektívne pri jednej skupine zákaziek, preto nemusí byť najvhodnejšie pri inej.

Obr. 1 Zvárané súčiastky alebo súčiastky dopytované na možnosti zvárania

Pri pohľade na dopyty od zákazníkov je možné vidieť, že ich požiadavky sú rôzne a tomu potom zodpovedá aj voľba zváracieho zariadenia. PRVÁ ZVÁRAČSKÁ má celkovo 7 elektrónovo-lúčových zváracích zariadení. Základom každého z týchto zariadení je minimálne jedna vákuová komora, určitá konfigurácia vákuového systému a elektrónové delo s generátormi.

Zariadenia ZH5, ZH6, ZH7, ZH8 sú principiálne a konštrukčne veľmi podobné jednoúčelové stroje, optimalizované na konkrétny sortiment. Zváranie iných súčiastok je na nich možné iba v rozsahu, ktorý dovoľuje ich konštrukcia a spôsob manipulácie.

Obr. 2 Jednoúčelové elektrónovo-lúčové zváracie zariadenie ZH8

Zariadenia ZH3 a ZH4 majú komory s objemom približne 0,65 m³. Významný rozdiel spočíva v ich vnútornom vybavení. ZH3 využíva zváracie kolotoče pre sériovú výrobu, zatiaľ čo ZH4 má polohovací XY stôl a univerzálnejšie využitie.

Obr. 3 Vľavo - univerzálne zváracie zariadenie ZH4, Vpravo – vnútorné vybavenia do komôr

Univerzálne zariadenie PZ ELZA UNI má vákuovú komoru s objemom približne 3 m³. Je vybavené XY polohovacím stolom a ponúka variabilné vnútorné usporiadanie, polohovanie a naklápanie elektrónového dela aj pozorovanie v osi lúča. Práve jeho flexibilita bola dôvodom, prečo sa s ním pri riešení rôznorodých zákazníckych dopytov často uvažovalo.

Obr. 4 Univerzálne elektrónovo-lúčové zváracie zariadenie PZ ELZA UNI

4 Diskusia

Veľkoobjemové zariadenie, ako je PZ ELZA UNI, má pri vhodných zákazkách významné výhody. V pôvodnom článku boli uvedené možnosti zvárania zvarencov do veľkosti 1 500 mm a hmotnosti 2 000 kg. Manipulácia s takýmito dielmi je náročná a dlhší čas môže vyžadovať aj samotné zváranie. Hodnota polotovarov býva vysoká, takže náklady na prípravu a realizáciu zvaru môžu predstavovať primeranú časť hodnoty výslednej súčiastky.

Obr. 5 Znázornenie veľkosti zvarencov: súčiastky prirovnané ku postave človeka

Pri malých súčiastkach je situácia odlišná. Samotný zvar môže byť hotový za niekoľko sekúnd alebo minút, zatiaľ čo čerpanie veľkej komory trvá podstatne dlhšie. V príkladoch rozoberaných pri pôvodnej koncepcii išlo približne o 15 až 30 minút. Ak sa na jedno čerpanie zvára iba jedna malá súčiastka, krátky čas zvárania sa preto nemusí výraznejšie prejaviť na celkovej dĺžke cyklu.

Zákazník potom môže nadobudnúť dojem, že elektrónovo-lúčové zváranie je drahé. V tomto prípade však veľkú časť nákladov nevytvára samotný zvar, ale neefektívne využitie zariadenia — obrazne povedané, plytvanie vákuom.

Preto pri menších súčiastkach často vzniká otázka: Koľko ich dokážeme umiestniť do komory a zvariť na jedno čerpanie?

Jedným z riešení sú viacnásobné zváracie prípravky. Príkladmi sú prípravky pre 160 alebo 180 kolíkov s priemerom 13 mm, rotačné prípravky so 16 hniezdami pre menšie dýzy a kolotoče pre päť súčiastok s priemerom približne 300 mm alebo desať súčiastok s priemerom približne 200 mm. Tieto príklady názorne ukazujú snahu využiť priestor komory čo najefektívnejšie.

Obr. 6 Príklady viacnásobných zváracích prípravkov

Viacnásobné prípravky však prinášajú ďalšie náklady. Treba ich navrhnúť, vyrobiť, zmontovať, nastaviť a pripraviť pre ne zvárací program. Pri rotačných súčiastkach môžu vyžadovať ďalšie mechanizmy, pohony alebo snímače. Väčšie prípravky bývajú ťažké, komplikujú manipuláciu a zaberajú miesto pri skladovaní. Pri malých zákazkách môže byť návratnosť takejto investície problematická.

Znamená to, že veľké univerzálne zariadenie je nevhodné alebo málo efektívne? Nie. Znamená to, že každé zariadenie má určitý rozsah zákaziek, pri ktorých dokáže svoje prednosti využiť najlepšie.

Podobný princíp vidíme aj pri stavebných strojoch. Veľký bager je vhodný na rozsiahle zemné práce, ale pri menšom výkope v obmedzenom priestore môže byť výhodnejší minibager. Nejde o to, ktorý stroj je všeobecne lepší. Ide o správny stroj pre konkrétnu úlohu. Rovnaká úvaha stojí aj za potrebou doplniť elektrónovo-lúčový strojový park o menšie zariadenie.

Obr. 7 Demonštrácia potreby viacerých veľkostí zariadení rovnakého druhu

5 Riešenie – PZ EBW MINI

5.1 Od základnej myšlienky ku konkrétnym dielom

PZ EBW MINI vzniká ako kompaktné elektrónovo-lúčové zváracie zariadenie pre rotačné zvary do priemeru 300 mm. Základná myšlienka zostáva rovnaká: namiesto prispôsobovania malej zákazky veľkej komore prispôsobiť zariadenie menším súčiastkam. Menší objem komory a jednoduchšie upínanie majú vytvoriť predpoklady na skrátenie prípravy procesu a zníženie nákladov na zváranie.

Cieľom nie je nahradiť univerzálne zariadenia ani viacnásobné prípravky vo všetkých prípadoch. PZ EBW MINI má doplniť možnosti existujúceho strojového parku, najmä pri menších rotačných súčiastkach, prototypoch a kusovej či malosériovej výrobe. Pôvodná koncepcia pritom počítala aj s možnosťou sériového využitia.

Prvý 3D model z roku 2025 slúžil predovšetkým na vysvetlenie tejto myšlienky [7]. Ukazoval približné usporiadanie, princíp fungovania a vzájomné rozmiestnenie hlavných častí. Nebol ešte kompletným konštrukčným riešením.

Rozdiel medzi vtedajším a dnešným stavom sa dá prirovnať k rozdielu medzi vizuálnym konceptom automobilu a jeho rozpracovaním do výrobných výkresov. Základná predstava môže zostať zachovaná, ale postupne je potrebné vyriešiť jednotlivé spoje, pohyby, uloženia a montážne detaily.

Aktuálny 3D model PZ EBW MINI už slúži aj ako podklad na tvorbu konkrétnej technickej a výrobnej dokumentácie. Niektoré zostavy sú navrhnuté a ich diely sa vyrábajú, zatiaľ čo ďalšie časti sa ešte konštrukčne rozpracúvajú.

Obr. 8 Pôvodná koncepcia vľavo a vpravo rozpracovanie detailného 3D modelu elektrónovo-lúčového zváracieho zariadenia PZ EBW MINI

5.2 Vákuová komora – základ zariadenia už vzniká vo výrobe

Základom PZ EBW MINI je kompaktná vákuová komora s tvarom približujúcim sa kocke a s pripojovacími otvormi na jednotlivých stranách. Takéto usporiadanie vytvára možnosti pripojenia elektrónového dela, vákuových komponentov, uzáverov a ďalšieho vybavenia podľa požadovanej konfigurácie.

Vákuová komora má vonkajšie rozmery 425 × 425 × 425 mm a jej objem vrátane pripojovacích priestorov je približne 60 litrov. To predstavuje približne päťdesiatinu objemu komory zariadenia PZ ELZA UNI, ktorá má približne 3 m³. Tento rozdiel vysvetľuje základný smer návrhu, neznamená však automaticky rovnaké skrátenie času čerpania.

Dôležitá nie je iba veľkosť komory. Pôvodný návrh zdôrazňoval aj obmedzenie materiálov nevhodných do vákua, zbytočných dutín, špár a komplikovaných vnútorných mechanizmov. Zámerom je čo najjednoduchšie vnútorné usporiadanie, menšie množstvo povrchov a dobrá prístupnosť pri čistení.

Materiálom vákuovej komory je nehrdzavejúca oceľ. Tá sa vo veľkej miere používa aj pri návrhu a výrobe ďalších súčastí prichádzajúcich do styku s vákuom, napríklad prírub, redukcií, priechodiek, záslepiek, potrubí a príslušných častí mechanizmu pohybu elektrónového dela. Dôvodom je obmedzenie korózie a uľahčenie čistenia vnútorných povrchov. Spolu s vhodným konštrukčným riešením a pravidelnou údržbou má táto materiálová voľba vytvoriť predpoklady na dlhodobo čisté vákuové priestory a krátke, opakovateľné časy čerpania [6].

Vákuová komora je už konštrukčne navrhnutá, jej diely sú vyrobené a časť zvarov je dokončená. Zaujímavosťou je, že sa zvára elektrónovým lúčom na zariadení PZ ELZA UNI. Väčšie univerzálne zariadenie tak pomáha vytvárať svojho menšieho budúceho kolegu.

Súbežne prebieha výroba vybraných prírub, redukcií, prechodiek a záslepiek. Projekt sa tým posúva od virtuálneho návrhu k fyzickým komponentom.

Obr. 9 Vákuová komora PZ EBW MINI – 3D CAD návrhy hore, proces výroby dole

5.3 Spodné otváranie a manipulácia so súčiastkou

Jednou z charakteristických vlastností pôvodného návrhu je umiestnenie pracovného uzáveru na spodnej strane komory. Na tomto uzávere sa nachádza rotačný mechanizmus, na ktorý sa upevňuje zvárací prípravok so súčiastkou.

Pri otvorení a pohybe uzáveru smerom nadol sa súčiastka vysunie z komory do priestoru prístupného pre manipuláciu. Po založení ďalšieho dielu sa uzáver vráti do pracovnej polohy a komoru uzavrie. Základná predstava teda spája otváranie komory s premiestnením zvarenca medzi pracovným a obslužným priestorom.

Tento princíp zostáva súčasťou koncepcie. Konkrétne varianty spodného uzatvárania však predstavujú aj priestor na ďalší vývoj, pretože spôsob zakladania dielov nemusí byť pri každom použití rovnaký.

Obr. 10 Zjednodušený popis a princíp činnosti PZ EBW MINI

5.4 Pohyb elektrónového dela a možnosti jeho umiestnenia

Variabilita komory umožňuje uvažovať s rôznymi polohami elektrónového dela. Pri bočnej montáži je koncepcia určená na obvodové zvary, pri montáži zhora na čelné zvary rotačných súčiastok. Táto možnosť bola súčasťou už pôvodného návrhu.

Dôležitým východiskom boli aj skúsenosti spoločnosti s elektrónovým delom umožňujúcim pozorovanie v osi lúča. Možnosť pozorovania v osi lúča patrila medzi dôležité východiská pri návrhu kompaktnej koncepcie.

Aktuálne je už navrhnutý mechanizmus pohybu elektrónového dela, ktorý bude možné montovať na bočnú alebo hornú stranu komory. Jeho jednotlivé komponenty sa vyrábajú a nakupované diely sú objednané.

Práve na tejto zostave je dobre viditeľný posun oproti prvému konceptu. Nejde už iba o zakreslenie približnej polohy dela, ale o konkrétny mechanizmus rozpracovaný do podoby určenej na výrobu a montáž.

Obr. 11 Mechanizmus pohybu elektrónového dela: 3D CAD model hore a vybrané vyrobené diely dole

Obr. 12 Možnosti polohy montáže elektrónového dela v závislosti od požadovaného typu zvaru – delo zboku vľavo, delo zhora vpravo

5.5 Vákuový systém

Základný princíp vákuového systému zostáva podobný ako pri existujúcich zariadeniach. Predvákuový systém vytvorí podmienky pre činnosť vysokovákuovej časti. Pôvodná koncepcia uvažovala s kombináciou rotačnej a Rootsovej vývevy pre predvákuum a s difúznou vývevou pre vysoké vákuum.

V aktuálnom návrhu sa počíta s difúznou vývevou veľkosti DN 400 a s predvákuovým čerpacím standom spoločnosti Pfeiffer Vacuum. Konkrétna zostava vákuových komponentov ani presné typové označenie standu ešte nie sú definitívne uzavreté. V predvákuovom systéme sa naďalej posudzuje využitie obtokového systému na vyrovnávanie tlakov. Cieľom je umožniť prevádzku predvákuových vývev bez opakovaného vypínania a skrátiť prípravu procesu. Konkrétne usporiadanie a jeho prevádzkové prínosy budú predmetom ďalšieho vývoja a overovania.

Pri voľbe komponentov sa zohľadňujú nielen požiadavky samotnej komory, ale aj prevádzkové a servisné súvislosti. Zjednotenie vybraných riešení s existujúcimi zariadeniami má vytvoriť predpoklady na jednoduchšiu údržbu a lepšiu využiteľnosť technického zázemia.

Označenie MINI preto neznamená, že každý komponent musí byť čo najmenší. Základom je malý pracovný objem a vhodne usporiadaný proces, pričom jednotlivé podsystémy sa vyberajú aj s ohľadom na praktické používanie zariadenia.

Obr. 13 Vákuový systém PZ EBW MINI

Cieľom vákuového systému je skrátiť čas prípravy procesu tak, aby sa pri menších súčiastkach lepšie využila krátka doba samotného zvárania. Skutočný čas čerpania a dosiahnuteľnú dĺžku pracovného cyklu však bude potrebné vyhodnotiť na zostavenom zariadení. Vývojovým cieľom je dosiahnuť čas čerpania približne 90 sekúnd do úrovne tlaku vhodného na zváranie.

5.6 Modulárne usporiadanie – princíp stavebnice

Dôležitým smerovaním projektu je modulárnosť. PZ EBW MINI nemá byť navrhnuté iba ako jedna pevne daná zostava, ale ako základ, ktorý bude možné podľa potreby rôzne doplniť alebo usporiadať.

Obrazne možno hovoriť o princípe stavebnice. Základná komora zostáva, ale mení sa jej vybavenie, poloha elektrónového dela, usporiadanie vákuových komponentov alebo spôsob manipulácie so súčiastkami. Cieľom je, aby zmena zákazky či požiadaviek výroby nemusela automaticky znamenať návrh úplne nového stroja.

S tým súvisí aj riešenie nosného rámu a uchytenia komory. Tieto časti sú zatiaľ v štádiu návrhu a postupne sa rozpracúvajú do konkrétnej konštrukčnej podoby. Aktuálny model preto predstavuje priebežný stav vývoja, nie uzavreté vyhotovenie všetkých zostáv.

Modulárny princíp má význam aj pri začlenení zariadenia do výroby. Jednou z možností je samostatné pracovisko obsluhované operátorom. Ďalším smerom môže byť robotické zakladanie dielov alebo začlenenie do výrobnej linky. Práve rôzne varianty spodného uzatvárania môžu vytvoriť priestor na prispôsobenie manipulačnej časti týmto spôsobom použitia.

Nejde zatiaľ o opis hotových automatizovaných variantov, ale o smerovanie návrhu. Zámerom je ponechať priestor na ich budúce konštrukčné dopracovanie.

Obr. 14 Koncepčné varianty začlenenia PZ EBW MINI do výroby: obsluha operátorom vľavo, usporiadanie pre výrobnú linku v strede a robotická obsluha vpravo

6 Záver

Koncepcia PZ EBW MINI vznikla zo skúseností so zváraním menších súčiastok vo veľkých vákuových komorách. Ukázalo sa, že pri týchto zákazkách nemusí byť hlavným zdrojom nákladov samotné zváranie, ale čas potrebný na prípravu vákuového prostredia a náročnosť prípravkov potrebných na efektívne využitie komory.

Základná odpoveď zostáva rovnaká ako pri predstavení pôvodnej koncepcie: menšia komora, jednoduchšie upínanie a zariadenie prispôsobené konkrétnemu segmentu súčiastok. Očakávaným výsledkom je kratší výrobný cyklus a ekonomicky priaznivejšie zváranie aj pri menších zákazkách.

Oproti roku 2025 sa však projekt posunul do konkrétnejšej podoby. Vákuová komora už prechádza výrobou a zváraním, mechanizmus pohybu elektrónového dela je navrhnutý a jeho komponenty sa vyrábajú alebo obstarávajú. Súčasne pokračuje konštrukčné riešenie rámu, uchytenia komory a zostavy vákuového systému.

Ďalším dôležitým smerom je modulárne usporiadanie. To má umožniť prispôsobovanie zariadenia rôznym zákazkám, servisným požiadavkám aj spôsobom začlenenia do výrobného procesu.

PZ EBW MINI zatiaľ nie je dokončeným a prevádzkovo overeným zariadením. Predstavuje však už viac než iba vizuálny koncept. Ďalší postup bude smerovať k dokončeniu návrhu, montáži, odskúšaniu a vyhodnoteniu skutočných prevádzkových parametrov.

Cieľom nie je nahradiť veľké zváracie zariadenia malými. Cieľom je mať k dispozícii správne zariadenie pre správnu zákazku — aby malá súčiastka nemusela automaticky znamenať veľkú komoru, komplikovaný prípravok a dlhú prípravu zvárania.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy o realizácii projektu APVV-20-0103. Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Výskum pokročilých technológií zvyšovania efektívnosti viacvalentných energetických systémov pre trvalo udržateľný rozvoj priemyslu, kódITMS21+:401101C504, spolufinancovaného Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Rozvoj excelentných výskumných kapacít v oblasti aditívnych technológií pre Priemysel 21 storočia, kód ITMS:313011BWN5, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] SCHULTZ, H. Electron Beam Welding. Cambridge: Abington Publishing / Woodhead Publishing, 1994. ISBN 1-85573-050-2.

[2] REISGEN, U.; GACH, S. Electron beam welding. In: DA SILVA, L. F. M.; EL-ZEIN, M. S.; MARTINS, P. A. F. (eds.). Advanced Joining Processes: Welding, Plastic Deformation, and Adhesion. Elsevier, 2021, pp. 35-65. DOI: 10.1016/B978-0-12-820787-1.00002-4.

[3] GILLNER, A.; PETRING, D.; OLOWINSKY, A. Laser joining. In: DA SILVA, L. F. M.; EL-ZEIN, M. S.; MARTINS, P. A. F. (eds.). Advanced Joining Processes: Welding, Plastic Deformation, and Adhesion. Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-820787-1.00001-2.

[4] LI, D.; SLATER, C.; CAI, H.; HOU, X.; LI, Y.; WANG, Q. Joining Technologies for Aluminium Castings - A Review. Coatings. 2023, 13(5), 958. DOI: 10.3390/coatings13050958.

[5] KAUR, A.; RIBTON, C.; BALACHANDARAN, W. Electron beam characterisation methods and devices for welding equipment. Journal of Materials Processing Technology. 2015, 221, pp. 225-232. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2015.02.024.

[6] JOUSTEN, K. (ed.). Handbook of Vacuum Technology. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2016. ISBN 978-3-527-41338-6. DOI: 10.1002/9783527688265.

[7] LIPÁR, S.; FODREK, T.; DŘÍMAL, D.; KOVÁČ, Ľ. Design concept of an electron beam welding system for executing rotational welds up to 300 mm in diameter. In: Proceedings of the International Conference “Welding Technology 2025 – Technology of Industrial Development of European Union”. Bratislava: PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., 5 November 2025. ISBN 978-80-8096-311-8.

Vplyv lokálnej ohybovej tuhosti na únavové vlastnosti zvarových spojov vysokopevných ocelí

Miloš Mičian, Martin Frátrik, Žilinská univerzita, Strojnícka fakulta

Abstrakt

Zváranie uzavretých tenkostenných profilov z vysokopevných ocelí (ako je napr. S960MC) je limitované vznikom výrazných pozdĺžnych deformácií, ktoré sú dôsledkom vysokej úrovne tepelných napätí a nízkej ohybovej tuhosti materiálu. Jedným z technologických riešení na elimináciu tohto javu je zámerná geometrická modifikácia plechov (vytváranie rôznych prelisov, ohybov a pod.) pred zváraním, ktorá lokálne zvyšuje kvadratický moment prierezu. Tieto neštandardné konštrukčné detaily však nie sú klasifikované v normatívnych odporúčaniach z pohľadu únavy (napr. IIW) a vplyv takto vneseného geometrického vrubu na únavovú životnosť nie je dostatočne preskúmaný. Príspevok prezentuje experimentálne hodnotenie statických a únavových vlastností modifikovaných spojov z 3 mm hrubej ocele Strenx 960MC zvarených robotickou metódou MAG. Kým statická pevnosť spojov dosahuje uspokojivé hodnoty (až do R_m = 996 MPa pre variant L), únavové skúšky pri axiálnom zaťažení (R = 0,1) preukázali pokles únavovej odolnosti. Experimentálne stanovená medze únavy pre tieto dva typy spojov boli stanovené na úrovni 16,60 MPa a 45,77 MPa (pri sklone m = 3). Fraktografická analýza potvrdila, že únavový lom iniciuje v mieste superpozície vrubového účinku zvaru a geometrického prelisu. Výsledky potvrdzujú, že geometrická modifikácia účinne potláča výrobné deformácie, pre dynamicky namáhané konštrukcie si však vyžaduje zásadnú optimalizáciu tvaru prelisu a minimalizáciu koncentrácie napätí.

Kľúčové slová: S960MC, pozdĺžne deformácie zvarov, geometrická modifikácia, únavová životnosť, koncentrácia napätia.

1. Úvod

Moderný priemysel, najmä výroba mobilných konštrukcií akými sú železničné vozidlá, výložníky žeriavov či ramená bagrov, neustále tlačí na znižovanie hmotnosti pri zachovaní alebo zvýšení nosnosti. Odpoveďou materiálových inžinierov je použitie vysokopevných nízkolegovaných ocelí (HSLA ocelí), ako napríklad S960MC, ktorá ponúka medzu klzu blížiacu sa k 1000 MPa [1-3]. Avšak prechod od masívnych konštrukcií k tenkostenným profilom z HSLA ocelí prináša do zváračskej praxe technologické komplikácie, ktoré sa klasickými postupmi riešia obťažne.

Zváranie týchto materiálov naráža na dva vzájomne prepojené, no konvenčnými technológiami ťažšie riešiteľné problémy. Prvým je samotná metalurgia HSLA ocelí. Tieto materiály získavajú svoje výnimočné vlastnosti vďaka termomechanickému spracovaniu, ktoré vytvára jemnozrnnú martenziticko-bainitickú štruktúru. Vnesenie tepla pri zváraní túto nerovnovážnu štruktúru nenávratne poškodzuje, čo vedie k vzniku tzv. mäkkej zóny (soft zone) v teplom ovplyvnenej zóne (TOO) [4-6]. Striktné obmedzenie vneseného tepla je preto nevyhnutnosťou, samozrejme nesmie to ísť na úkor vzniku necelistvostí z dôvodu nenatavenia hrán zvarového spoja.

Druhým, z hľadiska priemyselnej praxe často vnímaným ako bezprostrednejší problém, je deformácia tenkostenných konštrukcií. Tenké plechy majú extrémne nízku ohybovú tuhosť. Aj pri relatívne nízkom vnesenom teple vznikajú v okolí zvaru tlakové zvyškové napätia, ktoré pri tenkých plechoch rýchlo vyvolajú stratu ich tvarovej stability a následné vybočenie. [7, 8]. Výsledkom sú charakteristické „banánové“ efekty deformácie a zvlnenie zváraných dielov.

Následné rovnanie je pri HSLA oceliach kritický problém – termické spôsoby rovnania sú normatívne zakázané kvôli degradácii štruktúry a mechanické rovnanie je pri medzi klzu 960 MPa technologicky náročné.

Keďže tradičné metódy znižovania deformácií pri zváraní (striedavé nanášanie húsenice, vratný krok a pod.), sú pri kontinuálnych jednohúsenicových zvaroch na tenkých plechoch nepraktické a komplikujú robotizáciu, môžu sa uplatniť konštrukčné riešenia [9]. Zaujímavou alternatívou je geometrická modifikácia zvarových hrán procesom tvárnenia za studena (ohraňovaním) pred samotným procesom zvárania . Fyzikálny princíp tohto riešenia spočíva vo vytvorení vhodného lemu, kedy sa hmota materiálu oddiali od neutrálnej osi plechu. Keďže ohybová tuhosť rastie s treťou mocninou výšky prierezu, aj malý prelis radikálne zvýši odolnosť okraja plechu voči deformácii spôsobenej zváraním. Hoci geometrické požiadavky na podobné za studena tvarované spoje pokrývajú normy pre statické zaťaženie (napr. EN 1993-1-8, AWS D1.1 či AISC 360) [10-12], ich únavové správanie v tenkostenných HSLA konštrukciách nie je dostatočne preskúmané.

V našej experimentálnej štúdii sme sa zamerali na dva typy takto upravených plechov:

- Variant "S" (preplátovaný spoj s prelisom): Geometrická modifikácia spočívala v tvárnení jedného z plechov za studena tak, aby sa eliminovala excentricita spoja a lícne plochy zostali v jednej rovine. V tejto konfigurácii sa mohol aplikovať kútový zvar.
- Variant "L" (úkosový lemový spoj): Jeden z plechov bol za studena ohnutý o 90° s vnútorným polomerom ohybu 10 mm, čím sa vytvorili podmienky na aplikáciu polovičného lemového zvaru.

Obr. 1 Schéma geometricky modifikovaných spojov – preplátovaný spoj s prelisom – Variant S (vľavo) a úkosový lemový spoj – Variant L (vpravo).

2. Materiály a metódy

Experimentálny materiál použitý v tejto štúdii bol 3 mm hrubý plech z ocele S960MC. Chemické zloženie a mechanické vlastnosti základného materiálu sú uvedené v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Chemické zloženie základného materiálu S960MC (objem. %).

C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Al**	**Nb**	**V**
0.085	0.18	1.06	0.01	0.003	0.036	0.002	0.007
Ti	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**N**	**B**	**Fe**
0.026	0.01	1.08	0.07	0.109	0.005	0.0015	bal.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti základného materiálu S960MC

	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{50mm} [%]
EN ISO 10149-2	min. 960	980-1250	min. 7,0
Vlastné meranie	1030	1067	11,2

Oba varianty boli zvárané ako jednovrstvové metódou 138 s robotickým ramenom KUKA VKR 250 a zváracím zariadením Fronius TransPuls Synergic 4000 CM. Ako prídavný materiál bola použitá plnená elektróda s metalickou náplňou Böhler X96 L-MC a ochranná atmosféra M21. Parametre zvárania (tab. 3) boli zhodné pre oba varianty a optimalizované tak, aby vnesené teplo čo najmenej ovplyvnilo základný materiál vzhľadom na jeho hrúbku, pri zachovaní celistvostí spoja (bez prítomnosti chýb natavenia na hranách spoja).

Tab. 3 Parametre zvárania experimentálnych zvarových spojov.

Napätie U (V)	Prúd I (A)	Rýchlosť zvárania (mm.s ^{1})	Rýchlosť podávania drôtu (m.min ^{1})	Vnesené teplo Q_p (kJ.mm ^{1})
17,9	153	7	5,5	0,31

Na obr. 2 sú dokumentované pohľady na pracovné miesto zvárania a uchytenie oboch variantov zvarových spojov na zvárací stôl pred zváraním. Zároveň je do obrázku vložená makrosnímka zvarového spoja.

Obr. 2 Zostavenie plechov pred zváraním – preplátovaný spoj s prelisom – Variant S (vľavo) a úkosový lemový spoj – Variant L (vpravo).

2.1. Statická skúška ťahom v priečnom smere

Statické ťahové skúšky sa vykonávali na zváraných spojových vzorkách v súlade s EN ISO 6892-1 pri kvázistatickej miere deformácie 0,005 s ^{1}. Tvar skúšobného telesa zodpovedal geometrii vzorky pre cyklické skúšky (obr. 3). Pre každú konfiguráciu boli testované dve vzorky v stave po zváraní bez akýchkoľvek povrchových úprav.

Obr. 3 Rozmery skúšobného telesa.

2.2. Únavové skúšky

Vzorky na skúšku únavy boli pripravené rezaním vodným lúčom, rezné hrany boli zabrúsené a vyleštené, pričom celková geometria povrchu zvaru zostala nezmenená. Rozmery skúšobných telies zodpovedali rozmerom použitým pri statickej skúške ťahom (pozri obr. 3). Vzorky boli skúšané v režime cyklického zaťažovania ťah-ťah s pomerom napätí R = 0,1 ($\sigma_{min}/\sigma_{max}$) a frekvenciou zaťažovania f = 15 Hz na zariadení Instron 8802. Nominálna amplitúda napätia sa vypočítala na základe čistej plochy prierezu vzorky. Vzorky boli zaťažované až do okamihu porušenia alebo do dosiahnutia počtu cyklov $N_f = 10^7$.

Charakteristická únavová pevnosť a prislúchajúca FAT hodnota boli stanovené zo strednej S-N krivky (= 50%) paralelným posunom k nižším životnostiam o dve smerodajné odchýlky, čo v súlade s návrhovými odporúčaniami Medzinárodného inštitútu zvárania - IIW zodpovedá 97,7 % pravdepodobnosti spoľahlivosti (= 97,7%).

3. Analýza výsledkov

V tab. 4 sú uvedené výsledky zo statickej skúšky ťahom v priečnom smere doplnené o výsledky základného materiálu.

Tab. 4 Výsledky ťahovej skúšky zvarových spojov

Typ spoja	Medza klzu $R_{p0,2}$ (MPa)	Medza pevnosti R_m (MPa)	Ťažnosť A (%)	Miesto lomu
Základný materiál	1030	1067	11,2	-
Variant "S"	568	695	1,80	TOO
Variant "L"	910	996	1,20	TOO

Variant "S" stratil výraznú časť svojej statickej únosnosti (pokles medze pevnosti o takmer 35 % oproti základnému materiálu). Znížená tuhosť tohto geometrického usporiadania spôsobila, že pri ťahovom namáhaní dochádzalo k masívnemu lokálnemu ohybu v oblasti zvaru, čo viedlo k rýchlej deštrukcii v mäkkej zóne TOO. Naopak, pri variante "L" sa dosiahla medza pevnosti 996 MPa, čím spĺňa normové požiadavky na oceli S960MC, hoci ťažnosť klesla na minimum. Dôvodom nízkej ťažnosti je koncentrácia celej makro-plastickej deformácie do úzkej soft zóny, čo je podporené asymetriou spoja. Skúšobné teleso teda nedosiahlo stav rovnomerného predĺženia na meranej dĺžke, ale k lomu došlo predčasne v tomto najslabšom mieste celej TOO.

3.1. Únavová životnosť

Zatiaľ čo statická pevnosť je základom, dôležitým kritériom pri návrhoch mobilných konštrukcií je únava materiálu. Pre tvarovo upravené spoje, kde neexistujú jasné návrhové tabuľky (tzv. FAT triedy podľa IIW), je experimentálne overenie nevyhnutné. Na obr. 4 sú znázornené S-N krivky zvarových spojov „Variant S“ (vľavo) a „Variant L“ (vpravo). Zároveň v tab. 5 sú uvedené výsledky štatistického vyhodnotenia únavových skúšok.

Fig. 4 S-N krivky zvarového spoja „Variant S“ (vľavo) a „Variant L“ (vpravo).

Tab. 5 Štatistické vyhodnotenie únavových skúšok zvarových spojov (normalizované na R=0.5).

	Počet vzoriek	Voľný sklon krivky m_{var} [-]	Smerodajná odchýlka m_{var} [-]	Medza únavy pre m_{var} $\Delta\sigma_{c,97.7\%}$ [MPa]	Medza únavy pre m = 3 $\Delta\sigma_{c,97.7\%}$ [MPa]
Variant "S"	9	3,10	0,11	17,27	16,60
Variant "L"	11	3,57	0,67	53,23	45,77

Spoj "S" pri únavových testoch zlyhal. Jeho charakteristická medza únavy dosiahla úroveň iba 16,60 MPa (tab. 5). Táto hodnota je kriticky nízka, nedosahuje ani polovicu hodnoty najnižšej triedy FAT 36 (platnej pre šírenie trhliny od koreňa zvaru). Pre náš prípad iniciácie trhliny od líca zvaru by normatívne prislúchala dokonca ešte vyššia požiadavka FAT 63. Tento spoj je pre dynamicky namáhané štruktúry nevhodný.

Spoj "L" vykazoval pri únavových skúškach výrazne lepšie hodnoty. Medza únavy dosiahla hodnotu 45,77 MPa, čo je cca o 176 % viac oproti predošlému variantu. Táto hodnota už prekračuje konzervatívny prah FAT 36 (zvarový spoj bez NDT kontroly) a ukazuje, že túto geometriu je možné použiť aj pre konštrukcie s cyklickým zaťažením.

3.2. Fraktografia lomových plôch

Po únavových skúškach sa vykonala fraktografická analýza pomocou REM. Pri oboch spojoch iniciovala únavová trhlina na povrchu v oblasti prechodu zvarového kovu do TOO (obr. 5). Zásadný rozdiel v dosiahnutej únavovej pevnosti spočíva v samotnej makrogeometrii zvaru. Metalografický rozbor ukázal, že zvarový spoj – variant S má mimoriadne ostrý prechod medzi zvarom a základným materiálom (polomer len 140 μm a strmý uhol napojenia cca 120°). Toto miesto pôsobí ako ostrý vrub, na ktorom sa masívne koncentruje napätie. Naviac, prelis v tvare "S" pri ťahovom zaťažení spôsobuje, že sily nepôsobia v jednej línii. Vzniká lokálny ohybový moment, ktorý prídavným ťahovým napätím extrémne zaťažuje to miesto, kde sa nachádza tento ostrý prechod. Táto kombinácia (ostrý vrub + prídavný ohyb) spôsobuje rýchle iniciovanie trhliny.

Oproti tomu zvarový spoj – variant L vytvoril pri zváraní oveľa plynulejší prechod (polomer 295 μm a uhol napojenia 105°). Vďaka svojej geometrii lepšie prenáša zaťaženie a koncentrácia

napätia na povrchu je podstatne nižšia, čo priamo vedie k niekoľkonásobne vyššej únavovej pevnosti.

Fig. 5 Lomové profily zvarových spojov po únavovej skúške: „Variant S“ (vľavo) a „Variant L“ (vpravo).

Na obr. 6 sú zobrazené celkové pohľady na lomové plochy obidvoch variantov zvarových spojov. Analýza pomocou REM identifikovala štyri odlišné štádiá lomu (obr. 7): (a) iniciácia únavovej trhliny na povrchu prechodu zvarového kovu do základného materiálu, (b) stabilné šírenie únavovej trhliny charakterizované morfologickými znakmi pripomínajúcimi únavové čiary, (c) nestabilné šírenie trhliny v oblasti ICHAZ a (d) konečné dolomenie v dôsledku preťaženia.

Fig. 6 Snímka lomovej plochy po únavovej skúške „Variant S“ (vľavo) a „Variant L“ (vpravo).

Fig. 7 REM snímky lomovej plochy: a) iniciácia únavovej trhliny; b) stabilný rast únavovej trhliny, c) nestabilný rast únavovej trhliny; d) dolomenie.

4. Diskusia výsledkov a záver

Cieľom tejto štúdie bolo posúdiť realizovateľnosť a mechanickú integritu geometricky modifikovaných zvarových spojov (varianty "S" a "L"), ktoré predstavujú konštrukčný prístup k eliminácii deformácií pri zváraní tenkých plechov z HSLA ocele S960MC. Hoci proces tvarovania okrajov plechov za studena úspešne rieši problém nízkej ohybovej tuhosti zváraného dielca a znižuje deformácie po zváraní, predložené výsledky jasne preukazujú, že geometria spoja má absolútne kritický vplyv na výslednú únavovú pevnosť zvarenca.

Pri aplikácii variantu "S" došlo k výraznej degradácii statických vlastností (pokles medze pevnosti takmer 35 %) a k fatálnemu zníženiu únavovej životnosti na úroveň 16,60 MPa, čo nespĺňa ani najnižšie normové požiadavky (trieda FAT 36 podľa IIW).

Príčinu tohto zlyhania nemožno pripísať iba samotnému tepelnému ovplyvneniu, keďže k vzniku soft zóny v TOO došlo pri oboch variantoch. Hlavným dôvodom nevyhovujúcej únosnosti (či už statickej ale aj únavovej) je synergický efekt nevhodnej makrogeometrie spoja - variantu S. Ostrý prechod zvarového kovu do TOO pôsobí ako silný koncentrátor napätia. Pri axiálnom ťahovom zaťažení navyše asymetrický "S" profil spôsobuje vyosenie siločiar, čo generuje lokálny ohybový moment. Táto superpozícia ťahového napätia a prídavného ohybového napätia priamo v mieste vrubu vedie k rýchlej iniciácii a nestabilnému šíreniu únavovej trhliny interkritickou oblasťou TOO.

Naopak, zvarový spoj - variant L vykazuje podstatne priaznivejšiu distribúciu napätí. Prirodzený polomer ohybu plechu vytvoril plynulejší prechod zvarového kovu do TOO. Takáto geometria minimalizuje vrubový účinok a zamedzuje vzniku výrazných sekundárnych ohybových momentov. Výsledkom je zachovanie statickej pevnosti na úrovni 996 MPa (čo vyhovuje norme pre S960MC) a nárast únavovej životnosti o 176 % (45,77 MPa) v porovnaní s variantom "S". Variant "L" tak bezpečne prekračuje prah kategórie FAT 36 pre štandardné jednostranné tupé zvary.

Na základe experimentálnej analýzy statických, únavových a fraktografických vlastností skúmaných zvarových spojov na oceli S960MC možno formulovať nasledujúce závery:

- preplátovaný spoj s prelisom (variant "S") je konštrukčne nevhodný pre akékoľvek aplikácie podliehajúce únavovému namáhaniu. Zlyháva v dôsledku kritickej kombinácie ostrého geometrického vrubu a lokálneho ohybu. Jeho použitie by malo byť obmedzené výhradne na staticky nenamáhané konštrukcie.
- spoj s polovičným lemovým zvarom (variant "L") predstavuje perspektívnu alternatívu k štandardným tupým zvarom pri zváraní tenkých HSLA plechov. Dokáže efektívne zabrániť deformáciám po zváraní vďaka zvýšenej ohybovej tuhosti, pričom si zachováva normou požadovanú statickú pevnosť a uspokojivú únavovú životnosť.

Poďakovanie

Prezentovaný výskum bol realizovaný s finančnou podporou agentúry KEGA (grant č. 018ŽU-4/2025), agentúry VEGA (grant č. 1/0181/26) a bol spolufinancovaný z prostriedkov Európskej únie v rámci Programu Slovensko (kód projektu ITMS2021+: 401101C504).

