

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

## **NDT kontrola odporových bodových svarů**

Bakalářská práce



Autor: Štěpán HOLUB

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Praha 2017

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Holub** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **424789**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**NDT kontrola odporových bodových svarů**

Název bakalářské práce anglicky:

**NDT inspection of resistance spot welding**

Pokyny pro vypracování:

- Popis principu a použití odporového svařování (se zaměřením na automobilový průmysl)
- Popis ocelových materiálů používaných na automobilové karosérie
- Analýza metod kontroly odporových bodových svarů ? destruktivní a nedestruktivní zkoušky odporových bodových svarů
- Podrobný popis NDT metod kontroly (s důrazem na UT)
- Návrh ověřovacího experimentu a provedení experimentu
- Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kopec, B. a kolektiv: nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, Nauka o materiálu IV, CERM, 2008, ISBN: 9788072045914
- [2] Kreidl, M., Matz, V.: Ultrazvuková defektoskopie, BEN, 2011, ISBN: 9788025466063
- [3] Plíva, L.: Odporové svařování. SNTL, Praha, 1975
- [4] Zhang, H., Senkara, J.: Resistance Welding: Fundamentals and Applications, CRC Press, 2nd. Edition, 2011
- [5] Matoušek: Nedestruktivní kontrola bodových svarů v automobilovém průmyslu, ATG, Praha, 2016
- [6] EPOCH 650 Ultrazvukový defektoskop, Příručka uživatele, Olympus, 2016
- [7] Ultrasonic testing ? podklady pro kurz UT2 podle ISO 9712, ATG, Praha, 2016
- [8] ČSN EN ISO 17640 ? Nedestruktivní zkoušení svarů ? Zkoušení svarových spojů ultrazvukem, UNMZ, 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

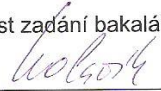
**doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

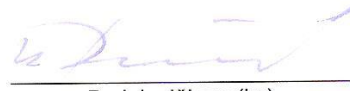
**Ing. Lucie Forejtová, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**

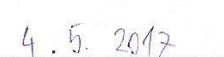
  
Podpis vedoucí(ho) práce


  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Anotační list

Jméno autora:	Štěpán HOLUB
Název bakalářské práce:	NDT kontrola odporových bodových svarů
Rok:	2017
Studijní program:	Teoretický základ strojího inženýrství
Obor studia:	bez oboru
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Konzultant	Ing Lucie Forejtová
Bibliografické údaje:	počet stran: 101 počet obrázků: 48 počet tabulek: 19 počet příloh: 1

### Klíčová slova:

NDT, nedestruktivní testování, odporové bodové svařování, zkoušení ultrazvukem, zkoušení stříhem

### Anotace:

Práce se zabývá nedestruktivní kontrolou odporových bodových svarů při svařování plechů v automobilovém průmyslu. Podrobněji se věnuje zkoušení ultrazvukem a ověření použitelnosti v praktické části porovnáním s destruktivními zkouškami.

## Annotation

Author: Štěpán HOLUB  
Title of thesis: NDT inspection of resistance spot welding  
Year: 2017  
Study program: Theoretical fundamentals of mechanical engineering  
Institute: Institute of manufacturing technology 12133  
Supervisor: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D, IWE  
Consultant: Ing Lucie Forejtová  
Bibliographic data: pages: 101  
images: 48  
tables: 19  
attachments: 1

### Key words:

NDT, nondestructive testing, resistance spot welding, ultrasonic testing, shear testing

### Abstract:

The thesis deals with non-destructive testing of resistance spot welds for sheet metal welding in the automotive industry. It deals in detail with an ultrasonic testing and usability verification in the practical part by comparing with destructive tests.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 31.7. 2017

  
\_\_\_\_\_

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému školiteli doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D, IWE za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Lucii Forejtové za pomoc při realizaci experimentu.

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Odporové svařování .....	9
2.1. Druhy odporového svařování.....	9
2.2. Procesy při odporovém svařování.....	10
2.3. Elektrody pro bodové svařování .....	12
2.4. Životnost elektrod .....	12
2.5. Geometrie bodových svarů .....	12
2.6. Vady bodových svarů .....	13
3. Materiály pro automobilové karoserie .....	14
3.1. Druhy ocelí .....	15
3.2. Povrchové úpravy ocelí pro automobily .....	18
4. Destruktivní kontrola bodových svarů .....	18
4.1. Sekáčová zkouška .....	18
4.2. Odlupovací zkouška.....	19
4.3. Křížové zkoušení tahem .....	19
4.4. Stříhová zkouška .....	20
4.5. Metalografická zkouška .....	21
4.6. Zkouška tvrdosti .....	21
5. Nedestruktivní metody kontroly bodových svarů.....	22
5.1. Metody kontroly povrchových vad .....	22
5.1.1. Vizuální kontrola (VT) .....	22
5.1.2. Kapilární metoda (PT).....	22
5.1.3. Metoda magnetická prášková (MT) .....	23
5.2. Metody kontroly vnitřních vad.....	26
5.2.1. Radiografická zkouška (RT).....	26
5.2.2. Ultrazvuková zkouška (UT) .....	28
6. Ultrazvuková zkouška (UT) bodových odporových svarů .....	28

6.1.	Princip ultrazvukové zkoušky .....	28
6.2.	Ultrazvukové sondy.....	29
6.3.	Vyhodnocení echogramů .....	29
6.3.1.	Vyhovující svar .....	30
6.3.2.	Nepřítomnost svaru .....	30
6.3.3.	Malý průměr svarové čočky .....	30
6.3.4.	Studený spoj.....	31
6.3.5.	Malý spoj a sousedící „přilepená“ zóna .....	32
6.3.6.	Vady ve svaru .....	32
6.4.	Kontrola ve výrobě.....	33
7.	Experimentální část.....	34
7.1.	Zařízení použita pro provedení experimentu .....	34
7.2.	Postup měření.....	37
7.3.	Typické případy vyhodnocení echogramů .....	40
7.4.	Požadované vlastnosti vyhovujícího svaru.....	41
7.5.	Vyhodnocení experimentu.....	44
8.	Závěr.....	45
9.	Seznam použitých literárních zdrojů.....	46
10.	Příloha .....	48



## 1. Úvod

Bodové odporové svařování je produktivní metodou spojování plechů používanou obzvláště v automobilovém průmyslu, která je založená na vzniku tepla při průchodu proudu svařovaným místem. Z důvodu požadavků na kvalitu výrobku je třeba hotové svary kontrolovat. Určit kvalitu svaru je možné pomocí destruktivních metod, při kterých ale dochází ke zničení zkoušeného spoje. Proto jsou využívány nedestruktivní metody zkoušení (NDT – z anglického non-destructive testing), které jsou schopny odhalit vady ve zkoušeném materiálu a to bez jeho poškození nebo porušení. V praxi patří mezi nejpoužívanější metody kontroly bodových odporových svarů ultrazvuková zkouška (UT), které se tato práce podrobněji věnuje.

## 2. Odporové svařování

### 2.1. Druhy odporového svařování

Při odporovém svařování působí na svařované plechy svařovací proud a přitlačná síla elektrod. Zdrojem tepla je elektrický odpor vzniklý v místě styku obou materiálů. Svar vzniká buď krystalizací tekuté fáze, nebo plastickou deformací tuhé fáze. Využívá se v sériové a hromadné výrobě a obecně má vysokou produktivitu práce. Metody odporového svařování rozdělujeme na následující [1] [2]:

- **Bodové**

Bodové svařování je nejpoužívanější metodou odporového svařování. Používá se pro svařování tenkých plechů o tloušťce nejčastěji cca 0,4 až 4 mm, včetně plechů s povrchovou úpravou. Bodové svařování je rozšířené v automobilovém průmyslu. Pro výrobu jednoho automobilu je potřeba přibližně 5000 bodových svarů [1] [3]. (viz obr. 1a)

- **Švové svařování**

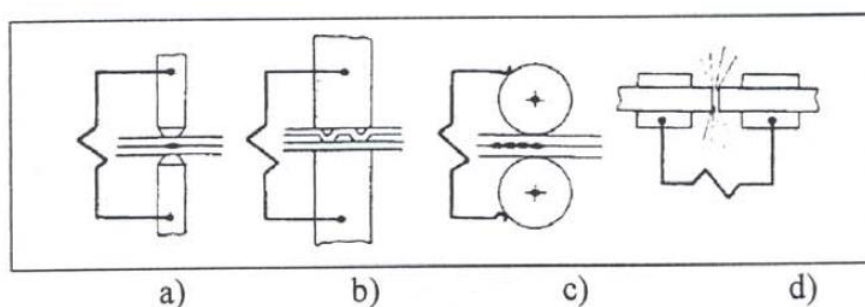
Využívá otáčejících se kotoučových elektrod mezi přeplátovanými díly. Může být souvislé nebo přerušované. Používá se při výrobě těsnících spojů [1]. (viz obr. 1c)

- **Výstupkové**

Svary vznikají v místech přirozených nebo lisováním vytvořených výstupků. Provádí se na svařovacím lisu. Svařovací proud je koncentrován do míst výstupků. Dojde ke zborcení zahřátých výstupků, plechy na sebe dosednou a dále roste tavná čochka. [1] [2]. (viz obr. 1b)

- **Stykové**

Svar vznikající v celé styčné ploše dílů. Může být pēchovací nebo s odtavením. Při pēchovacím svařování se materiál nahřívá svařovacím proudem a stlačuje do sebe. Při stykovém svařování s odtavením jsou oba díly upnuty bez vzájemného kontaktu. Díly se k sobě lehce přiblíží a okamžitě zase odtrhnou. V některých místech dojde ke styku čelních ploch a natavení materiálu. Tento proces se opakuje až jsou obě čelní plochy pokryty taveninou, poté dojde ke stlačení obou částí k sobě [1]. (viz obr. 1d)



Obrázek 1 Druhy odporového svařování [1]

## 2.2. Procesy při odporovém svařování

Při odporovém svařování působí na svar více mechanismů, při kterém se projevují teplotní, deformační i koncentrační gradienty. Svařování probíhá nejprve zatížením svařovací silou  $F_{sv}$ . Tím dojde k plastické deformaci povrchových nerovností a v těchto místech se vytvoří vodivé mikrokontakty. Na většině povrchu stále zůstávají oxidické vrstvy s vysokým elektrickým odporem. Přítlačná síla zároveň eliminuje působení okolní atmosféry na svar. Poté elektrodami začne procházet proud  $I_{sv}$ , doba působení proudu  $t_s$  je běžně v rozmezí 0,04 - 2 s [1] [2].

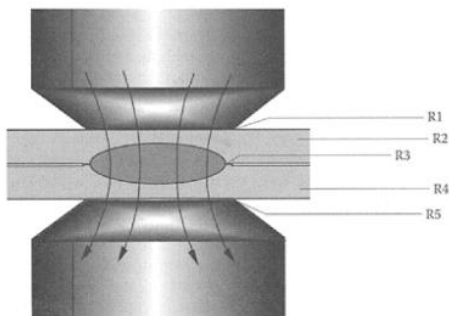
Množství tepla uvolněného do materiálu popisuje Joule-Lenzův zákon:

$$Q = \int_0^{t_s} R(t) i^2(t) dt$$

Rovnice 1

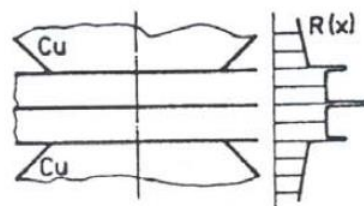
Nejvyšší teplota vzniká v místě dotyku svařovaných materiálů. Celkový odpor svařovaných materiálů je součtem kontaktních odporů mezi materiálem a elektrodami, vnitřních odporů a přechodového odporu mezi materiály [1].