Zoznam použitej literatúry

[1] F. Hochhauser, W. Ernst, R. Rauch, R. Vallant, N. Enzinger. (2012). Influence of the Soft Zone on The Strength of Welded Modern HSLA Steels. 56, 77-85. https://doi.org/10.1007/BF03321352

[2] M. Amraei, S. Afkhami, V. Javaheri, J. Larkiola, T. Skriko, T. Björk, X.-Ling Zhao. (2020). Mechanical properties and microstructural evaluation of the heat-affected zone in ultra-high strength steels. Thin-Walled Structures, 157, 107072. https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107072

[3] M. Mičian, M. Frátrik, M. Brůna. (2024). Softening effect in the heat-affected zone of laser-welded joints of high-strength low-alloyed steels. 68,1497-1514. https://doi.org/10.1007/s40194-024-01730-8

[4] R. Nishimura, N. Ma, Y. Liu, W. Li, T. Yasuki (2021). Measurement and analysis of welding deformation and residual stress in CMT welded lap joints of 1180 MPa steel sheets. Journal of Manufacturing Processes, 72, 515-528. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.10.050

[5] K. Masubuchi. (1980). Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion, and Their Consequences. 1st ed., Pergamon Press, ISBN 978-0-08-022714-6. https://doi.org/10.1016/C2013-0-05818-5

[6] Y. Ueda, H. Murakawa, N. Ma. (2013). Welding Deformation and Residual Stress Prevention. 1st ed., Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-12-394804-5. https://doi.org/10.1016/C2011-0-06199-9

[7] EN1993-1-8 (2005) Eurocode 3: Design of Steel Structures—Part 1-8: Design of Joints. European Committee for Standardization, Brussels

[8] American Welding Society. (2025). Structural welding code—Steel (AWS D1.1/D1.1M:2025-AMD1).

[9] Perka, A. K., John, M., Kuruveri, U. B., & Menezes, P. L. (2022). Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications: Arc and Laser Welding Process, Properties, and Challenges. Metals, 12(6), 1051. https://doi.org/10.3390/met12061051

[10] Fydrych, D., Kubit, A., Slota, J., & Kowalczyk, A. (2023). Technologies for Joining and Forming Thin-Walled Structures in the Construction of Transportation Vehicles. Materials, 16(13), 4594. https://doi.org/10.3390/ma16134594

[11] Tümer, M., Schneider-Bröskamp, C., & Enzinger, N. (2022). Fusion welding of ultra-high strength structural steels – A review. Journal of Manufacturing Processes, 82, 203–229. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.07.049

[12] Saputro, M. G., Muhayat, N., & Triyono. (2023). Residual stress effect on fatigue behavior of steel welded: A review. Materials Today Proceedings, 103, 601–608. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.11.047

[13] Shiozaki, T., Yamaguchi, N., Tamai, Y., Hiramoto, J., & Ogawa, K. (2018). Effect of weld toe geometry on fatigue life of lap fillet welded ultra-high strength steel joints.

International Journal of Fatigue, 116, 409–420. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.06.050

[14] American National Standard (2016): ANSI/AISC 360-16 - Specification for Structural Steel Buildings.

[15] Hobbacher AF, Baumgartner J (2024) Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components. 3rd edn. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57667-6

VÝZNAM A PRÍNOS AKREDITÁCIE V OBLASTI ZVÁRANIA a NDT

Ing. Štefan Král, PhD.

Slovenská národná akreditačná služba, Karloveská 63, 840 00 Bratislava
stefan.kral@snas.sk

Abstrakt
Príspevok sa zaoberá významom a prínosom akreditácie v oblastiach zvárania a nedeštruktívneho skúšania (NDT) pri posudzovaní zhody výrobkov v regulovanej sfére. Cieľom štúdie bolo identifikovať legislatívne predpisy a postupy posudzovania zhody, v ktorých sa priamo uplatňujú požiadavky súvisiace so zváraním a NDT, a vyhodnotiť mieru využívania akreditácie pri notifikácii orgánov posudzovania zhody. Výsledky ukázali vysoký podiel akreditovaných notifikovaných osôb vo všetkých sledovaných oblastiach: 91 % pre smernicu 2014/68/EÚ, 100 % pre smernicu 2010/35/EÚ, 79 % pre smernicu 2016/797/EÚ a 94 % pre nariadenie 305/2011/EÚ v oblasti výrobkov podľa STN EN 1090-1. Výsledky preukazujú, že akreditácia predstavuje kľúčový nástroj preukazovania kompetentnosti orgánov zapojených do posudzovania zhody v oblastiach súvisiacich so zváraním a NDT a významne podporuje dôveryhodnosť a vzájomnú akceptáciu výsledkov posudzovania zhody v rámci jednotného trhu EÚ.

Abstract
The paper addresses the significance and contribution of accreditation in the fields of welding and non-destructive testing (NDT) in the conformity assessment of products in the regulated sector. The aim of the study was to identify legislation and conformity assessment procedures in which requirements related to welding and NDT are directly applied, and to evaluate the extent to which accreditation is used for the notification of conformity assessment bodies. The results showed a high proportion of accredited notified bodies in all areas examined: 91% for Directive 2014/68/EU, 100% for Directive 2010/35/EU, 79% for Directive 2016/797/EU, and 94% for Regulation (EU) No 305/2011 in the field of products covered by STN EN 1090-1. The results demonstrate that accreditation represents a key instrument for demonstrating the competence of bodies involved in conformity assessment activities related to welding and NDT and significantly contributes to the credibility and mutual acceptance of conformity assessment results within the EU single market.

Úvod

Akreditácia orgánov posudzovania zhody má významnú úlohu v medzinárodnom obchode a pri zabezpečovaní kvality výrobkov a služieb. Orgán posudzovania zhody je orgán, ktorý vykonáva jeden alebo viacero prvkov posudzovania zhody ako sú napríklad kalibrácia, skúšanie, certifikácia, inšpekcia a pod. Akreditáciou sa oficiálne potvrdzuje odborná spôsobilosť orgánov posudzovania zhody. Na medzinárodnej úrovni je hlavným prínosom akreditácie vzájomná dôvera vo výsledky posudzovania zhody. Ak je skúšobné laboratórium alebo certifikačný orgán akreditovaný podľa medzinárodne uznávaných pravidiel, jeho akreditované výstupy ako protokoly a certifikáty môžu byť akceptované aj v iných krajinách. Výrobok preto nemusí byť pri vývoze opakovane v každom štáte skúšaný alebo certifikovaný.

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 765/2008 definuje akreditáciu ako potvrdenie vnútroštátneho akreditačného orgánu o tom, že orgán posudzovania zhody spĺňa požiadavky vykonávať špecifické činnosti posudzovania zhody stanovené harmonizovanými normami a v prípade potreby akékoľvek dodatočné požiadavky vrátane tých, ktoré sú stanovené v príslušných sektorových systémoch [1]. Na Slovensku postavenie a pôsobnosť Slovenskej národnej akreditačnej služby ako vnútroštátneho akreditačného orgánu upravuje zákon č. 53/2023 Z. z. o akreditácii orgánov posudzovania zhody [2]. V praxi sa často stretávame s pojmami ako sú kvalifikácia, certifikácia a akreditácia. Kvalifikácia sa viaže k preukázaniu spôsobilosti osoby alebo postupu podľa definovaných požiadaviek. Certifikácia je osvedčenie treťou stranou týkajúce sa predmetu posudzovania zhody s výnimkou akreditácie [3]. Akreditácia je atestácia treťou stranou týkajúca sa orgánu posudzovania zhody poskytujúca oficiálne preukázanie spôsobilosti/kompetentnosti vykonávať špecifické úlohy posudzovania zhody [4]. Tieto úrovne sa dopĺňajú, ale nie sú vzájomne zameniteľné.

S cieľom posúdiť a zabezpečiť zhodu výrobkov s platnými požiadavkami sa akreditácia spolu s posudzovaním zhody a dohľadom nad trhom stali súčasťou tzv. nového legislatívneho rámca. Akreditačné orgány sa zriaďujú s cieľom zabezpečiť, aby orgány posudzovania zhody podliehali

dohľadu kompetentného orgánu. Akreditácia nie je posudzovaním zhody výrobku alebo činnosti a sama o sebe nepotvrdzuje kvalitu výrobku. Posudzovanie zhody vykonávajú orgány posudzovania zhody (notifikované osoby), tam kde je to relevantné. Nový legislatívny rámec v rámci uvádzania výrobkov na trh predstavuje komplexný systém, ktorý spája všetky jednotlivé prvky potrebné na zabezpečenie bezpečnosti výrobkov do jedného súdržného a komplexného legislatívneho rámca [5]. Schéma nového legislatívneho rámca sa môže znázorniť ako je uvedené na *Obr. 1.*

Obr. 1 Schéma nového legislatívneho rámca a proces uvádzania výrobkov na trh EÚ v regulovanej sfére

Prehľad problematiky

Zváranie patrí medzi výrobné procesy, pri ktorých sa výsledná kvalita zabezpečuje nie len kontrolou hotového výrobku ale aj prostredníctvom plnenia požiadaviek vo viacerých oblastiach súvisiacich s daným procesom. Požadovaná kvalita sa vytvára a riadi počas celého výrobného procesu – od preskúmania technických požiadaviek a návrhu, cez kvalifikáciu zváracích postupov, zabezpečenie odbornej spôsobilosti personálu a vhodnosti zariadení až po kontrolu, skúšanie a dokumentovanie výsledkov [6, 7].

Zvarový spoj môže z hľadiska vonkajšieho vzhľadu a geometrie pôsobiť vyhovujúco, ale zároveň môže obsahovať vnútorné defekty alebo nežiadúce charakteristiky, ktoré možno identifikovať až vhodne zvolenými metódami nedeštruktívneho skúšania (NDT) [8, 9]. Samotná existencia indikácie pri NDT automaticky neznamená neprijateľnosť zvarového spoja. Indikácia sa vyhodnocuje podľa príslušného postupu a vo vzťahu k stanoveným kritériám [8, 9]. Spoľahlivosť takéhoto hodnotenia je všeobecne

podmienená odbornou spôsobilosťou personálu, ktorej požiadavky na kvalifikáciu a certifikáciu stanovuje ISO 9712 [10].
Na rozhodnutie o zhode ma teda vplyv celý reťazec činností zahŕňajúci výber vhodnej metódy, kompetentnosť personálu, správnosť vykonania skúšky, interpretáciu výsledkov a dôveryhodnosť subjektu. V mnohých prípadoch sú do procesu posudzovania zhody výrobkov súvisiacich so zváraním, pred ich uvedením na trh EÚ, zapojené notifikované osoby. Notifikované osoby sú spravidla orgány posudzovania zhody, ktorým bolo dané oprávnenie notifikujúcou autoritou (notifikácia) vykonávať činnosti posudzovania zhody, kde je to požadované legislatívou. Európska legislatíva uprednostňuje, aby notifikujúce autority na účely notifikácie orgánov posudzovania zhody využívali na preukázanie ich kompetentnosti akreditáciu udelenú národnými akreditačnými orgánmi [1]. Notifikované orgány ako orgány posudzovania zhody vykonávajú úlohy súvisiace s postupmi posudzovania zhody stanovenými v príslušných technických harmonizačných právnych predpisoch, ak sa vyžaduje účasť tretej strany [5].
Pre zváračskú komunitu je dôležité vnímať akreditáciu nie ako formálne potvrdenie, ale ako mechanizmus dôvery. Výrobcovia, zákazníci alebo regulačné orgány potrebujú dôverovať výsledkom posudzovania zhody, ktoré vznikli mimo ich priamej kontroly. Na tento účel sa využíva práve akreditácia, ktorá zabezpečuje, že kompetentnosť, nestrannosť a konzistentnosť orgánov posudzovania zhody overuje nezávislý národný akreditačný orgán vykonávajúci činnosť podľa medzinárodných harmonizovaných požiadaviek [1, 2 a 4].
Význam akreditácie v regulovanej oblasti je úzko prepojený s autorizáciou a notifikáciou. Podľa zákona č. 56/2018 Z. z. [11] môže byť osvedčenie o akreditácii základným dôkazom, že orgán posudzovania zhody spĺňa autorizačné požiadavky pre konkrétny technický predpis a požadovaný rozsah činností. Akreditácia však sama osebe nenahrádza rozhodnutie o autorizácii ani notifikáciu orgánu Európskej komisii. Aktuálne európske pravidlá pre akreditáciu na účely notifikácie upravuje dokument EA-2/17M a jeho doplnky [12, 13, 14 a 15]. Dokument vytvára jednotný rámec na voľbu príslušnej akreditačnej normy pre jednotlivé právne predpisy a činnosti notifikovaných osôb. Pri posudzovaní významu akreditácie pre zváranie a NDT v regulovanej sfére je potrebné odlíšiť prípady, keď právny predpis výslovne ustanovuje kontrolu zvarov, schvaľovanie postupov, personálu alebo personálu NDT treťou stranou, od prípadov, keď sa zváranie a NDT, ako jedna z technologických oblastí, preverujú ako súčasť širšieho postupu posudzovania zhody výrobku alebo systému kvality. Národné akreditačné orgány pri akreditácii na účely notifikácie posudzujú orgány posudzovania zhody podľa ustanovení uvedených v dokumente EA-2/17 M a jeho doplnkoch [12, 13, 14 a 15]. Dokument EA-2/17M určuje pre každý postup posudzovania zhody preferovanú normu pre akreditáciu a dodatočné požiadavky ďalších akreditačných noriem k nej, ktoré musia byť pri akreditácii posudzované ako doplnok k preferovanej norme. Preferovanú normu na akreditáciu môže národný notifikujúci orgán zmeniť s príslušným odôvodneným, ale len v rozsahu povolených preferovaných noriem.

Tab. 1 Zoznam všetkých dodatočných požiadaviek, ktoré sú pri akreditácii v oblasti zvárania a NDT posudzované ako doplnok k preferovaným normám.

Dodatočná požiadavka k preferovanej norme	Rozsah dodatočnej požiadavky
t	Doplňujúce požiadavky normy STN EN ISO/IEC 17025 [19], ak sa vyžaduje skúšanie. Na tento účel sa musí preukázať splnenie uplatniteľných požiadaviek článkov 6 a 7 (okrem 7.9) normy STN EN ISO/IEC 17025 [19].
cd	Spôsobilosť na realizáciu postupov hodnotenia a rozhodovania na základe výsledkov hodnotiacich činností o tom, či sú splnené základné požiadavky a/alebo či boli v prípadoch, keď sa to vyžaduje, uplatnené harmonizované normy. Na tento účel sa musí preukázať splnenie požiadaviek článkov 4.1.2, 4.1.3, 7.5 a 7.6 normy STN EN ISO/IEC 17065 [16].
pk	Spôsobilosť – na základe znalostí výrobku – vykonávať odborné posúdenia týkajúce sa požiadaviek na výrobok, ak sa to vyžaduje. Na tento účel sa musí preukázať splnenie požiadaviek článkov 6.1.2, 6.1.3 a 6.1.6 až 6.1.10 normy STN EN ISO/IEC 17020 [17].
qa	Spôsobilosť posudzovať a schvaľovať systémy kvality výrobcu, ak sa to vyžaduje. Na tento účel sa musí preukázať splnenie požiadaviek článkov 7.1.1, 7.1.2, 7.2.4, 7.2.5, 7.2.8, 7.2.10, 9.1 až 9.4 a 9.6 normy STN EN ISO/IEC 17021-1 [20].
ap	Spôsobilosť schvaľovať personál v súlade s platnými legislatívnymi predpismi. Na tento účel sa musí preukázať splnenie požiadaviek článkov 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 8 a 9.1 až 9.6 normy STN EN ISO/IEC 17024[18].

Na akreditáciu orgánov posudzovania zhody v oblasti zvárania a NDT v regulovanej sfére sa vo všeobecnosti používajú preferované normy STN EN ISO/IEC 17065 [16], STN EN ISO/IEC 17020 [17] a STN EN ISO/IEC 17024 [18]. Zoznam všetkých dodatočných požiadaviek, ktoré sú pri akreditácii posudzované ako doplnok k preferovaným normám je uvedený v *Tab. 1.* Pre preferovanú akreditačnú normu priradenú k jednotlivému postupu posudzovania zhody je presne špecifikované, ktoré dodatočné požiadavky sa k nej musia aplikovať.

Metodika

Na účely tejto štúdie sa najskôr analyzovali smernice a nariadenia nového legislatívneho rámca na identifikovanie smerníc a nariadení, ktoré sa týkajú oblastí posudzovania zhody súvisiacich priamo so zváraním a NDT. Následne sa identifikovali postupy posudzovania zhody, ktoré priamo súvisia s posudzovaním základných požiadaviek na zváranie a NDT a identifikovali sa požiadavky na akreditáciu týchto orgánov posudzovania zhody. Zo získaných údajov sa následne vyhodnotil význam akreditácie v tejto oblasti.
Najvýraznejšiu väzbu medzi regulovanou sférou, zváraním a akreditáciou predstavujú tlakové zariadenia. Základným európskym právnym predpisom je smernica 2014/68/EÚ o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa sprístupňovania tlakových zariadení na trhu [21]. V Slovenskej republike je smernica implementovaná prostredníctvom nariadenia vlády SR č. 1/2016 Z. z. [22]. Postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou sú uvedené v *Tab. 2* a *Tab. 3.*

Tab. 2 Štandardné postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou (smernica 2014/68/EÚ)

Postup posudzovania zhody		**Väzba na zváranie/NDT**	**Preferovaná norma na akreditáciu určená notifikujúcim orgánom (UNMS SR)**	**Dodatočné požiadavky k preferovanej norme**
B	EÚ skúška typu	Posúdenie výrobných postupov, schválenia alebo predchádzajúceho schválenia postupov nerozoberateľného spájania a overenie kvalifikácie/schválenia personálu pre zváranie a NDT.	STN EN ISO/IEC 17065	pk + t
D	zabezpečenie kvality výrobného procesu	Systém kvality zahŕňa schválené postupy zvárania, kontroly a skúšky a záznamy o kvalifikácii/schválení zváracieho a NDT personálu.	STN EN ISO/IEC 17065	cd + qa
D1	zabezpečenie kvality výrobného procesu	Preverujú sa výrobné postupy, zváranie, skúšky a kvalifikácie personálu v rámci systému kvality.	STN EN ISO/IEC 17065	cd + qa
E	zabezpečenie kvality tlakového zariadenia	Systém kontroly a skúšania zahŕňa relevantné požiadavky na zvary, NDT a záznamy o kvalifikácii personálu.	STN EN ISO/IEC 17065	cd + qa
E1	zabezpečenie kvality konečnej kontroly a skúšania	Posudzujú sa výsledky kontrol zvarov a NDT v rozsahu požadovanom pre tlakové zariadenie.	STN EN ISO/IEC 17065	cd + qa
F	overovanie tlakového zariadenia	Preverenie splnenia požiadaviek na nerozoberateľné spoje, kvalifikácie/schválenia personálu a výsledkov skúšok konkrétneho výrobku.	STN EN ISO/IEC 17020	cd + t
G	overovanie jednotlivého výrobku	Pri konkrétnom zariadení sa schvaľujú alebo preverujú postupy spájania, kvalifikácie personálu a potrebné skúšky.	STN EN ISO/IEC 17020	cd + t
H	úplné zabezpečenie kvality	Audit systému kvality zahŕňa postupy zvárania, kontroly a skúšky vrátane NDT a kvalifikačné/schvaľovacie záznamy personálu.	STN EN ISO/IEC 17065	qa + pk
H1	úplné zabezpečenie kvality + preskúmanie návrhu	Rovnaké systémové požiadavky na zváranie a NDT ako pri module H, doplnené o preskúmanie návrhu.	STN EN ISO/IEC 17065	qa + pk

Tab. 3 Neštandardné postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou (smernica 2014/68/EÚ)

Postup posudzovania zhody	PED	Väzba na zváranie/NDT	Preferovaná norma na akreditáciu určená notifikujúcim orgánom (UNMS SR)	Dodatočné požiadavky k preferovanej norme
Schvaľovanie personálu pre nerozoberateľné spoje	Príloha I, 3.1.2	Odborná spôsobilosť osôb určených na vyhotovenie nerozoberateľných spojov	STN EN ISO/IEC 17024	-
Schvaľovanie postupov nerozoberateľného spájania	Príloha I, 3.1.2	Kvalifikácia postupov určených na vyhotovenie nerozoberateľných spojov	STN EN ISO/IEC 17020	pk + t
Schvaľovanie NDT personálu	Príloha I, 3.1.3	Spôsobilosť pracovníkov vykonávajúcich NDT nerozoberateľných spojov pri zariadeniach kategórie III a IV.	STN EN ISO/IEC 17024	-

Pre oblasť prepravovateľných tlakových zariadení tvorí právny základ smernica 2010/35/EÚ o prepravovateľných tlakových zariadeniach [23], ktorá je v Slovenskej republike implementovaná prostredníctvom zákona č. 254/2011 Z. z. [24]. Táto smernica priamo súvisí so smernicou 2008/68/ES o vnútrozemskej preprave nebezpečného tovaru [25], ktorá prenáša pravidlá pre druhy vnútrozemskej dopravy napr. cestnú dopravu (ADR) alebo železničnú dopravu (RID) do práva EÚ. Postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou sú uvedené v *Tab. 4.*

Tab. 4 Neštandardné postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou (smernica 2010/35/EÚ)

Postup posudzovania zhody	Väzba na zváranie/NDT	Preferovaná norma na akreditáciu určená notifikujúcim orgánom (UNMS SR)	Dodatočné požiadavky k preferovanej norme
Posudzovanie zhody nového zariadenia Článok 12 Smernice EPaR 2010/35/EÚ a oddiel I.1prílohy I a oddiel II.1 prílohy II k smernici EPaR 2008/68/ES	Pri novom zváranom prepravovateľnom tlakovom zariadení sa v rámci postupov podľa ADR/RID posudzujú technické požiadavky na návrh a výrobu. Ak sú pre daný typ zariadenia relevantné zvárané tlakové časti, posudzovanie zahŕňa príslušné požiadavky na zváracie postupy, spôsobilosť personálu a výsledky kontrol a NDT.	ISO/IEC 17020 (okrem čl. 8.1.3)	-
Periodická prehliadka Článok 12 Smernice EPaR 2010/35/EÚ a oddiel I.1prílohy I a oddiel II.1 prílohy II k smernici EPaR 2008/68/ES	Pri periodickej prehliadke sa kontrola zvarových spojov alebo NDT vykonáva v rozsahu ustanovenom ADR/RID a príslušnými technickými požiadavkami pre daný druh zariadenia. Rozsah závisí od konštrukcie, druhu zariadenia a požadovaného režimu prehliadky.	ISO/IEC 17020 (okrem čl. 8.1.3)	-
Medziperiodická prehliadka Článok 12 Smernice EPaR 2010/35/EÚ a oddiel I.1prílohy I a oddiel II.1 prílohy II k smernici EPaR 2008/68/ES	Kontrola zvarov alebo NDT je súčasťou medziperiodickej prehliadky iba vtedy, ak ju pre dané zariadenie vyžadujú ADR/RID alebo nadväzujúce technické požiadavky.	ISO/IEC 17020 (okrem čl. 8.1.3)	-
Mimoriadna kontrola Článok 12 Smernice EPaR 2010/35/EÚ a oddiel I.1prílohy I a oddiel II.1 prílohy II k smernici EPaR 2008/68/ES	Môže byť relevantná najmä po poškodení, oprave alebo inom zásahu do zariadenia. Ak oprava zahŕňa zváranie alebo je potrebné overiť integritu zvarov, rozsah kontroly môže zahŕňať preskúmanie opravných postupov a príslušné NDT.	ISO/IEC 17020 (okrem čl. 8.1.3)	-
Opätovné posúdenie zhody Článok 13 Smernice EPaR 2010/35/EÚ a Príloha III Smernice EPaR 2010/35/EU	Pri zariadení podliehajúcom opätovnému posúdeniu zhody sa preveruje jeho súlad s uplatniteľnými technickými požiadavkami. Pri zváranom zariadení môžu byť podľa potreby predmetom aj preverenie zvarových spojoch.	ISO/IEC 17020 (okrem čl. 8.1.3)	-

Pre oblasť interoperability železničného systému tvorí právny základ smernica 2016/797/EU o interoperabilite železničného systému v Európskej únii [26], ktorá je v Slovenskej republike implementovaná prostredníctvom zákona č. 513/2009 Z. z. [27] a príslušné technické špecifikácie interoperability (TSI). K tomuto rámcu následne nadväzuje Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ [28], ktoré stanovuje moduly postupov posudzovania zhody a vhodnosti na použitie komponentov interoperability a moduly ES overovania železničných subsystémov. Železničná oblasť je relevantná iba vtedy, keď konkrétna špecifikácia alebo technická norma ustanovuje zváranie alebo súvisiace skúšanie ako požiadavku, ktorá sa má posudzovať. Postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou sú uvedené v *Tab. 5.*

Tab. 5 Neštandardné postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou (smernica 2016/797/EU)

Postup posudzovania zhody	**Väzba na zváranie/NDT**	**Preferovaná norma na akreditáciu určená notifikujúcim orgánom (UNMS SR)**	**Dodatočné požiadavky k preferovanej norme**
Modul SB – Typová skúška ES Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ, príloha I	Pri zváraných konštrukciách sa môžu preverovať požiadavky týkajúce sa konštrukcie a spojov, použitých technických špecifikácií a dôkazov zo skúšok. Pri výrobnom type sa môže preskúmať reprezentatívna vzorka a vykonať alebo zabezpečiť príslušné skúšky.	STN EN ISO/IEC 17065	ERA Mandatory Technical Document 000MRA1044
Modul SD – Overenie ES založené na systéme riadenia kvality výrobného procesu Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ, príloha I	Vo vzťahu k zváraniu/NDT sa posudzuje výrobné a kontrolné postupy, riadenie zvárania, skúšky pred, počas a po výrobe, výsledky NDT, príslušné záznamy a kvalifikácie personálu.	STN EN ISO/IEC 17065	ERA Mandatory Technical Document 000MRA1044
Modul SF – Overenie ES založené na overení výrobku Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ, príloha I	Pri zváranej konštrukcii sa preverujú doklady o zváraní, výsledky kontrol a NDT a ďalšie skúšky preukazujúce splnenie požiadaviek TSI.	STN EN ISO/IEC 17065	ERA Mandatory Technical Document 000MRA1044
Modul SH1 – Overenie ES založené na úplnom systéme riadenia kvality a preskúmaní návrhu Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ, príloha I	Vo vzťahu k zváraniu/NDT môže posúdenie zahŕňať návrh zváraných spojov, riadenie zváracej výroby, kvalifikácie postupov a personálu, kontrolu zvarov, NDT, konečné skúšanie a dokumentáciu.	STN EN ISO/IEC 17065	ERA Mandatory Technical Document 000MRA1044
Modul SG – Overenie ES založené na overení jednotky Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ, príloha I	Ak príslušná TSI obsahuje požiadavky na zvárané konštrukcie, súčasťou overovania môžu byť výrobné doklady, zváracie procesy, kontroly zvarov a výsledky NDT.	STN EN ISO/IEC 17065	ERA Mandatory Technical Document 000MRA1044

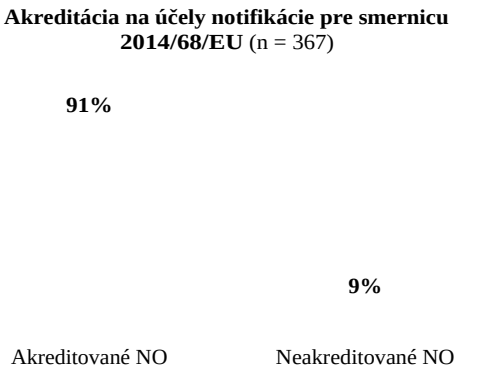
Pre oblasť stavebných výrobkov tvorí v súčasnosti právny základ nové nariadenie 2024/3110/EÚ, ktorým sa stanovujú harmonizované pravidlá uvádzania stavebných výrobkov na trh [29]. Niektoré ustanovenia predchádzajúceho nariadenia 305/2011/EÚ [30] však zostávajú účinné až do roku 2040. Na národnej úrovni sú európske predpisy transponované zákonom č. 133/2013 Z. z. [31]. Pre oblasť stavebných výrobkov v regulovanej oblasti je notifikujúcim orgánom v Slovenskej republike Ministerstvo dopravy SR. Oblasť zvárania a NDT sa vyskytuje v oblasti stavebných výrobkoch pri nosných oceľových a hliníkových stavebných výrobkoch podľa STN EN 1090-1 [32], kde priamo vstupuje do systému riadenia výroby. Postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou sú uvedené v *Tab. 6.*

Tab. 6 Neštandardné postupy posudzovania zhody, v ktorých sa posudzuje zváranie alebo NDT a v ktorých sa požaduje posúdenie notifikovanou osobou (nariadenie 2024/3110/EÚ a nariadenie 305/2011/EÚ)

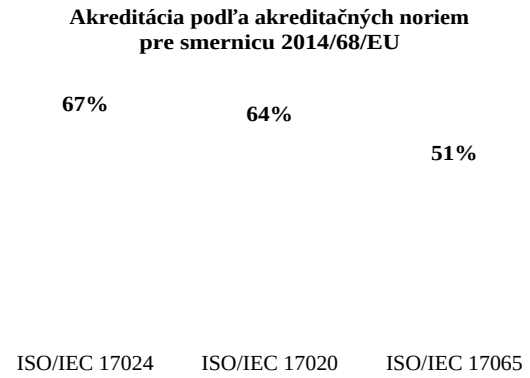
Postup posudzovania zhody	Stavebný výrobok	Väzba na zváranie/NDT	Preferovaná norma na akreditáciu	Dodatočné požiadavky k preferovanej norme
Systém 2+ Počiatočná inšpekcia výrobného závodu a systému riadenia výroby a priebežný dohľad nad systémom riadenia výroby a posudzovania a hodnotenia systému riadenia výroby. Nariadenie 305/2011/EÚ, príloha V, bod 1.3	nosné oceľové a hliníkové stavebné výrobky (STN EN 1090-1)	Preveruje sa, či výrobca zaviedol FPC schopný zabezpečiť požiadavky na zváranú výrobu podľa EN 1090-1 v spojení s EN 1090-2 alebo EN 1090-3. Vo vzťahu k zváraniu/NDT sa preverujú najmä kvalifikácie zváračov a operátorov, kvalifikované postupy zvárania (WPS/WPQR), zváračský dozor, výrobné a kontrolné zariadenia, identifikácia a sledovateľnosť materiálov, kontrolný a skúšobný plán a zabezpečenie NDT vrátane záznamov.	STN EN ISO/IEC 17065	pk

Výsledky a diskusia

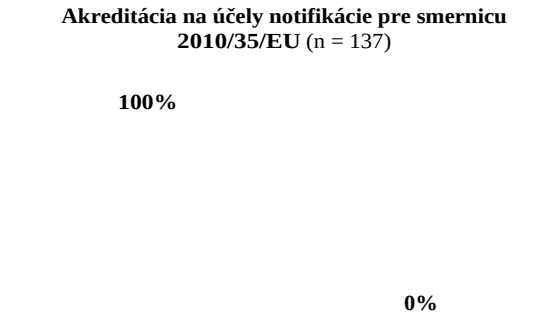
Na účely posúdenia miery využívania akreditácie pri notifikácii orgánov posudzovania zhody v oblastiach súvisiacich so zváraním a nedeštruktívnym skúšaním boli analyzované údaje z informačného systému NANDO (New Approach Notified and Designated Organisations), ktorý predstavuje databázu Európskej komisie obsahujúcu informácie o notifikovaných a určených orgánoch. Jednotlivé legislatívne predpisy boli vyhodnocované samostatne, čo umožňuje porovnať nielen celkové zastúpenie akreditovaných a neakreditovaných notifikovaných orgánov, ale aj rozdiely v používaných akreditačných normách. Pri interpretácii výsledkov je potrebné ale zohľadniť obmedzenia použitého dátového súboru z databázy NANDO, najmä nemožnosť rozlíšiť konkrétne priradenie jednotlivých akreditačných noriem ku každému jednotlivému postupu posudzovania zhody v rámci nofikovanej osoby. Získané výsledky sú uvedené na *Obr. 2* až *Obr. 9.*



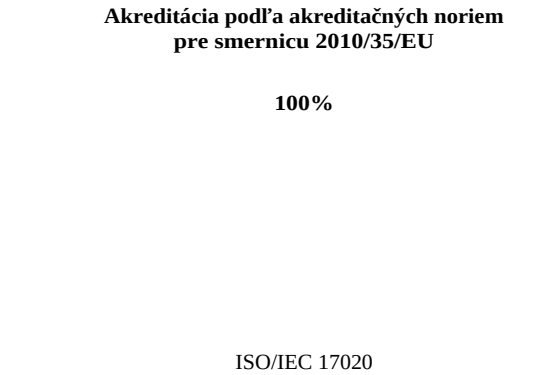
Obr. 2 Využitie akreditácie na účely notifikácie pre smernicu 2014/68/EU



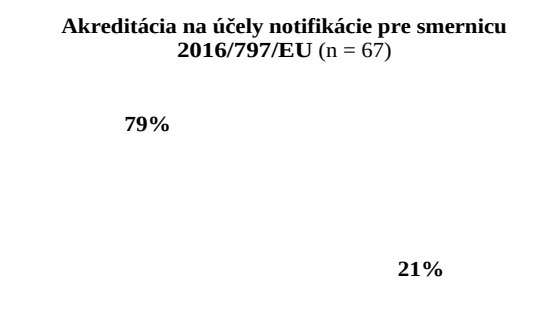
Obr. 3 Akreditácia podľa akreditačných noriem na účely notifikácie pre smernicu 2014/68/EU



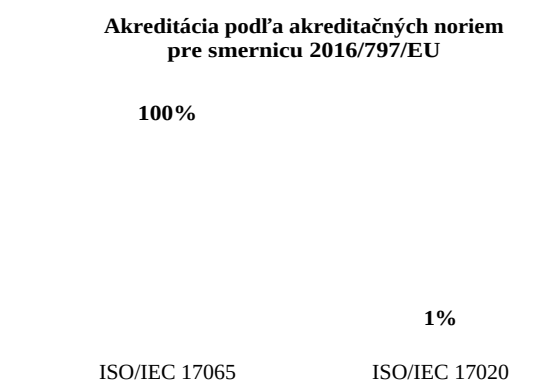
Obr. 4 Využitie akreditácie na účely notifikácie pre smernicu 2010/35/EU



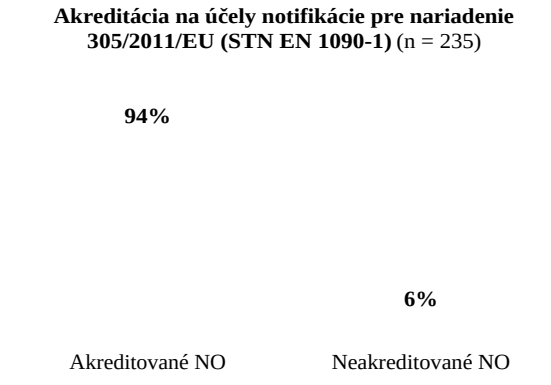
Obr. 5 Akreditácia podľa akreditačných noriem na účely notifikácie pre smernicu 2010/35/EU



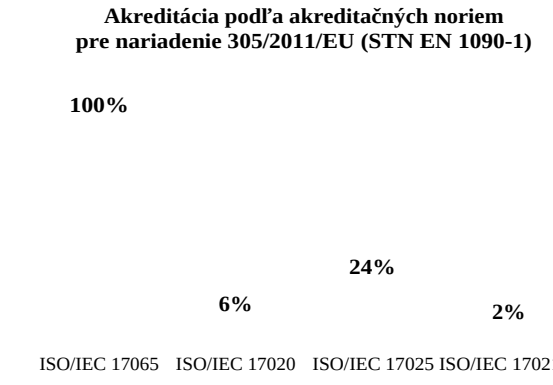
Obr. 6 Využitie akreditácie na účely notifikácie pre smernicu 2016/797/EU



Obr. 7 Akreditácia podľa akreditačných noriem na účely notifikácie pre smernicu 2016/797/EU



Obr. 8 Využitie akreditácie na účely notifikácie pre nariadenie 305/2011/EU (STN EN 1090-1)



Obr. 9 Akreditácia podľa akreditačných noriem na účely notifikácie pre nariadenie 305/2011/EU (STN EN 1090-1)

Výsledky analýzy vo všeobecnosti poukazujú na výraznú prevahu akreditovaných orgánov posudzovania zhody vo všetkých sledovaných legislatívnych oblastiach. Akreditácia tak podľa analyzovaných údajov predstavuje dominantný spôsob preukazovania odbornej spôsobilosti orgánov posudzovania zhody pri ich notifikácii.

Pri smernici 2014/68/EÚ [21] podiel akreditovaných notifikovaných osôb predstavoval 91 %, zatiaľ čo podiel neakreditovaných notifikovaných osôb dosiahol 9 % (*Obr. 2*). Takto vysoký podiel akreditovaných orgánov poukazuje na významné postavenie akreditácie v systéme notifikácie

orgánov posudzovania zhody podľa uvedenej smernice. Zároveň však výsledok ukazuje, že akreditácia nie je podľa analyzovaných údajov využívaná bez výnimky a časť orgánov bola notifikovaná bez využitia akreditácie. Z hľadiska použitia akreditačných noriem bola pri smernici 2014/68/EÚ [21] najvýraznejšie zastúpená norma STN EN ISO/IEC 17024, a to na úrovni 67 %. Norma STN EN ISO/IEC 17020 dosiahla zastúpenie 64 % a norma STN EN ISO/IEC 17065 dosiahla úroveň 51 % (*Obr. 3).* Uvedené percentuálne hodnoty presahujú pri vzájomnom súčte 100 %, nakoľko notifikované osoby sú v mnohých prípadoch notifikované na viacero postupov posudzovania zhody, pre ktoré sa používajú rôzne akreditačné normy. To znamená, že jedna notifikovaná osoba môže byť akreditovaná podľa viacerých akreditačných noriem v závislosti od postupov posudzovania zhody (druhov činností), na ktoré je spôsobilá (viď *Tab. 1* a *Tab. 2*).
Výrazne odlišný výsledok bol zaznamenaný pri smernici 2010/35/EÚ [23]. Podiel akreditovaných notifikovaných osôb predstavoval 100 % (*Obr. 4*). Zároveň bola pri akreditácii na účely notifikácie pre túto smernicu použitá výlučne len norma STN EN ISO/IEC 17020 - 100 % (*Obr. 5*). Podiel využívania akreditačnej normy STN EN ISO/IEC 17020 súvisí s jej nastavením ako preferovanej normy na akreditáciu.
Pri smernici 2016/797/EÚ [26] podiel akreditovaných notifikovaných osôb predstavoval 79 %, zatiaľ čo podiel neakreditovaných notifikovaných osôb dosiahol 21 % (*Obr. 6*). Z analyzovaných smerníc ide o najvyšší podiel neakreditovaných orgánov. Napriek tomu akreditované orgány stále predstavujú výraznú väčšinu, a preto aj v tejto legislatívnej oblasti možno akreditáciu považovať za prevládajúci spôsob preukazovania kompetentnosti pri notifikácii. Z hľadiska použitia akreditačných noriem pri smernici 2016/797/EÚ [26] dosahuje norma STN EN ISO/IEC 17065 podiel 100 %, zatiaľ čo norma STN EN ISO/IEC 17020 je uvedená iba pri 1 % prípadov (*Obr. 7*). Uvedené percentuálne hodnoty presahujú pri vzájomnom súčte 100 %, nakoľko notifikované osoby sú v mnohých prípadoch notifikované na viacero postupov posudzovania zhody, To znamená, že jedna notifikovaná osoba môže byť akreditovaná podľa viacerých akreditačných noriem v závislosti od postupov posudzovania zhody (druhov činností), na ktoré je spôsobilá.
Pri nariadení 305/2011/EÚ [30] , podiel akreditovaných notifikovaných osôb, ktoré majú spôsobilosť aj v oblasti nosných oceľových a hliníkových stavebných výrobkoch podľa STN EN 1090-1 [32] predstavuje 94 %, zatiaľ čo podiel neakreditovaných notifikovaných osôb dosiahol 6 % (*Obr. 8*). Použitie akreditačných noriem pri týchto notifikovaných osobách vykazuje jednoznačnú dominanciu normy STN EN ISO/IEC 17065, ktorá dosahuje zastúpenie 100 %. Norma STN EN ISO/IEC 17025 má zastúpenie 24 %, norma STN EN ISO/IEC 17020 dosiahla úroveň 6 % a STN EN ISO/IEC 17020 úroveň 2 % (*Obr. 9*). Uvedené percentuálne hodnoty presahujú pri vzájomnom súčte 100 %, nakoľko notifikované osoby sú v mnohých prípadoch notifikované na viacero postupov posudzovania zhody, pre ktoré sa používajú rôzne akreditačné normy. To znamená, že jedna notifikovaná osoba môže byť akreditovaná podľa viacerých akreditačných noriem v závislosti od postupov posudzovania zhody (druhov činností), na ktoré je spôsobilá.

Záver

Analýza výsledkov ukázala, že akreditácia predstavuje hlavný spôsob preukazovania kompetentnosti orgánov posudzovania zhody na účely ich notifikácie v sledovaných oblastiach súvisiacich so zváraním a NDT. Podiel akreditovaných notifikovaných osôb dosiahol 91 % pri smernici 2014/68/EÚ, 100 % pri smernici 2010/35/EÚ, 79 % pri smernici 2016/797/EÚ a 94 % pri nariadení 305/2011/EÚ pre oblasť nosných oceľových a hliníkových stavebných výrobkov podľa STN EN 1090-1. Aj v oblasti s najvyšším zastúpením neakreditovaných notifikovaných osôb, ktorou bola smernica 2016/797/EÚ s podielom 21 %, zostáva akreditácia prevládajúcim spôsobom preukazovania kompetentnosti. Výsledky preukazujú, že akreditácia predstavuje kľúčový nástroj preukazovania kompetentnosti orgánov zapojených do posudzovania zhody v oblastiach súvisiacich so zváraním a NDT a významne podporuje dôveryhodnosť a vzájomnú akceptáciu výsledkov posudzovania zhody v rámci jednotného trhu EÚ. Výsledky taktiež ukazujú, že akreditácia nie je vo všetkých posudzovaných legislatívnych oblastiach využívaná bez výnimky, a preto jej konkrétne postavenie treba posudzovať vždy vo väzbe na príslušný právny predpis a postup posudzovania zhody.

Literatúra

[1] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 765/2008 z 9. júla 2008 , ktorým sa stanovujú požiadavky akreditácie a dohľadu nad trhom v súvislosti s uvádzaním výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje nariadenie (EHS) č. 339/93.

[2] Zákon č. 53/2023 Z. z. o akreditácii orgánov posudzovania zhody.

[3] ISO/IEC 17000:2020. Conformity assessment — Vocabulary and general principles. Geneva: International Organization for Standardization, 2020.

[4] ISO/IEC 17011:2017. Conformity assessment — Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies. Geneva: ISO, 2017

[5] The Blue Guide on the implementation of EU product rules 2022. Commission Notice 2022/C 247/01. Official Journal of the European Union, C 247, 29. 6. 2022.

[6] ISO 3834-1:2021. Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements. Geneva: ISO, 2021.

[7] ISO 3834-6:2024. Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 6: Guidelines on implementing the ISO 3834 series. Geneva: ISO, 2024.

[8] ISO 17635:2025. Non-destructive testing of welds — General rules for metallic materials. Geneva: ISO, 2025.

[9] ISO 17640:2018. Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Techniques, testing levels, and assessment. Geneva: ISO, 2018.

[10] ISO 9712:2021. Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel. Geneva: ISO, 2021.

[11] Zákon č. 56/2018 Z. z. o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trhu a o zmene a doplnení niektorých zákonov

[12] EA Document on Accreditation for Notification Purposes. EA-2/17 M:2026 [online]. 25 June 2026, rev. 05. 19 s. [cit. 2026-09-10].

[13] Supplement 1 to EA-2/17 EA Document on Accreditation for Notification Purposes: Non-aligned legislations/modules/activities. EA-2/17 S1 M:2026 [online]. 25 June 2026, rev. 00. 9 s. [cit. 2026-09-10].

[14] Supplement 2 to EA-2/17 EA Document on Accreditation for Notification Purposes: Examples of scoping (Informative). EA-2/17 S2:2026 [online]. 25 June 2026, rev. 00. 11 s. [cit. 2026-09-10].

[15] Supplement 3 to EA-2/17 EA Document on Accreditation for Notification Purposes: Specific aspects of the Construction Products Regulation (Informative). EA-2/17 S3:2026 [online]. 25 June 2026, rev. 00. 8 s. [cit. 2026-09-10].

[16] STN EN ISO/IEC 17065:2012. Posudzovanie zhody. Požiadavky na orgány vykonávajúce certifikáciu výrobkov, procesov a služieb (ISO/IEC 17065: 2012).

[17] STN EN ISO/IEC 17020:2026. Posudzovanie zhody. Požiadavky na orgány vykonávajúce inšpekciu (ISO/IEC 17020: 2026).

[18] STN EN ISO/IEC 17024:2026. Posudzovanie zhody. Všeobecné požiadavky na orgány vykonávajúce certifikáciu osôb (ISO/IEC 17024: 2026).

[19] STN EN ISO/IEC 17025:2017. Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií (ISO/IEC 17025: 2017).

[20] STN EN ISO/IEC 17021-1:2015. Posudzovanie zhody. Požiadavky na orgány vykonávajúce audit a certifikáciu systémov manažérstva. Časť 1: Požiadavky (ISO/IEC 17021-1:2015).

[21] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2014/68/EÚ z 15. mája 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa sprístupňovania tlakových zariadení na trhu

[22] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 1/2016 Z. z. z o sprístupňovaní tlakových zariadení na trhu

[23] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2010/35/EÚ zo 16. júna 2010 o prepravovateľných tlakových zariadeniach a o zrušení smerníc Rady 76/767/EHS, 84/525/EHS, 84/526/EHS, 84/527/EHS a 1999/36/ES

[24] Zákon č. 254/2011 Z. z. o prepravovateľných tlakových zariadeniach a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.

[25] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2008/68/ES z 24. septembra 2008 o vnútrozemskej preprave nebezpečného tovaru

[26] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/797 z 11. mája 2016 o interoperabilite železničného systému v Európskej únii

[27] Zákon č. 513/2009 Z. z. o dráhach a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov

[28] Rozhodnutie Komisie 2010/713/EÚ z 9. novembra 2010 o moduloch na postupy posudzovania zhody, vhodnosti na použitie a overenia ES, ktoré sa majú použiť v technických špecifikáciách pre interoperabilitu prijatých podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2008/57/ES

[29] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/3110 z 27. novembra 2024, ktorým sa stanovujú harmonizované pravidlá uvádzania stavebných výrobkov na trh a zrušuje nariadenie (EÚ) č. 305/2011

[30] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011 , ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS

[31] Zákon č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
[32] STN EN 1090-1+A1: 2012. Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 1: Požiadavky na posudzovanie zhody konštrukčných dielcov (Konsolidovaný text)

.

Hodnotenie životnosti WC-Co nástroja určeného pre trecie zváranie s premiešaním

Jozef Bárta, Roman Kukuča, Katarína Bártová, Milan Marônek, Ivan buranský

Úvod

V dnešnej dobe, keď rastie tlak na znižovanie emisií a na udržateľnosť, prudko narastá potreba materiálov, ktoré sú zároveň ľahké a pevné. Navrhovanie konštrukcií, ktoré tieto požiadavky spĺňajú a súčasne zostávajú nákladovo efektívne, je nevyhnutné hlavne v odvetviach, ako sú automobilový priemysel, jadrová energetika, letectvo a kozmonautika či infraštruktúra. Väčšina strojov a konštrukcií je zložená zo samostatných dielov a preto metóda ich spájania zohráva kľúčovú úlohu. Pri tradičnom tavnom zváraní sa materiály na vytvorenie spoja natavia, čo môže počas tuhnutia viesť k vzniku chýb, najmä pri ľahkých neželezných kovoch. Alternatívnou metódou spájania je zváranie v tuhom stave, pri ktorom vzniká pevné metalurgické spojenie rovnorodých aj rôznorodých materiálov pri teplotách pod ich teplotou tavenia. Jednou z metód zvárania v tuhom stave je trecie zváranie s premiešaním (Friction Stir Welding, FSW), ktoré je známe od začiatku 90. rokov 20. storočia. Využíva sa rotujúci nástroj pozostávajúci z ramena (shoulder) a hrotu nástroja (probe), ktorý generuje teplo trením a vyvoláva intenzívnu plastickú deformáciu, čím umožňuje spojenie materiálov bez ich natavenia. Táto zásadná vlastnosť eliminuje typické chyby tavného zvárania, ako sú pórovitosť, vznik intermetalických fáz, strata legujúcich prvkov a tiež kryštalizačné trhliny. Trecie zváranie s premiešaním (FSW) je zavedenou a vysoko účinnou metódou spájania v tuhom stave, ktorá sa používa pre široké spektrum kovov. Keďže navyše nevznikajú svetelné efekty, dymy ani odpad, považuje sa za ekologickú technológiu. Umožňuje vytvárať vysokokvalitné spoje aj v materiáloch, ktoré sa zvyčajne zvárajú obtiažne, vrátane materiálov s nízkou hustotou a vysokou ťažnosťou, ako sú hliník, horčík a titán a ich zliatiny. FSW možno použiť aj pri kompozitoch na báze polymérov. Umožňuje tiež spájanie rôznorodých kombinácií materiálov, ako sú meď, zinok, horčík, oceľ, titán, nikel a ich zliatiny [1,2,3].

Hliníkové zliatiny radu 7xxx predstavujú najpevnejšiu skupinu komerčne dostupných hliníkových zliatin, a preto sú kritickými materiálmi v leteckom a kozmickom priemysle. Zliatina AW7075-T651 ponúka mimoriadnu kombináciu vysokej pevnosti, dobrej odolnosti proti únave a lomovej húževnatosti. Tieto vynikajúce mechanické vlastnosti zliatiny na báze systému Al–Zn–Mg–Cu sú výsledkom precipitačného vytvrdzovania, najmä prostredníctvom tvorby metastabilnej fázy η′ ($MgZn_2$), ktorá umožňuje dosiahnuť pevnosť v ťahu nad 500 MPa. Jej zvariteľnosť tavnými procesmi je však výrazne obmedzená pre náchylnosť na trhliny za tepla a významnú degradáciu mechanických vlastností spôsobenú rozpúšťaním alebo hrubnutím spevňujúcich precipitátov [4,5,6,7].

Konštrukcia a životnosť nástroja predstavujú kritické výzvy pri FSW vysokopevných hliníkových zliatin, ako je AW7075-T651. Geometria nástroja je jedným z najdôležitejších parametrov FSW a mnohé štúdie skúmajú, ako geometria ovplyvňuje FSW spoje [8,9,10]. Tvar a veľkosť hrotu nástroja a ramena nástroja ovplyvňujú generovanie tepla a tok materiálu a v

konečnom dôsledku aj vznik chýb a pevnosť spojov. Štúdie preukázali, že optimalizovaná geometria hrotu nástroja dokáže znížiť výskyt objemových chýb, ako sú dutiny či tunelová chyba, zatiaľ čo prvky na ramene nástroja ovplyvňujú kvalitu povrchu a rozloženie tepla. [8,9,10,11,12,13].

Abrazívny charakter zliatiny, vyplývajúci z prítomnosti tvrdých intermetalických častíc a precipitátov, urýchľuje opotrebenie nástroja a priamo ovplyvňuje kvalitu zvaru, stabilitu procesu a jeho ekonomickú efektívnosť. Hlavnými mechanizmami opotrebenia ramena nástroja sú adhézia, abrázia a prenos materiálu, zatiaľ čo opotrebenie hrotu nástroja je spôsobené mechanickou interakciou s rôznymi zónami materiálu v kombinácii s termomechanickým zaťažením [12].

Voľba materiálu nástroja je kritickým parametrom trecieho zvárania s premiešaním, pretože priamo ovplyvňuje kvalitu zvaru a významne vplýva na charakter opotrebenia a životnosť nástroja. Na zváranie vytvrdených hliníkových zliatin sa často používajú rýchlorezné ocele, najmä oceľ H13, čo je nástrojová oceľ na báze chrómu, ktorá sa vďaka kombinácii odolnosti proti únavovým trhlinám a vysokej húževnatosti často používa pri aplikáciách za tepla. [13,14,15] V niektorých štúdiách sa namiesto nástrojových ocelí pri FSW vysokopevných hliníkových zliatin, ako je AW7075-T651, použili nástroje z WC-Co. Hlavným dôvodom je výrazne vyššia tvrdosť a lepšia odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Nástroje z WC-Co navyše vykazujú lepšiu tepelnú stabilitu a menšiu deformáciu nástroja, čo prispieva k stabilnejšiemu toku materiálu a konzistentnej kvalite zvaru. Použitie nástrojov z WC-Co tak môže predĺžiť životnosť nástroja a zvýšiť spoľahlivosť procesu. [16,17,18].

Experiment

Základným materiálom použitým v experimentoch bola hliníková zliatina AW7075-T651. Chemické zloženie bolo stanovené optickým emisným spektrometrom Bruker Q4 TASMAN (tabuľka 1). Typické mechanické vlastnosti zliatiny sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 1. Chemické zloženie zliatiny AW7075-T651 (hm. %)

Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Si	Mn	Ti	Ostatné (spolu)
88,700	6,440	2,511	1,740	0,201	0,178	0,082	0,059	0,018	0,071

Tabuľka 2. Typické mechanické vlastnosti zliatiny AW7075-T651 [26]

Parameter	Hodnota
Medza pevnosti R_m (MPa)	575
Medza klzu $R_{p0,2}$ (MPa)	503
Ťažnosť A_{50} (%)	11
Tvrdosť HB 10/0,5	150
Tvrdosť HV (prepočet z HB)	175
Teplota tavenia (T_M) (°C)	635

Základný materiál vo forme plechov bol dodaný v dvoch hrúbkach, 5 mm a 80 mm. Vzorky s hrúbkou 5 mm boli použité na proces zvárania, ako aj na hodnotenie mechanických a štruktúrnych vlastností, zatiaľ čo materiál s hrúbkou 80 mm sa použil výhradne na hodnotenie životnosti nástroja.

Návrh geometrie zváracieho nástroja bol zameraný na maximalizáciu produktivity a minimalizáciu vzniku chýb. Vychádzal z poznatkov získaných z literárnej rešerše, ktorá poukázala na to, že najlepšie výsledky zvárania sa dosahujú pri použití viacbokého ihlanového tvaru so závitom [26,27,28,29].

Keďže literatúra neposkytovala dostatok informácií o vplyve počtu bokov ihlana hrotu nástroja ani o vplyve väčšej či menšej hĺbky ihlana na úkor spojitosti závitu, rozhodli sme sa vyskúšať 5 rôznych geometrií hrotu, ktoré sú znázornené v tabuľke 4. Hrot každého nástroja mal tvar kužeľa zrezaného do pravidelného ihlana s rôznym počtom bokov a všetky hroty obsahovali závitový profil. Dĺžka hrotu nástroja bola 4,9 mm a hrot nástroja bol vyrobený z tyče s priemerom 6 mm. Použitá bola len jedna geometria ramena nástroja s priemerom 14 mm, ktorého kontaktná plocha obsahovala tri špirálové drážky s hĺbkou 0,5 mm (tabuľka 4). Rameno nástroja bolo vyrobené z nástrojovej ocele H13, zatiaľ čo hrot nástroja bol vyrobený zo spekaného karbidu volfrámu. Geometrie nástrojov boli vyvinuté v spolupráci so spoločnosťou MASAM s.r.o.

Tabuľka 4. Nástroje s rôznymi geometriami hrotu nástroja vyvinuté pre experiment

3HR	4HR	4HR-LO	4HR-HI	5HR

Na základe predchádzajúcich experimentov bola stanovená frekvencia otáčania nástroja 1000 s^{-1} a rýchlosť posuvu 500 mm/min pri zanorení ramena 0,2 mm. Tieto parametre boli experimentálne overené, aby pri zváraní nedošlo k vzniku defektov.

Všetky geometrie nástrojov boli testované na plechu zo zliatiny AW7075-T651 s hrúbkou 5 mm. Vzorky boli najprv podrobené vizuálnej kontrole podľa noriem ISO 25239-5 a ISO 17637. Zo stredných častí zvarov boli vyrezané vzorky (s vylúčením začiatku a konca zvaru), ktoré boli skúmané RTG-CT kontrolou. Vhodnosť geometrií nástrojov pre proces zvárania sa hodnotila na základe vzniku chýb, pričom cieľom bolo dosiahnuť bezchybné zvarové húsenice

pri čo najvyššej rýchlosti zvárania. Na základe výsledkov bol na ďalšie experimenty vybraný nástroj 4HR s uvedenými parametrami zvárania.

Po výbere optimálnej geometrie nástroja (4HR) nasledovalo hodnotenie životnosti. Základným materiálom použitým pri hodnotení životnosti (LTA) bola hliníková zliatina AW 7075 T651 s hrúbkou 80 mm. Cieľom experimentu bolo určiť vplyv rôznych materiálov hrotu s odlišnými mechanickými vlastnosťami na opotrebenie a životnosť nástroja. Na zistenie vplyvu materiálu hrotu nástroja na jeho životnosť boli použité tri rôzne materiály hrotu nástroja. Vyrobené nástroje boli podľa materiálov použitých na výrobu hrotu nástroja označené ako F06D, U08 a F10 (tabuľka 5). Charakteristiky materiálov sú uvedené v tabuľke 5. Skúmanie životnosti nástroja pri FSW prebiehalo pri konštantných parametroch zvárania. Na základe predbežných experimentov realizovaných na rovnakom materiáli s identickou geometriou nástroja boli zvolené parametre 1–5 (tabuľka 3). Tieto parametre boli vybrané preto, lebo predchádzajúce experimenty preukázali, že poskytujú dostatočné vnesené teplo na vytvorenie bezchybných zvarových spojov a zabezpečujú ich opakovateľnosť.

Tabuľka 5. Charakteristiky materiálov hrotu nástroja

Parameter	**Materiál hrotu nástroja / označenie nástroja**		
	F06D	**U08**	**F10**
Skupina ISO	K05-K10	K01-K05	K20-K30
Štruktúra	Ultrajemná	Ultrajemná	Submikrónová
Veľkosť zrna (µm)	0,6	0,6	0,7
Obsah Co ± 0,5 (%)	6	8	10
Tvrdosť HV30	1 840	2 010	1 580
TRS (N.mm-2)	3 500	3 700	3 800
Lomová húževnatosť KIC [MPa.m-0.5]	8,0	8,6	10,7

Prievary boli realizované podľa obrázka 2, pričom celková dĺžka zvarov sa sčítavala až do porušenia nástroja alebo do výskytu systematickej chyby zvaru. Zvary boli usporiadané do radov tak, aby sa využil celý povrch dosky. Dráha zvárania bola navrhnutá tak, aby minimálna medzera medzi susednými zvarmi bola 10 mm (kvôli výronku). Každá vrstva zvarov mala dĺžku približne 10 m. Doska bola k pracovnému stolu stroja upevnená štyrmi skrutkami. Rozmiestnenie dráh zvarov, ich rozmery a polohy sú znázornené na obrázku 2.

Obrázok 2. Schéma hodnotenia životnosti FSW nástrojov.

Po každej zvarenej vrstve bola doska ochladená pod 30 °C a z povrchu bola odfrézovaná vrstva s hrúbkou 0,5 mm, aby sa zabezpečili rovnaké povrchové podmienky pre ďalšiu vrstvu zvarov. Po frézovaní nasledovalo čistenie a odmastenie, aby sa pri každom novom zvarovom prechode zachovalo rovnaké trenie a teplota. Po očistení sa realizoval ďalší zvarový prechod a celý cyklus sa opakoval.

Opotrebenie nástroja bolo analyzované meraním geometrie pomocou mikroskopu Alicona Infinite FocusSL a vyhodnotenie prebiehalo v softvéri Zeiss Inspect. Pred touto analýzou boli nástroje chemicky očistené v roztoku NaOH, aby sa z ich povrchu odstránil nalepený hliník. Vzhľadom na zložitú geometriu nástroja a obavy, že čistenie v NaOH by mohlo narušiť integritu nástroja, opotrebenie nástroja nebolo pravidelne analyzované priamo. Namiesto toho bolo opotrebenie nástroja sledované nepriamo, prostredníctvom vyhodnocovania kontrolných zvarov.

Kontrolné zvary boli realizované vždy po 20 m, aby bolo možné po porušení nástroja odhaliť prípadné vnútorné chyby. Kontrolný zvar predstavoval návarový zvar s dĺžkou 150 mm realizovaný na samostatnej doske s hrúbkou 5 mm. Kvalita povrchu kontrolných zvarov bola hodnotená vizuálnou kontrolou podľa normy ISO EN 25239 5:2020. Ak boli pri vizuálnej kontrole zistené povrchové chyby, príslušný kontrolný zvar bol následne skúmaný pomocou röntgenovej CT analýzy s cieľom odhaliť vnútorné chyby. V prípade zistenia vnútorných chýb boli röntgenovej CT kontrole podrobené aj predchádzajúce kontrolné zvary, aby sa overil výskyt chýb, identifikovali potenciálne systematické chyby a následne sa určila životnosť nástroja.

Hodnotenie životnosti nástroja

Experiment bol realizovaný podľa metodiky (kapitola 2.2). Pre úvodný experiment bol použitý nástroj U08 s najtvrdším materiálom hrotu nástroja. Zvárací nástroj sa zlomil po 980 metroch dĺžky zvaru počas realizácie kontrolného zvaru. Tento kontrolný zvar bol spolu s 2 predchádzajúcimi kontrolnými zvarmi podrobený počítačovej tomografii s cieľom identifikovať prípadné vnútorné chyby.

Obrázok 9 zobrazuje röntgenovú CT analýzu kontrolného zvaru realizovaného po 980 m, kde došlo k porušeniu FSW nástroja. Biele oblasti na skene predstavujú materiál s vysokou hustotou (karbid volfrámu), zatiaľ čo sivá farba predstavuje hliníkovú zliatinu. Kontrolný zvar bol vyhotovený sprava doľava a nástroj sa porušil približne 20 mm za bodom zanorenia nástroja. Sken je skreslený v dôsledku veľkého množstva materiálu s vysokou hustotou, čo potvrdzuje, že hrot nástroja zostal po porušení v doske. Malé biele častice boli viditeľné aj v blízkosti povrchu pozdĺž kontrolného zvaru. Pochádzali z porušeného hrotu nástroja, a keďže rameno nástroja pokračovalo po dráhe, zamiešalo tieto zvyšné úlomky zlomeného nástroja do povrchu základného materiálu.

Obrázok 9. Röntgenový CT sken kontrolného zvaru po 980 metroch: (a) pohľad zhora a (b) pohľad v priereze.

Obrázok 10 zobrazuje výsledky röntgenovej CT analýzy kontrolného zvaru po 960 m, kde bolo zistených niekoľko dutín. Snímky priečneho rezu odhaľujú vznik tunelovej chyby v koreni kontrolného zvaru, ktorá sa vyskytovala na dĺžke približne 20 mm (13,3 % z celkovej dĺžky zvaru). V tomto kontrolnom zvare sa nenachádzal žiadny materiál s vysokou hustotou. Keďže v predchádzajúcom kontrolnom zvare neboli zistené žiadne chyby, životnosť nástroja U08 bola stanovená na 940 m.

Obrázok 10. Röntgenová CT analýza kontrolného zvaru po 960 m: (a) pohľad v priereze kolmo na os zvaru a (b) pohľad v priereze rovnobežne s osou zvaru.

Celý postup sa zopakoval so zváracím nástrojom F06D. Tento nástroj dosiahol celkovú dĺžku zvárania 1 560 m bez porušenia a bez zistených chýb na kontrolných zvaroch, čo sa neočakávalo. Z dôvodu časových obmedzení bol test v tomto bode ukončený a pozornosť sa presunula na hodnotenie opotrebenia nástroja. Nástroj F06D bol porovnaný s novým nástrojom identickej geometrie. Obrázok 11 predstavuje 3D sken použitého nástroja spolu s farebnou mapou odchýlok, ktorá kvantifikuje geometrické rozdiely medzi opotrebeným a referenčným nástrojom pomocou lokálneho zosúladenia metódou best fit na hrote (nie na ramene nástroja).

Obrázok 11. 3D skenovacia analýza nástroja F06D: (a) farebná mapa odchýlok, (b) meranie polomeru nábežnej hrany.

Farebná mapa odchýlok ukázala, že nábežná hrana nástroja bola zaoblená, pričom na vrchole hrot nástroja bolo pozorované aj vyštrbenie (obrázok 11a). Vyvýšené ostrovčeky pozorované na ramene nástroja sú zvyšky nalepeného hliníka, ktoré zostali po chemickom čistení. Obrázok 11b ukazuje, že nábežná hrana nového nástroja (označená ako „nominal“) s polomerom 0,05 mm sa na testovanom hrote (označenom ako „actual“) zaoblila na polomer 0,29 mm. Dev. znamená rozdiel medzi novou a opotrebenou nábežnou hranou. Opotrebenie nástroja bolo s

najväčšou pravdepodobnosťou spôsobené spevňujúcimi precipitátmi prítomnými v precipitačne vytvrdenej hliníkovej zliatine. K porušeniu nástroja došlo po 1 640 m; výsledky testu však mohli byť ovplyvnené procesom čistenia 10 % roztokom NaOH.

Zváranie posledným nástrojom F10 preto nebolo prerušené, aby bolo možné určiť jeho maximálnu životnosť. Celková dĺžka zvárania bola 2 700 m, počas ktorých nástroj nevykazoval žiadne známky výrazného opotrebenia a na kontrolných zvaroch sa nevyskytli žiadne chyby. Vzhľadom na časovú náročnosť experimentov bol test v tomto bode ukončený a geometria nástroja bola vyhodnotená. Opotrebenie nástroja bolo identifikované na nábežných hranách, pričom najvýraznejšie opotrebenie sa vyskytlo v strednej časti výšky hrotu nástroja (obrázok 12a). Namerané zaoblenie nábežnej hrany bolo len 0,46 mm (obrázok 12b), čo potvrdzuje vizuálne pozorovanie, že nástroj nie je nadmerne opotrebený a stále je schopný vytvárať zvary prijateľnej kvality. Rovnako ako pri predchádzajúcom nástroji bolo pozorované vyštrbenie tej istej časti hrotu nástroja. Toto vyštrbenie bolo pravdepodobne spôsobené kombináciou tenkého materiálu medzi drážkami a vysokého napätia na začiatku fázy zanorenia, keď nástroj vnikal do materiálu.

Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že nástroj F10 dosiahol najvyššiu životnosť spomedzi testovaných nástrojov s rôznymi materiálmi hrotu nástroja. Dlhšia životnosť hrotu nástroja pravdepodobne súvisela s jeho nižšou tvrdosťou v kombinácii s vyššou lomovou húževnatosťou. Vlastnosti materiálu poskytujú dostatočnú tvrdosť na nízke opotrebenie nástroja spôsobené precipitátmi a zároveň zabezpečujú primeranú húževnatosť, ktorá zabraňuje krehkému lomu hrotu nástroja.

Obrázok 12. 3D skenovacia analýza nástroja F10: (a) detail zaoblenia nábežnej hrany, (b) meranie polomeru nábežnej hrany.

Záver

Geometria FSW nástroja má významný vplyv na kvalitu zvaru, preto bola na vytvorenie bezchybných zvarov na základe predchádzajúceho výskumu použitá geometria hrotu nástroja 4HR. Opotrebenie nástroja bolo spôsobené predovšetkým abrazívnou interakciou so základným materiálom obsahujúcim spevňujúce precipitáty. Predpoklad, že nástroj s najtvrdším materiálom hrotu nástroja bude najodolnejší zlyhal na krehkosti, keďže došlo k predčasnému zlomeniu hrotu. Spomedzi testovaných materiálov hrotu nástroja dosiahol najvyššiu životnosť nástroj s materiálom hrotu F10 (s najnižšou tvrdosťou), a to dĺžku zvárania 2 700 m bez

výrazného opotrebenia či vzniku chýb. Vynikajúce vlastnosti nástroja F10 sa pripisujú jeho vyváženej kombinácii dostatočnej tvrdosti a vyššej lomovej húževnatosti, ktorá zabezpečila nízke opotrebenie a zabránila krehkému lomu hrotu nástroja. Je pravdepodobné, že ak by geometria hrotu nástroja uvažovala s väčším priemerom hrotu nástroja, bol by odolnejší axiálnym silám pôsobiacim na hrot nástroja a mohol by lepšie odolávať krehkému lomu.

Poďakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-21-0111.

Literatúra

1. Mir, F.A.; Khan, N.Z.; Siddiquee, A.N.; Parvez, S. Friction based solid state welding – A review. Mater. Today Proc. 2022, 62, 55–62.
2. Li, R.; Li, T. Advanced Welding Methods and Equipment; Springer: Singapore, 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4109-0
3. Rai, R.; De, A.; Bhadeshia, H.K.D.H.; DebRoy, T. Review: friction stir welding tools. Sci. Technol. Weld. Join. 2011, 16, 325–342.
4. Zhou, B.; Liu, B.; Zhang, S. The advancement of 7XXX series aluminum alloys for aircraft structures: A review. Metals 2021, 11, 718.
5. Kumar, R.; Bhadauria, S.S.; Sharma, V.; Mohan, Kumar, M. Effect on microstructure and mechanical properties of single pass friction stir welded aluminum alloy AW-7075-T651 joint. Mater. Today Proc. 2023, 80, 40–47.
6. Dalai, B.; Moretti, M.A.; Åkerström, P.; Arvieu, C.; Jacquin, D.; Lindgren, L.-E. Mechanical behavior and microstructure evolution during deformation of AW7075-T651. Mater. Sci. Eng. A 2021, 822, 141615.
7. Kosturek, R.; Torzewski, J.; Wachowski, M.; Śnieżek, L. Effect of welding parameters on mechanical properties and microstructure of friction stir welded AW7075-T651 aluminum alloy butt joints. Materials 2022, 15, 5950.
8. Radisavljević, I.; Živković, A.; Grabulov, V.; Radović, N. Influence of pin geometry on mechanical and structural properties of butt friction stir welded 2024-T351 aluminum alloy. Hem. Ind. 2015, 69, 323–330.
9. Das, J.; Robi, P.S.; Sahu, P.K. Tool pin profile and process parameter effects on strength–microstructure–fatigue fracture of FSW AW6061-T6. JOM 2026, 78, 3107–3120.
10. Vairis, A.; Petousis, M.; Mountakis, N.; Tsarouchidou, C.; Vidakis, N. The effect of tool geometry on the strength of FSW aluminum thin sheets. Materials 2022, 15, 8187.
11. Bayazid, S.M.; Farhangi, H.; Asgharzadeh, H.; Radan, L.; Ghahramani, A.; Mirhadi, A. Effect of pin profile on defects of friction stir welded 7075 aluminum alloy. Procedia Mater. Sci. 2015, 11, 12–16.
12. Feddal, I.; Chairi, M.; Di Bella, G. Analysis of friction stir welding of aluminum alloys. Metals 2025, 15, 532.
13. Li, R.; Li, T. Advanced Welding Methods and Equipment; Springer Nature Singapore: Singapore, 2024.
14. Kumar, R.S.; Robi, P.S.; Sahu, P.K. Effect of tool pin profile and welding parameters on mechanical properties of friction stir welded aluminum alloy joints. Mater. Today Proc. 2020, 38, 112–118.

15. Kumar, R.; Rajasekaran, T.; Suresh, S.; Garg, D.; Gouda, D.; Tiwari, R.; Singh, A. Characteristic study of friction stir welding of aluminum alloy AW7075 using H13 surface hardened tool steel with variable tool pin design. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020, 912, 032033.
16. Yeshitla, G.; Palani, S.; Yigezu, B. Mechanical characteristics of dissimilar friction stir welding processes of aluminum alloy (AW 2024-T351 and AW 7075-T651). Manuf. Rev. 2024, 11, 18.
17. Belnap, R.; Smith, T.; Wright, A.; Hovanski, Y. Considerations for tungsten carbide as tooling in refill friction stir spot welding. Materials 2024, 17, 3799.
18. Wu, C.; Wang, J.; Wang, Q.; Xia, P.; Li, D. 7075 aluminum alloy friction stir welding (FSW): Quality analysis and mechanical properties with WC-Co tool. Mater. Today Commun. 2024, 39, 108203.

3D skenovanie ako zdroj dát pre hodnotenie povrchových artefaktov vytvorených abrazívnym vodným prúdom

Tomáš CORANIČ[1], František BOTKO[1], Radoslav VANDŽURA[1], Michal HATALA[1], Svetlana RADCHENKO[1], Matúš GEĽATKO[1]

[1]Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Bayerova 1, 080 01 Prešov

Abstrakt

V súvislosti so zavádzaním umelej inteligencie do nedeštruktívneho testovania je nevyhnutné systematicky získavať kvalitné a relevantné údaje, ktoré budú tvoriť základ pre vytváranie štruktúrovaných dátových súborov a tréning AI modelov. Vzhľadom na špecifiká jednotlivých snímacích metód je pri vizuálnej kontrole vhodné kombinovať viacero spôsobov zobrazovania s cieľom dosiahnuť rozlišovaciu schopnosť porovnateľnú, prípadne vyššiu, než poskytuje ľudský zrak. Predkladaný príspevok sa zameriava na posúdenie a porovnanie schopností 3D skenovania pri rozlišovaní povrchových artefaktov vytvorených abrazívnym vodným prúdom.

Úvod

Vizuálna metóda NDT (VT) sa postupne mení z tradičnej priamej kontroly vykonávanej inšpektorom na komplexnú digitálnu vizuálnu inšpekciu. Moderné systémy využívajú vysoko rozlišovacie priemyselné kamery, videoskopy, endoskopy, 2D a 3D skenery, termografické zobrazovanie či vzdialený prenos obrazu. Vďaka tomu je možné kontrolovať povrchy, zvary, potrubné systémy, vnútorné dutiny zariadení alebo rozsiahle konštrukcie s vyššou opakovateľnosťou, lepšou dokumentovateľnosťou a menšou závislosťou od subjektívneho posúdenia operátora [9]. Kľúčovým trendom je nasadenie umelej inteligencie a strojového videnia, ktoré rozširujú možnosti klasickej vizuálnej kontroly. Algoritmy spracovania obrazu a modely založené na hlbokom učení dokážu automaticky identifikovať možné indikácie povrchových chýb, napríklad trhliny, póry, koróziu, deformácie, neúplné zvary alebo znečistenie povrchu. AI zároveň umožňuje filtrovať veľké objemy obrazových dát, zvýrazňovať relevantné oblasti, porovnávať aktuálny stav s referenčnými vzormi a urýchľovať rozhodovanie inšpektora. Úlohou technológie pritom nie je úplne nahradiť odborníka, ale zvýšiť spoľahlivosť, konzistentnosť a rýchlosť hodnotenia [2].

Rastie aj využitie robotov, dronov a mobilných crawlerov, ktoré umožňujú vykonávať vizuálnu kontrolu v priestoroch s obmedzeným prístupom alebo so zvýšeným rizikom pre človeka. Ide najmä o vnútorné priestory nádrží, potrubí, tlakových zariadení, výmenníkov

tepla, komínov, mostných konštrukcií, energetických zariadení či rozsiahlych výrobných hál. Diaľkovo ovládané alebo autonómne platformy môžu niesť kamery, osvetľovacie systémy, 3D skenery a ďalšie snímače, pričom prenášajú obrazové údaje v reálnom čase. Tým sa zvyšuje bezpečnosť pracovníkov, skracuje čas odstávky zariadení a zlepšuje dostupnosť miest, ktoré by boli pri bežnej manuálnej kontrole ťažko alebo vôbec neprístupné [3]. V duchu konceptu Industry 4.0 sa vizuálne testovanie prepája s priemyselným internetom vecí (IIoT), cloudovými službami, edge spracovaním a podnikovými informačnými systémami. Údaje z vizuálnej kontroly sa tak neukladajú iba vo forme jednotlivých fotografií alebo protokolov, ale môžu byť súčasťou digitálneho záznamu o stave výrobku, komponentu alebo technologického zariadenia. Integrácia s databázami kvality, systémami riadenia údržby, výrobnými systémami a systémami sledovateľnosti umožňuje spätne analyzovať výskyt chýb, identifikovať opakujúce sa príčiny poškodenia a prijímať kvalifikovanejšie rozhodnutia v oblasti výroby, kontroly kvality a servisu [4].

1. Digitalizácia v NDT

Výsledkom tejto transformácie je, že vizuálna NDT už neslúži iba na jednoduché zistenie povrchovej vady. Stáva sa významným zdrojom dát pre automatizované rozhodovanie, hodnotenie technického stavu, riadenie kvality a optimalizáciu údržby. Pri prepojení s digitálnym dvojčaťom môže obrazová dokumentácia podporovať priebežné porovnávanie reálneho stavu zariadenia s jeho virtuálnym modelom. V kombinácii s historickými údajmi, prevádzkovými parametrami a ďalšími NDT metódami vytvára VT predpoklady aj pre prediktívne riadenie procesov, včasnú identifikáciu degradačných mechanizmov a efektívnejšie plánovanie zásahov[5].

Zavádzanie umelej inteligencie do nedeštruktívneho testovania si vyžaduje systematický, dlhodobý a metodicky riadený zber kvalitných, relevantných a reprezentatívnych dát. Dátové vstupy musia zachytávať reálne podmienky kontroly, variabilitu materiálov, povrchových stavov, osvetlenia, typov chýb aj úrovní poškodenia. Len dostatočne rozsiahly a správne pripravený dátový základ umožňuje vytvárať modely AI, ktoré budú spoľahlivo fungovať nielen v laboratórnych podmienkach, ale aj v reálnej priemyselnej prevádzke [6].

Pre efektívny tréning AI modelov je potrebné vytvárať štruktúrované dátové súbory, ktoré obsahujú spoľahlivo opísané povrchové znaky, artefakty a chyby. Každý záznam by mal byť doplnený o relevantné metadáta, napríklad informácie o type materiálu, technológii výroby, použitom snímacom zariadení, parametri osvetlenia, rozlíšení snímky, meracom rozsahu či

polohe skúmanej oblasti. Nevyhnutnou súčasťou je aj odborná anotácia dát, teda jednoznačné označenie výskytu, tvaru, rozmerov, intenzity a klasifikácie povrchových indikácií. Takto pripravené dátové súbory vytvárajú predpoklad pre učenie, validáciu a objektívne porovnávanie jednotlivých algoritmov [7].

Pri vizuálnej kontrole samotná jedna snímacia metóda často neposkytuje dostatočnú rozlišovaciu schopnosť na úrovni ľudského zraku a odborného posúdenia. Bežný obraz z RGB kamery môže síce zachytiť farebné kontrasty, znečistenie alebo výraznejšie poškodenia, ale nemusí dostatočne rozlíšiť jemnú topografiu povrchu, mikroskopické nerovnosti, plytké stopy po obrábaní alebo malé trhliny. Výsledok kontroly je pritom ovplyvnený aj geometriou povrchu, vlastnosťami materiálu, odrazivosťou, smerom osvetlenia a nastavením optickej sústavy. Preto je pri náročnejších aplikáciách potrebné doplniť klasické vizuálne hodnotenie o ďalšie zobrazovacie a meracie techniky[8].