Hodnota elektrického odporu i proudu se v průběhu procesu mění v závislosti na teplotních a deformačních změnách. Velikost elektrického odporu roste s rostoucí teplotou v závislosti na materiálu. Nárůst odporu je výrazný obzvláště u měkkých ocelí [1].



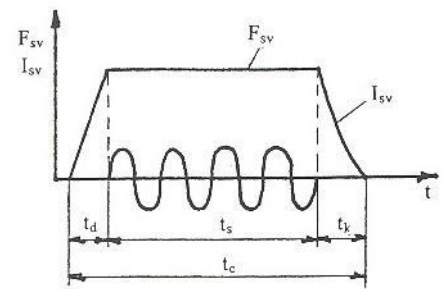
Obrázek 4 Skládání odporů a svarová čočka [5]

*R1 a R5 odpory dotyku elektrod  
R2 a R4 odpory svařovaných materiálů  
R3 odpor mezi svařovanými materiály*



Obrázek 3 Rozložení odporu při bodovém svařování (1)

K uvolnění přítlačné síly dochází až po ukončení intervalu  $t_s$ . Svar i jeho plastické okolí tuhne a dochází k lisování za tepla, kterým se zlepšují mechanické vlastnosti jádra [3].



Obrázek 2 Průběh svařovací síly a proudu [2]

*$F_{sv}$  přítlačná síla  
 $I_{sv}$  svařovací proud  
 $t_d$  došedací čas  
 $t_s$  svařovací čas  
 $t_k$  kovací čas  
 $t_c$  celkový čas svařovacího procesu*

Dříve provedené svary, které jsou v blízkosti prováděného svaru, mohou způsobit odklonění svařovacího proudu. V tom případě se snižuje proudová hustota a vzniklý svar nemusí být dostatečně kvalitní. Vysoce vodivé materiály jako hliník vyžadují veliké mezery mezi svary. [1] [2].

Vzdálenost mezi jednotlivými svary u ocelových plechů nemá být menší než  $L = 16 \cdot t$ , kde  $t$  je tloušťka plechu. Zároveň vzdálenost od okraje plechu do středu svaru má být alespoň  $b = 1,25 \cdot d$ , kde  $d$  je počáteční průměr svaru. Při svařování plechů do tloušťky 1,5 mm musí být vzdálenost mezi svary minimálně  $3 \cdot d$  (měřeno od okraje svarů) [2].

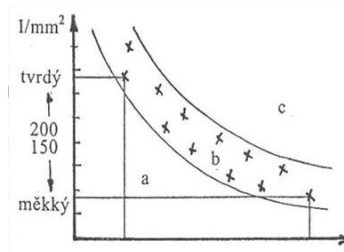
Další ztráty vznikají impedancí sekundárního svařovacího obvodu a kvůli vzniku indukčního okna. Velikost těchto ztrát závisí na vyložení ramen (vzdálenost svářečky od bodovacích elektrod) a na vzdálenosti ramen [2].

### Vliv čistoty a povrchu elektrod

Povrch elektrod a povrch svařovaných materiálů musí být kovově čistý, aby nedocházelo k poškození povrchu popálením. Je nutné zajistit, aby přechodový odpor mezi elektrodou a plechem byl co nejmenší. Povrch materiálu musí být bez rzi, okují, oleje, barev a jiných nečistot. Povrch elektrod musí být čistý bez zakovaných otřepů, vrubů a vrypů. Povrch elektrody je možné upravovat pilníkem, speciální frézou, nebo strojním obráběním [3].

### Měkký svařovací režim

Svařování může probíhat ve dvou svařovacích režimech. Měkký režim je charakterizovaný nízkým svařovacím proudem (proudová hustota do  $200 \text{ A/mm}^2$ ), dlouhým intervalem  $t_s$  (0,5 až 1,5 s) a nižší svařovací silou (do 1000 N). Oproti tvrdému režimu dochází k větším ztrátám tepla do okolí a většímu tepelnému namáhání elektrod, které mají v měkkém svařovacím režimu kratší životnost. Struktura zrna je hrubozrnná (což způsobuje nižší pevnost spoje). V tomto režimu je nízké riziko zakalení, což je výhodné pro oceli s vyšším obsahem uhlíku [1] [2].



Obrázek 5 Měkký a tvrdý svařovací režim v závislosti na hustotě proudu a svařovacím čase. Oblast a - vzniká difuzní spoj, oblast b - svar bez vady, oblast c – rozstřík [3]

### Tvrdý svařovací režim

Probíhá za větších tlaků, které zajišťují snížení přechodového odporu. Svařování má vyšší produktivitu a efektivitu díky snížení času  $t_s$ , tepelné ztráty jsou nižší. Tepelně ovlivněná oblast je nižší než u měkkého svařovacího režimu. S vyšším tlakem dochází ke snížení přechodového odporu a elektrody se méně opotřebovávají. Svařovací proud je  $200 \text{ A/mm}^2$ . Svařování při tvrdém svařovacím režimu vyžaduje vyšší investiční náklady (pro zajištění přitlačné síly je potřeba pneumatický nebo hydraulický

systém). V současnosti je více využíváný oproti měkkému režimu, využívá se v automobilovém průmyslu [1] [2].

### Intenzita odporového ohřevu

Kromě rozdělení na tvrdý a měkký svařovací režim je možné popsat proces svařování pomocí intenzity odporového ohřevu, která je definována jako podíl svařovacího proudu a požadované velikosti svarové čocky. U bodového svařování můžeme nahradit velikost požadované svarové čocky průměrem elektrody.

$$Jp = \frac{I}{D} \quad \text{Rovnice 2}$$

kde I je svařovací proud (A) a D je průměr dosedací plochy svařovací elektrody (mm<sup>2</sup>) [4].

### 2.3. Elektrody pro bodové svařování

Elektrody se rozdělují do dvou skupin (A a B). Skupina A jsou elektrody vyrobené z mědi a jejích slitin. Vyrábí se tvářením za tepla, za studena nebo v litém stavu. Většina používaných elektrod jsou elektrody skupiny A. Ve skupině B jsou elektrody vyrobené práškovou metalurgií z žáruvzdorných kovů wolframu a molybdenu. [1].

### 2.4. Životnost elektrod

Teplo uvolňované do elektrody je ovlivněno povrchovým odporem materiálu. Pozinkované plechy mají nízký povrchový elektrický odpor z důvodu vysoké elektrické vodivosti zinku. Při svařování pozinkovaného plechu měděnou elektrodou se uvolňuje zinek z povrchu plechu do elektrody a na povrchu elektrody se vytváří mosazná vrstva s vysokým elektrickým odporem. Tím se zvyšuje teplota na elektrodě. Povrch elektrody je namáhán opakovaným ohříváním a chladnutím, což snižuje životnost elektrody. Svařování za použití původního svařovacího proudu má za následek vznik nevyhovujících svarů. Mosaz na povrchu elektrody zároveň zanechává na povrchu vtisku zlatě zbarvené skvrny. Životnost elektrod při svařování neupravených plechů je 8 000 až 10 000 bodů, při svařování pozinkovaných plechů 600 až 3 500 bodů [5] [3].

### 2.5. Geometrie bodových svarů

Hlavním parametrem kvality bodového svaru je velikost svarové čocky, která má přímý vliv na pevnost spoje. Podle tloušťky tenčího plechu a požadavku na bezpečnost se určí požadovaný průměr čocky (kde t je tloušťka tenčího plechu) [3]:

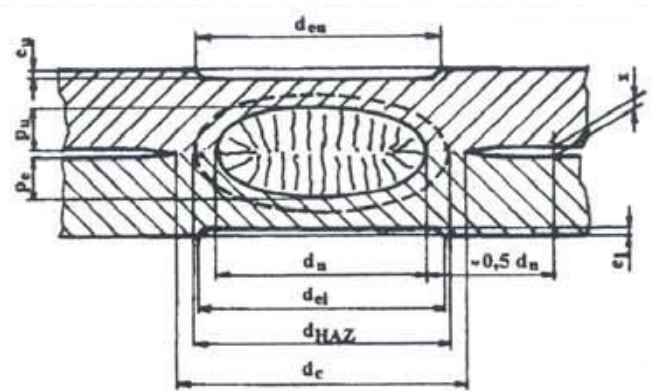
$$\varnothing d_n \approx 4 \sqrt{t} \text{ pro běžné svarové spoje}$$

$$\varnothing d_n \approx 5 \sqrt{t} \text{ pro vysoce bezpečnostní svary}$$

$$\varnothing d_n \approx 3 \sqrt{t} \text{ pro méně namáhané spoje [3]}$$

Svarovou čočku je možné popsat následujícími geometrickými charakteristikami [1]:

- $d_n$  průměr svarové čočky měřený v rovině rozhraní svařovaných dílů
- $d_c$  průměr tepelně zbarvené oblasti
- $d_{eu}$  průměr vtisku horní elektrody
- $d_{el}$  průměr vtisku dolní elektrody
- $d_{TOO}$  průměr tepelně ovlivněné oblasti
- $p_u$  hloubka natavení horního plechu
- $p_e$  hloubka natavení dolního plechu
- $x$  velikost mezery mezi plechy
- $e_u$  hloubka vtisku horní elektrody
- $e_e$  hloubka vtisku dolní elektrody [1]



Obrázek 6 Geometrie bodového svaru [1]

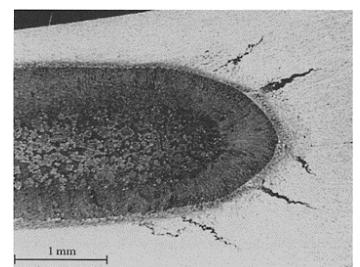
## 2.6. Vady bodových svarů

Při výrobě bodových svarů mohou vznikat vady, které ovlivňují kvalitu svaru a jeho další použití vzhledem k požadovanému přenosu namáhání. Mezi hlavní příčiny vzniku těchto vad patří: vadná funkce stroje, nastavení svařovacích parametrů, kvalita povrchu plechů a kvalita elektrických kontaktů. Vady svaru lze rozdělit na vnitřní a vnější, ale oba tyto typy vad se často vyskytují společně - vnější vada může indikovat vadu uvnitř svarové čočky. Vizuální kontrola má tedy ve výrobě důležitou roli [3] [5].

Klasifikaci geometrických vad kovových materiálů upravuje norma ČSN EN ISO 6520-2: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 2: Tlakové svařování*. Podle ní rozdělujeme následující typy vad, které norma dále podrobně popisuje [6]:

### P1 Trhliny

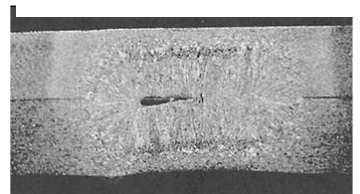
Vznikají v důsledku špatné svařitelnosti materiálu, dochází k jeho zakalení. Snižují únosnost spoje z hlediska dynamického namáhání. Trhliny lze potlačit použitím měkkého svařovacího režimu, nebo nechladit elektrody [2] [5].



Obrázek 7 Trhliny [5]

### P2 Dutiny

Vznikají při nevhodně zvoleném režimu svařování, při příliš dlouhém ohřevu materiálu. Často jsou spojené s výstřikem materiálu a to buď mezi svařovanými plechy nebo pod elektrodou. Vzniku dutin se zamezí správně zvolenou kovací silou [2] [5].



Obrázek 8 Dutina [5]

### P3 Pevné vměstky

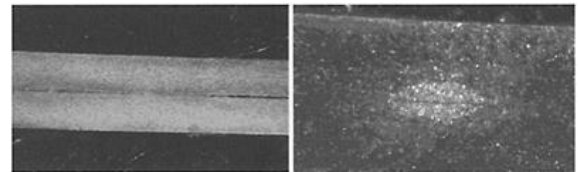
Vznikají v důsledku znečištění svařovaného materiálu. Dochází k povrchovému natavení spoje z důvodu znečištění materiálu plechu, elektrod nebo poruchou chlazení elektrod. Vzniku vměstků lze zamezit správným způsobem čištění svařovaného materiálu a elektrod [2].



Obrázek 9 Pevné vměstky [2]

### P4 Studené spoje

Vzniká v důsledku nedostatečného natavení materiálu, nesprávně nastavenými svařovacími parametry, opotřebením elektrod, nebo působením bočních proudů [2].



Obrázek 10 Studené spoje [5]

### P5 Vady tvaru a rozměru

Mezi vady tvaru a rozměru patří nízká nebo vysoká čochka, malý průměr svaru, nesymetrický tvar, nebo hluboké otisky elektrod [2].



Obrázek 11 Nesymetrický svar [2]

### P6 Ostatní vady

Například výstřik svařovaného kovu, ke kterému dochází nejčastěji s rovině svařovaných plechů při nadměrném přívodu tepla [2].

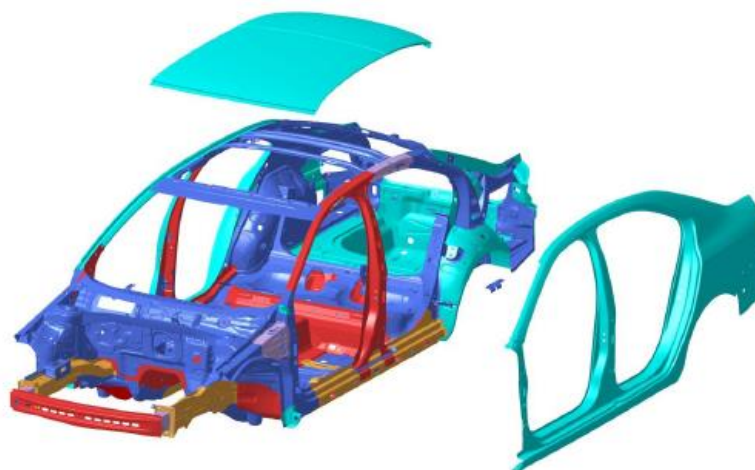


Obrázek 12 Výstřik svařovaného kovu [5]

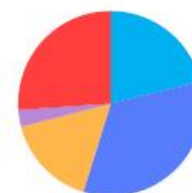
## 3. Materiály pro automobilové karoserie

Požadavky na materiály pro automobilový průmysl jsou vysoká pevnost, vysoká úroveň plasticity, korozní odolnost. Důležitá je také hmotnost, která přímo ovlivňuje spotřebu paliva. Vlastnosti ocelí závisí na chemickém složení a také na způsobu zpracování.

Karoserie je vyrobena z více různých druhů ocelových plechů, které mají specifické vlastnosti potřebné pro daný díl. Jednotlivé typy ocelí a jejich vlastnosti jsou popsány níže. Při robotizaci spojování dílů je jedou z nejvýhodnějších technologií bodové odporové svařování. Pro představu je v tabulce uveden počet svarových spojů potřebných pro výrobu jedné karoserie [7].



Hlubokotažná ocel (LSS)	< 200 MPa	21,2 %
Vysokopevnostní ocel (HSS)	200– 400 Mpa	33,6 %
Ultra vysokopevnostní ocel (UHSS)	400 – 700 Mpa	16,2 %
Speciální vysokopevnostní ocel (AHSS)	700 – 1000Mpa	2,9%
Za tepla tvářená vysokopevnostní ocel (PHS)	1000 – 1200Mpa	26,1 %



Obrázek 13 Materiálový koncept karoserie modelu Škoda Auto [8]

Tabulka 1 Množství svarů na jednotlivých modelech Škoda Auto [7]

Metoda svařování	Množství	Octavia	Fabia	Superb	Octavia II	Roomster
Bodové svary	ks	4400	4500	6201	5000	5217
MIG pájení	m	-	4	7,4	2,5	2
MAG svařování	m	5,5	1	1,2	2,5	7,5
Přivařování svorníku	ks	190	160	214	200	161
Výstupkové svařování	ks	25	46	147	31	34
Laserové pájení	m	-	1	1,03	1,6	1,2
Laserové svařování	m	-	-	3,06	0,5	-

### 3.1. Druhy ocelí

Podle metalurgie jsou ocelové plechy rozděleny do skupin, které jsou uvedeny v tabulce 2. Dále následuje popis jednotlivých druhů ocelí.

Tabulka 2 Rozdělení ocelí podle metalurgie

Skupina	Název	Druhy
LSS	nízkopecvnostní oceli	IF, Mild
HSS	vysokopevnostní oceli	IF-HS, BH, CMn, HSLA
AHSS	pokročilé vysokopevnostní oceli	DP, CP, TRIP, TWIP, MS
PHS (HF)	vysokopevnostní, za tepla tvářené	Manganoborové oceli



### **IF oceli (interstitial free – bez interstic)**

Ocel není zpevněna žádnými intersticiálními atomy. Tyto oceli mají vysokou tažnost. Nízký obsah uhlíku je vykompenzován legujícími prvky jako Nb, Ti a V. Jsou vhodné pro svařování tavným i tlakovým způsobem. [9] [7]

### **Mild oceli**

Mild oceli jsou běžné nízkouhlíkové oceli s feritickou strukturou, které jsou stabilizovány prvky Ti nebo Nb. Jsou svařitelné běžnými metodami svařování [7].

### **IF-HS oceli (high strength interstitial free – vysoce pevné bez interstic)**

Oceli IF, které mají navíc přísadu Mn, Si a P, mají feritickou strukturu. Používají se na výrobu karoserií, příčniců a mezidveřních sloupků. Lze je svařovat tavným i tlakovým svařováním [10] [7].

### **BH oceli (bake hardenable – zpevněné vypékáním)**

Zpevnění je docíleno kontrolovaným procesem žíhání. Provádí se při teplotě kolem 170°C. Dochází ke zvýšení meze kluzu. Úroveň zvýšení pevnosti závisí na obsahu uhlíku v matici původní oceli. Používají se pro výrobu kapoty, dveří, střechy a výztuh. Mohou být svařovány všemi běžnými metodami svařování [9] [10] [7].

### **HSLA oceli (high strength low alloy – vysoce pevné mikrolegované)**

Nízký obsah uhlíku je kompenzován mikrolegujícími prvky Ni, Ti, V. Prvky mohou být použity samostatně nebo v kombinacích. Vznikají karbidy, nitridy a karbonitridy, dochází ke zjemnění struktury. Zjemnění zrna zvyšuje pevnost a svařitelnost. Využívá se pro výrobu komponent šasi, výztuh a kol [9] [10] [7].

### **DP oceli (dual phase - dvojfázové)**

Jsou tvořeny feritickou maticí s ostrůvky martenzitu. Tyto oceli mají vyšší obsah uhlíku (až 0,1 %), vyšší obsah prvků schopných stabilizovat martenzit (např. Mn) a vyšší obsah křemíku (až 0,08 %). Při výrobě je potřebná dostatečná rychlost ochlazování pro rozpad austenitu na 85 % feritu, zbytek austenitu se transformuje na martenzit (případně bainit). Používá se na výrobu mezidveřního sloupku, kol a nárazníků. Jsou snadno svařitelné obvyklými procesy, pokud se upraví svařovací parametry kvůli většímu obsahu legur [9] [11] [7].

### **TRIP oceli (transformation induced plasticity – plasticita indukovaná transformací)**

Jedná se o multifázové oceli složené z feritu (50-60 %), bainitu (25-40 %) a ze zbytkového austenitu (5-15 %). Může obsahovat i martenzit (obvykle jednotky procent). Tyto oceli mají zvýšený obsah uhlíku (až 0,2 %) a zvýšený obsah prvků stabilizujících austenitickou matici. Ferit s austenitem zajišťují plastické vlastnosti a bainit (případně martenzit) pevnost. V automobilovém průmyslu se používána výrobu rámu a výztuží, mezidveřních sloupků, střešních lišt a uložení motoru. Jsou svařitelné odporovým bodovým svařováním, pokud jsou správně nastaveny svařovací parametry [9] [11] [7].

### **Martenzitické oceli**

Martenzitické oceli mají vysokou pevnost, ale nízkou úroveň plastických vlastností. Používají se pro výrobu příčniců, jako výstuha bočních dveří a nárazníků. Jsou dobře svařitelné odporově i laserově [9] [11] [7].

### **TWIP oceli (twinning induced plasticity - plasticita indukovaná dvojčatěním)**

Ocel s vysokým obsahem manganu (22 - 25 %) a obsahem uhlíku vyváženým vzhledem k obsahu manganu. Používají se pro výrobu předního sloupku, příčnicu bočních dveří a mezidveřního sloupku. Tyto oceli jsou obtížně svařitelné [9] [11] [7].

### **TRIPLEX oceli (vedle Fe obsahují další tři chemické elementy)**

Mají vysoký obsah manganu (26-30 %) a hliníku (8-12 %). Obsah uhlíku je kolem 1%. TRIPLEX oceli se vyznačují vyváženými vlastnostmi jako je tvařitelnost, pevnost, tažnost a zároveň nízká hmotnost [9].

*Tabulka 3 Příklad chemického složení ocelí [9]*

Ocel	Typ oceli	C	Mn	Si	P	Al	Mikrolegura
DC04	LC	0,025	0,19	0,01	0,008	0,054	-
DC06	IF	0,005	0,11	0,01	0,008	0,033	0,05 Ti
H260YD	IF-HS	0,003	0,35	0,01	0,050	0,030	0,04 Nb, 0,02 Ti
H180B	BH	0,006	0,02	0,01	0,018	0,054	-
H260B	BH	0,076	0,44	0,02	0,086	0,041	-
H250G1	HSLA	0,035	0,02	0,01	0,008	0,036	0,03 Ti
H320LA	HSLA	0,006	0,04	0,01	0,007	0,038	0,04 Nb
H300X	DP	0,082	1,48	0,07	0,017	0,059	-
TRIP700Z	TRIP	0,200	1,60	0,05	0,015	1,800	-
DOCOL	Martenzit	0,170	1,59	0,50	0,010	0,046	-

### 3.2. Povrchové úpravy ocelí pro automobily

Při výrobě karoserií jsou používány pozinkované ocelové plechy. Povrchové plechy jsou zinkovány elektrolyticky (tloušťka vrstvy je např. 8  $\mu\text{m}$  u Škoda Superb 1. generace). Vnitřní plechy jsou ošetřeny žárovým zinkováním (tloušťka vrstvy 10  $\mu\text{m}$ ). Žárové zinkování se provádí ponorem součásti do lázně roztaveného zinku při teplotě 450 - 560°C [12] [13].