Kombinácia viacerých snímacích metód môže významne zvýšiť presnosť detekcie, identifikácie a klasifikácie povrchových artefaktov. Prepojenie farebného 2D zobrazenia, 3D skenovania, profilometrie, mikroskopického snímania alebo ďalších optických metód umožňuje súčasne hodnotiť vzhľad povrchu aj jeho priestorovú geometriu. Kým 2D obraz poskytuje informáciu o kontraste, farbe a vizuálnom charaktere indikácie, 3D údaje umožňujú určovať hĺbku, výšku, šírku, objem, drsnosť alebo priestorové rozloženie nerovností. Fúzia týchto dát následne vytvára kvalitnejší vstup pre automatizované algoritmy a znižuje riziko nesprávnej interpretácie povrchového znaku [9].

Povrchové artefakty vytvorené abrazívnym vodným prúdom predstavujú vhodný modelový prípad na overenie schopností pokročilých snímacích technológií. AWJ obrábanie môže na povrchu vytvárať charakteristické stopy, nerovnosti, striácie, lokálne deformácie, oblasti s odlišnou drsnosťou alebo poškodenia závislé od parametrov procesu. Takéto artefakty majú rozdielnu veľkosť, tvar a priestorový charakter, preto umožňujú skúmať citlivosť jednotlivých metód na rozpoznanie povrchových zmien. Zároveň poskytujú kontrolované prostredie, v ktorom možno porovnávať presnosť snímania, opakovateľnosť merania a schopnosť algoritmov správne klasifikovať rôzne typy povrchových javov [1]

Výskum preto reaguje na potrebu objektívne posúdiť, do akej miery je možné 3D skenovanie využiť pri digitalizácii a automatizovanom hodnotení povrchu. Dôležité je overiť, či 3D skenovacie systémy dokážu s požadovanou presnosťou zaznamenať relevantné topografické parametre povrchu a rozlíšiť artefakty, ktoré majú význam z hľadiska kvality, funkčnosti alebo ďalšieho spracovania súčiastky. Cieľom nie je iba vytvoriť digitálny model povrchu, ale transformovať namerané priestorové dáta na objektívne hodnotiace kritériá použiteľné pre

automatickú detekciu, klasifikáciu a rozhodovanie. Takýto prístup môže v budúcnosti podporiť vytváranie inteligentných kontrolných systémov, ktoré budú prepájať 3D metrológiu, strojové videnie a algoritmy umelej inteligencie v rámci digitálneho riadenia kvality [7],[8], [9].

2. Príprava a realizácia experimentu experimentu

Boli vyrobene 3 experimentálne vzorky technológiou SLM z materiálu SS316L, ktoré boli následne obrobené pri rôznych vzdialenostiach ústia fokusačnej trubice od materiálu (SoD) a pri expozícii od 1 do 5 sekúnd a hmotnostnom toku abrazíva 80 $g.min^{-1}$.

Tab 1. Parametre obrábania pre jednotlivé vzorky

VZORKA 1			
Č.	**SOD**	**t**	**m_a**
1	**20**	**1**	**80**
2	**20**	**2**	**80**
3	**20**	**3**	**80**
4	**20**	**4**	**80**
5	**20**	**5**	**80**
VZORKA 2			
Č.	**SOD**	**t**	**m_a**
1	**40**	**1**	**80**
2	**40**	**2**	**80**
3	**40**	**3**	**80**
4	**40**	**4**	**80**
5	**40**	**5**	**80**
VZORKA 3			
Č.	**SOD**	**t**	**m_a**
1	**60**	**1**	**80**
2	**60**	**2**	**80**
3	**60**	**3**	**80**
4	**60**	**4**	**80**
5	**60**	**5**	**80**

Pri digitalizácii povrchov erodovaných abrazívnym vodným prúdom predstavuje 3D skener s 7-líniovým modrým laserom vhodný nástroj na získavanie detailných priestorových údajov o topografii skúmaného povrchu. Deklarovaná presnosť až 0,02 mm umožňuje zaznamenať jemné povrchové nerovnosti, charakteristické striácie, prechody medzi jednotlivými

oblasťami rezu, lokálne prehĺbeniny a ďalšie artefakty vznikajúce pôsobením abrazívneho vodného prúdu. Takto získané 3D dáta umožňujú prekonať obmedzenia bežného 2D obrazového hodnotenia, pretože neposkytujú iba vizuálnu informáciu o vzhľade povrchu, ale aj údaje o jeho skutočnej priestorovej geometrii.

Dôležitou súčasťou presného skenovania je využitie reflexných markerov, ktoré plnia funkciu pevných referenčných bodov v meranom 3D priestore. Markery podporujú spoľahlivé sledovanie polohy skenera vzhľadom na objekt, najmä pri geometricky jednoduchých, málo členitých alebo symetrických súčiastkach, pri ktorých by samotný tvar povrchu nemusel poskytovať dostatok jednoznačných orientačných znakov. Ich použitím sa zvyšuje stabilita registrácie jednotlivých skenovaných záberov a zároveň sa obmedzuje vznik kumulatívnej pozičnej chyby, označovanej ako drift.

Režimy Standard a Ultra-Detail umožňujú prispôsobiť úroveň spracovania mračna bodov požiadavkám konkrétnej úlohy. Štandardný režim je vhodný na rýchlejšiu orientačnú digitalizáciu povrchu, zatiaľ čo režim Ultra-Detail uprednostňuje vysokú hustotu nameraných bodov a dôslednejšie zachovanie lokálnych tvarových zmien, ostrých hrán a jemných povrchových detailov. Pri hodnotení artefaktov po AWJ môže byť detailnejší režim využitý na presnejšie rozlíšenie tvaru drážok, lokálnych nerovností a zmien topografie, ktoré sú relevantné pre ďalšiu klasifikáciu povrchu alebo prípravu dátových súborov pre metódy umelej inteligencie.

Funkcia Noise Removal, teda odstránenie šumu, predstavuje následné softvérové spracovanie nameraných údajov. Jej úlohou je filtrovať nežiaduce body, rušivé odrazy, izolované meracie odchýlky a artefakty, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť kvalitu výsledného 3D modelu.

Obr1. Skenovanie modrým laserom

Obr 2. Hodnotenie artefaktov

Obr 3. Vizualizácia nameraných údajov

Záver

Topografia povrchu súčiastok vyrobených technológiou selektívneho laserového tavenia (**SLM**) predstavuje významný faktor ovplyvňujúci presnosť ich bezkontaktného 3D merania. Povrchy vytvorené aditívnou výrobou sa vyznačujú zvýšenou drsnosťou, nerovnomernou morfológiou a charakteristickou textúrou tvorenou čiastočne natavenými časticami prášku, stopami po jednotlivých vrstvách a lokálnymi tvarovými odchýlkami. Takáto povrchová štruktúra zvyšuje neistotu pri matematickom určovaní referenčnej roviny, od ktorej sa

následne vyhodnocuje hĺbka povrchových zahĺbení, dutín alebo iných geometrických prvkov. Správne stanovenie tejto referencie je preto rozhodujúce pre objektívne porovnanie výsledkov 3D skenovania s referenčným meraním vykonaným optickým mikroskopom.

Napriek náročnej a nepravidelnej povrchovej morfológii SLM vzoriek bola v optimálnom prípade zaznamenaná minimálna absolútna odchýlka 0,002 mm. Tento výsledok poukazuje na schopnosť použitého 3D skenera identifikovať a hodnotiť malé geometrické prvky aj na povrchoch s výraznou drsnosťou a komplikovanou topografiou. Zároveň potvrdzuje, že pri vhodnom nastavení skenovacích parametrov, správnej registrácii nameraných dát a primeranom spracovaní mračna bodov možno dosiahnuť výsledky použiteľné na rozmerovú kontrolu aditívne vyrobených súčiastok.

Pri hodnotení hlbších dutín, najmä pri fragmentoch s rozmerom nad 1,4 mm, bol pozorovaný mierny nárast odchýlok. Tento jav možno vysvetliť kombináciou geometrického tieňovania laserového lúča v hĺbke meraného otvoru a zvýšenej disperzie alebo rozptylu svetla na drsnom povrchu. Časť povrchu dna dutiny tak nemusí byť snímaciemu systému plne dostupná alebo môže byť zaznamenaná s nižšou kvalitou. Výsledkom môže byť mierne podhodnotenie reálnej hĺbky v porovnaní s hodnotou určenou prostredníctvom optickej ohniskovej roviny mikroskopu. Pri interpretácii výsledkov je preto potrebné zohľadniť nielen deklarovanú presnosť zariadenia, ale aj vplyv geometrie meraného prvku, jeho hĺbky, sklonu stien a lokálnej kvality povrchu.

Získané výsledky potvrdzujú potenciál 3D skenovania ako efektívneho nástroja na rozmerovú verifikáciu komponentov vyrobených technológiou SLM. V porovnaní s bodovým meraním prostredníctvom mikroskopu umožňuje 3D skenovanie rýchlejšie plošné vyhodnotenie celého povrchu, vytvorenie digitálneho modelu súčiastky a následnú analýzu rozmerových odchýlok, dutín, povrchových defektov alebo lokálnych zmien topografie. Metóda tak môže predstavovať vhodné riešenie pre technickú kontrolu kvality aditívne vyrobených dielov s vysokými požiadavkami na rozmerovú integritu, opakovateľnosť merania a dokumentovanie výsledkov.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. VV-MVP-24-0190 a APVV-25-0272. Príspevok vznikol v rámci riešenia projektov VEGA 1/0551/26 and KEGA 004TUKE-4/2026. Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Výskum pokročilých technológií zvyšovania efektívnosti viacvalentných energetických systémov pre trvalo udržateľný rozvoj priemyslu, kódITMS21+:401101C504,

spolufinancovaného Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Rozvoj excelentných výskumných kapacít v oblasti aditívnych technológií pre Priemysel 21 storočia, kód ITMS:313011BWN5, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1]. Mitaľ, G., Dobránsky, J., Ružbarský, J., & Olejárová, Š. (2019). Application of laser profilometry to evaluation of the surface of the workpiece machined by abrasive waterjet technology. *Applied Sciences*, *9*(10), 2134.

[2]. Park, J. K., Kwon, B. K., Park, J. H., & Kang, D. J. (2016). Machine learning-based imaging system for surface defect inspection. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, *3*(3), 303-310.

[3]. Bhatt, P. M., Malhan, R. K., Rajendran, P., Shah, B. C., Thakar, S., Yoon, Y. J., & Gupta, S. K. (2021). Image-based surface defect detection using deep learning: A review. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, *21*(4), 040801.

[4]. Czimmermann, T., Ciuti, G., Milazzo, M., Chiurazzi, M., Roccella, S., Oddo, C. M., & Dario, P. (2020). Visual-based defect detection and classification approaches for industrial applications—a survey. *Sensors*, *20*(5), 1459.

[5]. Chen, Y., Ding, Y., Zhao, F., Zhang, E., Wu, Z., & Shao, L. (2021). Surface defect detection methods for industrial products: A review. *Applied Sciences*, *11*(16), 7657.

[6]. Cumbajin, E., Rodrigues, N., Costa, P., Miragaia, R., Frazão, L., Costa, N., ... & Pereira, A. (2023). A systematic review on deep learning with CNNs applied to surface defect detection. *Journal of Imaging*, *9*(10), 193.

[7]. Zong, Y., Liang, J., Wang, H., Ren, M., Zhang, M., Li, W., ... & Ye, M. (2021). An intelligent and automated 3D surface defect detection system for quantitative 3D estimation and feature classification of material surface defects. *Optics and Lasers in Engineering*, *144*, 106633.

[8]. Roos-Hoefgeest, S., Roos-Hoefgeest, M., Garcia, D., Alvarez, I., & González, R. C. (2025). Generating realistic 3D surface defects for training AI-Based industrial inspection systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *141*(9), 5457-5475.

[PZVAR MEETING] · [2026]

Implementácia umelej inteligencie ako asistenčného systému NDT inšpektora pri kontrole zvarov a výkovkov

Od amatérskeho používania verejných modelov k riadenému nasadeniu: prax, komerčné a lokálne riešenia a tvorba pomocnej dokumentácie ako prínos s najvyšším pomerom úžitku k riziku.

Marek Grega · Janette Brezinová · Jakub Brezina

Technická univerzita v Košiciach — Strojnícka fakulta, Katedra automobilovej výroby

[dátum konania]

VÝCHODISKO

Prečo vôbec AI do NDT inšpekcie?

- NDE 4.0 prepája senzoriku, kyberneticko-fyzikálne systémy a strojové učenie do jedného celku.
- Pri hodnotení stoviek snímok denne klesá reprodukovateľnosť klasifikácie vplyvom únavy a monotónnosti.
- Druhou, menej diskutovanou záťažou je administratíva: bez pracovnej inštrukcie nemožno kontrolu formálne vykonať (EN ISO 9712, STN EN 13018).
- Tvorba inštrukcií je vyhradená personálu úrovne 2 a 3 — vo výrobe s premenlivou geometriou vzniká úzke miesto.

15–20 %

pokles reprodukovateľnosti klasifikácie pri rozsiahlych kontrolných kampaniach

Príspevok rozlišuje dve vrstvy nasadenia AI s odlišným profilom rizika a určuje, ktorou z nich má podnik začať.

RÁMEC PRÍSPEVKU

Dve vrstvy nasadenia, dva profily rizika

Vnímacia vrstva — ADR

Hlboké učenie nad obrazom a signálom. Zasahuje priamo do rozhodovania o zhode výrobku.

Chyba = neodhalený defekt.

Vyžaduje kvalifikáciu podľa ENIQ RP13 alebo ASME Sec. V Art. 14 a štatistickú pravdepodobnosť detekcie $a_{90/95}$.

Jazyková vrstva — LLM

Veľké jazykové modely nad textom. Výstup vstupuje do procesu ešte pred samotnou kontrolou.

Chyba = zachytiteľná pri schvaľovaní.

Autorom dokumentu zostáva certifikovaná osoba — algoritmus nevyžaduje normatívnu kvalifikáciu.

Rozdiel v mieste vzniku chyby a v mieste jej zachytenia je dôvodom, prečo odporúčame začať jazykovou vrstvou.

KONCEPCIA

Štyri stupne asistencie AI (Human-in-the-Loop)

1 · Sekundárna verifikácia

Paralelný skríning po manuálnom vyhodnotení. Inšpektor kontroluje kompletne, AI je bezpečnostná sieť.

Regulačná náročnosť: nízka až stredná

2 · Interaktívna asistencia

Predbežné označenie oblastí záujmu, konfidencia, prvotné dimenzovanie. Inšpektor koriguje a potvrdzuje.

Regulačná náročnosť: stredná

3 · Selektívny predskríning

Autonómne vyradenie preukázateľne bezchybných záznamov. Inšpektor hodnotí len vyčlenené kusy.

Regulačná náročnosť: vysoká

4 · Plná autonómia

Samostatná detekcia, klasifikácia a vystavenie protokolu. Človek dohliada len na kalibráciu.

Regulačná náročnosť: extrémna

Odporúčaný vstupný stupeň pre priemyselnú prax je stupeň 2 — inšpektor má vždy možnosť korigovať hranice defektu a schváliť protokol.

VNÍMACIA VRSTVA · METÓDA 1

Vizuálna kontrola — najrozšírenejšia metóda

- Prvá a najčastejšie vykonávaná metóda NDT — predchádza všetkým ostatným a robí sa prakticky na každom kuse.
- Generuje najväčší objem obrazových dát a je najviac zaťažená subjektivitou hodnotiteľa.
- Nasadenie AI je technicky najprístupnejšie: vstupom je bežný RGB obraz, siete bežia na kamere pri linke alebo na tablete.
- Architektúry: MobileNetV3-SSD, YOLOv8-seg, Edge-ViT; boroskopy s fázovým 3D meraním prevedú indikáciu na rozmer.

Osvetlenie podľa STN EN 13018 (min. 160 lx celkové / 500 lx lokálne) sa pri AI asistencii stáva kalibračnou podmienkou modelu — jeho nedodržanie znehodnotí výstup algoritmu skôr než výstup človeka.

500 lx

minimálna intenzita osvetlenia pri lokálnej priamej vizuálnej kontrole

Hlavný limit: doménový posun

Zmena intenzity a smeru osvetlenia, lesk povrchu po tryskaní alebo obrobení a zmena uhla pohľadu vedú k prudkému poklesu detekčnej úspešnosti.

VNÍMACIA VRSTVA · METÓDA 2

Magnetická prášková metóda — nosná metóda pri výkovkoch

- Prevažná väčšina porúch kovaných dielov vychádza z povrchu: preplátovania (laps), vlasové a povrchové trhliny, zavalené okoviny.
- Normatívny rámec: ISO 9934-1, EN 10228-1 (výkovky), EN ISO 17638 a ISO 23278 (zvary), ASTM E1444 (letectvo).
- Drsný kováčsky povrch, okoviny, deliaca rovina zápustky a otrepy spôsobujú mechanické zachytávanie suspenzie → veľa falošných indikácií.
- Hodnotenie v zatemnenej kabíne pod UV, pri vysokom takte a s vysokým podielom bezchybných dielov — pozornosť operátora klesá najrýchlejšie.

Bezchybný kováčsky povrch je v obraze lokálne izotropný a približne symetrický; preplátovanie a trhlina tvoria anizotropnú, ostro ohraničenú akumuláciu častíc — na tomto princípe stavia sieť SDDNet.

mAP 45,5 %

SDDNet na súbore FDMPI snímok výkovkov — zlepšenie o 19 % oproti východiskovému modelu

Realistické očakávanie

Absolútna hodnota mAP je výrazne nižšia než pri rádiografii. AI má pri MT zmysel ako predtriedenie a potlačenie falošných indikácií, nie ako náhrada hodnotiteľa.

DOMÉNA ÚLOHY

Typológia chýb výkovkov, ktoré systém musí rozlíšiť

Trhlina — indikácia MT

Kováčske preplátovanie (lap)

Pozdĺžne trhliny

Okoviny a zápal povrchu

Časť týchto chýb nemožno potvrdiť voľným okom a vyžaduje MT alebo PT. Práve tu je zámena akceptačného kritéria alebo normy pri kódovaní chyby — typická halucinácia jazykového modelu — priamo nebezpečná.

PRAX · 1

Čo je dnes kvalifikované a nasadené

Platformy ADR

Waygate Rhythm, VisiConsult Xplus ADR, Trueflaw & EPRI echolyst A.I. — výstupy do formátu DICONDE.

Ringhals (SE)

Inšpekcia priechodiek veka tlakovej nádoby reaktora — prvý formálne kvalifikovaný asistenčný model podľa ENIQ RP13.

Zuluf (Saudi Aramco)

Vyše 5 000 rádiografických snímok obvodových zvarov potrubí; 90 až 95 % zhoda s posúdením inšpektorov úrovne 3.

Spoločný menovateľ: ide o kvalifikované systémy, nie o voľne dostupné nástroje

Nasadenie predpokladá technické odôvodnenie (TJ), slepé skúšky na realistických mock-upoch, zmrazenie váh prevádzkového modelu a jeho ochranu kryptografickým kontrolným súčtom podľa ENIQ RP13, respektíve kvalifikáciu procedúry podľa ASME Sec. V Art. 14, kde verzia softvéru a rozhodovacie prahy sú esenciálne premenné.

PRAX · 2

Druhá, nezdokumentovaná línia: „amatérska“ AI

Individuálne, nekoordinované používanie verejných generatívnych nástrojov jednotlivými inšpektormi a technológmi kvality — mimo systému riadenia kvality, bez záznamu, bez schválenia a spravidla aj bez vedomia zamestnávateľa.

Preklad a štylizácia protokolov a korešpondencie so zákazníkom	**prijateľné**
Dopyty na normatívne požiadavky namiesto nahliadnutia do platnej normy	**rizikové**
Sumarizácia noriem a predpisov do pracovných výťahov pre operátorov	**prijateľné**
Generovanie pracovných postupov z fotografie alebo skenu výkresu	**nebezpečné**
Pomocné výpočty a prepočty amplitúd, dB a ekvivalentných veľkostí chýb	**nebezpečné**

0

záznamov o prompte, verzii modelu a čase generovania

PRAX · 3

Šesť dôvodov, prečo je neriadené použitie problém

Únik dôverných dát

Nahratie výkresu do verejnej služby je sprístupnenie obchodného tajomstva zákazníka tretej strane.

Normatívna halucinácia

Model s vysokou istotou uvedie normu, ktorá pre daný typ výrobku neplatí — potvrdené aj experimentálne.

Nulová dosledovateľnosť

Bez záznamu o prompte, verzii modelu a čase nie je výsledný dokument auditovateľný.

Verziová nestabilita

Poskytovateľ mení model bez oznámenia. V zmysle ASME Sec. V Art. 14 ide o zmenu esenciálnej premennej.

Automatizačné skreslenie

Plynulý a sebaistý text zvyšuje ochotu prijať výstup bez kritického posúdenia.

Právna zodpovednosť

Podľa EN ISO 9712 nesie zodpovednosť certifikovaná osoba. Algoritmus nemá právnu subjektivitu.

Odpoveďou nie je plošný zákaz — ten vedie k presunu činnosti do súkromných zariadení, kde je riziko úniku dát ešte vyššie. Racionálnou odpoveďou je kanalizácia potreby do riadeného nástroja: schválené rozhranie s definovaným systémovým promptom, zákazom vkladania neanonymizovaných výkresov a povinným logovaním.

ODPORÚČANIA · 1

Štyri režimy nasadenia jazykových modelov

Kritérium	Verejná cloudová služba (bezplatná)	Podniková cloudová služba (API/SLA)	Lokálny model (on-premise)	Hybridný režim (lokálny + RAG)
Dôvernosť výkresov a dát	neprijateľná	zmluvne ošetrená	úplná	úplná
Dostupnosť a latencia	nezaručená (429/503)	zmluvne zaručená	nezávislá od internetu	nezávislá od internetu
Reprodukovateľnosť verzie	žiadna	čiastočná	úplná (zmrazený model)	úplná
Dosledovateľnosť a audit	žiadna	čiastočná	úplná	úplná
Znalosť interných predpisov	žiadna	žiadna bez doplnenia	žiadna bez doplnenia	vysoká (indexované)
Vstupné investičné náklady	nulové	nízke	vysoké (GPU server)	vysoké
Vhodnosť pre riadený proces	nevhodné	podmienečne vhodné	vhodné	ODPORÚČANÉ

Hybridný režim negeneruje normatívne údaje z parametrickej pamäte, ale ich vyhľadáva v overenom dokumentovom fonde a cituje zdroj — čím priamo adresuje najzávažnejšiu identifikovanú chybu, normatívnu halucináciu.

ODPORÚČANIA · 2

Regulačný rámec, ktorý treba mať na zreteli

EN ISO 9712

Inštrukciu musí vypracovať a podpisom schváliť certifikovaná osoba. Zodpovednosť je osobná.

ENIQ RP13 · ASME V Art. 14

Zmrazenie váh modelu, technické odôvodnenie, slepé skúšky. Verzia softvéru = esenciálna premenná.

ISO/IEC 42001:2023

Systém manažérstva umelej inteligencie — nástroj na zosúladenie AI s existujúcim SMK.

Nariadenie (EÚ) 2024/1689

Účinnosť od 1. 8. 2024, modely na všeobecné účely od 2. 8. 2025, vysokorizikové podľa prílohy I od 2. 8. 2028.

Bežné metriky strojového učenia (presnosť, F1) musia byť pri vnímacej vrstve povinne doplnené o štatisticky kvalifikovanú pravdepodobnosť detekcie s parametrom $a_{90/95}$ podľa MIL-HDBK-1823A — celková presnosť zakrýva zlyhanie modelu pri kriticky malých trhlinách.

EXPERIMENT

Ako sme overili prínos AI pri tvorbe dokumentácie

Agent

Špecializovaný agent na modeli Gemini 3.1 Flash s podrobnou systémovou inštrukciou v role NDT úrovne 2.

Referencia

Dvaja certifikovaní odborníci NDT úrovne 2 s identickým zadaním a identickými vstupmi.

Úloha

Pracovná inštrukcia pre priamu vizuálnu kontrolu podľa 14-bodového rámca STN EN 13018, tri výrobky.

Hodnotiteľ

Slepé hodnotenie odborníkom úrovne 3 podľa rubriky adaptovanej z rámcov HEAT a QUEST.

Hodnotené dimenzie: normatívna zhoda · technická presnosť · zrozumiteľnosť a použiteľnosť · bezpečnosť

Index zhody = podiel splnených povinných prvkov STN EN 13018 k ich celkovému počtu.

VÝSLEDKY

Rýchlosť, zhoda a kvalita textu

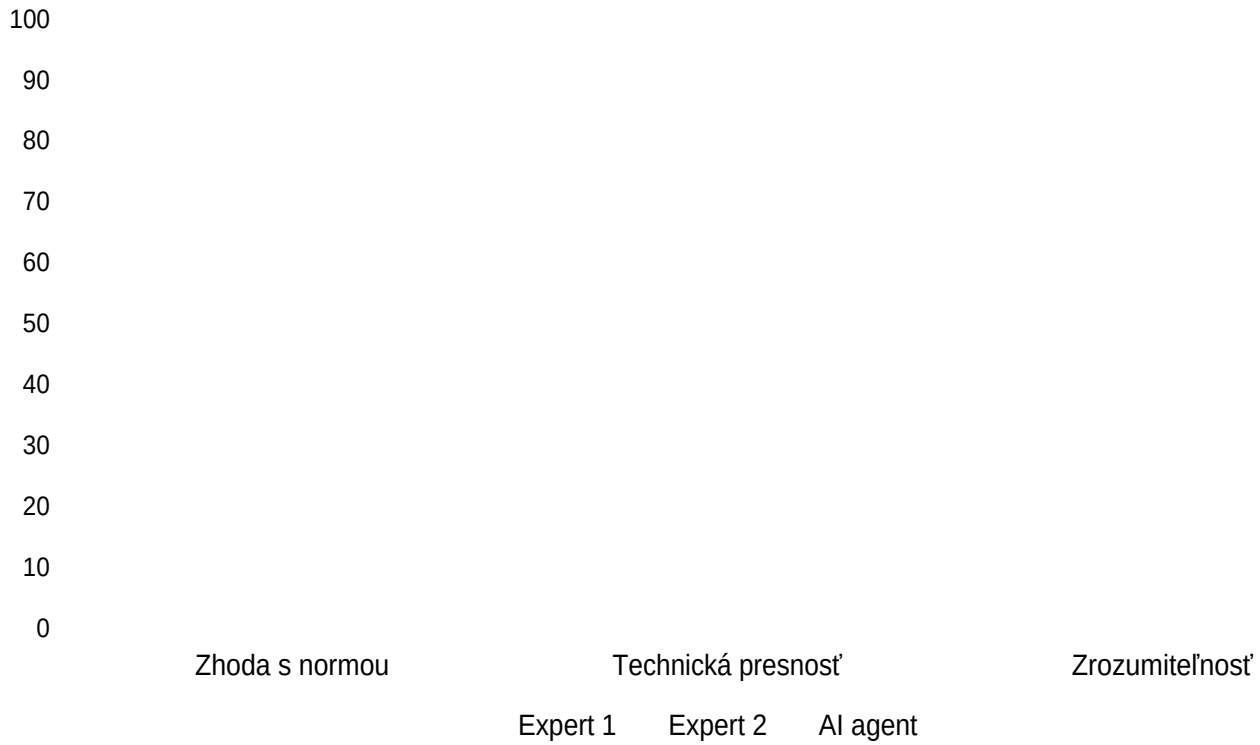
98,4 %

skrátenie času tvorby jednej pracovnej inštrukcie

54,5 s vs 56,8 min

Metrika	Expert 1	Expert 2	AI agent
Priemerný čas (min:s)	60:00	53:40	00:54
Zhoda s STN EN 13018 (%)	87,5	100	87,5
Technická presnosť (1–5)	3,3	4,0	3,7*
Zrozumiteľnosť (1–5)	3,3	3,7	4,0*

** ovplyvnené zlyhaním cloudovej služby v treťom pokuse*



Hodnoty technickej presnosti a zrozumiteľnosti normalizované z päťstupňovej Likertovej škály (5,0 → 100). AI agent dosiahol najvyššie hodnotenie zrozumiteľnosti.

LIMITÁCIE

Dve systematické zlyhania, ktoré sme zaznamenali

Metodické halucinácie

Povinné lupy so zväčšením 2× až 7× a zrkadlá na rádiusy, ktoré pre dané geometrie neboli potrebné.

Procesné chyby

Chemické čistenie a finálne povrchové úpravy (zinkovanie, lakovanie), ktoré neboli predmetom zákazky.

Normatívna zámena

Citovanie ISO 6520-1 namiesto odvetvovo príslušnej ČSN 42 1240, resp. interného predpisu — nález by bol neplatný.

HTTP 503 / 429

Tiché zlyhanie cloudovej služby. Po obnovení model nesprávne identifikoval funkciu komponentu, predpísal postupy pre zvarové spoje na bezšvovom výkovku a priradil drsnosť Ra 12,5 v rozpore s výkresom. Zmiernenie: exponenciálny odstup s opakovaním dopytu, stabilný alias modelu — alebo lokálne nasadenie.

ODPORÚČANIA · 3

Implementačný postup pre inšpekčnú organizáciu

1 **Zmapovať neriadené používanie AI**
a namiesto zákazu poskytnúť schválenú alternatívu s definovaným systémovým promptom.

2 **Začať jazykovou vrstvou**
tvorbou pracovných inštrukcií, šablón a prekladov — riziko kryje existujúci schvaľovací krok.

3 **Preferovať lokálny alebo hybridný režim**
s indexovanou databázou interných predpisov a platných noriem.

4 **Zaviesť povinné logovanie**
promptu, verzie modelu, času generovania a identity schvaľujúcej osoby.

5 **Pri ADR konfigurovať stupeň 2**
a vyžadovať DICONDE, nástroje vysvetliteľnosti a kvalifikáciu podľa ENIQ RP13 / ASME V Art. 14.

6 **Doplniť metriky ML o POD**
so štatisticky kvalifikovaným parametrom $a_{90}/_{95}$ podľa MIL-HDBK-1823A.

7 **Zosúladiť so systémom manažérstva**
podľa ISO/IEC 42001 a sledovať harmonogram nariadenia (EÚ) 2024/1689.

AI = asistent pri príprave konceptu · certifikovaný odborník = konečná autorita.

ZÁVER

Silný asistent — nie náhrada inšpektora

Nasadiť pre

- Rýchlu tvorbu konceptov — sekundy namiesto hodín
- Štandardizovaný a dobre čitateľný text
- Uvoľnenie kapacity expertov na odbornú validáciu

Strážiť

- Technické a normatívne halucinácie
- Tiché zlyhania cloudových služieb
- Únik dôverných dát pri neriadenom používaní

Implementácia AI do NDT je dnes realizovateľná výlučne v modeli človek v slučke. Najvyšší pomer úžitku k riziku má tvorba pomocnej dokumentácie.

Ďalší výskum: dotazníkový prieskum miery neriadeného používania AI a doladenie lokálnych modelov na uzavretom korpuse technických noriem.

Ďakujem za pozornosť

Marek Grega · Janette Brezinová · Jakub Brezina

Technická univerzita v Košiciach — Strojnícka fakulta, Katedra automobilovej výroby

marek.grega@tuke.sk · janette.brezinova@tuke.sk

POĎAKOVANIE

Visegrad Fund fellowship č. 62610056 · VEGA 1/0597/23 · KEGA 024TUKE-4/2025 · APVV-20-0303 · APVV-24-0381

CESTA K
DOKONALÉMU ZVARU

DOKONALOSŤ V KAŽDOM ZVARE

= ORBITÁLNE ZVÁRANIE

ZVÝŠENIE OPAKOVAEĽNOSTI, ČISTOTY A KONTROLY KVALITY V NÁROČNÝCH POTRUBNÝCH SYSTÉMOCH

www.solik.sk

VIAC NEŽ DODÁVATEĽ,
PARTNER PRE TECHNOLÓGIE

NÁVRH A NALÝZA

Odborné technické poradenstvo a výber správneho vybavenia

ŽIVÉ TESTOVANIE

Predvádzačky a testovacie zvary priamo na vašich materiáloch

INTEGRÁCIA A ŠKOLENIE

Zaškolenie personálu a zabezpečenie príslušenstva

NEODOVZDÁVAME LEN STROJE, ALE
FUNKČNÝ A ODSKÚŠANÝ PROCES

www.solik.sk

PROCES A POSTUP ORBITÁLNEHO ZVÁRANIA

FÁZA 1

PRÍPRAVA A INTELIGENTNÁ KONFIGURÁCIA

PRESNÉ DELENIE S ORBITÁLNOU PÍLOU

PRAVOUHLÝ REZ BEZ DEFORMÁCIÍ

FÁZA 2

REALIZÁCIA ZVARU A VÝSTUPNÁ KONTROLA

GYROSKOPICKÁ PRESNOSŤ A KONTROLA

ZVAR BEZ PRERUŠENIA V UZAVRETEJ KOMORE S INERTNOU ATMOSFÉROU

FINÁLNY CIEĽ

ZVAR V ROBOTICKEJ KVALITE

www.solik.sk

VÝHODY ORBITÁLNEHO ZVÁRANIA

GYROSKOPICKÁ PRESNOSŤ A KONTROLA

INTEGROVANÝ SENZOR A TEPLOTNÝ SNÍMAČ ZABEZPEČUJÚ DOKONALÚ OPAKOVATEĽNOSŤ KAŽDÉHO CYKLU

KVALITA ZVARU ROBOTICKÁ ČISTOTA

OPAKOVATEĽNOSŤ 100% STABILITA PRI SÉRIOVEJ VÝROBE

SLEDOVATEĽNOSŤ AUTOMATICKÉ UKLADANIE DÁT A DOKUMENTÁCIA

www.solik.sk

RUČNÝ TIG

KVALITA + OPAKOVATELNOSŤ - Závislá od zručnosti zvárača a vybavenia stroja

DOKUMENTÁCIA - Manuálne záznamy, riziko chýb pri audite

ČISTOTA A OXIDÁCIA - Riziko kontaminácie, nutnosť mechanického leštenia

DEFEKTOVOSŤ - Vyššie riziko opráv a nekonzistentnosti

VS. ORBITÁL

KVALITA + OPAKOVATELNOSŤ

100% opakovateľnosť, strojová presnosť, eliminácia ľudského faktora

DOKUMENTÁCIA

Automatický digitálny log, priama tlač reportu zhodného s normami

ČISTOTA A OXIDÁCIA

Uzavretá inertná atmosféra, absolútna ochrana koreňa zvaru

DEFEKTOVOSŤ

Rovnomerný, hladký koreň zvaru, ideálny pre RTG skúšky a štandardy

www.solik.sk

KDE ORBITÁLNA ČISTOTA NEPOZNÁ KOMPROMIS?

NEČÍTAJTE O TOM,
ZAŽITE DOKONALÝ ZVAR
NA VLASTNÉ OČI

ORBITALUM

PRESVEDČTE SA O MOŽNOSTIACH TECHNOLÓGIE
ORBITÁLNEHO ZVÁRANIA A ZAŽITE DOKONALÝ ZVAR.

DOHODNITE SI S NAŠÍM TECHNIKOM PREDVÁDZAČKU,
ALEBO OTESTUJTE ZARIADENIE PRIAMO
NA VAŠICH VZORKÁCH VO VÝROBE

+421 917 590 148
www.solik.sk

Zistite viac o
orbitálnom zváraní

Kombinácia lepenia a iných metód spájania materiálov

PZVAR MEETING 2026

30.09.- 02.10.2026

Marián Kriváne

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

SVV Praha, s.r.o.

Dva tými pracovníkov

- **Zváranie**
  - Praha (CZ)
- **Lepenie**
  - Brno (CZ)
  - Komárom (HU)

bonding.svv.cz

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

SVV Praha, s.r.o.

Poskytované služby v lepení

- **Vzdelávanie odborného personálu**
  - Kvalifikačné kurzy podľa EWF smerníc
    - European Adhesive Engineer (EAE)
    - European Adhesive Specialist (EAS)
    - European Adhesive Bonder (EAB)
    - Adhesive bonding operator (ABO)
  - Následné vzdelávanie
  - Vzdelávanie na mieru
- **Certifikácia**
  - DIN 6701:2015 už neplatná norma
  - EN 17460:2022
  - DIN 2304-1:2020 už neplatná norma
  - EN ISO 21368:2023
  - DIN SPEC 35255:2023

- **Testovanie lepených spojov a návrhy riešení**

SVV Praha členom pracovných skupín:

- ECARV (EN 17460)
- ICCAP (WG 2304-1 / EN ISO 21368)
- AK DIN 35255
- EWF 1.1/2.5

Služby SVV Praha sú poskytované v jazykoch:

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Kombinácia lepenia a iných metód spájania materiálov, t.j hybridné spájanie materiálov

O hybridnom spájaní materiálov hovoríme, keď aplikujeme dve alebo viac metód spájania materiálov v rámci jedného spoja. Pri aplikácii hybridnej metódy spájania materiálov využívame priaznivé vlastnosti jednej alebo druhej metódy v danej kombinácii, zatiaľ čo jedna z metód môže slúžiť na potlačenie alebo kompenzáciu nepriaznivých vlastností druhej metódy spájania.

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Ciele a dôvody pre hybridné spájanie materiálov

Technické a funkčné ciele

- Zvyšovanie pevnosti
  - Statické zaťaženie
  - Dynamické zaťaženie
- Zvýšenie odolnosti
  - Korózna odolnosť
  - Tvarová stálosť pri zmene teploty
- Elektrická, tepelná vodivosť
- Znižovanie hmotnosti

Ekonomické ciele

- Zníženie nákladov na výrobu
  - Kombinácia metód spájania podľa skutočných požiadaviek na spoľahlivosť
- Optimalizácia výrobných časov
  - Skracovanie technologických časov (výrobný takt)
  - Znižovanie technologických nárokov na výrobu

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Ciele a dôvody pre hybridné spájanie materiálov

Dostupnosť zdrojov

- Technologické vybavenie
- Ľudské zdroje
- Materiály

Ekologické ciele

- Zníženie spotreby kritických surovín
  - Vplyv na zdravie pracovníkov
  - Vplyv na životné prostredie
- Možnosť recyklácie
  - Rozobrateľnosť spojov po uplynutí životného cyklu

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Ciele a dôvody pre hybridné spájanie materiálov

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Príklad lepenia a jednoduchého nitovania

Zdroj: desigusxpro.com

Simulácia namáhania v šmyku jednoduchého nitovaného spoja:

a) zvyškové napätie po vytvorení nitu;
b) nástup deformácie;
c) prerušenie spoja

Zdroj: researchgate.net/figure/Simulation-of-the-shear-test-of-the-simple-riveted-joint-a-residual-stress-after-forming_fig21_227045366

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Príklad lepenia a jednoduchého nitovania

Zdroj: SVV Praha

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Príklad lepenia a bodového zvárania

Zdroj: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143749602000787

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Príklad lepenia a klinčovania

Zdroj:link.springer.com/chapter/10.1007/8611_2010_45

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Požitie lepidla bez zámeru spájať materiály

Lepidlo v úlohe tesnenia

- Protikorózna ochrana
- Tesnosť spoja
- Tlmenie hlučnosti
- Vylepšenie vzhľadu spoja

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Ďakujem za pozornosť!

Marián Kriváne k

© SVV Praha, s.r.o. Centrum Lepení Brno

Factory Automation Numeric Control

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

FANUC história (70 / 52 rokov)

1956- Vývoj 1. NC v japonskom súkromnom sektore,

1958 expedovane do sveta.

1972- 1. počítačove NC (CNC) a 1. obrábacie centrum Robodrill v Japonsku ,

1973 v Európe.

1974- inštalovany 1. priemyselný Robot v Japonsku,

1983 v Európe.

1975 -1. rezačka Robocut v Japonsku,

1977 v Európe.

1976- 1. celostvetovo predávany robot FANUC ROBOT MODEL 2, plne elektrický 5.osi,
manipuloval s predmety do CNC a behom prvých 2 rokov sa ich vyrobilo 17 jednotiek.

1984- 1. prvý vstrekolis Roboshoot,

1986- Európe.

2025- FANUC je vedúcim globálnym výrobcom systémov/robotov pre automatizáciu výroby.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

CNC SYSTEMS

LASER SYSTEMS

ROBOTS

ROBOCUT

ROBODRILL

ROBOSHOT

ROBONANO

CNC Factory

- výrobná kapacita 42 000 CNC a robotov za mesiac
- automatizované linky obsahujúce inteligentné roboty FANUC

Robot Factory

- výrobná kapacita 12 000 robotov mesačne
- automatizované montážne systémy zahŕňajúce početné inteligentné roboty FANUC
- vyhradená oblasť pre konečnú kontrolu a testovanie

Milling Factory

- výroba dielov pre roboty, ROBOSHOT, ROBOCUT a laserové oscilátory
- továreň môže pracovať bezobslužne 24 hodín vďaka robotickým bunkám FANUC

ROBODRILL Parts Machining Factory

- Bezobslužné robotické bunky FANUC môžu produkovať 24 hodín denne
- výrobná kapacita 4 000 strojov mesačne

ROBOSHOT Factory

- výrobná kapacita 500 strojov ROBOSHOT mesačne
- Server PC automaticky zhromažďuje a analyzuje údaje

FANUC

Slovakia s.r.o.,

Pri Jelšine
4851/5
Nitra

+421 376 300 759

www.fanuc.eu

FANUC Slovakia Servis

FANUC Slovakia s.r.o.
Pri Jelšine 4851/ 5
949 01 Nitra
SLOVAKIA

Čo ponúkame:

1. Preventívny servis(preventívne údržby typu C, B a A)
2. Prediktívny servis
3. Korektívny servis (záručný alebo pozáručný)
4. Náhradné diely, ich repasi a opravy
5. Zákaznícke školenia
6. Náhradne diely skladom
7. Servisné zmluvy (garantovaný čas dojazdu, Hot Line 24/7, atď.) – možné uzatvoriť iba s koncovým zákazníkom.
8. Rozšírená záruka od dátumu odovzdania pracoviska

Fanuc,
Technológie úspechu

www.fanuc.eu

We reserve the right to make technical changes without prior announcement. All rights reserved.

© 2016 FANUC Europe Corporation

Roboty

Podľa DIN EN 61340-5-1

Hmotnosť od 0,5kg – 2300kg
Dosah od 0,28m – 4,683 m
Individualne dodanie pre vybrané typy robotov
90% robotov použitelné na zváranie /ARC, Spot welding/

Roboty

„Kolaboratívny robot“ sa nepoužíva – kolaboratívna môže byť len aplikácia, nie robot samotný.

Roboty FANUC a typy zvárania

Oblúkové zváranie

- ARC Mate roboty: 6ose, 20kg, 0.7- 3.1m
- Zváranie laserom, spájkovanie, rezanie
- Množstvo prídavných Fanuc HW a SW opcií

Bodové zváranie

- R-1000, R-2000, M-900: 7ose, 210kg, - 3,1m
- Zváranie laserom, plazmou, rezanie
- Množstvo prídavných Fanuc HW a SW opcií

Roboty FANUC a typy zvárania

Oblúkové zváranie

Bodové zváranie

Roboty ARC Mate (M-...)
Duté rameno- kabeláž

a
Chránička

Example of previous cable routing concept

ARC Mate 120iD =
=ARC Mate/25-18D

Example of NEW cable routing concept

FANUC polohovadlá - Positioner

FANUC polohovadlá - Positioner

FANUC pojazdy - Rail

RTU modul

Rozšírujúci modul

FANUC prax

Zváracie zdroje + Fanuc

Preddefinované knižnice:

- **Fronius**
- **ESAB**
- **EWM**
- **Lorch**
- **Lincoln Electric**
- **Abicor Binzel**
- **Kemppi**
- **Migatronic**

a dalšie.

J708 Weld Equipment Setup Tool:

- nastavenie komunikácie so zváracím zdrojom s digitálním rozhraním
- Intuitivny grafický nástroj na webovom rozhraní robota
- Vytvorená konfigurácia je jednoducho prenesitelná (.xml)

Robotické bunky

LASER / PLASMA

ARC

Robotické bunky

Robotické bunky

Multi Robot Control

72 osí v 8 pohybových skupinách

Max. 4 mechanické jednotky a 4 polohovadlá

NOVINKY- kontrolér R-50iA

Nový dizajn Footprint -20%
Znížená spotreba energie o -30%
Hardvérové vylepšenia int. Profinet
Kybernetická bezpečnosť CRA
Softvérové PLC, SRCI, ROS KAREL IDE, Python
ROBOGUIDE V.10. + Virtuálna realita + AI
Nové označovanie robotov

R-50*i*A Mate

R-50*i*A A-cabinet

R-50*i*A B-cabinet

R-50*i*A C-cabinet

Nová legislatíva

Safety Certifikácia

ISO 10218-2:2025
BEZPEČNOSŤ ROBOTICKÝCH PRACOVÍSK

- od 20.1.2027- safety
- od 11.12.2027 - +CRA

- Zrušenie starej normy: 31. 3. 2027
- Zapracovanie bývalej ISO/TS 15066 o kolaboratívnych aplikáciách.
- Robotická aplikácia pre lepšie zachytenie komplexnosti riešenia.
- Rozširuje požiadavky na funkčnú bezpečnosť- režimy.
- Kybernetická bezpečnosť CRA (IEC 62443-4-2)
- Prepojenosť a spolupráca (mechanika + elektrika + SW)

Inteligentné riešenia FANUC

Fanuc iR Vison

- 2D Vision
- 3D Vision
- Line tracking
- Visual Line Tracking

iR PickTool

BinPicking

Kolaboratívne

roboty

Force sensor

Moderné IT platformy v podaní FANUC

Field system (Fanuc Intelligent Edge Link & Drive)

- Otvorená platforma, kde je aplikovaných viacero rôznych aplikácií

ZDT (Zero DownTime)

- Inteligentná diagnostika pre priemyselné roboty
- Neustále monitoruje mechanické a procesné stavy
- Oznámenie možno sledovať aj na smartphone

My.Fanuc.eu - technický portál

- **Manuály, návody**
- **2D a 3D modely robotov**
- **Aplikačné prospekty**
- **Technické dokumenty**

Štruktúra návrhu pracovíska

- **Pracovisko pozostáva:**

1. Technológia zvárania + interface
2. Robot, zváračka, čistenie …
3. Polohovadla, stoly, upínacie prvky
4. Automatizácia, technologický postup
5. Dokumentácia- CE, Safety, TI SR
6. Zodpovednosť, precíznosť, spoľahlivosť
7. Servis, školenia, podpora
8. **Pomer Cena= výkon/spotreba**

So všetkým vieme pomôcť.

Predaj RO:
Ing. Martin Hrabčak
0901 902 342
Martin.hrabcak@fanuc.eu

Tech. podpora RO:
Ing. Juraj Ondruška
0901 902 344
Juraj.ondruska@fanuc.eu

Service:
Email: service.sk@fanuc.eu
Phone: +421 37 6510 759

Školenia:
Email: training.sk@fanuc.eu
Phone: +421 37 6510 759

Kontakt:
Email: info.sk@fanuc.eu
Phone: +421 376 300 759

RUČNÉ ZVÁRANIE LASEROM

Ing. Attila TARCSI, IWE

Prvá zváračská, a. s., Bratislava

OBSAH

Úvod
Smernica č. SPZ-SO-3/2021
Osnova ZP52
Legislatíva ručných laserov
Potencionálne nebezpečenstvá
Bezpečnostné požiadavky
Bezpečnosť ručných laserových zariadení

ÚVOD

Ručné zváranie laserom vzniklo z robotického laserového zvárania a existujúce staré normy nevyhovujú bezpečnostným štandardom.

Ručné zváranie laserom patrí do laserového systému triedy 4 s najväčšou výkonnosťou pre ručné laserové stroje, kde nároky na bezpečnosť sú najrozsiahlejšie.

Vzhľadom na to, že v rámci legislatívy sa už nejedná o robotické zváranie laserom je potrebné, aby zvárač disponoval príslušnou kvalifikáciou podobne ako u klasických spôsobov zvárania.

ÚVOD

Laserové zváranie spája presnosť vyspelej technológie s významnými bezpečnostnými rizikami. Implementáciou komplexných bezpečnostných protokolov, ktoré sa zaoberajú osobnou ochranou, technickými kontrolami, administratívnymi opatreniami, pripravenosťou na núdzové situácie a údržbou zariadení, možno efektívne riadiť riziká spojené s laserovým zváraním.

ÚVOD

Bezpečnosť na pracovisku je dynamická a vyžaduje si neustálu pozornosť a prispôsobenie. Pravidelne kontrolujte a aktualizujte bezpečnostné protokoly s cieľom začleniť nové technológie a reagovať na akékoľvek zmeny v predpisoch alebo prevádzkových prostrediach.

Záväzok k bezpečnosti je kolektívnou zodpovednosťou ovplyvňujúcou každého jednotlivca zapojeného do operácií laserového zvárania, od manažérov, zváračov a operátorov až po pomocný personál.

Ručné zváranie laserom

Z V Á R A N I E P R Í R U B Y L A S E R O M

CENTRUM VÝSKUMU HIGH-TECH TECHNOLÓGIÍ VO ZVÁRANÍ

SMERNICA Č. SPZ-SO-3/2021

Smernica č. SPZ-SO-3/2021 k 01.08.2026 bola doplnená zmenami pre ručné zváranie laserom (ZP 52), vydaná a opravená (zmena) v ID konte ZŠ 12.08.2026.

SMERNICA Č. SPZ-SO-3/2021

- **Odborná príprava zaškoleného pracovníka prebieha formou prípravného kurzu (ďalej v texte „zaškolenie“)**
- **Zaškolenie môžu vykonať zváračské školy alebo poverený zváračský technológ (PZT)**
- **Na zaškolenie sa môže prihlásiť len zdravotne spôsobilý žiadateľ podľa aktuálnej platnej legislatívy pre výkon činnosti zaškoleného pracovníka**

SMERNICA Č. SPZ-SO-3/2021

- Za priebeh zaškolenia a skúšky zodpovedá PZT
- Teoretická príprava a praktický výcvik prebieha v zmysle tejto smernice
- Ručné zváranie laserom (ZP 52) sa môže vykonať len na základe Prílohy 8 a 9 tejto smernice
- Pre ZP 52 musí byť zriadené špeciálne pracovisko v zmysle Prílohy 8 a 9 tejto smernice

Ručné zváranie laserom

Z V Á R A N I E P L E C H O V L A S E R O M

CENTRUM VÝSKUMU HIGH-TECH TECHNOLÓGIÍ VO ZVÁRANÍ

OSNOVA PRE ZP 52

Osnova na zaškolenie pre ručné zváranie laserom ZP 52 bola pripravená v súlade požiadavkami na bezpečný praktický výcvik zvárača

- **doporučené predmety teoretickej prípravy sú v rozsahu min. 8 hodín**
- **doporučené činnosti praktického výcviku sú v rozsahu min. 16 hodín**

OSNOVA PRE ZP 52

- počet hodín nácviku techniky použitej technológie (t.j. ručného zvárania laserom) je prispôsobený náročnosti spôsobu zvárania
- zváračská škola alebo PZT môže navýšiť podľa potreby minimálne rozsahy teoretickej prípravy a praktického výcviku

LEGISLATÍVA RUČNÝCH LASEROV

- **STN EN ISO 11553-2**

Bezpečnosť strojov. Laserové obrábacie stroje. Časť 2: Bezpečnostné požiadavky na ručne držané laserové obrábacie zariadenia (ISO 11553-2: 2007)

Táto norma vo veľkej miere platí aj pre ručné zváranie laserom, ale vzhľadom na súčasný rozvoj mobilných ručných laserových zváracích zdrojov je nedostatočná.

LEGISLATÍVA RUČNÝCH LASEROV

- **STN EN ISO 60825-1/A11**

Bezpečnosť laserových zariadení. Časť 1: Klasifikácia zariadení a požiadavky. Zmena A11 (01.06.2022)

Pre bezpečnú prevádzku treba dodržať aj bezpečnostné ustanovenia vydané touto normou.

POTENCIONÁLNE NEBEZPEČENSTVÁ

Každý spôsob ručného zvárania obsahuje určité potencionálne nebezpečenstvo a ručné zváranie laserom nie je výnimkou. Nároky na bezpečnosť oproti ostatným spôsobom zvárania sú podstatne náročnejšie.

V nasledujúcich bodoch sú uvedené hlavné nebezpečenstvá a riziká, ktoré môžu vzniknúť pri ručnom zváraní laserom, ktoré sú podrobnejšie popísané v Prílohe č. 9, SPZ-SO-3.

POTENCIONÁLNE NEBEZPEČENSTVÁ

- Nebezpečenstvo žiarenia
- Vznik požiaru
- Splodiny a výpary
- Úrazy elektrickým prúdom
- Zdravotné následky
- Popáleniny
- Poškodenie dýchacích ciest

BEZPEČNOSTNÉ POŽIADAVKY

- **Ochrana očí**

Pri zváraní ručným laserovým zdrojom je potrebné dbať na kvalitnú ochranu očí, tu už nestačia obyčajné zváracie kukly používané pre klasické zváranie. Každý typ laserového zdroja má inú vlnovú dĺžku svojho emitovaného žiarenia, preto je potrebné presne poznať emitovanú vlnovú dĺžku lasera a k tomu prispôsobiť ochranné okuliare alebo ochrannú kuklu. Pomôcky na ochranu očí musia byť certifikované.

BEZPEČNOSTNÉ POŽIADAVKY

- **Ochrana pokožky**

Pokožka musí byť zakrytá ochrannými pomôckami. V prvom rade sa jedná o ohňovzdorné rukavice. Najlepšie je používať dlhé zapnuté rukávy, ochranné obleky, kožené zástery, prípadne čapicu na ochranu odkrytej časti hlavy. Okrem používania ochranných okuliarov sa navyše stále musí použiť klasická ochranná kukla pre bezpečnosť proti emitovaným lúčom, roztreku alebo iskrám.

BEZPEČNOSTNÉ POŽIADAVKY

- **Ochrana dýchacích ciest**

Zváranie musí prebiehať v dobre vetranej miestnosti. Na odvetranie treba používať vhodné odsávacie systémy výparov, ktoré je vhodné umiestniť pri zváraných dielcov. Pre lepšiu ochranu zvárača je možné použiť filtračno-ventilačnú jednotku, pod ktorou stále musia byť ochranné okuliare pre správnu vlnovú dĺžku. Ako doplnok možno využiť ventilačnú jednotku miestnosti (zvarovne), ktorá čistí nasávaný vzduch.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Každé ručné laserové zariadenie musí byť vybavené indikátorom pripravenosti laserového zdroja. Samotný indikátor musí byť umiestnený v zornom poli zvárača. Ďalej každé ručné laserové zariadenie musí mať optické alebo akustické indikačné zariadenie, ktoré detekuje (odhaľuje) spustené laserové zariadenie. Obidve výstražné zariadenia musia byť jasne viditeľné aj pri požití ochrany očí

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Dôležitou súčasťou ručného laserového zváracieho zariadenia je núdzové tlačidlo zastavenia. Tlačidlo musí byť v tvare červeného tlačidla, musí byť ľahko a rýchlo dostupné v bezprostrednej blízkosti zvárača.

- Takéto núdzové tlačidlo musí zaistiť deaktiváciu generovania laseru a automaticky zabrániť vyžarovaniu lasera.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- V prípade, že zváracia hlava je umiestnená viac ako 2 m od laserového zariadenia, je potrebné, aby tieto bezpečnostné prvky boli umiestnené na telese zváracej hlavy.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Bezpečné prostredie
- Jedná sa o uzavretú miestnosť prevažne nazývanú ako laserom riadená oblasť, ktorá chráni ostatní personál pred nepriamym a priamym žiarením.
- Vstup do miestnosti musí byť kontrolovaný dvernými zámkami pripojenými k ovládacím prvkom ručného laserového zariadenia, aby v prípade otvorenia dverí došlo k okamžitému zastaveniu zariadenia a vyžarovaného laserového žiarenia

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Je potrebné zaistiť vhodné zábrany proti šíreniu laserového lúča z miestnosti. To znamená, že na okná treba použiť bezpečnostný materiál, ktorý odolá priamym a nepriamym lúčom.
- V okolí tejto miestnosti by mali byť umiestnené výstražné značky, hlavne pri vstupe a pri východe.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Ďalej je nutné upozorniť obsluhu, že pri vstupe do kontrolovanej oblasti existuje významné nebezpečie poškodenia zraku.

- Mal by byť menovaný pracovník pre bezpečnosť laserového pracoviska, ktorý sa bude starať o bezpečnosť a jej dodržanie.

Ručné zváranie laserom

K A B Í N K A P R E Z V Á R A N I E L A S E R O M

CENTRUM VÝSKUMU HIGH-TECH TECHNOLÓGIÍ VO ZVÁRANÍ

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Triedy bezpečnosti laserov
- Laserové systémy triedy 1
- Laserové systémy triedy 2
- Laserové systémy triedy 3
- Laserové systémy triedy 4

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Označovanie laserových zariadení
- Každé laserové zariadenie musí byť označené, do ktorej triedy je zaradené v súlade požiadavkami normy STN EN 60825-1.
- Štítky s označením musia byť odolné, trvale upevnené, čitateľné a zreteľne viditeľné počas prevádzky, údržby alebo servisu, v súlade so svojím účelom.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- **Text a symboly musia byť čierne na žltom pozadí okrem laserov triedy 1, kde táto kombinácia farieb nemusí byť použitá.**
- **Pokiaľ veľkosť alebo prevedenie zariadenia neumožňuje pripevnenie štítku na zariadenie, musí byť štítok vložený do návodu na obsluhu, natlačený alebo vyrytý na laserovom zariadení alebo na jeho paneli.**.

BEZPEČNOSŤ RUČNÝCH LASEROVÝCH ZARIADENÍ

- Označené nemusia byť iba tie laserové zariadenia, ktoré v žiadnom prípade nepresiahnu limit prípustnej emisie pre triedu 1.

Ručné zváranie laserom

Š T Í T K Y N A L A S E R O V É Z A R I A D E N I A

CENTRUM VÝSKUMU HIGH-TECH TECHNOLÓGIÍ VO ZVÁRANÍ

DODRŽAŤ BEZPREČNOSTNÉ POŽIADAVKY

ĎAKUJEM
ZA POZORNOSŤ

Ing. Attila TARCSI, IWE

tarcsi.attila@pzvar.sk

Presné vedenie
pre ručné
zváracie procesy

Jednoduchosť a presnosť

Rýchlejšie, jednoduchšie, účinnejšie – nový rozmer ručného zvárania MIG/MAG

Dlhé zvarové spoje predstavujú pri ručnom zváraní MIG/MAG osobitnú výzvu. Rovnomerné vedenie zváracieho horáka a konštantnú rýchlosť je ťažké udržiavať – často to vedie k nerovnomerným výsledkom. Velo (Velocity Assistant) vám s tým pomôže: Výrazne uľahčuje proces zvárania a podporuje skúsených zváračov aj začiatočníkov v ich každodennej práci. Zariadenie je kompatibilné so všetkými hlavnými zváracími procesmi Fronius, ako sú Standard, LSC, Pulse, PMC a CMT.

Velo je spoľahlivé riešenie pre všetky podniky, ktoré chcú optimalizovať svoju ručnú zváračskú výrobu a vždy dosahovať dokonalé zvary na oceli a chróm-niklovej oceli. Flexibilné dovybavenie: Nové komponenty Velo (OPT/i Velo, WF 25i Velo, adaptér zváracieho horáka) sú k dispozícii pre existujúce zváracie systémy.

Zvyšuje nielen presnosť, ale aj účinnosť: Nová technológia charakteristík SyNext v kombinácii so zariadením Velo výrazne zjednodušuje výber parametrov. Stačí rozmer a, druh zvaru a zváracia poloha – o zvyšok sa postará systém.

Jednoduchá modernizácia a dovybavenie

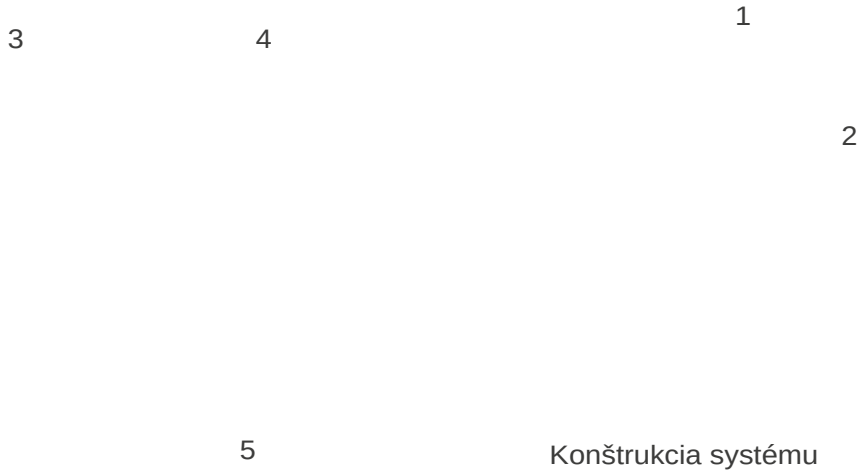
Jednoduché rozšírenie: Naše príslušenstvo Velo možno ľahko integrovať do existujúcich systémov TPS/i a iWave. Jediné, čo musíte urobiť, je aktivovať softvér. Po pripojení podávača drôtu Velo-WF-25i a príslušného adaptéra zváracieho horáka môžete okamžite začať zvárať.

Velo – vaše výhody

Jednoduché ovládanie	Menej skúsení zvárači môžu vďaka zjednodušenému vedeniu zváracieho horáka rýchlo vytvoriť vysokokvalitné zvarové spoje. Velo uľahčuje prácu aj skúseným zváračom, najmä pri dlhých zvarových spojoch.
Rýchle vyhľadanie parametrov	SyNext výrazne uľahčuje nastavenie zváracích parametrov: Optimalizované a presné konfigurácie od začiatku až do konca zvyšujú účinnosť aj kvalitu zvárania.
Zvýšené rýchlosti zvárania	V porovnaní s bežným ručným zváraním MIG/MAG zabezpečuje zjednodušené vedenie zváracieho horáka Velo až dvakrát vyššiu rýchlosť zvárania. Z hľadiska rýchlosti môžu zvárači s podporou zariadenia Velo (v závislosti od aplikácie) určite konkurovať zváracím robotom.
Presnejšie výsledky	Konštantné rýchlosti zvárania a optimalizovaná vzdialenosť medzi kontaktnou špičkou a zvarencom (Contact Tip to Work Distance, CTWD) zabezpečujú rovnomerné vnášanie tepla a vedú k vyššej kvalite zvarových spojov.

Nové štandardy dĺžky a presnosti

So zariadením Velo môžete zvárať účinnejšie, s lepšou kontrolou a trvalo vysokou kvalitou. Táto technológia zlepšuje vedenie zváracieho horáka a zabezpečuje rovnomerné, reprodukovateľné zvarové spoje – aj pri dlhých a zložitých priebehoch. Vďaka tomu môžete vždy dosiahnuť spoľahlivé výsledky.



Konštrukcia systému

TPS/i alebo iWave Multiprocess

1 Podávač drôtu Velo

2 Držiak zváracieho horáka Velo

Otočné, rýchle nastavenie pozície Velo na zváracom horáku bez použitia náradia

3 Privádzanie drôtu Velo
Dodatočné privádzanie drôtu pre Velo

4 Ručné podávanie MIG/MAG

5 Licencia na softvér
OPT/i Velo

Fronius Slovensko s.r.o.
Belgická ulica 9976/1A
917 01 Trnava
Slovensko
T +421 33 59 07 511
F +421 33 59 07 599
sales.trnava@fronius.com
www.fronius.sk

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
T +43 7242 241-0
F +43 7242 241-95 39 40
sales@fronius.com
www.fronius.com

Text a zobrazenia zodpovedajú technickému stavu pri zadaní do tlače. Zmeny sú vyhradené. Všetky údaje sú napriek dôslednému spracovaniu bez záruky – ručenie je vylúčené. Autorské právo © 2025 Fronius™. Všetky práva vyhradené.

SK septembra 2025

Tlačová informácia

Fronius Welding

Technologické inovácie: Vedené zváranie zaručujúce dokonalé výsledky

Fronius predstavuje Velocity Assistanta pre ručné zváranie MIG/MAG

S novým Velocity Assistantom, skrátene Velo, posúva spoločnosť Fronius ručné zváranie MIG/MAG na úplne novú úroveň. Tento inovatívny systém bol prvýkrát predstavený verejnosti na veľtrhu SCHWEISSEN & SCHNEIDEN v Essene a na veľtrhu FABTECH v Chicagu a vzbudil pozornosť všetkých, ktorí často zvárajú dlhé precízne zvary. Velo zaujme zváračov svojím asistovaným vedením zváracieho horáka a konštantnou rýchlosťou zvárania. Zaručuje tak dokonalé, reprodukovateľné zvary so zníženou telesnou záťažou.

Dlhé zvarové spoje predstavujú výzvu aj pre skúsených zváračov: Pre kvalitu zvarov je rozhodujúca stála rýchlosť a presné vedenie zváracieho horáka, ktoré je však zároveň ťažké a predovšetkým namáhavé udržať na dlhšie vzdialenosti.

Velo práve tu ukazuje svoje silné stránky – s Velocity Assistantom je po prvýkrát možné regulovať rýchlosť zvárania aj pri ručnom zváraní. Výsledkom je podpora širokej škály aplikácií, najmä tam, kde sú vyžadované dlhé, rovnomerné spoje – napríklad v oblasti komerčnej dopravy, ťažkých strojov, oceliarskeho priemyslu alebo výroby zariadení. Velo je vhodný na zváranie tenkých plechov, ako aj hrubých plechov z ocele, CrNi alebo vysokopevnostnej ocele.

Revolúcia v ručnom zváraní

Základom asistenta Velo je druhý drôt – takzvaný drôt Velo, ktorý pracuje bez elektrického oblúka a bez dodatočného prívodu plynu. Tento drôt sa dotýka zvarenca v pevnom stave a trením vytvára pohyb vpred. Rýchlosť posuvu drôtu Velo určuje rýchlosť zvárania.

Drôt Velo udržiava konštantnú vzdialenosť medzi zvarencom a kontaktnou špičkou a „posúva“ zvárací horák pozdĺž okraja zvaru, zárezu alebo skosenia bez akejkoľvek špeciálnej prípravy zvaru. Pri tom všetkom prispieva drôt Velo do zvaru len minimálnym množstvom dodatočného materiálu: spotreba drôtu presne zodpovedá dĺžke zvaru.

„Ak si dovolíte upustiť od kontroly, pri ručnom zváraní môžete teraz vytvárať bezchybné zvarové spoje v doteraz nedosiahnuteľnej rýchlosti, pričom v podstate stačí len držať zvárací horák,“ vysvetľuje Franziska Eichhorn, strategická produktová manažérka spoločnosti Fronius International GmbH. *„Testované osoby potvrdzujú citeľné uľahčenie práce a výrazné zvýšenie presnosti a kvality zvárania.“*

Velo podporuje všetkých – začiatočníkov aj profesionálov

Velo je skutočným prelomom: Zatiaľ čo začiatočníci vďaka podpornému vedeniu rýchlo dosiahnu vysokú kvalitu zvarov, profesionáli profitujú z uľahčenia práce pri dlhých alebo zložitých zváracích úlohách. Kŕče a únava sú minulosťou, pričom kvalita zvarov zostáva stále vysoká.

Zaujímavosť: za určitých podmienok je možné pomocou asistenta Velo dosiahnuť rýchlosti zvárania, ktoré sú porovnateľné s rýchlosťami robotického zvárania. Tým sa výrazne zvyšuje produktivita.

Jednoduché dovybavenie – takmer okamžite

Velo je kompatibilný s existujúcimi zariadeniami TPS/i od modelov 320 A a vyššie a systémami iWave Multiproces PRO a možno ho jednoducho dovybaviť. Potrebujete len:

- podávač drôtu pre drôt Velo,
- vhodné prispôsobenie zváracieho horáka s privádzaním drôtu Velo,
- zapojenie príslušného softvéru.

Integrácia do existujúcich systémov prebieha rýchlo, bez komplikácií a bez potreby zložitých prestavieb.

Zameranie na ergonómiu a flexibilitu

Držiak na Velo sa dá otáčať o 360° bez použitia náradia a stabilne zapadá na miesto. V prípade obmedzenej dostupnosti možno systémové komponenty pre Velo jednoducho vybrať z držiaka a odložiť. Vďaka svojej flexibilite je systém vhodný pre všetky polohy – aj pre zváranie rúr s 360° zvarmi alebo viacvrstvové aplikácie.

S päťmetrovým privádzaním drôtu ponúka Velo veľký akčný rádius. Aktivácia prebieha priamo na zváracom horáku – to znamená, že v prípade potreby je možné systém kedykoľvek deaktivovať, aby sa flexibilne prešlo z manuálneho na asistované vedenie.

Dostupnosť a predaj

Systém je k dispozícii po celom svete od jesene 2025 a bol prihlásený na patent.

Viac informácií nájdete na stránke https://www.fronius.com/sk-sk/slovakia/zvaracia-technika/informacie-o-produkte/velo

3 550 znakov bez medzier

Táto tlačová informácia, ako aj obrázky sú k dispozícii na stiahnutie na adrese: https://www.fronius.com/de/schweisstechnik/info-center/presse.

Fotografie: Fronius International GmbH, výtlačok bez nároku na honorár

Drôt Velo „posúva“ horák pozdĺž zvaru a zabezpečuje konštantnú rýchlosť zvárania, ako aj rovnomernú vzdialenosť medzi kontaktnou špičkou a zvarencom. To zaručuje kvalitu a zároveň uľahčuje zváračom prácu.

Dokonalé, dlhé a rovnomerné zvary MIG/MAG ručne v jednom ťahu – s Velo, Velocity Assistantom od spoločnosti Fronius, to nie je žiadna veda.

Manipulácia s ním je veľmi jednoduchá: Drôt Velo preberá vedenie a podporuje špecialistu.

Jednoducho ho dovybavte a môžete začať pracovať: Zariadenia TPS/i od modelu 320 A a systémy iWave Multiproces PRO vyžadujú iba podávač drôtu pre drôt Velo, vhodný adaptér zváracieho horáka s privádzaním drôtu Velo a zapojenie príslušného softvéru.

We are Fronius.
Približne 6700 zamestnancov ku koncu roka 2024 po celom svete, aktuálny podiel exportu 90 percent a 1752 aktívnych patentov: To sme my, to je Fronius. Ako regionálny podnik s jedným pracovníkom založený v roku 1945 sme v súčasnosti globálne aktívnou priemyselnou spoločnosťou, čo pôsobivo dosvedčuje našich 37 medzinárodných dcérskych spoločností, ako aj naša sieť obchodných partnerov vo viac ako 60 krajinách. No predsa sme však vo svojej podstate stále rakúskym rodinným podnikom, ktorý pôsobí v oblasti elektrárenského a elektronického priemyslu. S Fronius Welding sústavne prinášame revolúciu v technológii zvárania, zatiaľ čo Fronius Solar & Energy sa zameriava na čo najlepšie využívanie solárnej energie a optimalizáciu systémov nabíjania akumulátorov pre intralogistiku. Už 80 rokov sledujeme jasný cieľ: Výskum a efektívne využívanie elektrickej energie ako paliva budúcnosti. Vyvíjame produkty a riešenia pre perspektívnu budúcnosť, a pritom svojim zákazníkom ponúkame komplexný balík služieb: od pokročilého plánovania a poradenstva, cez priebežný monitoring, až po opravárenské služby zodpovedajúce potrebám zákazníkov. Sme inovatívni. Sme zvedaví. We are Fronius.

Fronius Welding.
Najvyššia kvalita elektrického oblúka, hlboké porozumenie potrebám zákazníka, neuhasiteľná túžba po technickom pokroku: Sme lídrom v oblasti inovácií pre zváranie elektrickým oblúkom a globálnym lídrom na trhu v oblasti robotického zvárania. Svoju odbornosť preukazujeme pri individuálnych, automatizovaných kompletných systémoch a digitálnych riešeniach zvárania piatej priemyselnej revolúcie. Naše portfólio dopĺňajú intuitívne zváracie systémy na ručné zváranie, vysokohodnotné zváracie príslušenstvo a efektívne ochranné pomôcky pre bezpečnosť používateľov. Ako globálny podnik vsádzame na regionálny servis: naše lokálne tímy sú k dispozícii pre našich zákazníkov po celom svete. Vďaka svojim technológiám dávame dôraz na perspektívnosť a vytvárame spojenia, a to medzi kovmi, odvetviami i ľuďmi.

So žiadosťou o ďalšie informácie sa obracajte na:
FRONIUS Slovensko s.r.o.
Belgická ulica 9976/1A, 917 01 Trnava
Karcz Lenka
Tel. +421 0 33/5907570
E-Mail: karcz.lenka@fronius.com

Zašlite dokladový výtlačok do našej agentúry:
a1kommunikation Schweizer GmbH, pani Kirsten Ludwig,
Oberdorfstraße 31/1, 70794 Filderstadt, Deutschland
Tel.: +49 0 711 9454161-20,
E-mail: kirsten.ludwig@a1kommunikation.de

Ďalšie zaujímavé novinky nájdete na našom blogu na stránke blog.perfectwelding.fronius.com a sledujte nás aj na Facebooku (froniuswelding), Instagrame (froniuswelding), LinkedIne (perfect-welding) a YouTube (froniuswelding)!

Systém generovania elektrónového lúča

Komplexné riešenie riadenia zváracieho procesu

Konferenčný článok | PZVAR MEETING 2026

Ing. Roman Darovec [1]

Ing. František Kolenič, PhD. [2]

[1]https://orcid.org/0000-0002-7570-864X:Ing.Roman Darovec, **Slovakia**

[2]https://orcid.org/0000-0001-9920-2398:Ing.František Kolenič,PhD., **Slovakia**

Abstrakt.

PRVÁ ZVÁRAČSKÁ a. s. sa zaoberá vývojom a výrobou zariadení na zváranie elektrónovým lúčom, ktorých súčasťou je sústava zdrojov (tzv. Energoblok), ktoré spolu s elektrónovým delom generujú elektrónový lúč. Samotný Energoblok pozostáva zo zdroja urýchľovacieho napätia (tzv. VN zdroj) a zo sústavy pomocných zdrojov (tzv. Pomocné zdroje). Základnou úlohou Energobloku je nielen dodanie dostatočného elektrického výkonu do elektrónového dela pre generovanie elektrónového lúča, ale aj generovanie pomocných napätí, ktoré formujú tvar, dynamiku a stabilitu elektrónového lúča. Riadenie zváracieho procesu tak určuje požadované parametre pre generovanie elektrónového lúča, ako sú napríklad, urýchľovacie napätie, napätie riadiacej elektródy, emisný (bombardový) prúd, fokusačný prúd a vychyľovací prúd. Stabilita a opakovateľnosť týchto parametrov je závislá na kvalite Energobloku, pričom kvalita generovaného elektrónového lúča pri stabilných parametroch závisí od samotnej konštrukcie elektrónového dela. Kvalitu systému generovania elektrónového lúča tak určuje nielen samotný Energoblok, ale rovnakou mierou aj elektrónové delo. Príspevok popisuje elektrónovolúčové zváranie, jeho históriu a vývoj Energoblokov v spoločnosti PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s., od prvých Energoblokov so statickým riadením elektrónového lúča až po najnovší typ, ktorý v sebe kombinuje dynamické riadenie elektrónového lúča riadenou zmenou riadiaceho alebo emisného (bombardového) napätia.

Kľúčové slová: *elektrónový lúč, Energoblok, elektrónové delo, urýchľovacie napätie, riadiace napätie, bombardový prúd, fokusácia, vychyľovanie, dynamické riadenie*

1. Úvod - Elektrónovolúčové zváranie

Elektrónovolúčové zváranie je zváranie koncentrovaným zväzkom elektrónov, ktoré sú emitované z LaB_6 tablety, tzv. katódy, a urýchľované elektrickým poľom vytvoreným vysokým urýchľovacím napätím (−60kV). Emitované elektróny z LaB_6 tablety sú urýchľované smerom k anóde, prechádzajú úzkym hrdlom anódy s potenciálom 0V, ktorý je voči katóde kladnejší, a s vysokou kinetickou energiou dopadajú na zvarenec (obrobok) s potenciálom 0V. Vo zvarenci sa vysoká kinetická energia emitovaných elektrónov pri interakcii s elektrónmi a atómami materiálu premieňa prevažne na tepelnú energiu a kov sa v mieste dopadu s vysokou hustotou energie začína taviť.

Aby mohla LaB_6 tableta emitovať dostatočný počet elektrónov, musí byť sama ohrievaná, žeravená, dopadajúcimi elektrónmi, ktoré sú emitované zo žeraviaceho vlákna a urýchľované zdrojom bombardovacieho napätia, ktorého záporný pól je pripojený na žeraviace vlákno a kladný pól na samotnú LaB_6 tabletu. Tepelná energia, ktorú v LaB_6 tablete vytvárajú dopadajúce elektróny, zvyšuje jej teplotu a tým aj termoemisnú

schopnosť. Pri dostatočnej teplote získava časť elektrónov dostatok energie na prekonanie výstupnej práce materiálu a opustenie jeho povrchu.
Prúd elektrónov medzi LaB_6 tabletou a anódou môžeme riadiť, prípadne prakticky uzavrieť, napätím, ktoré generuje zdroj riadiaceho napätia. Zdroj riadiaceho napätia je pripojený svojím záporným pólom na riadiacu (Wehneltovu) elektródu a kladným pólom na LaB_6 tabletu. Zvyšovaním záporného napätia na riadiacej elektróde voči LaB_6 tablete zvyšujeme pôsobenie elektrostatického poľa, ktoré obmedzuje prechod emitovaných elektrónov z oblasti katódy smerom k anóde, a tým znižuje prúd elektrónového lúča.
Elektrónový lúč, ktorý prejde cez úzke hrdlo anódy, je následne formovaný sústavou fokusačnej cievky a vychyľovacích cievok. Fokusačný prúd, ktorý preteká fokusačnou cievkou, generuje magnetické pole, ktoré pôsobí ako magnetická šošovka a sústreďuje zväzok elektrónov v určitej vzdialenosti od fokusačnej cievky do úzkeho bodu podľa intenzity magnetického poľa. Fokusačným prúdom tak môžeme riadiť koncentráciu energie v bode dopadu emitovaných elektrónov.
Sústavou dvoch vychyľovacích cievok môžeme zväzok elektrónov vychyľovať v smere osi X alebo Y do určitého uhla od osi lúča podľa veľkosti prúdu, ktorý prechádza vychyľovacími cievkami.
Prúd elektrónového lúča je pri elektrónovolúčovom zváraní zváracím prúdom. Predstavuje tok elektrického náboja prenášaného elektrónmi určitým smerom a spolu s urýchľovacím napätím je hlavným parametrom určujúcim výkon elektrónového lúča.
Na záver je dôležité spomenúť, že zváranie spravidla prebieha vo vákuu. Vákuum je potrebné predovšetkým preto, aby elektróny pri svojej ceste od elektrónového dela k zváranému materiálu nenarážali na molekuly plynov. V atmosférickom prostredí by sa lúč v dôsledku týchto zrážok rozptyľoval, strácal energiu a nebolo by možné udržať jeho malé ohnisko a vysokú hustotu výkonu. Vákuum zároveň vytvára vhodné podmienky pre činnosť elektrónového dela a chráni jeho žeraviace vlákno aj nepriamo žeravenú katódu pred oxidáciou a znečistením. Súčasne výrazne obmedzuje oxidáciu a kontamináciu zvarového kúpeľa.