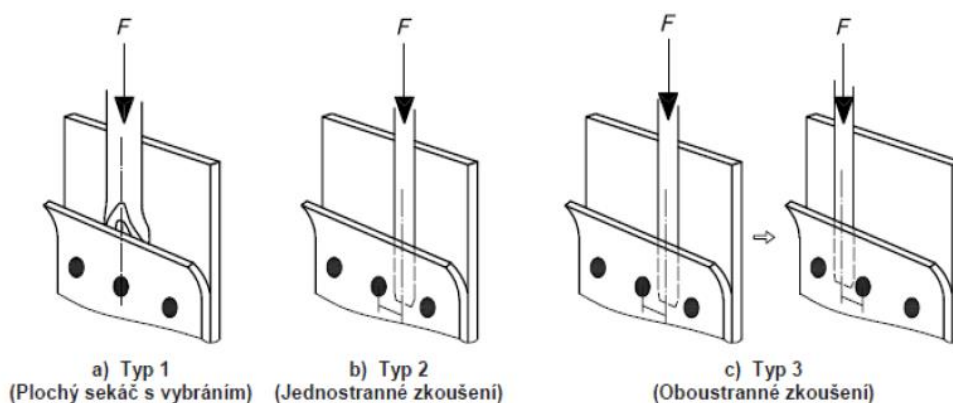
V případě žárového zinkování je roztavená lázeň legována hliníkem nebo křemíkem pro potlačení zinko-železných metalických fází, což zároveň zvyšuje přilnavost povlaku k oceli. Hliník a případně křemík tvoří přechod mezi ocelí a zinkem. Korozní odolnost může být zlepšena jedním nebo více legujícími prvky. Jedním z těchto prvků je hořčík, který výrazně zlepšuje stálost materiálu [14].

## 4. Destruktivní kontrola bodových svarů

Pro kontrolu odporových bodových svarů je možné použít destruktivní metody zkoušení, při kterých dochází k poškození, nebo úplnému znehodnocení zkoušeného vzorku či výrobku. Tyto zkoušky jsou popsány v této kapitole.

### 4.1. Sekáčová zkouška

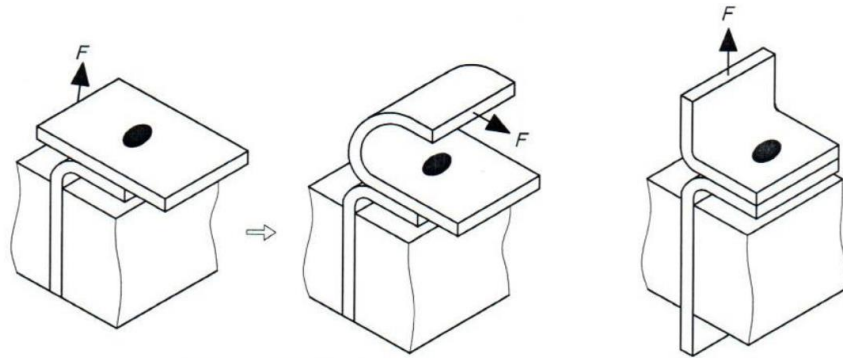
Polo-destruktivní zkouška, při které jsou zkoušeny svary působením převážně tahové síly. Sekáč se zaráží do mezery mezi plechy pomocí kladiva, až se objeví porušení přilehlého svaru, nebo až se objeví závažná deformace. Po dokončení zkoušky se plechy vyrovnávají. Nevýhodou je časová náročnost metody a riziko znehodnocení zkoušených součástí. Není vhodná pro zkoušení třívrstvých plechů a plechů s povlaky. Pokud se provádí zkouška z důvodu seřízení parametrů svařování, často není možné použít skutečné díly. Při výrobě zkušebních vzorků je nutné uvažovat vedlejší účinky a impedance. Typ zvolené geometrie sekáče závisí na průměru svaru, na tvaru a tloušťce pracovního materiálu a vzdálenosti svarů mezi sebou. Tuto zkoušku upravuje norma ČSN EN ISO 10447 *Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových svarů*. Destruktivní sekáčová zkouška umožňuje také měření průměru svarové čočky [3] [15].



Obrázek 14 Běžná sekáčová zkouška odporových bodových a výstupkových svarů [15]

## 4.2. Odlupovací zkouška

Odlupovací zkouška je destruktivní zkouška. Používají se vzorky vyřezané z výrobních dílů nebo ze svařovaných zkušebních vzorků. Může být realizována ručně, nebo pomocí mechanizovaného zařízení. Plechy jsou od sebe pomalu odlupovány, až dojde k odlomení všech svarů. Pro ruční odlupování se běžně používají odvíjecí nástroje, štípačky, kleště a upnutí do svěráku. Tuto zkoušku taktéž upravuje norma ČSN EN ISO 10447. Zkouška umožňuje změřit průměr svarové čocky. [15].



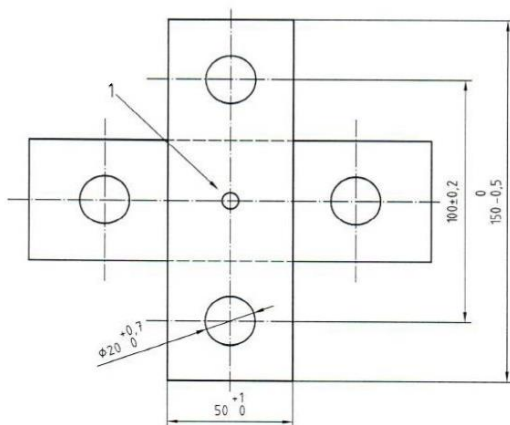
a) Ruční odlupovací zkouška

b) Mechanizovaná odlupovací zkouška

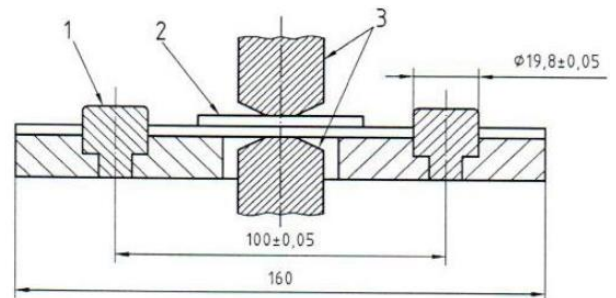
Obrázek 15 Běžná odlupovací zkouška odporových bodových a výstupkových spojů [15]

## 4.3. Křížové zkoušení tahem

Vzorek se vyrobí ze dvou pásů plechů, které jsou kolmo na sebe umístěny do svařovacího přípravku a svařeny. Vzorek je poté upnut do unašeců a tažen v trhacím stroji. Při zkoušení se měří síla křížového zatížení tahem a průměr svaru. Minimální počet zkoušených vzorků je jedenáct. Tuto zkoušku upravuje norma ČSN EN ISO 14272 *Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových výstupkových svarů* [16].



Obrázek 17 Vzorek pro křížovou zkoušku tahem [16]



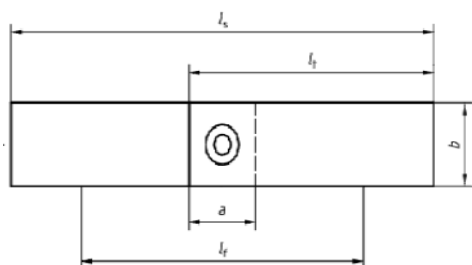
Obrázek 16 Vzorek pro křížovou zkoušku tahem ve svařovacím přípravku [16]

#### 4.4. Střihová zkouška

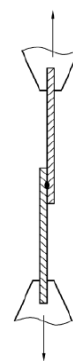
Při střihové zkoušce se vzorek upne do čelistí trhačického stroje, které jsou v požadované vzdálenosti od sebe. Čelisti se oddalují konstantní rychlostí. Zaznamenává se střihová síla v průběhu zkoušky. Tuto zkoušku upravuje norma ČSN EN ISO 14273 *Rozměry vzorku a postup pro zkoušení střihem odporových bodových, švových a výstupkových svarů* [17].

Tabulka 4 Rozměry vzorku pro zkoušku střihem pro plechy od 0,5 do 1,5 mm [17]

Tloušťka	Přepřátování	Šířka vzorku	Délka vzorku	Volná délka mezi čelistmi	Délka jednotlivých zkušebních ústřížků
t	a	b	$l_s$	$l_f$	$l_t$
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45	175	95	105

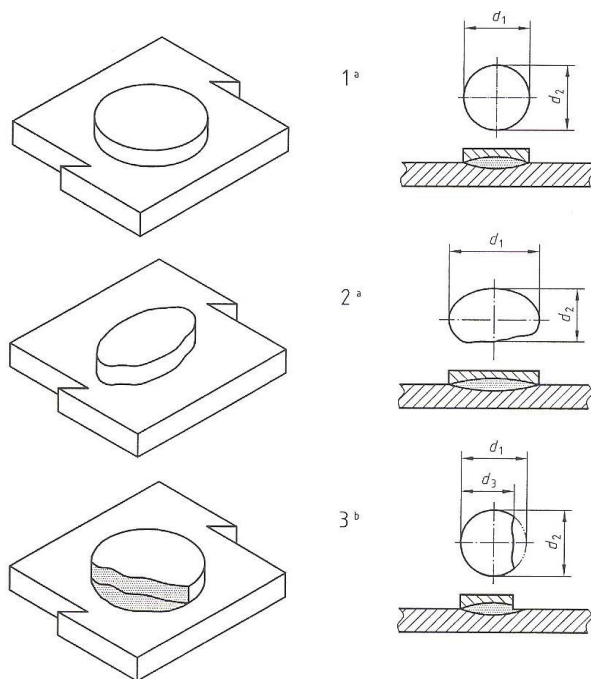


Obrázek 18 Vzorek pro zkoušku střihem [17]



Obrázek 19 Sestava pro zkoušku střihem [17]

Po provedení střihové zkoušky se u zkoušeného vzorku dále měří průměr svarové čocky.