Obr. 1. Principiálna schéma elektrónovolúčového zvárania so znázornením elektród elektrónovolúčového dela s formovacími cievkami

2. Výhody a nevýhody elektrónovolúčového zvárania

Hlavnou výhodou elektrónovolúčového zvárania je veľmi vysoká hustota energie, ktorú je možné sústrediť do veľmi malej plochy. V mieste dopadu elektrónového lúča sa materiál intenzívne zahrieva, taví a pri dostatočne vysokom výkone dochádza aj k jeho lokálnemu odparovaniu. Tým vzniká úzky kanál vyplnený parami kovu, ktorý umožňuje hlbšie prenikanie energie do materiálu. Výsledkom je hlboký a zároveň pomerne úzky zvar s veľkým pomerom hĺbky k jeho šírke.
Vďaka vysokej koncentrácii energie a krátkemu času pôsobenia lúča sa do okolia zvaru prenáša pomerne malé množstvo tepla. Tepelne ovplyvnená oblasť je preto úzka a tepelné deformácie zvarenca sú v porovnaní s mnohými klasickými spôsobmi zvárania menšie. Veľkou výhodou je aj možnosť zvárať materiály veľkých hrúbok na jeden priechod, pričom v mnohých prípadoch nie je potrebný prídavný materiál.
Zváranie vo vákuu zároveň chráni roztavený kov pred pôsobením okolitej atmosféry. Nie je preto potrebné používať ochranný plyn a proces je vhodný aj na zváranie materiálov citlivých na oxidáciu a kontamináciu. Elektrónový lúč je možné veľmi presne riadiť pomocou fokusačných a vychyľovacích cievok, čo umožňuje meniť polohu ohniska, smer lúča a jeho pohyb po zvarenci. Proces je preto dobre automatizovateľný a pri správnom nastavení poskytuje vysokú opakovateľnosť.

Nevýhodou elektrónovolúčového zvárania je predovšetkým vysoká technická a finančná náročnosť zariadenia. Zvárací systém obsahuje VN zdroj, pomocné zdroje, elektrónové delo, vákuovú komoru s čerpacím systémom, polohovanie zvarenca a bezpečnostné prvky. Pri klasickom elektrónovolúčovom zváraní je potrebné umiestniť zvarenec do vákuovej komory a pred samotným zváraním vytvoriť požadovaný stupeň vákua, čo predlžuje technologický cyklus a zároveň obmedzuje rozmery zváraných súčiastok veľkosťou vákuovej komory.
Elektrónový lúč je citlivý na magnetické pole, takže zvyškový magnetizmus zvarenca alebo vonkajšie magnetické pole môže spôsobovať jeho nežiaduce vychyľovanie mimo požadovanú oblasť zvaru.
Významnou nevýhodou je vznik röntgenového žiarenia pri zabrzdení vysokoenergetických elektrónov v materiáli, ktoré sú urýchlené vysokým urýchľovacím napätím. Zariadenie preto musí byť vybavené vhodným oloveným tienením, aby nedošlo k nežiaducému ožiareniu obsluhy.
Ak to môžeme zhrnúť, tak elektrónovolúčové zváranie poskytuje veľmi vysokú kvalitu, presnosť a schopnosť vytvárať hlboké zvary pri malom tepelnom ovplyvnení okolia, avšak za cenu vyššej technologickej náročnosti, dlhšej časovej prípravy zváracieho procesu a nákladnejšieho zváracieho zariadenia.

3. Stručná história elektrónovolúčového zvárania

Počiatky elektrónovolúčového zvárania siahajú do druhej polovice 19. storočia, keď sa pri pokusoch s lúčmi, ktoré boli emitované z katódy zistilo, že dopadajúce elektróny dokážu materiál výrazne zahrievať a dokonca pri určitom výkone až natavovať. Koncom 19. storočia sa preukázalo, že emitovaný lúč tvorí prúd elektrónov. Prvé využitie elektrónového lúča sa datuje na začiatok 20. storočia, kedy sa experimentuje s cieleným tavením tantalu vo vákuu pomocou elektrónového lúča.
K zásadnému posunu došlo až po druhej svetovej vojne. Nemecký fyzik Karl-Heinz Steigerwald začal koncom 40. rokov skúmať možnosti využitia koncentrovaného elektrónového lúča na obrábanie materiálov a v roku 1949 uskutočnil prvé pokusy s tavením a zváraním kovu pomocou elektrónového lúča. V roku 1952 skonštruoval prvé elektrónovolúčové zariadenie určené na opracovanie materiálu elektrónovým lúčom (obr. 2).

Obr. 2. Elektrónovolúčové zariadenie z roku 1952 skonštruované fyzikom Karl-Heinz Steigerwaldom

Približne v rovnakom období sa technológia elektrónového lúča vyvíjala aj vo Francúzsku pod vedením vedca Jacquesa-Andrého Stohra, ktorý skúmal možnosti zvárania vysoko reaktívnych materiálov, napríklad zirkónia, vo vákuu pre potreby francúzskeho jadrového priemyslu. Vývoj elektrónovolúčového zvárania teda v 50. rokoch prebiehal paralelne najmä v Nemecku a Francúzsku, ktoré v tom čase patrili k priekopníkom vývoja tejto technológie.

V roku 1958 nastáva významný prelom, keď Karl-Heinz Steigerwald objavil tzv. efekt hlbokého zvárania (deep penetration welding), kedy pri dostatočnom výkone elektrónového lúča dochádza k odparovaniu kovu v mieste dopadu elektrónového lúča a vytvoreniu úzkeho kanála kovových pár, cez ktorý elektrónový lúč preniká hlbšie do materiálu. Toto je jedna z charakteristických vlastností elektrónovolúčového zvárania.

V priebehu 60. rokov sa táto technológia zvárania rýchlo rozšírila do USA, Sovietskeho zväzu, Veľkej Británie, Japonska a ďalších priemyselných krajín. Technológia elektrónovolúčového zvárania bola veľmi vhodná pre potreby jadrového a letecko-kozmického priemyselu, kde boli výhodné hlboké zvary, malé tepelné ovplyvnenie materiálu a možnosť zvárania reaktívnych kovov vo vákuu.

Od 70. rokov sa elektrónovolúčové zváranie postupne etablovalo ako priemyselná technológia pre vysoko presné a náročné zvary. Zvyšoval sa výkon zariadení, rozmery vákuových komôr, zdokonaľovalo sa elektronické riadenie lúča a vznikali aj systémy umožňujúce zváranie pri zníženom tlaku alebo mimo klasickej vysokej vákuovej komory.

V roku 1984 sa napríklad uskutočnilo aj prvé zváranie priamo v otvorenom vesmíre (obr. 3). Pri experimentoch sa použil ručný elektrónovolúčový nástroj na zváranie/rezanie a nanášanie kovových vrstiev. Skúšky potvrdili, že elektrónovolúčové zváranie je možné realizovať aj v podmienkach kozmického vákua a mikrogravitácie.

Obr. 3. Ručný elektrónovolúčový nástroj na zváranie/rezanie a nanášanie kovových vrstiev v rukách kozmonaut pri skúškach na orbitálne stanici Saľut 7

Dnes sa technológia zvárania pomocou elektrónového lúča používa predovšetkým tam, kde je potrebný hlboký a úzky zvar, vysoká presnosť, malé deformácie a vysoká kvalita spoja – napríklad v letectve, energetike, automobilovom priemysle, pri výrobe turbín, prevodových komponentov a špeciálnych zariadení. Aj keď bolo elektrónovolúčové zváranie v niektorých aplikáciách nahradené laserovým zváraním, ktoré je z hľadiska prevádzky a technologického vybavenia často výhodnejšie, elektrónovolúčové zváranie si aj dnes zachováva významné postavenie v aplikáciách, kde sa vyžaduje veľmi hlboký prievar, vysoká presnosť a vysoká kvalita zvarového spoja.

Obr. 4. Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ES-2, vyvinuté v Československu koncom 60. rokov 20. storočia

Do histórie elektrónovolúčového zvárania nepochybne patrí aj vývoj tejto technológie v Československu. Výskumný ústav zváračský v Bratislave začal s vývojom zariadení už v roku 1962 a o niekoľko rokov neskôr sa k vývoju pridalo aj Ústav prístrojovej techniky ČSAV v Brne, kde sa na prelome rokov 1965–1966 uskutočnili prvé pokusy so zváraním elektrónovým lúčom. Koncom 60. rokov vzniklo v spolupráci viacerých československých pracovísk elektrónovolúčové zváracie zariadenie ES-2 (obr. 4), ktoré sa od roku 1970 používalo na viacerých výskumných a priemyselných pracoviskách.

4. Vývoj elektrónovolúčových zváracích zariadení a Energoblokov v spoločnosti PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s.

Na Slovensku sa vývoju a výrobe kompletných zariadení na elektrónovolúčové zváranie v súčasnosti venuje spoločnosť PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s. (PZVAR). Jej vývoj zahŕňa konštrukciu elektrónovolúčových zváracích zariadení a technologických komplexov, vrátane elektrónových diel, vysokonapäťových napájacích systémov, vákuových komôr, systémov riadenia a vychyľovania elektrónového lúča, ako aj mechanizmov na polohovanie zváraných súčiastok. Nasledujúca časť článku sa bude venovať vývoju týchto zariadení v spoločnosti PZVAR a postupným technickým riešeniam, ktoré boli pri ich konštrukcii uplatnené.

Koncepcia elektrónovolúčových zváracích zariadení:

Úvodom by sme si najprv predstavili základnú koncepciu elektrónovolúčového zváracieho zariadenia, ktorá je zobrazená na blokovej schéme na obr. 5.

Obr. 5. Bloková schéma elektrónovolúčového zváracieho zariadenia

Ako je znázornené na obr. 5, Energoblok, ktorý generuje urýchľovacie napätie a pomocné napätia a prúdy potrebné na generovanie a reguláciu elektrónového lúča, je tvorený dvoma samostatnými jednotkami - - jednotkou **VN zdroj** a jednotkou **Pomocné zdroje**.

Jednotka **VN zdroj**:

- Generuje záporné vysoké napätie nastaviteľné v rozsahu od 0 do −60 kV
- Je vybavená protivýbojovou ochranou a nastaviteľným prúdovým obmedzením
- Skladá sa zo samostatného striedača a tzv. Veľkej nádoby, v ktorej sú v izolačnom oleji umiestnené VN transformátor, usmerňovač, filtračné obvody a ochranný rezistor
- Celý VN zdroj je kompaktne zabudovaný v 19-palcovej rackovej skrini firmy Schroff

PZVAR vyrába jednotky **VN zdroj** v nasledujúcich výkonových variantoch:

- −60 kV / 7,5 kW
- −60 kV / 15 kW
- −60 kV / 30 kW

Jednotka **Pomocné zdroje**:

- Generuje žeraviaci prúd žeraviaceho vlákna a bombardovacie napätie potrebné na nepriamy ohrev katódy (LaB_6 tablety)
- Generuje riadiace napätie pre riadiacu elektródu – tzv. Wehneltovu elektródu
- Generuje stabilizovaný fokusačný prúd pre fokusačnú cievku elektrónovolúčového dela, pomocou ktorého sa nastavuje zaostrenie alebo rozostrenie elektrónového lúča v mieste jeho dopadu na zváraný materiál
- Generuje statické alebo dynamické vychyľovacie prúdy pre vychyľovacie cievky elektrónovolúčového dela, ktoré umožňujú pohyb elektrónového lúča v osiach X a Y
- Obsahuje centrálnu riadiacu jednotku PLC zabezpečujúcu komunikáciu Energobloku s vákuovým rozvádzačom RVAC a pultom operátora
- Celá jednotka Pomocné zdroje je kompaktne zabudovaná v 19-palcovej rackovej skrini firmy Schroff, pričom samotné pomocné zdroje sú umiestnené v tzv. Malej nádobe a ponorené v izolačnom oleji

PZVAR vyrába jednotky **Pomocné zdroje** v niekoľkých variantoch:

- Lineárne pomocné zdroje bez meracích kanálov na sekundárnej vysokonapäťovej strane
- Lineárne pomocné zdroje s binárnymi servisnými výstupmi a presným meraním zváracieho prúdu na sekundárnej vysokonapäťovej strane
- Pomocné zdroje s impulzným dynamickým zdrojom bombardovacieho napätia určeným na pulzáciu elektrónového lúča a s presným meraním bombardovacieho napätia a prúdu na sekundárnej vysokonapäťovej strane
- Pomocné zdroje s impulzným dynamickým zdrojom riadiaceho napätia určeným na rýchlu pulzáciu elektrónového lúča a s presným meraním riadiaceho napätia na sekundárnej vysokonapäťovej strane

Jednotlivé varianty jednotky Pomocné zdroje je možné vzájomne kombinovať podľa požiadaviek zákazníka.

Obidve jednotky Energobloku sú medzi sebou prepojené VN káblom s vysokonapäťovými konektormi, ktorý zabezpečuje prenos vysokého napätia z jednotky VN zdroj do jednotky Pomocné zdroje. Jednotka Pomocné zdroje je druhým VN káblom prepojená s elektrónovolúčovým delom umiestneným na zváracej komore. Napájanie Energobloku je zabezpečené trojfázovou sieťou 3 × 400 V / 50 Hz (obr. 5).
Na blokovej schéme nie je znázornený čerpací systém, ktorý zabezpečuje vytvorenie a udržiavanie potrebného pracovného vákua vo zváracej komore a v elektrónovolúčovom dele.

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH1:

Zariadenie ZH1 (obr. 6) bolo prvým elektrónovolúčovým zváracím zariadením prevádzkovaným v priestoroch spoločnosti PZVAR. Vyznačovalo sa dvoma karuselovými zásobníkmi umiestnenými po bokoch hlavnej zváracej vákuovej komory. Celá riadiaca elektronika Energobloku bola umiestnená v samostatnej 19-palcovej rackovej skrini spolu s Veľkou nádobou VN zdroja, pričom Malá nádoba s pomocnými zdrojmi sa v tejto konfigurácii nachádzala mimo rackovej skrine. Striedač VN zdroja bol tyristorový, s maximálnym výkonom 7 kW a maximálnym urýchľovacím napätím −60 kV. Riadenie Energobloku zabezpečovala centrálna analógová riadiaca jednotka umiestnená v rackovej skrini. Energoblok bolo možné ovládať aj diaľkovo prostredníctvom počítača v pulte operátora, ktorý bol vybavený kartami s D/A prevodníkmi (DAC) osadenými

v ISA slotoch. Analógové výstupy týchto kariet boli priamo privedené do centrálnej riadiacej jednotky v rackovej skrini, takže operátor mohol z riadiaceho pultu ovládať väčšinu zváracích parametrov.

Obr. 5. Vrchný pohľad na elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH1 s čerpaním, chladením a Energoblokom

V tejto časti je vhodné bližšie opísať aj koncepciu Veľkej a Malej nádoby, pretože jej základné usporiadanie sa s určitými konštrukčnými zmenami zachovalo aj v nasledujúcich verziách Energoblokov.

Veľká nádoba – koncepcia Veľkej nádoby je s výnimkou verzie určenej pre najnovší typ striedača s digitálnym riadením a výkonom 7,5 kW vo všetkých verziách Energoblokov principiálne rovnaká (obr. 6). Obsahuje:

- VN transformátor – izolačná pevnosť medzi primárnym a sekundárnym vinutím je vyššia ako 100 kV
- Diódový usmerňovač (diódovník) – zabezpečuje usmernenie sekundárneho napätia VN transformátora
- Filtračné kondenzátory – sú zapojené sériovo a slúžia na vyhladenie usmerneného vysokého napätia
- Paralelné rezistory – sú zapojené paralelne k jednotlivým filtračným kondenzátorom a zabezpečujú rovnomerné rozdelenie napätia
- Sériový rezistor – ochranný rezistor obmedzujúci skratový a výbojový prúd VN zdroja
- Meracie deliče – dva vysokonapäťové meracie deliče určené na meranie sekundárneho napätia pred a za sériovým ochranným rezistorom

Malá nádoba – koncepcia Malej nádoby sa v jednotlivých generáciách Energoblokov postupne menila. Prvá koncepcia bola spoločná pre Energobloky zváracích zariadení ZH1, ZH2, ZH3 a ZH4 (obr. 7) a obsahovala:

- Zdroj žeraviaceho prúdu – žeraviaci prúd 8 A, izolačná pevnosť vyššia ako 100 kV
- Zdroj bombardovacieho napätia – bombardovacie napätie 1 kV, izolačná pevnosť vyššia ako 100 kV
- Zdroj riadiaceho napätia – riadiace napätie 3,5 kV, izolačná pevnosť vyššia ako 100 kV

Obr. 6. Vnútorné zapojenie elektroniky Veľkej nádoby v oceľovom nosnom ráme

Obr. 7. Vnútorné zapojenie elektroniky Malej nádoby v oceľovom nosnom ráme

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH2:

Zariadenie ZH2 sa vyznačovalo dvoma jednoduchšími obdĺžnikovými zásobníkmi s tlačnými pneumatickými valcami, umiestnenými po bokoch hlavnej zváracej vákuovej komory. Koncepcia Energobloku, spôsob jeho riadenia aj výkonové parametre zostali rovnaké ako pri zariadení ZH1. Zariadenie ZH2 bolo navrhnuté pre veľkosériovú výrobu tepelných výmenníkov určených pre automobily so spaľovacími motormi.

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH3 a ZH4:

Zariadenie ZH3 bolo navrhnuté s dôrazom na univerzálnosť a nebolo koncipované iba ako jednoúčelové elektrónovolúčové zváracie zariadenie. Je vybavené zváracou komorou s objemom približne 1 m³, bez postranných zásobníkov. Do komory, ktorá je vybavená posuvnými dverami, je možné umiestniť rôzne polohovacie prípravky podľa typu zváraného produktu, napríklad tepelné výmenníky pre nákladné vozidlá alebo medené rotorové klietky. Zváracia komora je zároveň vybavená prírubami na osadenie elektrónovolúčového dela z hornej aj bočnej strany, čím sa ďalej zvyšuje univerzálnosť celého zariadenia. K týmto typom zváracích zariadení ZH3 a ZH4 bolo možné, s určitými obmedzeniami v oblasti riadenia a komunikácie, pripojiť aj novšiu koncepciu energoblokov, v ktorej úlohu riadiacej jednotky prevzal programovateľný logický automat, tzv. PLC (Programmable Logic Controller).

Obr. 8. Čelný pohľad na elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH4

Energoblok EB_3.0:

V chronologickom slede zváracích zariadení a Energoblokov vyvinutých v spoločnosti PZVAR ďalej uvádzam Energoblok EB_3.0, ktorého koncepcia sa stala základom pre všetky nasledujúce vývojové typy Energoblokov. Ako môžeme vidieť na obr. 9, táto koncepcia priniesla rozdelenie VN zdroja a Pomocných zdrojov do dvoch samostatných rackových skríň. Každá skriňa bola osadená na podvozku s kolieskami, čím sa celá zostava stala mobilnou a zároveň sa výrazne zjednodušila možnosť kombinovať rôzne výkonové varianty VN zdroja a Pomocných zdrojov podľa požiadaviek konkrétneho zváracieho procesu. Zmeny v jednotkách VN zdroja a Pomocných zdrojov, ktoré táto koncepcia priniesla, si teraz opíšeme.

Jednotka **VN zdroj EB_3.0**:

- Striedač s IGBT tranzistormi s výkonom 30 kW, ktorý sa skladá z troch základných častí:
  - Vstupný filter
  - Zdrojová časť
  - Výstupný filter.
- Nové ovládanie VN zdroja, ktoré umožňuje miestne aj diaľkové ovládanie a zároveň integruje funkciu protivýbojovej a prepäťovej ochrany.
- Nová koncepcia riadenia striedača. Žiadaná hodnota výstupného napätia a nastavenie prúdového obmedzenia sa realizovali prostredníctvom dvoch priemyselných prúdových slučiek 4–20 mA.

- Jednotka VN zdroj je kompaktne aj s Veľkou nádobou umiestený v 19 palcovom Euroracku od firmy Schroff

Jednotka **Pomocné zdroje EB_3.0**:

- Integrovaná jednotka Vychyľovanie A5
- Integrovaná jednotka Fokusácia A4
- Nová jednotka PLC A3, ktorá slúži na diaľkové riadenie celého Energobloku a zároveň zabezpečuje komunikáciu s rozvádzačom vákua RVAC a pultom operátora
- Nová jednotka Pomocné zdroje A2, ktorá zabezpečuje zapínanie a riadenie pomocných zdrojov, ako sú zdroj žeraviaceho prúdu, zdroj bombardového napätia a zdroj riadiaceho napätia. V spolupráci s jednotkou PLC A3 možno pomocné zdroje zapínať a ovládať manuálne alebo diaľkovo prostredníctvom pultu operátora. Aktuálne hodnoty napätí a prúdov sa pritom operátorovi zobrazujú jednak na panelových voltmetroch jednotky Pomocné zdroje alebo, prostredníctvom jednotky A3, priamo na monitore operátorského pultu
- Jednotka Pomocné zdroje je kompaktne aj s Malou nádobou umiestený v 19 palcovom Euroracku od firmy Schroff

Obr. 9. Zostava Energobloku EB_3.0 so samostatnou stojánkou VN zdroj a samostatnou stojánkou Pomocné zdroje

Osobitnú pozornosť by som ešte venoval koncepcii Malej nádoby v Energobloku EB_3.0, ktorá bola v tomto variante výrazne zmenená, ako znázorňujú obr. 10 a 11. Základné zmeny v koncepcii novej Malej nádoby, ktorá mala modulárny systém možno zhrnúť nasledovne:

- Pevný rám s plechovým krytom (obr. 10), ktorý obsahuje:
  - Hlavný napájací transformátor 230VAC/230VAC, ktorý zabezpečuje galvanické oddelenie medzi potenciálom GND a potenciálom VN a má izolačnú pevnosť viac ako 100kV

        - Transformátory pre zdroj žeravenia, zdroj bombardovacieho napätia a zdroj riadiaceho napätia, ktoré sú napájané z hlavného napájacieho transformátora 230VAC/230VAC
        - Filtračné kondenzátory pre zdroj riadiaceho napätia
        - Základnú dosku s konektormi pre pripojenie sekundárnej elektroniky pomocných zdrojov
    - Vyberateľný šuflík s elektronikou pomocných zdrojov (obr. 11), ktorý obsahuje:
        - Sekundárnu elektroniku zdroja žeravenia s filtráciou, výkonovou časťou, regulačnou časťou a optickými prenosovými kanálmi pre meranie a riadenie žeraviaceho prúdu
        - Sekundárnu elektroniku zdroja bombardového napätia s filtráciou, stabilizátorom a optickými prenosovými kanálmi pre meranie bombardového prúdu a napätia
        - Sekundárnu elektroniku zdroja riadiaceho napätia s výkonovou časťou, ktorá je tvorená HV elektrónkou, regulačnou časťou a optickým prenosovým kanálom na meranie riadiaceho napätia

Táto koncepcia Malej nádoby mala veľký potenciál, najmä z hľadiska stability, presnosti riadenia a merania pomocných zdrojov, ako aj servisovateľnosti ich sekundárnej elektroniky. Pri skúškach tejto koncepcie sa však negatívne prejavila nedostatočná odolnosť tranzistorov v stabilizátore zdroja bombardovacieho napätia, ako aj nedostatočná odolnosť optických prenosových kanálov voči vysokonapäťovým výbojom.

Obr. 10. Rám s plechovým krytom a napájacou časťou Malej nádoby novej koncepcie

Obr. 11. Šuflík s elektronikou sekundárnej časti pomocných zdrojov Malej nádoby novej koncepcie

Energoblok EB_2.5:

Energoblok EB_2.5 koncepčne vychádza z Energobloku EB_3.0 a preberá jeho rozdelenie na samostatnú jednotku VN zdroja a samostatnú jednotku Pomocné zdroje, umiestnené v 19-palcových rackových skriniach firmy Schroff. Jednotka VN zdroja zostala koncepčne nezmenená, pričom do portfólia spoločnosti PZVAR pribudol aj variant VN zdroja s výkonom 15 kW. Výraznejšími úpravami však prešla jednotka Pomocné zdroje, ktorá sa v porovnaní s EB_3.0 podstatne zjednodušila. Zmeny sa týkali nielen samotnej Malej nádoby, ale aj jednotky Pomocné zdroje A2. Tieto zmeny si teraz opíšeme.

Malá nádoba (obr. 12):

- Veľkosť Malej nádoby je zhodná s veľkosťou Veľkej nádoby vo VN zdroji. Tým došlo k unifikácii oboch nádob, pričom zväčšená Malá nádoba poskytuje väčší priestor na integráciu nových častí elektroniky
- Transformátory zdroja žeravenia a zdroja bombardovacieho napätia prešli výraznou konštrukčnou zmenou. Ich celkové rozmery sa zväčšili, čo umožnilo použiť väčšie jadrá a dosiahnuť vyšší výkon. V konštrukcii transformátorov sa vo veľkej miere využívajú izolačné materiály na báze polyamidu (Silón) a polykarbonátu (Makrolon), ktoré poskytujú vyššiu mechanickú a elektrickú odolnosť. Oba transformátory sú navrhnuté tak, aby zabezpečovali galvanické oddelenie s izolačnou pevnosťou vyššou ako 100 kV medzi primárnou a sekundárnou časťou
- Zdroj riadiaceho napätia bol nahradený jednoduchým impulzným zdrojom s topológiou Flyback bez spätnej väzby. Flyback transformátor s nylonovými kostričkami zabezpečuje galvanické oddelenie s izolačnou pevnosťou vyššou ako 100 kV medzi primárnou a sekundárnou časťou
- Sekundárna elektronika jednotlivých zdrojov je umiestnená v plechovom kryte a pozostáva len z jednoduchých usmerňovačov, filtračných obvodov a deličov
- Na presné meranie zváracieho prúdu na VN potenciáli boli do Malej nádoby integrované dva optické meracie kanály, ktoré zabezpečujú meranie zváracieho prúdu pomocou meracích bočníkov 10 Ω a 100 Ω. Oba optické meracie kanály spolu so svojím napájacím zdrojom sú umiestnené v duralovej krabičke

Obr. 12. Upravená a zjednodušená koncepcia Malej nádoby pre Energoblok EB_2.5

Jednotka **Pomocné zdroje EB_2.5** (obr. 13):

- Integrovaná jednotka Vychyľovanie A5, Fokusácia A4 a riadiaca jednotka PLC A3
- Jednotka Pomocné zdroje A2:
    - Meranie žeraviaceho prúdu a bombardovacieho prúdu je realizované na primárnom vinutí transformátora žeravenia a transformátora bombardovacieho napätia
    - Nový regulátor bombardovacieho prúdu
    - Nový budič pre zdroj riadiaceho napätia s topológiou Flyback
    - Upravený regulátor zváracieho prúdu

Obr. 13. Zostava Energobloku EB_2.5 so samostatnou stojánkou VN zdroj a samostatnou stojánkou Pomocné zdroje

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH5, ZH6, ZH7:

Tieto zváracie zariadenia (obr. 14) boli vyvinuté a postavené spoločnosťou PZVAR pre potreby zvárania tepelných HVH výmenníkov určených pre elektromobily. Jednotlivé zariadenia sú až na menšie konštrukčné odlišnosti prakticky identické a sú určené k sériovej produkcii. Zváracia komora je umiestnená v strede zariadenia a po jej bokoch sa nachádzajú zásobníky na HVH výmenníky. Pojazdový vozík s HVH výmenníkmi sa zo zásobníkov zasúva do zváracej komory pomocou pneumatických valcov (ZH6 a ZH7) alebo motorového pohonu (ZH5). Čerpací systém je riadený vákuovým rozvádzačom RVAC. Komunikácia medzi RVAC, Energoblokom a pultom operátora je realizovaná prostredníctvom ethernetového pripojenia alebo optického pripojenia, ak je rušená komunikácia medzi Energoblokom a RVAC. Energobloky pripojené k týmto zváracím zariadeniam sú typu EB_2.5 a v závislosti od použitého VN zdroja majú výkon 15 kW.

Pulzovanie elektrónového lúča:

Pri zváraní HVH tepelných výmenníkov (obr.15) sa objavil problém s distribúciou tepelnej energie do zvarového spoja. HVH výmenník je vyrobený zo zliatiny AlSi10Mg(Fe), ktorá je veľmi vhodná na tlakové odlievanie, avšak pri jej zváraní sa z materiálu uvoľňuje značné množstvo plynov. Tie spôsobujú vznik pórovitosti vo zvarovom spoji, čím dochádza nielen k zníženiu jeho mechanickej pevnosti, ale aj k vzniku netesností, čo je v prípade HVH výmenníka závažný problém. Otázkou teda bolo, ako prispôsobiť technológiu zvárania vlastnostiam tejto zliatiny tak, aby sa obmedzila nežiaduca tvorba plynov počas zvárania. Riešenie

poskytla tzv. modulácia zváracieho prúdu, pri ktorej nie je prísun energie do zvarového spoja spojitý, ale mení sa v čase. V dôsledku toho dochádza k lepšiemu premiešavaniu zvarového kúpeľa, plyny z neho môžu ľahšie unikať a vo výslednom zvarovom spoji vzniká menší počet pórov.

Obr. 14. Bočný pohľad na elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH5

Obr. 15. HVH výmenník tepla so zliatiny AlSi10Mg(Fe)

Najlepšie výsledky sme dosiahli pri modulácii zváracieho prúdu sínusovým priebehom s frekvenciou 100 Hz a hĺbkou modulácie približne 70 %. HĺbkA modulácie pritom nie je pevne stanovená a môže sa meniť v závislosti od kvality zliatiny HVH výmenníkov. Energobloky nasadené na zváracích zariadeniach ZH5, ZH6 a ZH7 museli túto požiadavku zohľadňovať, a preto boli modifikované tak, aby umožňovali moduláciu zváracieho prúdu s uvedenými parametrami. Ako vyzerá porovnanie nemodulovaného a modulovaného zváracieho prúdu je znázornené na obr. 16.

Obr. 16. Časový priebeh nemodulovaného a modulovaného zváracieho prúdu

Modifikácia Malej nádoby pre potreby modulácie zváracieho prúdu v Energoblokoch EB_2.5:

Modifikovaná Malá nádoba je znázornená na obr. 17. Ako je vidieť, transformátory jednotlivých pomocných zdrojov zostali nezmenené, zmenila sa však plechová skrinka so sekundárnou elektronikou, ktorá bola zväčšená. Dôvodom je umiestnenie optických meracích kanálov na presné meranie zváracieho prúdu priamo do tejto skrinky. Modifikovaná bola aj doska s filtračnými kondenzátormi zdroja bombardovacieho napätia, ktorá umožňuje meniť jeho filtračnú kapacitu v závislosti od požadovanej hĺbky modulácie zváracieho prúdu. Platí pritom, že čím menšia je filtračná kapacita zdroja bombardovacieho napätia, tým väčšie je zvlnenie bombardovacieho napätia a následne aj hĺbka modulácie zváracieho prúdu. Zvlnenie bombardovacieho napätia sa totiž prostredníctvom rezistorových deličov prenáša do riadiaceho napätia na riadiacej elektróde. Keďže sekundárne napätie transformátora bombardovacieho zdroja je dvojcestne usmernené, frekvencia zvlnenia bombardovacieho napätia je 100 Hz, a preto je s rovnakou frekvenciou modulovaný aj zvárací prúd.

Obr. 17. Modifikovaná koncepcia Malej nádoby Energobloku EB_2.5 pre potreby modulácie zváracieho prúdu

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ELZA UNI:

Zváracie zariadenie ELZA UNI (obr. 18) predstavuje po zariadeniach ZH3 a ZH4 ďalšie univerzálne zváracie zariadenie určené nielen na realizáciu špecializovaných zákaziek, ale aj na testovanie a overovanie nových technologických postupov elektrónovolúčového zvárania. ELZA UNI je vybavená zváracou komorou s objemom 3 m³, čo umožňuje zvárať aj rozmernejšie výrobky a zostavy. Keďže je ELZA UNI z hľadiska objemu zváracej komory najväčším zváracím zariadením v spoločnosti PZVAR, je tomu výkonovo prispôsobený aj Energoblok. Použitý je Energoblok typu EB_2.5, pričom filtračná kapacita zdroja bombardovacieho napätia je nastavená na maximálnu hodnotu, pretože pri tomto zváracom zariadení sa požaduje stabilný zvárací prúd. Výkon Energobloku je určený použitým VN zdrojom s výkonom 30 kW, teda najvýkonnejším variantom VN zdroja.

Obr. 18. Bočný pohľad na elektrónovolúčové zváracie zariadenie ELZA UNI aj s vákuovým rozvádzačom RVAC

Elektrónovolúčové zváracie zariadenie ZH8:

Toto zváracie zariadenie je najnovším prírastkom v spoločnosti PZVAR. Je určené na zváranie tepelných HVH výmenníkov, teda na sériovú produkciu. Koncepcia zváracieho zariadenia ZH8 je zhodná s predchádzajúcimi zariadeniami ZH5, ZH6 a ZH7. Výraznou zmenou je však použitý Energoblok EB_4.0 (obr. 19), ktorého jednotka VN zdroja využíva nový typ striedača s digitálnym riadením a výkonom 7,5 kW. Tento výkon je pre zváranie HVH výmenníkov viac ako dostatočný, čo umožnilo zmenšiť aj rozmery samotného striedača. VN zdroj so striedačom s digitálnym riadením a výkonom 7,5 kW je na zariadení ZH8 stále v testovacej prevádzke, pričom doterajšie výsledky sú veľmi sľubné. Zmeny aplikované v tomto type VN zdroja si teraz stručne opíšeme.

Energoblok EB_4.0

Jednotka **VN zdroj EB_4.0**:

- Striedač využíva topológiu Two-Switch Forward so spínacou frekvenciou 38 kHz
- Vstupný filter, výstupný filter a samotný striedač sú integrované v jednom 19-palcovom racku
- Striedač je digitálne riadený mikrokontrolérom STM32F373, ktorý zabezpečuje jeho celkové riadenie a ochranné funkcie. Mikrokontrolér zároveň riadi činnosť PWM regulátora SG2525AP, ktorý generuje PWM signály pre výkonový stupeň striedača

- Ovládanie striedača a monitorovanie jeho základných prevádzkových parametrov sú realizované prostredníctvom digitálneho ovládacieho panela s OLED displejom

Obr. 19. Zostava Energobloku EB_2.5 2019 so samostatnou stojánkou VN zdroj a samostatnou stojánkou Pomocné zdroje

Jednotka **Pomocné zdroje EB_4.0**:

- Pridané nepriame meranie napätia riadiacej elektródy na primárnej strane (GND) v jednotke Pomocné zdroje A2
- Pridané meranie bombardovacieho napätia na VN strane prostredníctvom optického prenosového kanála
- Pridaný regulátor automatického zažeravovania katódy v jednotke Pomocné zdroje A2. Tieto regulátory boli postupne doplnené aj do ostatných Energoblokov verzie EB_2.5 na zváracích zariadeniach ZH5, ZH6 a ZH7

5. Energoblok EB2024

Energoblok EB_5.0 predstavuje poslednú vývojovú verziu v rade Energoblokov vyvinutých v spoločnosti PZVAR. Od predchádzajúcich verzií sa výrazne odlišuje, pretože jeho koncepcia zúročuje skúsenosti získané počas celého vývoja Energoblokov v spoločnosti PZVAR. Jednotka VN zdroj zostala nezmenená, a preto môže EB_5.0 využívať celý rozsah VN zdrojov podľa požadovaného výkonu, teda varianty s výkonom 7,5 kW, 15 kW a 30 kW. Výraznou zmenou však prešla jednotka Pomocné zdroje (obr. 20), v ktorej bola úplne prepracovaná koncepcia Malej nádoby s cieľom zvýšiť dynamickú odozvu pomocných zdrojov a umožniť rýchlejšie pulzovanie zváracieho prúdu. Tieto zmeny si podrobnejšie opíšeme v nasledujúcej časti.

Obr. 20. Jednotka Pomocné zdroje Energobloku EB_5.0

Malá nádoba (obr. 21):

- Zdroj žeravenia zostáva nezmenený. Ide o lineárny zdroj s veľkým 50 Hz transformátorom, ktorý zabezpečuje galvanické oddelenie s izolačnou pevnosťou vyššou ako 100 kV medzi primárnym a sekundárnym vinutím. Sekundárna časť zdroja obsahuje usmerňovač a filtračný obvod.
- Zdroj bombardovacieho napätia bol zmenený z lineárneho na impulzný zdroj s topológiou Two-Switch Flyback, s výstupným napätím 2 kV a výkonom 70 W. Dynamická odozva zdroja na vstupný riadiaci signál dosahuje maximálne 500 Hz. Transformátor zároveň zabezpečuje galvanické oddelenie s izolačnou pevnosťou vyššou ako 100 kV medzi primárnym a sekundárnym vinutím. Impulzný zdroj bombardovacieho napätia je umiestnený v čiernej unifikovanej rackovej skrinke, čím je zabezpečená modularita celej Malej nádoby. Prenos žiadanej hodnoty bombardovacieho napätia a meraných hodnôt bombardovacieho napätia a prúdu je realizovaný prostredníctvom troch optických prenosových kanálov, ktoré zabezpečujú galvanické oddelenie medzi primárnou a sekundárnou časťou.
- Zdroj riadiaceho napätia bol zmenený z jednoduchého flybackového zdroja bez spätnej väzby na impulzný zdroj s topológiou Two-Switch Flyback, ktorý umožňuje meniť polaritu výstupného napätia podľa polarity žiadanej hodnoty riadiaceho napätia. Maximálne výstupné napätie zdroja je 4 kV a jeho dynamická odozva dosahuje 1 kHz. Takto vysoká dynamika umožňuje nielen pulzovanie zváracieho prúdu v rozsahu od 0 Hz do 1 kHz, ale aj využitie zdroja pri technologickom procese vŕtania materiálu. Impulzný zdroj riadiaceho napätia je, podobne ako zdroj bombardovacieho napätia, umiestnený v čiernej unifikovanej rackovej skrinke, čím je zabezpečená modularita celej Malej nádoby. Prenos žiadanej hodnoty riadiaceho napätia a meranej hodnoty riadiaceho napätia je realizovaný prostredníctvom dvoch optických prenosových kanálov, ktoré zabezpečujú galvanické oddelenie medzi primárnou a sekundárnou časťou zdroja.

Obr. 21. Najnovšia koncepcia Malej nádoby pre Energoblok EB_5.0, ktorá umožňuje rýchlu a presnú moduláciu zváracieho prúdu podľa technologického procesu.

Jednotka **Pomocné zdroje EB_5.0**:

- Jednotka Pomocné zdroje A2 obsahuje dva digitálne panelové voltmetre, ktoré presne zobrazujú aktuálne hodnoty riadiaceho a bombardovacieho napätia na sekundárnej VN strane. Analógový ampérmeter meria sekundárny bombardovací prúd a ďalšie dva analógové ampérmetre merajú primárny žeraviaci prúd a primárny bombardovací prúd. Operátor tak získava ucelený prehľad o dôležitých parametroch pomocných zdrojov počas zváracieho procesu. Jednotka A2 je zároveň vybavená funkciou automatického zažeravovania katódy a upraveným regulátorom zváracieho prúdu, ktorý umožňuje naplno využiť dynamické vlastnosti rýchleho zdroja riadiaceho napätia.
- Do jednotky PLC A3 bol doplnený výstupný analógový modul, ktorý v spojení s upraveným softvérom umožňuje generovať žiadané hodnoty riadiaceho a bombardovacieho napätia s nezávisle nastaviteľnou jednosmernou a striedavou zložkou. To umožňuje samostatné pulzovanie riadiaceho alebo bombardovacieho napätia podľa požiadaviek konkrétneho zváracieho procesu. Do predného panela skrinky PLC boli zároveň integrované dva osciloskopy, ktoré operátorovi poskytujú okamžitý prehľad o priebehu zváracieho prúdu a vychyľovacích signálov X a Y.
- Jednotka Vychyľovanie A5 bola inovovaná a pôvodný zdroj bol nahradený novým, ktorý má zvyšenú frekvenciu vychyľovania a rozsah vychyľovania v osi X a Y.

Dynamické riadenie zváracieho prúdu v praktickej aplikácií s Energoblokom EB_5.0:

- Modulácia zváracieho prúdu v rozsahu 10% až 100%, tvar obdĺžnik (SQR), frekvencia 1kHz (obr. 22):
  - Žltý signál - žiadaná hodnota zváracieho prúdu (vstup do regulátora zváracieho prúdu, definuje tvar zváracieho prúdu a jeho dynamiku)
  - Fialový signál - meraná hodnota zváracieho prúdu (skutočný obraz zváracieho prúdu, nespojitý prenos energie do zvarového spoja)
  - Modrý signál - výstupný signál regulátora zváracieho prúdu

Obr. 22. Časové priebehy žiadanej hodnoty zváracieho prúdu, meranej hodnoty zváracieho prúdu a výstupu regulátora zváracieho prúdu s frekvenciou 100Hz.

Obr. 23. Vzorka troch zvarov s rôznymi frekvenciami pulzovania s frekvenciami 200Hz, 500Hz a 1kHz.

- Vŕtanie materiálu dynamickým pulzovaním zváracieho prúdu s časom trvania impulzu 2ms, zváracím prúdom 120mA pri urýchľovacom napätí -45kV (obr. 24):
  - Modrý signál - žiadaná hodnota zváracieho prúdu (vstup do regulátora zváracieho prúdu, definuje tvar zváracieho prúdu a jeho dynamiku)
  - Zelený signál - meraná hodnota zváracieho prúdu (skutočný obraz zváracieho prúdu, nespojitý prenos energie do zvarového spoja)
  - Červený signál - výstupný signál regulátora zváracieho prúdu
  - Fialový signál - priebeh riadiaceho napätia

Obr. 24. Časové priebehy žiadanej hodnoty impulzu zváracieho prúdu, meranej hodnoty zváracieho prúdu, výstupu regulátora zváracieho prúdu a riadiaceho napätia pri vŕtaní materiálu.

Obr. 25. Detail vyvŕtaného otvoru s priemerom 220µm vo vzorke.

6. Záver

Elektrónovolúčové zváranie patrí aj napriek svojmu dlhoročnému vývoju medzi technologicky veľmi progresívne metódy zvárania. Jeho hlavnými prednosťami zostávajú vysoká hustota energie, presnosť, malá tepelne ovplyvnená oblasť, nízke deformácie a možnosť vytvárať hlboké a úzke zvary aj pri materiáloch a konštrukciách, pri ktorých sú bežné zváracie technológie nedostatočné. Veľkou výhodou tejto technológie je zároveň široká možnosť riadenia a modulácie jednotlivých technologických parametrov, čím je možné zvárací proces prispôsobiť konkrétnemu materiálu a požadovaným vlastnostiam zvarového spoja.
Vývoj elektrónovolúčových zváracích zariadení v spoločnosti PZVAR ukazuje postupný prechod od jednoduchších koncepcií k univerzálnym a modulárnym systémom, ktoré postupne prinášali nielen vyšší výkon, ale aj väčšiu presnosť a stabilitu zváracích parametrov. Výrazným posunom bolo zavedenie PLC riadenia, optických prenosových kanálov, modulárnej koncepcie pomocných zdrojov, novej generácie impulzných pomocných zdrojov s vysokou dynamickou odozvou a digitálne riadených výkonových striedačov pre VN zdroje.
Vývoj realizovaný v spoločnosti PZVAR tak predstavuje dlhodobý proces, v ktorom sa skúsenosti získané pri návrhu, výrobe, prevádzke a skúšaní jednotlivých zariadení postupne premietali do ďalších generácií. Výsledkom je vlastná modulárna koncepcia elektrónovolúčových zváracích zariadení, ktorú je možné ďalej rozvíjať a prispôsobovať požiadavkám nových materiálov, výrobkov a technologických procesov.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy číslo APVV-20-0100. Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Výskum pokročilých technológií zvyšovania efektívnosti viacvalentných energetických systémov pre trvalo udržateľný rozvoj priemyslu, kódITMS21+:401101C504, spolufinancovaného Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Rozvoj excelentných výskumných kapacít v oblasti aditívnych technológií pre Priemysel 21 storočia, kód ITMS:313011BWN5, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Zoznam použitej literatúry

[1] SCHULTZ H.: Electron Beam Welding, Cambridge: Abingdon Publishing, England, 2004, ISBN 1-85573-050-2.

[4] KOLENIČ F., KOVÁČ L.: Nová generácia elektrónovolúčových zariadení s výkonom do 30 kW, Zvárač VIII/2/2011, s. 22–24, ISSN 1336-5045.

Modulárny dizajn elektrónového dela

Systém generovania elektrónového lúča

Konferenčný príspevok | PZVAR MEETING 2026

Ing. Pavol Maštalír [1]
Ing. František Kolenič, PhD. [2]
[1]https://orcid.org/0009-0009-5250-209X:Ing.Pavol Maštalír, **Slovakia**
[2]https://orcid.org/0000-0001-9920-2398:Ing.František Kolenič, PhD., **Slovakia**

Abstrakt.

PRVÁ ZVÁRAČSKÁ a. s. sa zaoberá vývojom a výrobou zariadení na zváranie elektrónovým lúčom, ktorých kľúčovou súčasťou je elektrónové delo. Riadenie zváracieho procesu určuje požadované parametre elektrónového lúča – urýchľovacie napätie, emisný prúd, fokusáciu a vychyľovanie. Ich stabilná a opakovateľná realizácia však závisí od samotnej konštrukcie elektrónového dela. Príspevok predstavuje modulárnu koncepciu elektrónového dela vyvinutú s dôrazom na zabezpečenie reprodukovateľnosti výstupných parametrov, vzájomnej kompatibility uzlov dela a zjednodušenie servisu. Stručne približuje cestu elektrónov od ich emisie na katóde, cez urýchlenie, fokusáciu a vychyľovanie lúča až po jeho pôsobenie na zváraný materiál. Vyvinutý systém pozorovania v osi elektrónového dela umožňuje sledovať miesto zvárania z pohľadu blízkeho smeru elektrónového lúča a zároveň predstavuje praktický príklad rozšírenia základnej modulárnej architektúry elektrónového dela.

Kľúčové slová: elektrónové delo, EBW, elektrónový lúč, modulárna konštrukcia, vysoké vákuum

1. Úvod

Pri elektrónovo-lúčovom zváraní sa pozornosť prirodzene sústreďuje na procesné parametre - urýchľovacie napätie, emisný prúd, fokusáciu, vychyľovanie a zvárací program. Riadiaci systém určuje požadované správanie lúča, ale samotný príkaz ešte nevytvára zvar. Medzi riadením a materiálom je elektrónové delo, ktoré musí elektrické a riadiace signály premeniť na fyzický elektrónový lúč.

Z pohľadu výsledku preto nestačí lúč iba vytvoriť. Dôležité je vytvoriť ho stabilne, presne a opakovateľne. Práve táto väzba medzi riadením a hardvérom tvorí východisko modulárnej koncepcie dela: riadenie určuje požadovaný stav, delo rozhoduje o tom, či bude tento stav v reálnej prevádzke opakovateľný.

Obr. 1. Prechod od riadenia parametrov k hardvéru: elektrické a riadiace signály sa v elektrónovom dele menia na stabilný fyzický lúč.

2. Elektrónové delo ako súčasť celého EBW systému

Elektrónové delo nepracuje ako izolovaný komponent. Je súčasťou celého reťazca, v ktorom spolupracuje vysokonapäťový zdroj, riadiaca a kontrolná jednotka, vákuový systém, mechanika, polohovanie a zvárací program. Riadené procesné parametre vstupujú do dela, ktoré vytvorí lúč, a ten následne pôsobí na materiál vo vákuovej komore.

Takéto systémové chápanie je dôležité aj pri hodnotení modularity. Modulárne delo musí byť integrované do zariadenia tak, aby sa nemenila požadovaná geometria lúča, vákuové podmienky, ani väzba na riadenie. Modularita preto nie je iba mechanické rozdelenie zostavy, ale spôsob, ako udržať funkčné rozhrania pod kontrolou.

Obr. 2. Kompletný reťazec EBW: riadenie parametrov, vysoké napätie, elektrónové delo, vákuová komora a výsledný zvar.

3. Formovanie trajektórií elektrónového lúča

Elektróny vznikajú v katódovom uzle. Zahriata katóda emituje elektróny a Wehneltova riadiaca elektróda ovplyvňuje ich počiatočný tok. Následne sú elektróny urýchlené vysokým napätím smerom k anóde. V prezentovanej koncepcii sa pracuje s urýchľovacím napätím 60 kV.

Po prechode anódou preberá úlohu elektromagnetická optika. Fokusačná cievka pôsobí ako magnetická šošovka a sústreďuje elektrónový zväzok na požadovaný priemer až na povrchu materiálu. Vychyľovacie cievky riadia polohu lúča a umožňujú jeho presné smerovanie alebo kmitanie. Celá dráha elektrónov prebieha vo vysokom vákuu, aby sa vylúčil rozptyl elektrónov na molekulách vzduchu.

Obr. 3. Dráha elektrónov od katódy cez anódu, fokusačnú a vychyľovaciu cievku až po dopad na zváraný materiál.

4. Dopad elektrónov na materiál a vznik zvaru

Pri dopade vysokoenergetických elektrónov na kov dochádza k ich prudkému brzdeniu a kinetická energia sa mení na intenzívne lokálne teplo. Pri dostatočnej hustote výkonu sa materiál taví a čiastočne odparuje. Tlak kovových pár vytvára úzky paroplynový kanál - kľúčovú dierku (keyhole) - ktorý umožňuje preniesť energiu hlboko do materiálu.

Za lúčom sa vytvára roztavený kov, ktorý po prechode zdroja tepla tuhne a vytvára zvar. Pri praktickej aplikácii PZ EBW MINI bol požadovaný prievar 22 mm v stene hrubej 23 mm. Takto hlboký a úzky zvar je citlivý na stabilitu, fokusáciu aj presnú polohu lúča, a preto priamo ukazuje význam kvalitného hardvéru elektrónového dela.

Obr. 4. Premena kinetickej energie elektrónov na teplo, vznik keyhole a roztaveného kovu pri zváraní elektrónovým lúčom.

Proces vytvárania zvaru je možné rozdeliť do niekoľkých na seba nadväzujúcich etáp. Po dopade elektrónového lúča na povrch materiálu dochádza k lokálnemu ohrevu, taveniu a následnému odparovaniu materiálu. So zvyšujúcou sa hustotou energie sa postupne vytvára paroplynový kanál – kľúčová dierka (keyhole), ktorý umožňuje prenikanie energie lúča do väčšej hĺbky materiálu. Po dosiahnutí ustáleného stavu je kľúčová dierka obklopená roztaveným kovom a pohybuje sa spolu s miestom pôsobenia elektrónového lúča. Za lúčom dochádza k uzatváraniu paroplynového kanála, tuhnutiu roztaveného kovu a vytváraniu výsledného zvaru. V prípade prezentovanej aplikácie je požadovaná hĺbka zvaru približne 22 mm.

Obr. 5. Jednotlivé etapy procesu vzniku zvaru vytváraného elektrónovým lúčom.

5. Modulárny dizajn – elektrónové delo ako stavebnica

Princíp modulárnej konštrukcie možno zjednodušene prirovnať k stavebnici. Elektrónové delo netvorí jeden nedeliteľný celok, ale sústava funkčných modulov, z ktorých každý zabezpečuje konkrétnu časť procesu tvorby a riadenia elektrónového lúča. Katódový uzol zabezpečuje emisiu elektrónov, Wehneltova elektróda sa podieľa na riadení emisného prúdu a počiatočnom formovaní zväzku a anódový modul zabezpečuje urýchlenie elektrónov. Po prechode anódou sa elektrónový zväzok postupne rozširuje a jeho ďalšiu geometriu upravuje fokusačná cievka. Vychyľovacia cievka následne umožňuje meniť polohu lúča na povrchu zváraného materiálu. Ďalšie časti dela zabezpečujú vákuové funkcie, chladenie, elektrickú izoláciu a ochranu vnútorných častí pred kovovými parami vznikajúcimi počas zvárania.

Podstatou modularity však nie je iba fyzické rozdelenie dela na jednotlivé časti. Aby bolo možné s modulmi skutočne pracovať ako so stavebnicou, musia byť jednoznačne definované ich vzájomné rozhrania. Ide nielen o mechanické spojenie jednotlivých častí, ale aj o elektrické, chladiace, vákuové a magnetické väzby. Rovnako dôležité je zachovanie spoločnej osi jednotlivých funkčných prvkov, pretože ich vzájomná poloha priamo ovplyvňuje dráhu elektrónov a výsledné vlastnosti lúča.

Takto navrhnutá konštrukcia prináša výhodu najmä pri **servise a údržbe**. Pri opotrebovaní alebo poruche nie je potrebné zasahovať do celého elektrónového dela, ale možno demontovať a servisovať konkrétny funkčný modul. Po jeho opätovnom osadení zostávajú ostatné časti dela v pôvodnej konfigurácii. Modulárne riešenie zároveň zjednodušuje výrobu, montáž a postupné overovanie jednotlivých funkčných celkov.

Ďalšou výhodou je **možnosť ďalšieho rozvoja elektrónového dela bez zásadnej zmeny jeho základnej koncepcie**. Ak vznikne požiadavka na novú funkciu, možno ju riešiť vytvorením alebo úpravou konkrétneho modulu namiesto návrhu úplne nového dela. Príkladom je doplnenie systému pozorovania v osi lúča. Základná architektúra elektrónového dela zostala zachovaná a nová funkcia bola integrovaná ako ďalší prvok modulárneho systému.

Modulárna koncepcia preto nie je samoúčelným konštrukčným riešením. **Je výsledkom snahy vytvoriť elektrónové delo, ktoré možno servisovať, upravovať a ďalej rozvíjať, pričom sa zachová jeho základná geometria a opakovateľnosť funkcie.** Rovnaký princíp zároveň umožňuje použiť základnú platformu elektrónového dela v rôznych zariadeniach a prispôsobiť ju konkrétnej aplikácii vhodnou kombináciou alebo konfiguráciou jednotlivých modulov.

Obr. 6. Zjednodušené znázornenie modulárnej architektúry ako stavebnice funkčných blokov s definovanými rozhraniami.

6. Vzájomná poloha osí elektrónového dela

Jedným z faktorov ovplyvňujúcich výsledné parametre elektrónového lúča je vzájomná poloha funkčných častí elektrónového dela. Z tohto pohľadu je možné rozlíšiť **mechanickú, elektrickú a magnetickú os**, ktoré charakterizujú jednotlivé etapy vzniku, formovania a ďalšieho vedenia elektrónového lúča.

Mechanická os je definovaná geometriou telesa elektrónového dela a predstavuje základnú referenciu pre polohovanie jeho jednotlivých funkčných častí. Jej presnosť je ovplyvnená najmä geometrickou presnosťou jednotlivých komponentov, konštrukciou ich mechanických rozhraní a spôsobom vzájomného ustavenia pri montáži.

Elektrická os je definovaná predovšetkým vzájomnou polohou katódy a Wehneltovej riadiacej elektródy. Elektrónový lúč vzniká v oblasti katódy a jeho počiatočné formovanie a smerovanie je ovplyvňované elektrickým poľom vytvoreným usporiadaním elektród. Presnosť ich vzájomnej polohy je preto významná pre správne nasmerovanie lúča do ďalších častí elektrónovo-optického systému.

Magnetická os je definovaná polohou fokusačnej a vychyľovacích cievok. Fokusačná cievka zabezpečuje požadované zaostrenie elektrónového lúča, zatiaľ čo vychyľovacie cievky umožňujú riadenie jeho polohy a smerovanie na požadované miesto zváraného dielu.

Z hľadiska optimálnej funkcie elektrónového dela je žiaduce **minimalizovať vzájomnú odchýlku mechanickej, elektrickej a magnetickej osi**. Pri ich ideálnom zarovnaní prechádza elektrónový lúč jednotlivými funkčnými časťami v optimálnej polohe. So zväčšujúcou sa vzájomnou odchýlkou osí môže narastať potreba korekcie trajektórie lúča, pričom môže dochádzať k zhoršeniu jeho zaostrenia a stability výsledných parametrov.

Z uvedeného dôvodu je vzájomná poloha funkčných osí významná aj z pohľadu **modulárnej konštrukcie elektrónového dela**. Mechanické rozhrania jednotlivých modulov musia okrem jednoduchej montáže, demontáže a výmeny komponentov zabezpečiť aj dostatočne presné a opakovateľné ustavenie jednotlivých funkčných častí. Modularita tak nepredstavuje iba prostriedok na zjednodušenie konštrukcie a údržby, ale súčasne vytvára požiadavky na geometrickú presnosť a opakovateľnosť montáže.

Obr. 7. Vzájomná poloha mechanickej, elektrickej a magnetickej osi elektrónového dela.

7. Reálna architektúra elektrónového dela

V reálnej konštrukcii sa princíp stavebnice premieňa na sústavu presne navrhnutých a vzájomne prepojených funkčných uzlov. Každý modul plní konkrétnu funkciu a zároveň musí rešpektovať mechanické, elektrické, vákuové, chladiace a ďalšie rozhrania nadväzujúcich častí. Modulárne usporiadanie preto neznamená iba rozdelenie elektrónového dela na samostatné komponenty, ale predovšetkým vytvorenie systému s jednoznačne definovanými väzbami medzi jednotlivými modulmi.

Medzi základné časti navrhnutej konštrukcie patria katódový uzol s izolátorom a katódou, anódový modul, vákuový ventil, modul ochrany proti naparovaniu, modul fokusačnej cievky, modul vychyľovacích cievok, olejové chladenie, prívod vysokého napätia a turbomolekulárna výveva. Jednotlivé uzly tak zabezpečujú vytvorenie a vedenie elektrónového lúča, udržanie požadovaných vákuových podmienok, tepelný manažment a prepojenie dela s ostatnými časťami zváracieho zariadenia.

Dôležitou požiadavkou pri návrhu jednotlivých modulov je ich presné a opakovateľné vzájomné ustavenie. Mechanické rozhrania musia zabezpečiť, aby po montáži alebo výmene modulu zostala v požadovanej miere zachovaná vzájomná poloha funkčných častí elektrónového dela. Táto požiadavka priamo nadväzuje na vzájomnú polohu mechanickej, elektrickej a magnetickej osi, ktorá ovplyvňuje formovanie, fokusáciu a smerovanie elektrónového lúča.

Praktický význam modularity sa prejavuje najmä pri servise, údržbe a ďalšom vývoji zariadenia. V prípade potreby možno pracovať iba s konkrétnym funkčným modulom bez rozsiahleho zásahu do ostatných častí dela. Základná geometria a funkčné väzby ostatných uzlov pritom zostávajú zachované, čím sa obmedzuje riziko nežiaducich zmien v nastavení systému po servisnom zásahu.

Takto navrhnutá architektúra zároveň vytvára priestor na ďalšie rozširovanie a modifikáciu elektrónového dela. Novú funkciu je možné začleniť prostredníctvom vhodne definovaného rozhrania bez potreby zásadnej prestavby celej konštrukcie. Príkladom takéhoto prístupu je doplnenie modulu pozorovania v osi lúča, opísané v nasledujúcej časti.

Obr. 8. Reálna modulárna architektúra elektrónového dela s vyznačenými hlavnými funkčnými uzlami.

8. Rozšírenie platformy – pozorovanie v osi lúča

Definované mechanické, elektrické a funkčné rozhrania jednotlivých modulov vytvárajú priestor nielen na jednoduchšiu údržbu a výmenu komponentov, ale aj na postupné rozširovanie funkcií elektrónového dela. Príkladom takéhoto rozšírenia je modul pozorovania v osi elektrónového dela, ktorý integruje kameru, optické prvky a osvetlenie do existujúcej konštrukcie systému.

Cieľom modulu je umožniť pozorovanie oblasti zvaru v smere čo najbližšom k osi elektrónového lúča. Takéto usporiadanie poskytuje vhodný pohľad na miesto interakcie lúča s materiálom a zároveň umožňuje sledovať zvárací proces aj v úzkych, hlbokých alebo geometricky horšie prístupných častiach zváraného dielu, kde môže byť pozorovanie z bežného bočného smeru obmedzené.

Pozorovanie v osi lúča môže byť využité pri polohovaní zváraného dielu, kontrole polohy miesta zvaru a sledovaní priebehu procesu. Výhodou pohľadu v smere blízkom osi lúča je tiež zníženie perspektívneho skreslenia pri určovaní vzájomnej polohy lúča a zváraného miesta. Obrazová informácia tak môže vhodne dopĺňať riadiace a polohovacie funkcie celého zváracieho systému.

Z konštrukčného hľadiska je podstatné, že **pozorovací systém predstavuje samostatný funkčný modul**, ktorý je možné začleniť do existujúcej architektúry bez zásadnej zmeny základnej koncepcie elektrónového dela. Jeho integrácia však nesmie nepriaznivo ovplyvniť základnú funkciu dela, najmä formovanie, fokusáciu a smerovanie elektrónového lúča.

Tento **modul pozorovania** preto predstavuje praktický príklad rozšíriteľnosti navrhnutej modulárnej platformy. Ukazuje, že vhodne definované rozhrania umožňujú dopĺňať nové funkcie podľa požiadaviek konkrétnej aplikácie bez potreby návrhu úplne nového elektrónového dela.

Obr. 9. Elektrónové delo rozšírené o modul pozorovania v osi lúča – príklad ďalšieho rozvoja modulárnej platformy.

8.1 Prínosy pozorovania v osi lúča

Presnejšie určenie miesta zvárania.
Pohľad vedený cez elektrónové delo umožňuje operátorovi sledovať oblasť dopadu lúča v smere blízkom jeho osi. Tým sa zjednodušuje orientácia na povrchu obrobku a presné určenie miesta začiatku zvárania.

Lepšia kontrola procesu.
Počas zvárania môže operátor v reálnom čase sledovať oblasť pôsobenia elektrónového lúča a zvarový kúpeľ. Pozorovanie tak neposkytuje informáciu iba pri nastavovaní polohy pred začiatkom procesu, ale je využiteľné aj počas samotného zvárania.

Minimálny vplyv na zváracie parametre.
Dôležitou požiadavkou pri návrhu optického modulu bolo, aby jeho integrácia výrazne neovplyvnila základnú funkciu elektrónového dela. Experimentálne overenie potvrdilo, že po doplnení systému pozorovania zostali kvalita a fokus elektrónového lúča zachované.

Obr. 10. Hlavné prínosy pozorovania v osi lúča: ustavenie, kontrola procesu a minimálny vplyv na zváracie parametre.

9. Elektrónové delo je súčasť systému, nie izolovaný komponent

Praktické použitie zároveň ukazuje, že elektrónové delo je iba jednou časťou **elektrónovo-lúčových zváracích zariadení PRVEJ ZVÁRAČSKEJ, a. s.** Pre vytvorenie stabilného a opakovateľného zvaru musí spolupracovať s vysokonapäťovým zdrojom, vákuovým systémom, mechanikou a polohovaním, riadením elektrónového lúča a zváracím programom. Delo je teda kľúčovým článkom celého reťazca, jeho vlastnosti sa však naplno prejavia až v správne integrovanej zostave.

Práve tu sa ukazuje ďalšia výhoda modulárnej architektúry. Rovnakú základnú koncepciu elektrónového dela možno prispôsobiť rôznym vákuovým zariadeniam a konkrétnym technologickým aplikáciám. Pri zachovaní definovaných rozhraní, požadovaných vákuových podmienok a pracovného priestoru možno jednotlivé konfigurácie dela integrovať do veľkých vákuových komôr, menších zariadení alebo špeciálnych pracovísk.

Príkladom takejto integrácie je zariadenie ELZA UNI. Na jeho hornej prírube je umiestnené modulárne elektrónové delo, zatiaľ čo na bočnej prírube je osadené delo rozšírené o systém pozorovania v osi lúča. Takéto usporiadanie umožňuje zvoliť konfiguráciu vhodnú pre konkrétnu zváraciu úlohu.

Obr. 11. Elektrónové delo ako súčasť integrovaného EBW systému.

Pri zváraní telesa komory **PZ EBW MINI** bolo použité horné modulárne elektrónové delo. Zváraný diel sa počas procesu polohoval v osiach **X a Y**, čím sa realizovali jednotlivé priame zvary pod stacionárnym elektrónovým lúčom. Usporiadanie s horným delom preto prirodzene zodpovedalo požadovanej kinematike zvárania.

Delo s pozorovaním v osi lúča, umiestnené na bočnej prírube, nebolo pri tejto aplikácii potrebné. Zváranie prebiehalo na rovných, geometricky jednoznačne definovaných plochách. Miesto zvaru bolo možné presne umiestniť do zváracej polohy pomocou X,Y polohovacieho systému. Pozorovanie v osi lúča zostáva samostatným rozšírením modulárnej platformy, ktorého výhody sa uplatňujú najmä pri aplikáciách s náročnejším prístupom alebo požiadavkou na priame sledovanie miesta zvárania.

9.1 Praktické použitie – zváranie PZ EBW MINI

Elektrónovým lúčom bolo zvárané teleso vákuovej komory PZ EBW MINI. Praktické zváranie potvrdilo schopnosť modulárneho elektrónového dela vytvoriť požadovaný lúč pre hlboký rohový zvar s hĺbkou zvaru 22 mm.

Obr. 12. PZ EBW MINI – rozmery kubického dielu a detail rohového spoja.

10. Záver

Z prezentovaných výsledkov vyplývajú tri hlavné myšlienky.

1. Riadenie a hardvér musia fungovať ako jeden celok: algoritmy určujú požadované parametre, ale elektrónové delo ich musí stabilne realizovať.

2. Modularita prináša praktickú servisovateľnosť a možnosť dopĺňať nové funkcie bez prestavby celej základnej architektúry.

3. Takto koncipované elektrónové delo je univerzálnou platformou pre rôzne vákuové komory a aplikácie.

Obr. 13. Tri myšlienky, ktoré si odniesť: spojenie riadenia a hardvéru, modularita a univerzálnosť.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Stimuly VaV - MŠVVaŠ SR – Výskum inteligentných systémov a procesov s použitím princípov Industry 4.0, so zameraním na spájanie ťažko spojiteľných materiálov vysoko koncentrovanými zdrojmi energie laserom a elektrónovým lúčom. High Tech Weld. Evidenčné číslo žiadosti: 2018/14562:126C0. Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu Výskum pokročilých technológií zvyšovania efektívnosti viacvalentných energetických systémov pre trvalo udržateľný rozvoj priemyslu, kódITMS21+:401101C504, spolufinancovaného Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Rozvoj excelentných výskumných kapacít v oblasti aditívnych technológií pre Priemysel 21 storočia, kód ITMS:313011BWN5, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Zoznam použitej literatúry

[1] SCHULTZ H.: Electron Beam Welding, Cambridge: Abingdon Publishing, England, 2004, ISBN 1-85573-050-2.

[2] KOLENIČ F.: Large Chamber EBW Machine Using 9 Axes Robotic System for Positioning of Electron Gun and Weldment in Vacuum, 67th IIW International Conference, 13th–18th July 2014, Seoul, Korea.

[3] KOLENIČ F., FARAGULA P., MAŠTALÍR P.: Modernizácia modulov elektrónového dela umiestneného vo vnútri vákuovej komory, Zvárač XIII/2016, s. 16–19, ISSN 1336-5045.

[4] KOLENIČ F., KOVÁČ L.: Nová generácia elektrónovolúčových zariadení s výkonom do 30 kW, Zvárač VIII/2/2011, s. 22–24, ISSN 1336-5045.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

“

10 15 20

Inovatívne technológie prípravy zvarových hrán na 3D tvaroch pri výrobe tlakových nádob

Technológia 3D skenovania a presné 3D úkosové rezanie

PZVAR 2026
22. – 23. 9. 2026

v2-2026

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Strana obsahovala iba obrazové prvky.

V textovej verzii boli vynechané.

Fakty a čísla

Pôsobíme vo všetkých

kovospracujúcich

odvetviach

Zastúpenie v 58 krajinách

Priemerne

180 strojov

ročne

Viac ako 25 rokov v 3D rezaní

Viac ako 1 500 strojov s podporou

úkosového rezania a

400 strojov s podporou rezania rúr

90 % strojov

na export

Riešenia pre…

rezanie plazmou, laserom, kyslíkom a vodným lúčom

Viac ako

3 600 strojov

celosvetovo, z toho 500 strojov v SR a ČR

Spolu

60 zamestnancov

vo vývojovom oddelení

Viac ako

600 zamestnancov

z toho 400 zamestnancov na Slovensku

Referencie **– globálne aj lokálne**

Referencie v energetike, ropnom a plynárenskom priemysle

Referencie v energetike, petrochémii a plynárenstve

800+ CNC rezacích strojov, z toho:

700+ strojov s 3D úkosovým rezaním

400+ strojov s 3D rezaním rúr

100+ strojov na rezanie kupol a klenutých dien

50+ strojov na rezanie nadrozmerných kupol s Ø ≥ 4 m

50+ strojov s technológiou 3D laserového skenovania priestorových tvarov

Inovatívne technológie prípravy zvarových hrán na 3D tvaroch pri výrobe tlakových nádob

Príklady zvarových hrán, STN EN ISO 9692-1 až 4 a STN EN 1708-1 až 4

- Príprava zvarových hrán závisí od:
  - **metódy** zvárania
  - typu **materiálu**
  - **hrúbky** materiálu

- Spôsob prípravy zvarových hrán musí zohľadňovať možnosti zvolenej technológie a požiadavky na výsledný zvarový spoj.

Kľúčové aspekty a úskalia prípravy zvarových hrán na 3D dieloch

Typy, rozmerová presnosť, kvalita materiálu a normy pre klenuté dná a rúry

Presnosť 3D systému a 3D pohybu

Konštrukčný návrh a detaily 3D spojov

Príprava 3D NC programov

Spoľahlivosť, stabilita a robustnosť výrobného procesu

Efektivita a rýchlosť spracovania

Typické druhy kupol a klenutých dien

- Torisférické – DIN 28011
- Elipsoidné – DIN 28013
- Vypuklé dná pre jednostenné a dvojstenné nádrže
  Guľové dná
- Ploché dná
- Sférické vypuklé dná
- Vypuklé disky
- Eliptické dná (1,9 : 1 a 2 : 1)
- Kužele
- Obrátené dná
- Sférické segmenty

Dokážeme rezať všetky!

Tradičný a nový pokročilý spôsob 3D spracovania klenutých dien

Tradičný spôsob:

- Štandardné bodové meranie výšky hrotom horáka (IHS)
- Príprava na zváranie kolmým rezom alebo úkosom typu V
- Spracovanie len sférickej časti vypuklého dna, bez toroidnej a valcovej časti

Nový pokročilý spôsob:

- **Pokročilé 3D laserové skenovanie a meranie** na kompenzáciu lokálnych aj celkových odchýlok od ideálneho tvaru: skenovanie skutočného tvaru a mapovanie všetkých rezov
- **Presné kolmé rezanie, úkosy typu** V/A aj príprava zvarových hrán typu Y/X/K s vysokou presnosťou
- **Orezanie spodnej časti vypuklého dna** na konštantnú výšku aj s prípravou zvarových hrán

Prečo je potrebné 3D laserové skenovanie?

Dôvody

- Lokálne odchýlky dna – vždy prítomné na skutočnom obrobku
- Celkové rozmerové odchýlky od ideálneho tvaru (priemer, polomery, výška)
- Mimoriadne nepresná toroidná časť klenutých dien
- Nepresné počiatočné snímanie výšky hrotom horáka (nepresnosť rastie so vzdialenosťou od stredu dna)

Ako to vyriešiť?

… 3D skenovaním skutočného tvaru

Ako prebieha 3D laserové skenovanie a rezanie?

MicroStep CAM

Príprava 3D rezných plánov

CNC program

(ideálny tvar)

CNC riadiaci systém stroja iMSNC

3D skenovanie

MicroStep Spracovanie skenov

Spracovanie skutočného tvaru v mScan

3D sieť

Úprava 3D geometrie podľa skutočného tvaru

Presné 3D mapovanie tvaru

3D rezanie skutočného tvaru

Ako prebieha 3D laserové skenovanie a mapovanie?

Vytvorenie 3D siete

(pomocou triangulácie)

3D mračno bodov obrobku

Správna poloha
otvoru po
zmapovaní povrchu
skenerom

Os kupoly
≠ os Z

Os kupoly
= os Z

Automatické generovanie pohybov pri 3D skenovaní na základe importovaného CNC programu a zameraného približného stredu obrobku

Nesprávna poloha otvoru
po kompenzácii v osi Z
(3 meracie body)

Skutočná poloha
kupoly (posunutá)

Pokročilá metóda 3D skenovania skutočných tvarov zabezpečuje najvyššiu možnú presnosť!

Ideálna poloha kupoly

Protokol o presnosti klenutých dien – pridaná hodnota systému

Na jednoduchšiu kontrolu presnosti tvaru kupoly (nie presnosti rezania)

- môže obsluha využiť jednoduchšiu a rýchlejšiu metódu merania prierezu kupoly
- a vytlačiť protokol o presnosti kupoly do súboru PDF
- protokol predstavuje ďalšiu pridanú hodnotu konkrétneho výrobku

☐ Zákazník vie, čo dostane.

Integrovaná príprava zvarových hrán – súčasť mCAM

Takmer pripravené na použitie…

- Integrované funkcie na definovanie zvarových hrán priamo v mCAM
- Konštantný uhol úkosu
  - Všetky typy zvarových hrán
    - Horný úkos (rez V) a spodný úkos (rez A)
    - Horný a dolný rez Y
    - Rezy X alebo K
- Ďalšie možnosti úkosovania a špeciálne varianty:
  - Konštantný objem zvaru (pre automatizované robotické zváranie)
  - Konštantná šírka koreňovej medzery (konštantná šírka koreňovej medzery – konštantná hĺbka prevarenia)
  - Konštantný uhol úkosu

Hlavné výhody integrovanej prípravy zvarových hrán v programe mCAM

- Jednoduchšie modelovanie v 3D CAD (na prípravu jednoduchých prienikov rúr)
- Menej problémov vo výrobe (zložité zvarové hrany sa v 3D CAD modeloch často generujú nesprávne alebo nespojito)
- Obsluha môže jednoducho zmeniť typ a rozmery zvarovej hrany priamo na stroji (po skenovaní a pred rezaním)

Identifikácia zvarov – ochrana pred rezaním cez zvar

Mnohé klenuté dná a kupoly sa vyrábajú zváraním segmentov

- Vzhľadom na tepelne ovplyvnenú oblasť sa **rezanie plazmou alebo autogénom cez existujúci zvar neodporúča** a/alebo môže byť **v rozpore s požiadavkami PED na výrobu tlakových nádob.**

- Preto neodporúčame tepelné rezanie cez existujúci zvar
- **Horná HD kamera** (zabudovaná v stroji alebo nad pracovnou plochou na rezanie klenutých dien) **zobrazuje skutočné dno na stole**
- Automatické umiestnenie, prispôsobenie a natočenie CNC programu podľa skutočného dna na stole
- Obsluha môže ručne vyznačiť zvary čiarami na dotykovej obrazovke rozhrania MMI
- Natočenie CNC programu podľa polohy zvarov

Identifikácia zvarov – ochrana pred rezaním cez zvar

Mnohé dná a kupoly sa vyrábajú zváraním segmentov

- Vzhľadom na tepelne ovplyvnenú oblasť (TOO) nie je rezanie plazmou alebo autogénom cez zvar dovolené.

Vizuálna identifikácia zvarov obsluhou stroja

Identifikácia zvarových spojov na dotykovej obrazovke iMSNC

Natočenie CNC programu v iMSNC

Kontrola rozmerov kupoly a prípustnej odchýlky

Rozmery mnohých kupol a klenutých dien sa od požadovaných hodnôt odlišujú v dôsledku zložitého a náročného výrobného postupu.

Nastavenie maximálnej prípustnej odchýlky rozmerov (priemeru, výšky atď.) skutočnej kupoly na stole od ideálneho tvaru

- Ak sú rozmery skutočnej kupoly na stole v nastavených medziach odchýlok, kupolu možno rezať
- Ak rozmery kupoly prekračujú nastavený limit, kupolu NEMOŽNO rezať
  - V takom prípade môže stroj vytvoriť jednoduché označenie so skutočnými rozmermi kupoly alebo vytlačiť protokol o jej presnosti do súboru PDF
  - Zákazník môže kupolu uskladniť a neskôr použiť na iný výrobok. Na rezanie použije novú kupolu so správnymi rozmermi alebo po konzultácii s vedúcim výroby rozhodne o rezaní pôvodnej kupoly.