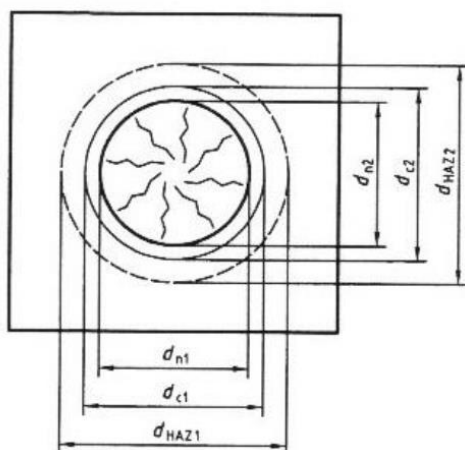
#### Legenda

- 1 Symetrické vytržení
- 2 Nesymetrické vytržení
- 3 Částečné vytržení

a  $d = d_p = (d_1 + d_2) / 2$  průměr svaru = průměr vytržené části

b  $d = (d_1 + d_2) / 2$  průměr svaru  
 $d_p = (d_1 + d_2) / 2$  průměr vytržené části

Obrázek 18 Měření průměru u svaru s porušením vytržením



**Legenda**

- $d_n$  průměr svarové čocky
- $d_c$  průměr tepelně zabarvené oblasti
- $d_{HAZ}$  průměr TOO

Obrázek 19 Měření průměrů u svaru s porušením v dělicí rovině

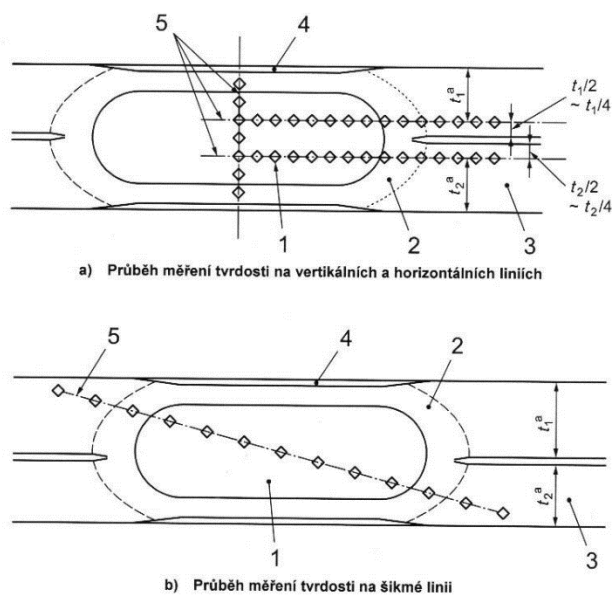
#### 4.5. Metalografická zkouška

Používá se k určení výšky a šířky svarové čocky, velikosti TOO – tepelně ovlivněná zóny (HAZ - heat affected zone) a velikosti vtisku. Může být také použit k detekci trhlin, pórovitosti a nekovových vměstků. Svar je rozříznut, vyleštěn a chemicky leptán, aby bylo možné zhodnotit mikrostrukturu svaru [5].

#### 4.6. Zkouška tvrdosti

Na naleptaných řezech je možné provést zkoušku tvrdosti. Zkoušky musí být provedeny na zkušebním kusu s příčným řezem přes svar (tloušťka zkoušeného kusu musí být minimálně 1,5 násobek úhlopříčky vtisku tvrdosti).

- 1 – svarová čocka
- 2 – tepelně ovlivněná oblast
- 3 – základní materiál
- 4 – vtisk elektrodou
- 5 – průběh tvrdosti
- $t_1$  – tloušťka horního plechu
- $t_2$  – tloušťka spodního plechu ( $t_1 \leq t_2$ )



Obrázek 20 Umístění vtisků pro zkoušku tvrdosti podle Vickerse

Zkouška tvrdosti nízkou silou se používá pro zkoušku základního materiálu, TOO a svarové čočky (zatěžovací síla od 1,961 do 9,807N). Obvykle se měří tvrdost podle Vickerse HV. Zkouška mikrotvrdosti se používá pro určení změn v jednotlivých oblastech svaru [2] [18].

## 5. Nedestruktivní metody kontroly bodových svarů

Tato kapitola se zabývá metodami kontroly, při kterých nedochází k poškození zkoušeného vzorku. Metody nedestruktivní kontroly lze obecně rozdělit na metody zjišťující povrchové vady a vnitřní vady.

### 5.1. Metody kontroly povrchových vad

Mezi metody kontroly, kterými lze indikovat povrchové vady patří vizuální kontrola, kapilární metoda a magnetická prášková metoda. Tyto metody jsou dále podrobněji popsány.

#### 5.1.1. Vizuální kontrola (VT)

Obecná vizuální kontrola je rychlá kontrola spoje, na základě povrchových znaků. Kontroluje se, zda svary vyhovují výkresové dokumentaci - dodržení počtu, umístění a tvaru svarů. Při tzv. místní vizuální kontrole se dále se vyhodnocuje kvalita spoje. Bývá doplněna měřeními vnějších rozměrů za použití speciálních měrek. Spoj s malým otláčením a nepatrným opalem povrchového materiálu může indikovat studený spoj. V případě černého bodu se jedná o přehřátý spoj s nadměrným vtiskem, spálený spoj s vysokou křehkostí a velkým rizikem vzniku prasklin. Správně provedený spoj je zlatavě žlutý, s oboustranným vtiskem přiměřené hloubky a průměru. Vizuální kontrola by měla být použita vždy jako první kontrolní metoda (je nejlevnější, nejrychlejší a nejjednodušší). Pokud jsou pomocí vizuální kontroly odhaleny nepřijatelné vady, není třeba součást dále testovat, čímž se snižují náklady na testování. *Tuto zkoušku upravuje norma ČSN EN ISO 17 637 – Nedestruktivní zkoušení svarů. Vizuální kontrola* [3] [2].

#### 5.1.2. Kapilární metoda (PT)

Pomocí kapilární metody lze zjistit pouze vady na povrchu materiálu (póry, trhliny). Přednostmi této metody je jednoduchost a nízká cena. Využívá se vztlávanosti a smáčivosti kapalin (penetrantů) a jejich barevnosti, či fluorescence. Povrch zkoušené součásti se pokryje touto kapalinou tak, aby kapalina vnikla do nečelivostí. Po odstranění přebytečného penetrantu vztlíná penetrant z vad zpět směrem na povrch a za použití kontrastní vývojky vytváří barevnou, nebo fluoreskující indikaci vady. Vady se hodnotí vizuálně. Tuto zkoušku upravuje norma ČSN EN ISO 3452-1 *Nedestruktivní zkoušení - Kapilární zkouška - Část 1: Obecné zásady* a hodnocení nalezených indikací se provádí podle normy ČSN EN ISO 23277 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení kapilární metodou - Stupně přípustnosti* [19] [2].

Penetranty používané pro kapilární metodu musí dobře pronikat do vad a po odstranění jejich přebytku dobře vzlínat na povrch. Podle metody indikace rozdělujeme kapilární metody na:

- **Metodu barevné indikace** – necelistvosti se projeví vznikem kontrastní barevné indikace (např. červené na bílém podkladě). Hodnotí se na denním, nebo umělém světle.
- **Metodu fluorescenční** – necelistvosti se projeví při ozáření ultrafialovým světlem tak, že zeleně nebo žlutozeleně světélkují a tím kontrastuje s okolím vady.
- **Metodu dvouúčelovou** – přítomnost necelistvostí se projeví barevnou nebo fluorescenční indikací v závislosti na použitém osvětlení (bílé nebo UV záření).

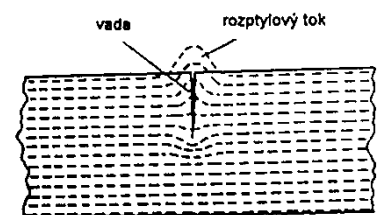
Po odstranění přebytečného penetrantu se nanáší na zkoušený povrch vývojka, která napomáhá vzlínání penetrantu a společně s ním vytváří kapilární indikace. Obsahuje práškovitou složku bílé barvy, která nesmí být hygrokopická. Používá se oxid zinečnatý, hořečnatý, uhličitán hořečnatý, vápenatý (křída), amorfni křemičitany, kaolin aj. Vývojka dále obsahuje nosné prostředí (voda, vzduch, aceton, líh, benzin). Úkolem vývojky je zvýraznit necelistvosti. Funguje podobně jako savý papír, částice vývojky tvoří kapilární systém, který umožňuje vzlínání penetrantu. Vývojky mohou být:

- **Suché** – nanášejí se napařováním, nosným prostředím je tedy vzduch
- **Mokrý těkavý** – nanášejí se rozprašovačem, nosným prostředím je těkavá látka, například aceton
- **Mokrý vodný** – Nanášejí se namočením zkoušeného předmětu do vývojkové lázně, většinou předehřáté na 65 °C, nosným prostředím je voda

Pro odstranění přebytku penetrantu z povrchu se používají emulgátory. Používají se například emulgátory na bázi těchto látek: triethanolamin, kyselina oleinová nebo kyselina adipová [19].

### 5.1.3. Metoda magnetická prášková (MT)

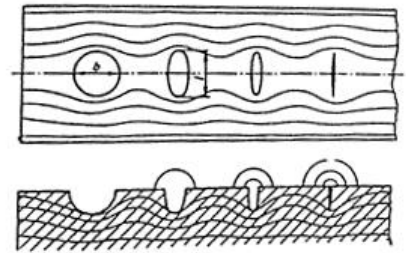
Při zmagnetování feromagnetického materiálu s povrchovými vadami dochází k vytvoření rozptylového toku v místě vad. Rozptylový tok vystupuje z materiálu nad povrch a je možné ho indikovat magnetickým práškem nebo sondami.



Obrázek 21 Vznik rozptylového toku [19]



Na zkoušený předmět je nanesen jemný feromagnetický prášek, který se zachytí v místě, kde indukční tok vystupuje nad povrch. Tam, kde je povrch bez vady se prášek nezachytí. Tuto zkoušku metodicky popisuje norma ČSN EN ISO 17638 *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou metodou práškovou* a vyhodnocení se provádí podle normy ČSN EN ISO 23278 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti* [19] [2].



Obrázek 22 Závislost velikosti rozptylového toku na tvaru trhliny

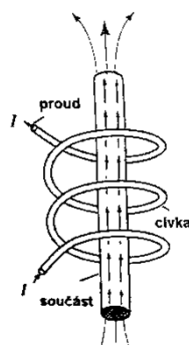
**Velikost rozptylového toku** závisí na intenzitě magnetizace, orientaci vady vůči magnetizačnímu toku a hloubce vady pod povrchem. Lze zjistit pouze vady, které jsou přibližně kolmé na směr magnetického pole (v praxi lze tolerovat odchylku 45°). Vady rovnoběžné na směr magnetického pole nelze zjistit. U povrchových vad je indikace vady ostrá a dobře lokalizovatelná. U podpovrchových vad (maximálně do cca 5 mm) je indikace vady slabší, hlouběji uložené vady nelze zjistit. Dále také záleží na tvaru vady. Nejlépe zjistitelné jsou vady, které jsou úzké a dlouhé, nejhůře zjistitelné jsou vady s kulovým tvarem [19].

### Způsoby magnetizace

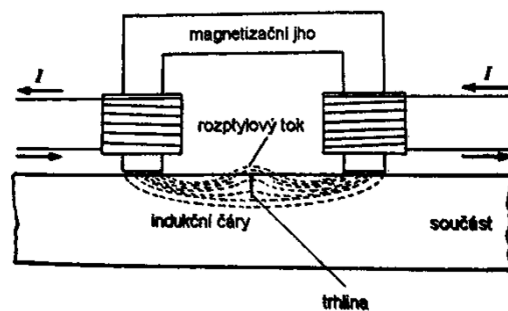
Lze použít dva druhy magnetizace: pólovou nebo proudovou (cirkulární). U pólové magnetizace dochází ke vzniku pólů, kterými magnetický tok vstupuje do materiálu a vystupuje z něj. Pro vznik pólové magnetizace se používá cívka nebo magnetizační jho. Při proudové magnetizaci je magnetický tok uzavřen v materiálu a vzniká přímým průchodem proudu kontrolovaným předmětem, který je tvořen buď pomocným vodičem, nebo indukci proudu ve zkoušeném předmětu [19].

### Pólová magnetizace

Při pólové magnetizaci cívkou se předmět zasune do cívky, kterou protéká proud a vytváří magnetické pole jehož směr je rovnoběžný s osou cívky. Lze tedy zjistit pouze příčné vady. Při magnetizaci pomocí



Obrázek 24 Pólová magnetizace cívkou [19]

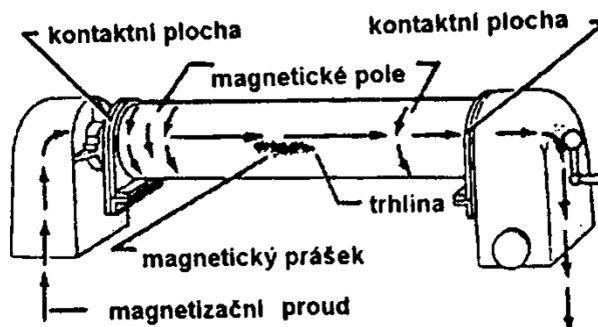


Obrázek 23 Magnetování magnetizačním jhem [19]

elektromagnetického jha je zkoušený předmět mezi póly magnetizačního jha a uzavírá magnetický obvod. Magnetické pole může být vybuzeáno permanentním magnetem, nebo cívkami. Použití permanentního magnetu sice nevyžaduje přívod elektrického proudu, ale na druhou stranu komplikuje odtržení magnetu od zkoušené součásti [19].

### Proudová magnetizace

Používá se magnetického pole vznikajícího při průchodu zkoušeným předmětem. Používají se zdroje proudu od 500 A do 10 000 A a napětí 3 V až 15 V. Tento způsob magnetizace má riziko vzniku opalu v místech vstupu a výstupu proudu.



Obrázek 25 Cirkulární magnetizace

### Detekční prostředky

Magnetické pole je indikováno pomocí detekčního prostředku, kterým může být feromagnetický **prášek** (suchý nebo rozptýlený v kapalině). Při automatizované kontrole se používají následující sondy: vzduchová cívka, feromagnetická cívka, nebo Hallova sonda. Prášky mohou být barevné (černé, šedé, nebo červenohnědé) nebo fluorescenční, které mají na povrchu zrn luminiscenční barvu zářící žlutozeleně pod ultrafialovým světlem [19].

Dále je možné použít **suspenze** vzniklé rozptýlením pevných částic v kapalině. Suspenze může být olejová, nebo vodná. Olejová suspenze je směs prášku, minerálního oleje a nafty a je možné ji použít i na neodmaštěném povrchu. Její nevýhodou je hořlavost. Vodná suspenze se skládá z vody, smáčedla proti povrchovému napětí inhibitorů koroze a protipěnové přísady [19].

Po ukončení zkoušky MT, při které bylo použito magnetování pomocí stejnosměrného nebo střídavého usměrněného proudu zůstává ve zkoušeném předmětu zbytková indukce. Toto zmagnetování způsobuje vzájemné přitahování výrobků, zachytávání feromagnetických nečistot a interakci s magnetickým polem oblouku v případě elektrického svařování. Z těchto důvodů se provádí po skončení zkoušky **odmagnetování**. Odmagnetování lze provést několika způsoby.

- Vnější magnetickým polem s klesající amplitudou, generovaným cívkou napájenou střídavým proudem.
- Přepínáním polarity (komutací) stejnosměrného proudu, který napájí cívku. Hodnota proudu se postupně snižuje.
- Využitím magnetického pole opačné polarity, než bylo pole použité při provádění zkoušky. Velikost tohoto pole musí být experimentálně vyzkoušená. Tímto způsobem nedojde k úplnému odmagnetování, po skončení odmagnetování se pole opět projeví, ale v menší míře.

## 5.2. Metody kontroly vnitřních vad

Mezi nejpoužívanější metody indikace vnitřních vad patří radiografická zkouška a ultrazvuková zkouška, které jsou popsány v této podkapitole.

### 5.2.1. Radiografická zkouška (RT)

Radiografické zkoušení svarových spojů je upraveno normou *ČSN EN ISO 17636-1*. Používá se buď rentgenové záření produkované tzv. rentgenkou, nebo zářením gama vznikající při rozpadu radioizotopů iridium 192 a kobalt 60 (v menší míře se používá také selen 75). Rentgenové záření se používá pro předměty o menší tloušťce nebo o menší hustotě, je vhodnější pro defektoskopii plechů a bodových svarů. Po průchodu zkoušeným vzorkem dopadá ionizační záření na citlivý film, nebo na digitální detektor. Pokud je v materiálu dutina nebo trhlinka, potom toto místo pohltí méně záření oproti plnému materiálu. To se projeví na radiogramu menší expozicí tzn. jako tmavší skvrna [20].

#### **Filmová radiografie**

Filmová radiografie využívá film složený z tenkého plastu potaženého jemnou vrstvou bromidu stříbrného na jedné straně, a to na jedné nebo na obou stranách. Při působení radiace dochází k reakci a k vzniku černého kovového stříbra. Toto stříbro je později fixováno na plast během procesu vyvíjení a po vysušení se stává dokončeným rentgenovým obrazem (tzv. radiogramem).

Aby byla folie použitelná, musí kontrolovaná oblast vykazovat na filmu určité rozmezí hustoty, dostatečný kontrast a citlivost, aby bylo možné rozeznat nespojitosti v materiálu. Tyto vlastnosti závisí na intenzitě záření, vzdálenosti zdroje od folie a na tloušťce kontrolované součásti. Tuto zkoušku upravuje norma *ČSN EN ISO 17636-1 Nedestruktivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film* [20] [2].

#### **Nepřímá digitalizace**

Computed radiography (CR) je přechodová technologie mezi filmem a přímou digitální radiografií. Tato technologie využívá opakovaně použitelnou fosforovou destičku, která je vložena do kazety a po

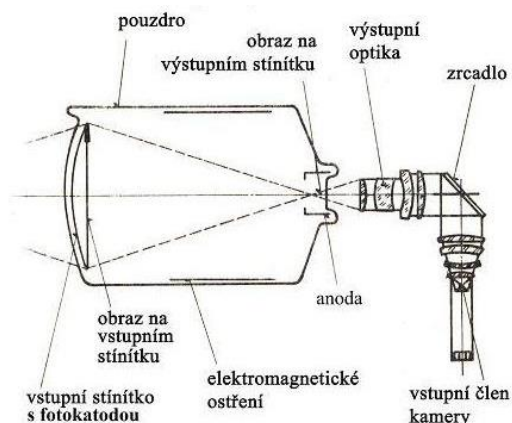
ozáření je vložena do laserové čtečky kde je obraz naskenován a převeden do digitální podoby. Tento proces trvá jednu až pět minut. Takto vytvořený obraz je poté nahrán do počítače a lze ho vyhodnotit [20].

### Digitální radiografie

Digitální radiografie (DR) digitalizuje radiaci procházející skrz zkoumaný objekt přímo do obrazu, který lze zobrazit na monitoru. Používají se snímače na bázi amorfního křemíku, CCD (Charge-Coupled Device), nebo CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor). Tato technologie výrazně zrychluje proces kontroly, obraz je vytvořen během několika sekund. Zároveň umožňuje vytvořit obraz o vyšším rozlišení oproti nepřímé radiografii. Digitální radiografii upravuje norma ČSN EN ISO 17636-2 *Nedestruktivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení – Část 2: Metody rentgenového a gama záření využívající digitální detektory* [20] [2].

### Radioskopická metoda

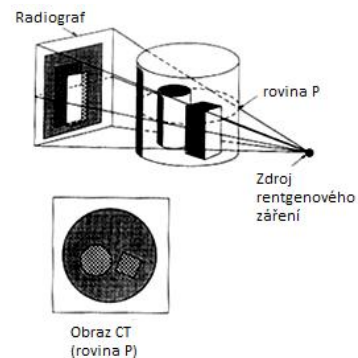
Radioskopie využívá zesilovač obrazu pro převod ionizujícího záření na viditelný obraz. Fotony ionizujícího záření dopadají na vstupní stínítko s vrstvou luminoforu, který mění toto záření s vysokou energií na záření viditelné. Vstupní stínítko je ve spojení s fotokatodou, ze které jsou působením světelných fotonů emitovány elektrony. Působením napětí mezi katodou a anodou jsou elektrony urychlovány a dopadají na výstupní stínítko, které je také pokryto luminofory a vyzařuje světelné fotony. Obraz je možné elektromagneticky zaostřovat. Vzhledem k tomu, že ionizující záření prochází celým přístrojem, je výhodné odklonit svazek světla z původní dráhy pomocí optického hranolu. Poté svazek fotonů dopadá na vstupní člen snímáči kamery [21].



Obrázek 26 Radioskopický zesilovač obrazu [21]

### Výpočetní tomografie

Výpočetní tomografie používá počítač k rekonstrukci obrazu průřezové roviny objektu. Obraz CT je vytvořen z několika pohledů vytvořených v různých pozorovacích úhlech, které jsou rekonstruovány s použitím počítače. Při použití běžné radiografie není možné přesně určit polohu vnitřních vad, což tato metoda umožňuje [20].



Obrázek 27 Porovnání radiografu a obrazu CT [20]

### 5.2.2. Ultrazvuková zkouška (UT)

Ultrazvuková metoda umožňuje zjištění vnitřních vad ve velké hloubce pod povrchem. Používá se při diagnostice tvářených polotovarů, svarů, odlitků, a je používána i při zkoušení některých druhů plastů a kompozitů [22].

Tato zkouška využívá vlastností ultrazvukových vln šířících se pevnou látkou. Ultrazvuková vlna se odráží od každého rozhraní, kterým může být např. vnitřní vada v materiálu. S vyšší frekvencí je možné detekovat menší vady, používají se frekvence od 0,5 MHz do 25 MHz. Výhodou ultrazvukové metody je vysoká možnost automatizace [22].

Metody ultrazvukové defektoskopie lze obecně rozdělit na přechodovou a odrazovou metodu. Při použití přechodové metody je potřeba dvou sond, které jsou umístěny naproti sobě, přičemž jedna z nich vysílá vlnění a druhá ho přijímá. Využívá se zeslabení v případě přítomnosti vady. Nevýhodou metody je použitelnost pouze pro vhodné protilehlé povrchy. V případě, kdy se vada nalézá v příliš velké vzdálenosti od přijímací sondy, dochází z důvodu ohybu vlnění k uzavření akustického stínu a přijímací sonda zaznamená rovnoměrnou intenzitu vlnění v místě vady jako v místě bez vady. Odrazová metoda využívá odrazů (ech), které vznikají v místech vad. Pro indikaci ech se běžně využívá stejná sonda, kterou se ultrazvuk vysílá do materiálu. Nevýhodou odrazové metody je tzv. „mrtvé pásmo“ které omezuje zjišťování vad v blízkosti zkoušeného povrchu. Vysílací impuls sondy má určitou dobu trvání a v případě, že je vada příliš blízko, dojde ke splnutí echa s vysílaným impulsem [19].