Montážne značky – jednoduchšia montáž tvaroviek a prírub a zváranie prienikov rúr

mCAM umožňuje vygenerovať montážne značky pre spojenie rúry s dnom (na otvore v kupole aj na pripájanej rúre)

- a uľahčiť tak zváračovi zostavenie spoja rúry s kupolou

Ukážka orientačných čiar na jednoduchšie umiestnenie nátrubkov na kupole

Know-how MicroStep

Všeobecne (laser aj plazma)

1. Rozmerová presnosť – 3D geometria rezov a ich opakovateľnosť
2. Kolmosť a uhlová presnosť geometrie šikmých rezov
3. Mechanická nepresnosť 3D kinematiky a jej zmena v čase
4. Rozmerová presnosť – vysoké požiadavky na rozmerovú presnosť pri dlhých dieloch (nad 3 m)
5. Vysoko dynamický riadiaci systém novej generácie – CyberFabControl®

Laserová technológia

1. Funkcie uľahčujúce obsluhu stroja
2. Vlastnosti zvyšujúce autonómiu systému
3. Inovácie zvyšujúce pridanú hodnotu vašich výrobkov

Rozmerová presnosť – 3D geometria rezov a ich opakovateľnosť

Korekčné tabuľky úkosov MicroStep – databáza know-how úkosového rezania

- Rozsiahla databáza korekcií MicroStep
- Integrovaná databáza Hypertherm TruBevel
- Možnosť doladenia korekcií pre špeciálne materiály

Kolmosť a uhlová presnosť geometrie šikmých rezov

200 mm (ideálny rozmer dielca)

Skutočná hrúbka
30,5 mm → výsledná
dĺžka dielca 201,0 mm

30 mm (menovitá hrúbka)

Skutočná hrúbka
29,5 mm → výsledná
dĺžka dielca 199,0 mm

Automatická úprava korekčných tabuliek úkosov podľa skutočnej hrúbky materiálu

– stačí zmeniť jeden parameter: skutočnú hrúbku materiálu

Mechanická nepresnosť 3D kinematiky a jej zmena v čase

ACTG® – automatická kalibrácia geometrie nástroja

- Dlhodobo stabilná presnosť úkosového rezania
- XYZAB – korekcia pohybových nepresností 3D kinematiky v reálnom čase
- Trvanie kalibrácie: 3–5 minút
- Frekvencia kalibrácie: podľa potreby, spravidla raz týždenne
- **Patentovaná technológia**

Rozmerová presnosť – vysoké nároky pri dlhých dieloch (nad 4–6 m)

Čo ovplyvňuje presnosť a opakovateľnosť polohovania stroja:

- Kvalita a presnosť použitých komponentov (pohybový systém)
- Montážne a kumulatívne nepresnosti (presah ozubených hrebeňov)
- Presnosť výroby rámu stroja a jeho tuhosť
- Presnosť CNC riadenia a riadenia pohybu (interpolácia)
- Tepelná rozťažnosť materiálu (6 m rám stroja pri 22 °C)
  - pri 35 °C: **predĺženie o 0,936 mm**
  - pri 5 °C: **skrátenie o 1,224 mm**

Premeranie osí XYZ stroja pomocou 3D laserového trackera

- Pri všetkých vláknových laserových systémoch MSF nad 6 m
- Pri väčšine plazmových strojov nad 12 m
- Na požiadanie aj pri menších strojoch
- Korekcie pohybu v osiach XYZ v riadení v reálnom čase
- Dosiahnuteľná presnosť polohovania do 0,1–0,2 mm

+ úprava korekcií podľa teploty (pri veľkých teplotných výkyvoch)

Vysoko dynamický riadiaci systém novej generácie – CyberFabControl®

MicroStep CyberFabControl® prináša:

- Moderné intuitívne rozhranie pre obsluhu a menej prestojov pri príprave rezania
- Vysokofrekvenčné riadenie pohybového systému stroja a technológií
- Presnejšie a dynamickejšie riadenie pri rezných rýchlostiach nad 30 m/min
- Vylepšené riadenie pohybu pri komplexnom 3D úkosovom rezaní (rohy, oblúky)
- Modernú architektúru, dlhšiu životnosť a menej elektrických hardvérových komponentov
- Vyššiu spoľahlivosť, jednoduchší a rýchlejší servis
- Vyššiu bezpečnosť (skutočná certifikácia CE)

Technológie rezania a ich limity

Úkosové rezanie vláknovým laserom – technologické možnosti a limity

- **Uhlová tolerancia** úkosu ±0,5°
- **Maximálny uhol** úkosu 50° (na diele)
- Jednoduchý úkos (rezy A, V) od hrúbky mat. **2** mm
- Zložitý úkos typu Y, X, K od hrúbky mat. **6** mm
- Minimálna **výška otupenia** „nosa“

  pri rezoch Y a K: 10–15 % hrúbky materiálu

- **Max. hrúbka materiálu na** úkosové rezanie
  Ocele S235, S355 atď.: závisí od výkonu laserového zdroja (kW)

  Pri výkone lasera:

  - **4 kW** je max. hrúbka mat. pri uhle 50° **12** mm
  - 8 kW je max. hrúbka mat. pri uhle 50° 20 mm
  - 12 kW je max. hrúbka mat. pri uhle 50° 25 mm
  - **30 kW** (a viac) je max. hrúbka mat. pri uhle 50° **40** mm

Plazmové úkosové rezanie – technologické možnosti a limity

- Uhlová tolerancia výrezov ±1°
- Max. uhol úkosu na diele 50°
- **Jednoduché** úkosy (rezy A, V)
  od hr. mat. **6** mm
- Dvojité úkosy typu Y alebo obrátený rez Y
  od hr. mat. **8** mm
- Zložité úkosy typu X a K
  od hr. mat. **10** mm
- **Minimálna** výška **otupenia** „nosa“ pri rezoch Y a K je **20 % hrúbky materiálu.**
  Pri konkrétnych úlohách môže byť aj 15 %.

- **Max. hrúbka** materiálu na úkosové rezanie závisí od použitej technológie a prúdu zdroja (A)
  - Pri **170** A je max. hr. mat. pri uhle 50° **25** mm
  - Pri **300** A je max. hr. mat. pri uhle 50° **35** mm
  - Pri **450 A** je max. hr. mat. pri uhle 50° **50** mm

Kyslíkovo-acetylénové úkosové rezanie – technologické možnosti a limity

- Uhlová tolerancia výrezov ±1°
- Max. uhol úkosu (na diele) 65°
- Jednoduché úkosy (rezy A, V) možno rezať od hrúbky materiálu 20 mm
- Zložité úkosy typu Y, X, K možno rezať od hrúbky materiálu 40 mm
- Minimálna výška „nosa“ pri rezoch Y a K je 30 %
- Max. hrúbka materiálu pri úkosovom rezaní do plného materiálu závisí od uhla úkosu a hrúbky materiálu:
  - Pri hrúbke 100 mm je maximálny uhol úkosu 65°
  - Pri hrúbke 150 mm je maximálny uhol úkosu 45°
  - Pri hrúbke 200 mm je maximálny uhol úkosu 30°

Technológia **ABP** (Additional Bevel Processing / dodatočné úkosovanie hrán) umožňuje prekonať tieto limity, pretože efektívna hrúbka rezu je podstatne menšia.

Referencie a ukážkové pracoviská

Bosch Industriekessel GmbH / Nemecko

Energetika, hydraulika a mechanizmy

Spolu 6 rezacích strojov / systémov MicroStep v Nemecku, Českej republike a Rusku.

2D a 3D rezanie plechov plazmou aj kyslíkom vo formáte 12 × 3 m / rezanie kupol / dvojportálové systémy.

Shipbuilding and Machinery a.s. / Slovensko

Lodenica

MG 16501.30 PrkSGG

– plechy 12 × 3 m, dná do Ø 3,5 m
– skenovanie dien / mScan

GEA Brewery Systems GmbH / Nemecko

Pivovarnícke a potravinárske systémy

MG 15501.35 PrkS – plechy 12 × 3,5 m
– dná do Ø 3,5 m – skenovanie dien / mScan

Euro Gas Systems / Rumunsko

Kompresorové agregáty, tepelné výmenníky a tlakové nádoby

DRM 12001.60 GbSPpk+P – rúry Ø 2 m / profily HEB 1000 / dná Ø 2 m

– plazmové úkosové rezanie (HPR400xD) + autogénne úkosové rezanie + rezanie rúr, profilov a dien / mScan

Brighton Tru-Edge / USA

Výrobca dien nádrží

DRM 16501.65Ppksa (2023)
– Prvá zóna: rezanie a skracovanie dien Ø 900 – 5 080 mm, max. výška 1 500 mm
– Druhá zóna: rezanie a skracovanie dien Ø 900 – 6 200 mm, max. výška 1 520 mm

Waterford / USA

Výrobca dien nádrží

DRM 21501.55GbPpksi (2024)

- Pracovná plocha 22,5 × 5,5 m / rezanie a skracovanie dien Ø 900 – 4 300 mm, max. výška 1 400 mm

- 3D plazmový rotátor s vyklopením až do 120° na prípravu zvarových hrán + ACTG®
- Integrovaný 3D skener + technológia mScan

KÖNIG + CO. GmbH / Nemecko

Výrobca dien nádrží

DRM 6001.60PpksaM – plazmové úkosové rezanie kupol do Ø 5 m, skenovanie kupol / mScan (2022)
PLS 12001.30P – plazmové kolmé rezanie plechov vo formáte 12 × 3 m (2006)

Slawinski GmbH & Co. KG / Nemecko

Výrobca kupol a špeciálnych dielov

Veľkoformátový kombinovaný rezací stroj s technológiou DRM na kupoly a plechy – prvé použitie 3D laserového skenovania kupol / mScan

ATC Aulagner / Francúzsko

Špecializované tlakové nádoby a zásobníky pre jadrovú energetiku

Stroj typu DRM – kombinované

3D rezanie plechov 6 × 3 m / rúr do Ø 1,5 m (9 t) / dien do Ø 4 m

Struyf NV / Belgicko

Tepelné výmenníky a tlakové nádoby

Stroj typu DRM – kombinované

3D plazmové rezanie plechov 12 × 3 m / rúr do Ø 3 m (30 t) / dien do Ø 3 m

Walter Tosto S.p.a. & Belleli Energy CPE s.r.l. / Taliansko

Reaktory, vysokovýkonné separátory, tepelné výmenníky a vysokotlakové nádoby

ITER (Medzinárodný termonukleárny experimentálny reaktor)

Spolu 5 rezacích strojov MicroStep

3× DRM Max 21001.35 P/GpksaGG+B – formát 21 × 3,5 m, 3D plazmové a kyslíkové rezanie, vŕtanie a frézovanie s výkonom 55 kW
2× MG 12001.30Prk – formát 12 × 3 m, 3D plazmové rezanie

Walter Tosto S.p.a. & Belleli Energy CPE s.r.l. / Taliansko

Reaktory, vysokovýkonné separátory, tepelné výmenníky a vysokotlakové nádoby

Walter Tosto S.p.a. & Belleli Energy CPE s.r.l. / Taliansko

Reaktory, vysokotlakové separátory, tepelné výmenníky a kondenzátory

3D skenovanie a rezanie priestorových tvarov / segmentov dien

Ďakujeme za pozornosť
a tešíme sa na spoluprácu s vami

STN EN ISO 14732:2026

EN ISO 14732:2025

STN EN ISO 14732:2026

Preklad:

Zváračský personál. Schvaľovacie skúšky operátorov tavného zvárania a zoraďovačov **odporového** zvárania pre plnomechanizované a automatizované zváranie kovových materiálov

Welding personnel - Qualification testing of welding operators and weld setters for mechanized and automatic welding of metallic materials

STN EN ISO 14732:2026

Hlavné zmeny na strane 8:

- úvod bol prepracovaný tak, aby vylúčil odkaz na použité normy
- predmet normy objasňuje, že sa norma nevzťahuje na personál, ktorý nekontroluje ani neupravuje parametre zvárania; alebo sa nepodieľa na nastavení zváracieho zariadenia
- predmet normy je teraz podľa názvu obmedzený na kovové materiály
- predmet normy odkazuje na normy ISO 25239-3 a ISO 18785-3 pre trecie zváranie s premiešaním a trecie bodové zváranie
- boli aktualizované normatívne odkazy v kapitole 2
- boli aktualizované a nanovo usporiadané definície v kapitole 3
- bola významne prepracovaná kapitola 4, premenné a rozsah sú teraz uvedené v novej kapitole 5
- bola revidovaná kapitola 6 (pôvodne kapitola 5)
- boli aktualizované Prílohy A a B

STN EN ISO 14732:2026

Táto norma sa nevzťahuje na personál:

- ktorý nekontroluje ani neupravuje parametre zvárania
- ktorý sa nepodieľa na nastavení zváracieho zariadenia

STN EN ISO 14732:2026

Základné pojmy:

- **mechanizované zvárania** – zváranie, kde sú požadované zváracie parametre udržiavané mechanickými alebo elektronickými prostriedkami

- **automatizované zváranie** – zváranie, kde sa všetky operácie v priebehu zvárania vykonávajú bez zásahu operátora

STN EN ISO 14732:2026

Základné pojmy:

- **zváračský operátor** – osoba ktorá riadi alebo nastavuje akékoľvek zváracie parametre pre mechanizované alebo automatizované zváranie

- **zoraďovač zvárania** – osoba ktorá zoraďuje zváračské zariadenie pre mechanizované a automatizované zváranie

Čo znamená zoraďovanie? Správne nastavenie zváračskej jednotky pred zváraním a pokiaľ je to potrebné aj vloženie programu robota

STN EN ISO 14732:2026

Operátori zvárania alebo zoraďovači musia pracovať podľa pWPS alebo WPS v zmysle nasledovných noriem

▪ STN EN ISO 15609-1	oblúkové zváranie
▪ STN EN ISO 15609-2	zváranie plynom
▪ STN EN ISO 15609-3	elektrónový lúč
▪ STN EN ISO 15609-4	laserové zváranie
▪ STN EN ISO 15609-5	odporové zváranie
▪ STN EN ISO 15609-6	laserové hybridné zváranie
▪ STN EN ISO 14555	oblúkové priváranie svorníkov

STN EN ISO 14732:2026

Rozdiel v kvalifikačných skúškach

STN EN ISO 14732:2014

4.1a - skúška postupu zvárania

(hodnotenie skúšobných vzoriek je uvedené v norme ISO 15614);

4.1b - predvýrobná skúška

(hodnotenie skúšobných vzoriek je uvedené v norme ISO 15613);

4.1c - skúšanie skúšobných kusov

(hodnotenie skúšobných vzoriek je uvedené v norme ISO 9606);

4.1d - výrobná skúška alebo skúška výrobnej vzorky
(dosiahnutý súlad skúšobnej vzorky s parametrami je stanovený v schválenej výrobnej dokumentácii).

STN EN ISO 14732:2026

4.2 Tavné zváranie

Metóda 1

Metóda 2

Metóda 3

Metóda 4

4.3 Odporové zváranie

4.4 Oblúkové priváranie svorníkov

STN EN ISO 14732:2026

Rozdiel v kvalifikačných skúškach

4.2 Tavné zváranie

Metóda 1 - Tupé a kútové zvary vyžadujú nedeštruktívne a/alebo deštruktívne skúšky v súlade s normami ISO 9606-1,-2,-3,-4,-5

Metóda 2 - Rúry a rúrkovnice zvárané v súlade s normou ISO 15614-8 vyžadujú nasledujúce skúšky:
vizuálna kontrola, magnetická prášková alebo kapilárna skúška, makroskopická skúška.

Metóda 3 - Naváranie v súlade s normou 15614-7 vyžaduje nasledujúce skúšky:
vizuálna kontrola, magnetická prášková alebo kapilárna skúška, skúška ohybom alebo makroskopická skúška.

Metóda 4 - pre kvalifikáciu na základe výrobnej skúšky alebo skúšky vzorky z výroby, musia byť podľa potreby skúšobné metódy a kritéria prípustnosti v súlade s metódami 1, 2 alebo 3.

STN EN ISO 14732:2026

Rozdiel v kvalifikačných skúškach

4.3 Odporové zváranie

Kvalifikácia zoraďovača odporového zvárania musí byť založená na skúšobných vzorkách v súlade s nasledujúcimi normami:

STN EN ISO 15614-12 pre bodové, švové a výstupkové zváranie,

STN EN ISO 15614-13 pre stlačovacie a odtavovacie stykové zváranie,

STN EN ISO 15613 pre kvalifikáciu na základe predvýrobnej skúšky zvárania.

Musia byť špecifikované požadované skúšky a kritéria prípustnosti, ktoré musia zahŕňať aspoň vizuálnu kontrolu a jednu deštruktívnu skúšku.

STN EN ISO 14732:2026

Rozdiel v kvalifikačných skúškach

4.4 Oblúkové priváranie svorníkov

Požiadavky na skúšanie operátorov zvárania pre oblúkové priváranie svorníkov musia byť v súlade s normou STN EN ISO 14555.

STN EN ISO 14732:2026

Certifikácia

Certifikát podľa STN EN ISO 14732

- čl. 6.3a platí 6 rokov
- čl. 6.3b platí 3 roky,

za predpokladu, že sú splnené nasledovné podmienky:

- operátor zvárania/zoraďovač odporového zvárania musí vykonávať práce, na ktoré sa vzťahuje rozsah oprávnenia priebežne, prerušenie je **povolené max. 6 mesiacov,**
- **každých 6 mesiacov zamestnávateľ** alebo koordinátor zvárania na certifikáte potvrdí pretrvávajúcu a prijateľnú činnosť operátora zvárania/zoraďovača odporového zvárania,
- nesmie sa vyskytnúť žiadny špecifický dôvod na spochybnenie znalostí operátora zvárania /zoraďovača odporového zvárania.

STN EN ISO 14732:2026

Mechanizované zváranie

Nasledujúce zmeny vyžadujú rekvalifikáciu:

- zmena procesu zvárania (druhá číslica) v súlade s normou STN EN ISO 4063,
- zmena procesu 142 (**bez prídavného materiálu**) na proces 141, 143, 145, 146 alebo 147 (**s prídavným materiálom**) vyžaduje rekvalifikáciu
- zmena z priamej vizuálnej kontroly na nepriamu vizuálnu kontrolu a naopak,
- zrušenie automatického sledovania dráhy,
- zrušenie automatickej regulácie dĺžky oblúka,
- zmena zváracej jednotky iba vtedy, ak to ovplyvní spôsob zoradenia a/alebo spôsob zadávania parametrov,
- zmena technológie zvárania jednou húsenicou (alebo jednou húsenicou z oboch strán) na zváranie viacerými húsenicami (ale nie naopak),
- u orbitálnych zváracích zariadení zmena zo zvárania v jednej polohe na zváranie vo viacerých polohách (ale nie naopak),
- rušenie podloženia,
- zrušenie prídavného materiálu.

STN EN ISO 14732:2026

Mechanizované zváranie

Nasledovné zmeny nevyžadujú rekvalifikáciu:

- v podskupine procesu zvárania (tretia číslica)
- variantné metódy v rámci skupiny (druhá číslica) napríklad skupina
  - 62
  - 71
  - 81
  - 83
  - 84
  - 86

- zmena z procesu 122 alebo 126 (**pásková elektróda**) na akýkoľvek proces 121, 123, 124, 125 (**drátová elektróda**) alebo naopak vyžaduje rekvalifikáciu;

STN EN ISO 14732:2026

Automatizované zváranie

Nasledujúce zmeny vyžadujú rekvalifikáciu:

- zmena procesu zvárania (druhá číslica) v súlade s normou STN EN ISO 4063,
- zmena procesu 142 (**bez prídavného materiálu**) na proces 141, 143, 145, 146 alebo 147 (**s prídavným materiálom**) vyžaduje rekvalifikáciu iba pre zváračských zoraďovačov používajúcich tavné zváranie: zmena technológie zvárania jednou húsenicou (alebo jedna húsenica z oboch strán) na zváranie s viacerými húsenicami (ale nie naopak),
- zmena zváracej jednotky iba vtedy, ak to ovplyvní spôsob zoradenia a/alebo spôsob zadávania parametrov.

Nasledovné zmeny nevyžadujú rekvalifikáciu:

- v podskupine procesu zvárania (tretia číslica) alebo variantné metódy v rámci skupiny (druhá číslica),
- zmena z procesu 122 alebo 126 (**pásková elektróda**) na akýkoľvek proces 121, 123, 124, 125 (**drátová elektróda**) alebo naopak vyžaduje rekvalifikáciu;

STN EN ISO 14732:2026

Pre orbitálne zváranie boli pridané dva názvy

Jednoduchá poloha:

bez zmeny parametrov počas obehu obyčajne tenkostenné rúry pri metóde TIG

Zložitá poloha:

napr. pri hrubších stenách rúr, ak program mení parametre podľa uhla natočenia, je potrebné viac prechodov a pod.

STN EN ISO 14732:2026

Zmeny v tabuľke na certifikáte

STN EN ISO 14732:2014

STN EN ISO 14732:2026

ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

- Ing. Branislav Šimovič
- Peter Interholz

Ing. Eva Gubóová
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava

Požiadavky na kvalitu tavného zvárania kovových materiálov
Časť 6: Návod na zavedenie súboru ISO 3834 (ISO 3834-6: 2024)

V slovenskom jazyku, platnosť od 01.07.2026

Norma nahradila anglickú verziu
STN EN ISO 3834-6 z augusta 2024

Do 31.07.2024 platila TNI CEN ISO/TR 3834-6 z novembra 2008.

- Zváranie je špeciálny proces, konečný výsledok sa nemôže vždy overiť kontrolou.

- Kvalitu treba do výrobku zabudovať, tzn. zváranie vyžaduje priebežnú kontrolu alebo dodržiavanie konkrétnych postupov, prípadne platí oboje.

- Súbor noriem ISO 3834 je určený na tavné zváranie kovových materiálov a jeho použitie je nezávislé od vyrábaných výrobkov.

- Jedným z cieľov súboru noriem ISO 3834 je určiť požiadavky v oblasti zvárania, aby ich nemuseli určovať zmluvné strany alebo predpisy.

- Odkaz na príslušnú časť normy ISO 3834 by mal byť dostatočný na preukázanie schopnosti výrobcu riadiť činnosti súvisiace so zváraním pre daný typ vykonávanej práce.

- Norma ISO 3834 ako taká nepožaduje externý audit alebo certifikáciu.

- Audity zákazníkov a certifikácia nezávislými orgánmi môžu slúžiť ako dôkaz preukázania spôsobilosti výrobcu, ktorý súbor noriem implementoval.

- STN EN ISO 3834-6: 2026 poskytuje návod na zavedenie požiadaviek uvedených v iných častiach súboru noriem STN EN ISO 3834

- V tejto časti normy nie sú uvedené dodatočné požiadavky k častiam STN EN ISO 3834-1 až STN EN ISO 3834-5

Normatívne odkazy

- Žiadne normatívne odkazy

Termíny a definície

- tento dokument neobsahuje normatívne odkazy
- odkaz na webové linky ISO a IEC terminologické databázy spravované na použitie v normalizácii

Skratky

- NDT (nedeštruktívne skúšanie)
- PWHT (tepelné spracovanie po zváraní)
- pWPS (predbežne stanovený postup zvárania)
- WI (pracovná inštrukcia)
- WPQR (protokol o schválení postupu zvárania)
- WPS (stanovený postup zvárania)

Kde všade sa môže vyžadovať použitie súboru noriem ISO 3834

- Výrobkové normy
- Odberatelia a používatelia
- Systém manažérstva kvality ISO 9001
- Systém manažérstva kvality iný ako ISO 9001
- Výrobcovia

Použitie súboru noriem ISO 3834

Úplná zhoda s ISO 3834-2, ISO 3834-3 a ISO 3834-4 sa môže dosiahnuť prijatí dokumentov ISO podľa ISO 3834-5 alebo iných, ktoré poskytujú ekvivalentné technické podmienky.

Výrobkové normy:

- So súborom noriem ISO 3834 sú v súlade výrobkové normy EN 1090 (zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií), EN 12732 (plynárenská infraštruktúra, zváranie oceľových potrubí), EN 12952 (vodorúrkové kotly a pomocné zariadenia), EN 13445 (nevyhrievané tlakové nádoby), EN 15085 (zváranie železničných vozidiel a súčastí).

- Norma ISO 9001 nezahŕňa špecifické požiadavky na zváračské činnosti, ... treba použiť ISO 3834-2, 3 alebo 4

Dokumentácia

- vyžadujú sa zdokumentované informácie, ktoré sú riadené; v prípade potreby aktualizované; je definovaná zodpovednosť za aktuálnosť; ... archivácia

  - *postup (popis činností),*
  - *záznam (správa o činnosti),*
  - *inštrukcia (popis operácií),*
  - *certifikát*

Výber úrovne požiadaviek na kvalitu

- rozsah a význam kritických výrobkov z hľadiska bezpečnosti;
- zložitosť výroby;
- rozsah vyrábaných výrobkov;
- rozsah rôznych používaných materiálov;
- rozsah možného výskytu metalurgických problémov;
- rozsah vplyvu výrobných nedokonalostí ovplyvňujúcich výkonnosť výrobku (napr. presadenie dielcov, deformácia alebo chyby zvarov).

Zavádzanie do výroby

Výklad určitých kapitol v norme
(preskúmanie, subdodávky, koordinácia zvárania, ...)

Audit a certifikácia

Príloha A

- Príklady dokumentov na riadenie činností súvisiacich so zváraním – príklady požadovaných dokumentov jednotlivými kapitolami ISO 3834-2, 3 alebo 4
- Uvedené zvyčajné záznamy/správy

Literatúra

- normy uvádzané v texte technickej normalizačnej inštrukcie

Nové normy a normy podliehajúce zmene týkajúce sa NDT, DT, zvárania, posudzovania zhody a tlakových zariadení vydané v období 10/2025 až 9/2026

p. Katarína Živnerová, PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s., Bratislava
Zdroj: Vestníky ÚNMS SR

STN EN ISO 16810 (01 5019)
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Všeobecné zásady (ISO 16810:2024)
(EN ISO 16810: 2024)
Vydanie: október 2025
Jej vydaním sa **ruší**
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Všeobecné zásady (ISO 16810:2024)****)
(EN ISO 16810:2024)
z januára 2025

STN EN ISO 16828 (01 5019)
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Difrakčná technika merania času prechodu ako metóda na zisťovanie necelistvostí a určovanie ich veľkosti (ISO 16828:2025)
(EN ISO 16828: 2025)
Platí od 1.10.2025
Jej oznámením sa **ruší**
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Difrakčná technika merania času prechodu ako metóda na zisťovanie diskontinuít a určovanie ich veľkosti (ISO 16828:2012)****)
(EN ISO 16828:2014)
zo septembra 2014

STN EN 15085-2+A2 (28 2222)
Železnice. Zváranie železničných vozidiel a súčastí. Časť 2: Požiadavky na zhotoviteľov zvarov
(EN 15085-2:2020+A2:2025)
Platí od 1.10.2025
Jej oznámením sa **ruší**
Železnice. Zváranie železničných vozidiel a súčastí. Časť 2: Požiadavky na zhotoviteľov zvarov ****)
(EN 15085-2:2020+A1:2023)
z marca 2024

STN EN IEC 60974-4 (05 2205)
Zariadenia na oblúkové zváranie. Časť 4: Pravidelné prehliadky a skúšky
(EN IEC 60974-4: 2025,
IEC 60974-4:2025)
Platí od 1.11.2025
Jej oznámením sa **31.8.2028 ruší**
Zariadenia na oblúkové zváranie. Časť 4: Pravidelné prehliadky a skúšky ****)
(EN 60974-4:2016,
IEC 60974-4:2016)
z apríla 2017

STN EN ISO 14732 (05 0708)
Zváračský personál. Schvaľovacie skúšky operátorov tavného zvárania a zoraďovačov odporového zvárania pre plnomechanizované a automatizované zváranie kovových materiálov (ISO 14732:2025)

(EN ISO 14732: 2025
Platí od 1.1.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Zváračský personál. Schvaľovacie skúšky operátorov tavného zvárania a zoraďovačov odporového zvárania pre plnomechanizované a automatizované zváranie kovových materiálov (ISO 14732:2013)****)
(EN ISO 14732:2013)
z februára 2014

STN EN ISO 32679 (01 5028)
Nedeštruktívne skúšanie. Rádiografické skúšanie. Určenie veľkosti priemyselných rádionuklidov (ISO 32679:2024)
(EN ISO 32679: 2025)
Platí od 1.2.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Nedeštruktívne skúšanie. Rádiografické skúšanie. Určenie veľkosti priemyselných rádionuklidov ****)
(EN 12679:2018)
z mája 2019

STN EN ISO 32543-1 (01 5030)
Nedeštruktívne skúšanie. Charakteristiky ohniska priemyselných rontgenových zariadení na nedeštruktívne skúšanie. Časť 1:Rádiová štrbinová metóda (ISO 32543-1:2024)
(EN ISO 32543-1: 2025)
Platí od 1.2.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Nedeštruktívne skúšanie. Charakteristiky ohniska priemyselných röntgenových zariadení na nedeštruktívne skúšanie. Časť 2: Rádiografická metóda dierkovou komorou ****)
(EN 12543-2:2021)
zo septembra 2021

STN EN ISO 5577 (01 5052)
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Názvoslovie (ISO 5577:2025)
(EN ISO 5577: 2025)
Platí od 1.2.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom**.** Slovník (ISO 5577:2017)****)
(EN ISO 5577:2017)
z augusta 2017

STN EN ISO 13916 (05 0020)
Zváranie. Pokyny na meranie teploty predhrevu, medzihúsenicovej teploty a teploty počas zvárania (ISO 13916:2025)
(EN ISO 13916: 2025)
Platí od 1.2.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Zváranie. Pokyny na meranie teploty predhrevu, medzihúsenicovej teploty a teploty počas zvárania (ISO 13916:2017)****)
(EN ISO 13916:2017)
z júna 2018

STN EN ISO 17779 (05 0048)
Tvrdé spájkovanie. Špecifikácia a kvalifikácia postupov tvrdého spájkovania kovových materiálov (ISO 17779: 2021)
(EN ISO 17779: 2025)
Platí od 1. 2. 2026

Jej oznámením sa **ruší**
Tvrdé spájkovanie. Skúška postupu spájkovania ***)
(EN 13134: 2000)
zo septembra 2002

STN EN ISO 15613 (05 0310)
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Schválenie na základe predvýrobnej skúšky zvárania (ISO 15613: 2025)
(EN ISO 15613: 2025)
Platí od 1. 2. 2026
Jej oznámením sa **ruší**
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Schválenie na základe predvýrobnej skúšky zvárania (ISO 15613:2004)
(EN ISO 15613: 2004)
z novembra 2004

STN EN ISO 15614-2 (05 0310)
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 2: Oblúkové zváranie hliníka a zliatin hliníka (ISO 15614-2: 2025)
(EN ISO 15614-2: 2025)
Platí od 1. 2. 2026
Jej oznámením sa ruší
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 2: Oblúkové zváranie hliníka a zliatin hliníka (ISO 15614-2: 2005)
(EN ISO 15614-2: 2005)
z novembra 2005

STN EN ISO 14555 (05 0324)
Zváranie. Oblúkové priváranie svorníkov a tŕňov z kovových materiálov (ISO 14555: 2025)
(EN ISO 14555: 2025)
Platí od 1. 2. 2026
Jej oznámením sa ruší
Zváranie. Oblúkové priváranie svorníkov a tŕňov z kovových materiálov (ISO 14555: 2017) ****)
(EN ISO 14555: 2017)
z januára 2018

STN EN ISO 17662
Zváranie. Kalibrovanie, overovanie a osvedčenie zariadení používaných na zváranie vrátane pridružených činností (ISO 17662: 2025)
(EN ISO 17662: 2025)
Platí od 1. 2. 2026
Jej oznámením sa ruší
Zváranie. Kalibrovanie, overovanie a osvedčenie zariadení používaných na zváranie vrátane pridružených činností (ISO 17662: 2016) ****)
(EN ISO 17662: 2016)
zo septembra 2016

STN EN ISO 15608 (05 0100)
Zváranie. Skupinový systém kovových materiálov. (ISO 15608:2025)
(EN ISO 15608: 2025)
Platí od 1.3.2026
Jej oznámením sa **ruší**
Zváranie. Pokyn pre skupinový systém kovových materiálov (ISO/TR 15608:2017). ****)
(CEN ISO/TR 15608:2017)
z augusta 2017

STN EN ISO 15614-9 (05 0310)
Stanovenia a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 9: Hyperbarické zváranie za mokra pod vodou (ISO 15614-9:2025)
(EN ISO 15614-9: 2025)
Platí od 1.3.2026

STN EN ISO 10882-2 (05 0606)
Zdravie a bezpečnosť pri zváraní a príbuzných procesoch. Odber vzoriek častíc rozptýlených vo vzduchu a plynov v dýchacej zóne operátora. Časť 2: Odber vzoriek plynov (ISO 10882-2:2024)
(EN ISO 10882-2:2024)
Vydanie: apríl 2026
Jej vydaním sa ruší
Zdravie a bezpečnosť pri zváraní a príbuzných procesoch. Odber vzoriek častíc rozptýlených vo vzduchu a plynov v dýchacej zóne operátora. Časť 2: Odber vzoriek plynov (ISO 10882-2:2024)****)
(EN ISO 10882-2:2024)
z augusta 2024

STN EN ISO 15614-11 (05 0311)
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 11: Zváranie elektrónovým a laserovým lúčom (ISO 15614-11:2025)
(EN ISO 15614-11:2025)
Platí od 1.4.2026
Jej vydaním sa ruší
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 11: Zváranie elektrónovým a laserovým lúčom (ISO 15614-11:2025)****)
(EN ISO 15614-11:2002)
z novembra 2002

STN EN ISO 11970 (05 0315)
Stanovenie a schválenie postupov zvárania na výrobné zváranie odliatkov z ocele a odliatkov na báze niklu (ISO 11970:2025)
(EN ISO 11970:2025)
Platí od 1.4.2026
Jej vydaním sa ruší
Stanovenie a schválenie postupov zvárania na výrobné zváranie odliatkov z ocele (ISO 11970:2016)****)
(EN ISO 11970:2016)
z októbra 2016

STN EN 17931 (05 2115)
Zariadenia na plameňové zváranie. Ručné plynové zariadenia na zváranie, ohrev a rezanie. Periodická kontrola.
(EN 17931: 2026)
Platí od 1.5.2026

STN EN ISO 16811 (01 5019)
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Nastavenie citlivosti a rozsahu (ISO 16811:2025)
(EN ISO 16811:2025)
Vydanie: júl 2026
Jej vydaním sa ruší
Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Nastavenie citlivosti a časovej základne (ISO 16811:2025)****)
(EN ISO 9692-2:2024)
z augusta 2024

STN EN ISO 3834-6 (05 0310)
Požiadavky na kvalitu tavného zvárania kovových materiálov. Časť 6: Návod na zavedenie súboru ISO 3834 (ISO 3834-6:2024)
Vydanie: júl 2026
Jej vydaním sa ruší
Požiadavky na kvalitu tavného zvárania kovových materiálov. Časť 6: Návod na zavedenie súboru ISO 3834 (ISO 3834-6:2024)****)
(EN ISO 3834-6:2024)
z augusta 2024

STN EN ISO 9692-2 (05 0028)
Zváranie a príbuzné procesy. Príprava zvarových plôch. Časť 2: Zváranie ocelí pod tavivom (ISO 9692-2:2024)
(EN ISO 9692-2:2024)
Vydanie: júl 2026
Jej vydaním sa ruší
Zváranie a príbuzné procesy. Príprava zvarových plôch. Časť 2:Zváranie ocelí pod tavivom(ISO 9692-2:2024)****)
(EN ISO 9692-2:2024)
z augusta 2024

STN EN ISO 15614-11 Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 11: Zváranie elektrónovým a laserový lúčom (ISO 15614-11:2025, opravená verzia 2026-05)
(EN ISO 15614-11:2025)
Platí od 1.9.2026
Európska norma bola opravená a znovu vydaná Riadiacim strediskom CEN-CENELEC.
Jej oznámením sa ruší
Stanovenie a schválenie postupov zvárania kovových materiálov. Skúška postupu zvárania. Časť 11: Zváranie elektrónovým a laserovým lúčom (ISO 15614-11:2025)****)
(EN ISO 15614-11:2025)
z apríla 2026

Normy označené**** preberajú medzinárodné normy alebo európske normy bez prekladu do štátneho jazyka

Zrušené normy týkajúce sa zvárania a spájkovania

(obdobie 10/2025 až 9/2026)

STN 05 0029
Zváranie. Zvarové plochy na oblúkové zváranie plátovanej ocele. Tvar a rozmery.
z 19.12.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 1022
Zváranie. Kvalifikácia prídavných materiálov na zváranie z hľadiska produkcie aerosólov. Odber vzoriek aerosólov.
z 10.11.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 1122
Zváranie. Skúška ťahom bodových a prievarových zvarových spojov.
z 13.2.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 1123
Zváranie. Skúška ťahom švových zvarových spojov.
z 13.2.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5010
Zváranie. Obalené elektródy na oblúkové zváranie a naváranie. Základné ustanovania
zo 16.11.1985
zrušená od 1.11.2025
Alternatívou je STN EN ISO 2560 a STN EN ISO 544

STN 05 5016
Zváranie. Obalené elektródy na oblúkové zváranie a naváranie. Stanovenie obsahu vlhkosti obalu elektród
z 11.4.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5100
Zváranie. Obalené elektródy na zváranie vysokolegovaných ocelí. Technické dodacie predpisy
z 28.3.1985
Zrušená od 1.11.2025
Alternatívou je STN EN ISO 3581.

STN 05 5261
Zváranie. Elektróda E CuFe25-B
zo 17.1.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5262
Zváranie. Elektróda E NiFe-S
zo 17.1.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5263
Zváranie. Elektróda E NiFe10-S

zo 17.1.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5291
Zváranie. Elektróda E Al-S
z 13.12.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5292
Zváranie. Elektróda E AlSi5-S
z 13.12.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5293
Zváranie. Elektróda E AlSi12-S
z 13.12.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5462
Zváranie. Zvárací drôt G Al
z 19.12.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5463
Zváranie. Zvárací drôt G AlSi5
z 19.12.1986
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5701
Zváranie. Tavené tavivá na oblúkové zváranie a naváranie. Technické dodacie predpisy
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025
Alternatívou je STN EN ISO 14174.

STN 05 5703
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-AB 3
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5704
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-CS 4
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5711
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-MS 1
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5712
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-MS 2
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5713

Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-MS 3
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5715
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-MS 5
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5716
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-MS 6
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 5717
Zváranie. Tavené tavivo na oblúkové zváranie a naváranie F-AB 7
zo 17.1.1985
zrušená od 1.11.2025

STN 05 0042
Spájkovanie. Skúšanie kapilarity spájky
(neq ISO 5179:1983)
z 9.11.1987
zrušená od 1.7.2026

STN 05 0043
Spájkovanie. Skúšanie ťahom spojov spájkovaných do úkosu
(eqv ISO 698:1975)
z 11.4.1988
zrušená od 1.7.2026

STN 05 0044
Spájkovanie. Skúšanie ťahom a šmykom kapilárne spájkovaných spojov
(neq ISO 5187:1985)
z 11.4.1988
zrušená od 1.7.2026

STN 05 1021-1
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Všeobecné požiadavky
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-2
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie niklu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-3
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie mangánu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-4
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie železa
z 5.12.1988

zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-5
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie chrómu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-6
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie medi
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-7
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie hliníka
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-8
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie kremíka
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-9
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie fluóru vo floridoch
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-10
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie titánu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-11
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie kobaltu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-12
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie vanádu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-13
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie molybdénu
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-14
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie zinku
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-15
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie volfrámu
z 5.12.1988

zrušené od 1.7.2026

STN 05 1021-16
Zváranie. Analýza aerosólov vznikajúcich pri zváraní. Stanovenie olova
z 5.12.1988
zrušené od 1.7.2026

STN 05 5370
Zváranie. Zváracie drôty na zváranie ocelí pod tavivom a na elektrotroskové zváranie. Technické predpisy.
z 28. 9.1987
zrušené od 1.7.2026
Alternatívou sú normy STN EN ISO 14171, STN EN ISO 21952 a STN EN ISO 14343.