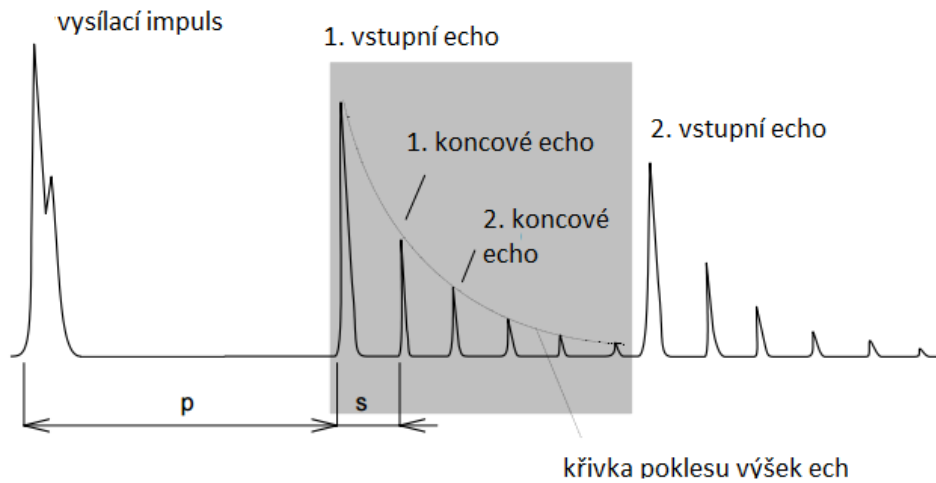
Konkrétní aplikace ultrazvukové metody na zkoušení bodových odporových svarů je podrobně popsána v následující kapitole.

## 6. Ultrazvuková zkouška (UT) bodových odporových svarů

### 6.1. Princip ultrazvukové zkoušky

Při zkoušení bodového svaru se přiloží sonda kolmo na bodový svar. Nejprve měnič (prvek, který převádí elektrickou energii na mechanickou a naopak) vytvoří ultrazvukový impuls, který se šíří předsádkou a částečně se odrazí na rozhraní předsádky a materiálu. Při dopadu zpět na měnič se vytvoří tzv. vstupní echo. Zbytek původního impulsu se šíří dál materiálem svaru, dokud nenarazí na překážku, což je v případě svaru bez vady až zadní stěna součásti. Zde se odrazí zpět směrem k měniči, kde vytvoří 1. koncové echo. Při tom se na rozhraní materiálu a sondy část impulsu odrazí do svaru a putuje až na zadní stěnu, kde se odrazí, projde svarem zpět a vytvoří 2. koncové echo. Takto se ultrazvuk několikrát odrazí a vznikne série koncových ech, jejichž intenzita klesá kvůli útlumu v materiálu a vlivem rozdělení energie na procházející a odraženou část [3].

Při dopadu vstupního echa na měnič se část energie odrazí zpět do předsádky a do svaru a vznikají násobná vstupní echa.



Obrázek 28 Echogram svaru bez vady [3]

$p$  délka předsádky  
 $s$  tloušťka zkoušeného vzorku

Pokud je ve svaru přítomná vada, pak se ultrazvuk od této vady odrazí, což se v echogramu projeví jako meziecho (vadové echo) mezi dvěma koncovými echy.

## 6.2. Ultrazvukové sondy

Pro kontrolu bodových svarů se používají sondy s vodní nebo plexisklovou předsádkou. Ultrazvukové vlny generované sondou mají frekvenci 10 MHz, 15 MHz nebo 20 MHz. Vysoká frekvence je potřeba pro dostatečnou citlivost při zkoušení tenkých plechů [23].

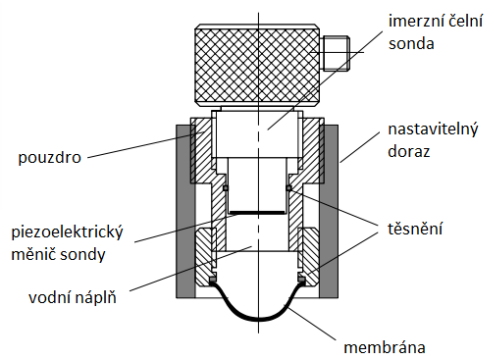
Měnič sondy je silně tlumený, aby vytvořený impuls byl krátký. Impuls tvoří jeden až dva překomity, čímž vznikne

úzké echo se strmou náběžnou hranou. Průměr měniče se volí podle průměru svarové čocky zkoušeného svaru. Použití nevhodného (hlavně většího) průměru sondy vede k nesprávným výsledkům [3].

Délka předsádky nesmí být příliš velká, aby se mezi vstupní echa vešel dostatečný počet koncových ech. Zároveň nesmí být příliš dlouhá, aby se svar nacházel v blízkém poli sondy a průměr ultrazvukového svazku přibližně odpovídal průměru měniče. Uspořádání je patrné z obrázku 29 [3].

## 6.3. Vyhodnocení echogramů

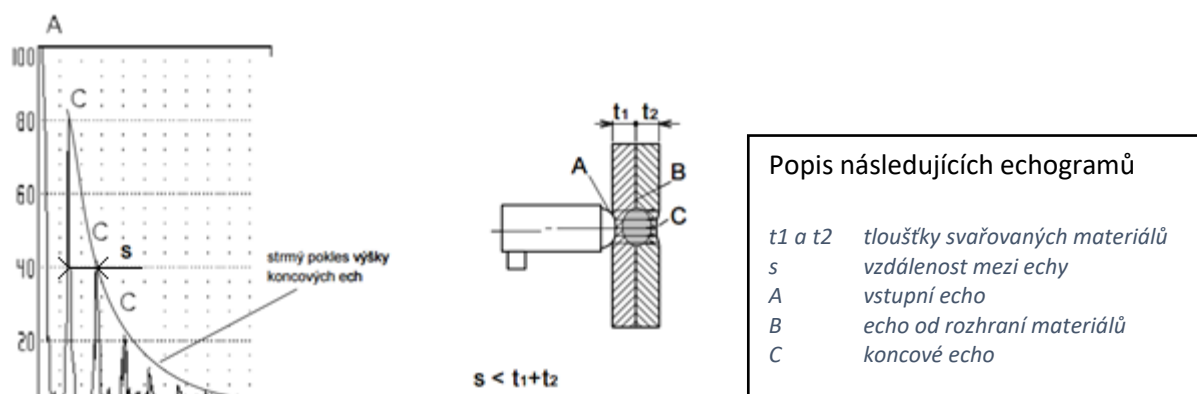
V následujících podkapitolách jsou zobrazeny a popsány typické echogramy pro vyhovující bodový svar a nejčastěji se vyskytující vady.



Obrázek 29 Sonda pro zkoušení bodových svarů [23]

### 6.3.1. Vyhovující svar

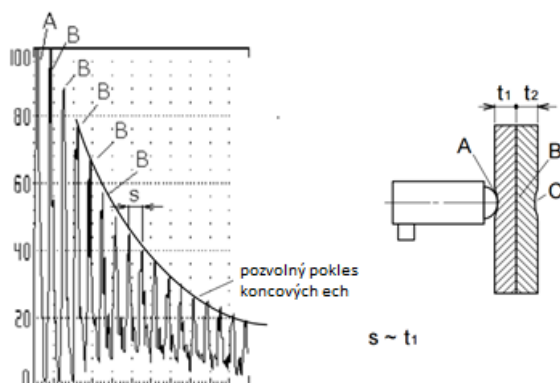
Echogram svaru bez vady je charakterizován strmým poklesem koncových ech. Jejich vzdálenost je menší než součet tlouštěk obou plechů z důvodu vtisku elektrod. Útlum je vyšší než v základním materiálu kvůli hrubozrnné struktuře svarové čocky. Šum má amplitudu nižší než 10 % obrazovky, jestliže 1. vstupní echo je nastaveno na 80 % obrazovky [3] [23].



Obrázek 30 Průběh ech u vyhovujícího svaru [23]

### 6.3.2. Nepřítomnost svaru

Pokud nedojde vůbec k propojení materiálů vytvoří se echogram se vzdáleností ech odpovídající tloušťce prvního plechu. Vznikne velké množství koncových ech s malým útlumem, protože základní materiál s menší velikostí zrn má nižší útlum v porovnání se svarovou čockou [23] [3].

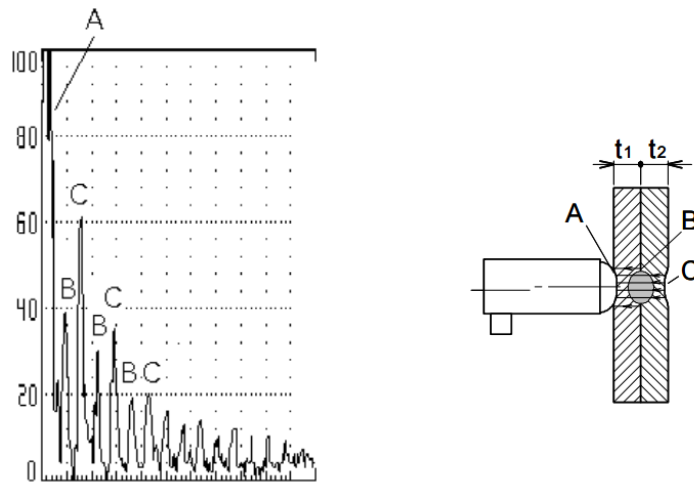


Obrázek 31 Průběh ech při absenci svaru [23]

### 6.3.3. Malý průměr svarové čocky

Při ultrazukové zkoušce průměr svazku odpovídá průměru svarové čocky. V případě malého průměru svarové čocky dochází k odrazu od okraje čocky nebo od rozhraní plechů. Tím vznikají meziecha, která

jsou v echodiagramu mezi koncovými echy. Obalová křivka mezíech má menší sklon než obalová křivka hlavních ech. Vzdálenost mezíech od hlavních ech odpovídá tloušťce horního plechu [3] [23].

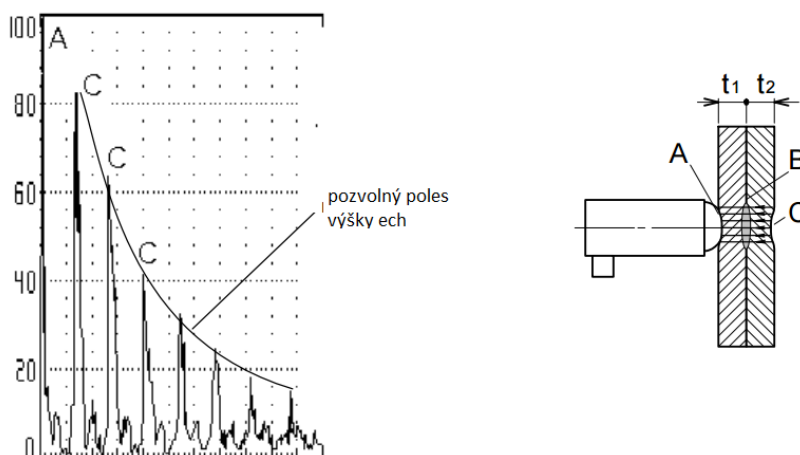


Obrázek 32 Průběh ech při podrozměrném svaru [23]

#### 6.3.4. Studený spoj

Častá vada bodového svaru. Svařovací proud nedodá dostatečné množství energie pro vznik svaru a plechy se pouze tzv. „slepí“. Ve svaru proběhne pouze malá nebo žádná změna struktury (nárůstu zrna). Se svaru tedy zůstává původní velikost zrna. Svarová čočka je tenká a v echogramu se projeví výrazně méně na poklesu koncových ech než u dobrého svaru. Sled koncových ech tedy klesá pomaleji než u dobrého svaru s hrubozrnnou strukturou. Vzdálenost mezi koncovými echa je větší než u dobrého svaru [3].

Echogram studeného spoje, který je vzniklý natavením zinkové vrstvy bude zároveň obsahovat vadová mezíecha, protože vrstva tvořící studený spoj odráží část vlnění zpět do sondy [3].

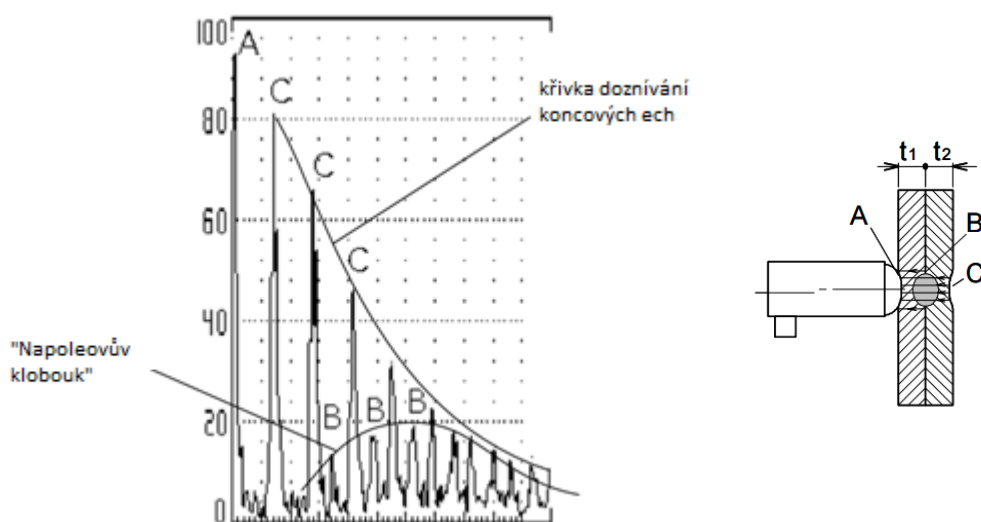


Obrázek 33 Průběh ech u studeného spoje [23]



### 6.3.5. Malý spoj a sousedící „přilepená“ zóna

Často se vyskytuje kombinace vad slepeného spoje a malého průměru čochky. Meziecha od přilepené zóny jsou viditelná od 2. až 3. koncového echa a jejich sled má charakteristický průběh tzv. „Napoleonův klobouk“. Velikost vadových ech se postupně zvyšuje v důsledku interference, dosáhne maxima a postupně klesá. V případě, že jsou použity dva plechy stejné tloušťky, zobrazují se meziecha uprostřed mezi koncovými echy [3].

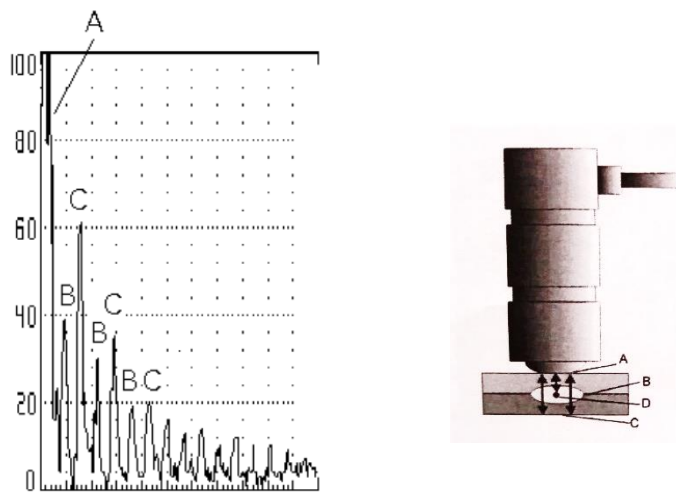


Obrázek 34 Průběh ech u malého spoje s "přilepenou zónou" [23]

### 6.3.6. Vady ve svaru

Vady ve svaru mohou vzniknout z důvodu použití příliš vysokého svařovacího proudu, který způsobí tvorbu pórů v tavenině. V takovém případě jsou v echogramu viditelné vadové meziechy vzniklé odrazem ultrazvukových vln od pórů. V materiálu může být více takových pórů, které tvoří odpovídající indikace. Pokles sledu koncových ech bývá rychlejší než u vyhovujícího svaru. Polohu vady pod povrchem je možné určit podle polohy meziechy mezi koncovými echy [3].

Vady ve svaru mohou také vznikat jako důsledek nečistot na povrchu. Dalšími příčinami mohou být příliš dlouhý čas svařování, příliš malý tlak elektrod, nebo nerovnoměrnost zinkového povlaku [3].



Obrázek 35 Průběh ech v případě výskytu vad ve svaru [3]

#### 6.4. Kontrola ve výrobě

Karoserie automobilu obsahuje asi 5000 svařů (viz tabulka 1, kapitola 3) plechů o různých tloušťkách. Význam kontroly roste v důsledku zvyšujících se požadavků na bezpečnost a kvalitu.

Systémy používané pro kontrolu bodových svařů ve výrobě jsou vybaveny automatickým vyhodnocování svařů pomocí specializovaných softwarů [24].



Obrázek 36 Ukázka ultrazvukové kontroly ve výrobě [24]

Pro zvýšení produktivity se také používá automatizované zkoušení pomocí robotů, které zaručí stejný přítlak sondy, jenž je vzhledem k opakovatelnosti hodnocení echogramů důležitý. Využívá se při tom stejných robotů jako pro bodové svařování, místo svařovacích elektrod je však na šesté ose umístěna ultrazvuková sonda. V tomto případě je vyhodnocování provedeno pomocí vyhodnocovacího softwaru [3].

## 7. Experimentální část

Cílem experimentu je ověřit použitelnost ultrazukové metody kontroly bodových odporových svarů při svařování různými svařovacími parametry porovnáním s destruktivními zkouškami.

### 7.1. Zařízení použítá pro provedení experimentu

#### **Odporový svařovací lis Dalex**

Při experimentu byl použit odporový svařovací lis Dalex s řídicí jednotkou SER Mega 2 MF. Bylo použito ovládání svařovacího lisu pomocí nožního spínače.

*Tabulka 5 Parametry odporového svařovacího lisu*

Síťové napětí	400 V;50 Hz
Jmenovitý výkon při 50 % DZ <sup>1</sup>	100 kVA
Max. svařovací výkon	246 kVA
Max. svařovací proud	29,6 kA
Rozsah přitlačné síly elektrod	100 až 600 daN
Vyložení ramen	550 mm



*Obrázek 38 Rameno svařovacího lisu*



*Obrázek 37 Použitý svařovací lis*

---

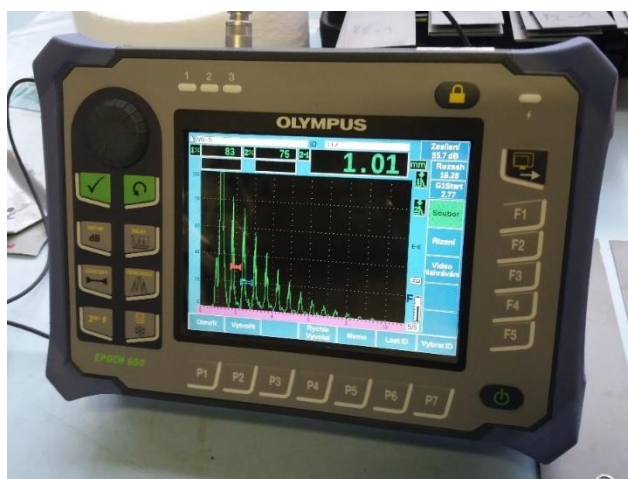
<sup>1</sup> Dovolené zatížení svářecího zdroje

## Ultrazukový defektoskop Olympus Epoch 650

Pro provedení ultrazukové zkoušky byl použit přístroj Olympus Epoch 650 se sondou na bodové svary s vodní předsádkou a vyměnitelnou pryžovou membránou.

Tabulka 6 Parametry přístroje Olympus epoch 650 a použité ultrazukové sondy

Rozsah pulsní frekvence	10 Hz až 2000 Hz
Délka pulsu	25 ns až 5000 ns
Použitá sonda	V2440 Delay line / Water col spo
Průměr měniče použité sondy	4 mm
Použitá pulsní frekvence	20 MHz



Obrázek 40 Olympus Epoch 650



Obrázek 39 Ultrazuková sonda V2440 Delay line

## Trhací stroj LabTest 5.100SP1

Pro zkoušku stříhem byl použit digitální vertikální hydraulický zkušební stroj Labtest 5.100 SP1 se systémem měření síly dle ČSN EN 7500-1.

Tabulka 7 Parametry trhacího stroje [25]

Rozsah zatížení	0 kN až 2000 kN
Rozsah měření síly	0,4 až 100 % rozsahu snímače
Vzorkovací frekvence	1 kHz
Rozlišení polohy příčnicku	1 $\mu$ m



Obrázek 41 Trhací stroj LabTest 5.100SP1

### Použitý základní materiál

Při experimentu byl použit základní materiál pozinkovaný plech z hlubokotažné oceli DC06 o tloušťce 0,7 mm. Tloušťka zinkové vrstvy byla změřena elektromagnetickou metodou přístrojem DeFelsko Positector 6000 dle ČSN EN ISO 2808 a její průměrná hodnota je 4,3  $\mu\text{m}$ .

Tabulka 8 Chemické složení základního materiálu DC06 [26]

C	Mn	P	S	Si	Ti
0,02 %	0,25 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,3 %

Tabulka 9 Mechanické vlastnosti základního materiálu DC06 [8]

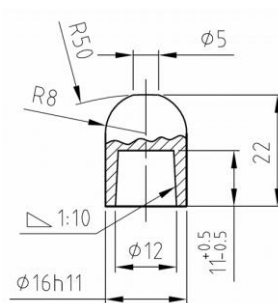
Mez kluzu Re	Mez pevnosti Rm	Tažnost A <sub>80</sub>
max. 180 MPa	270 MPa až 350 MPa	41 %

### Použité svařovací elektrody

Při experimentu byly použity elektrodové čepičky 39 D 1978-1 - CuCr1Z (skupina A) s průměrem plochy elektrody 5 mm.



Obrázek 432 Použité svařovací elektrody



Obrázek 423 Rozměry použitých svařovacích elektrod

## 7.2. Postup měření

Pro výrobu zkušebních vzorků byly použity vzorky nastříhané z tabule plechu, jejichž rozměry jsou uvedeny v následující tabulce. Vždy ze dvou vzorků plechu, které byly přeplátovány byly svařeny zkušební vzorky svarových spojů.

*Tabulka 10 Rozměry vzorků použitých při experimentu*

Tloušťka t	Přeplátování a	Šířka vzorku b	Délka vzorku $l_s$	Délka jednotlivých zkušebních ústřížků $l_t$
0,7 mm	35 mm	45 mm	175 mm	105 mm

Byly zhotoveny vzorky bodových odporových svarů vyrobené pomocí různých svařovacích parametrů, vždy po sérii pěti svarů se stejnými svařovacími parametry.

Na řídicí jednotce svařovacího lisu byly měněny svařovací parametry – čas působení svařovacího proudu, velikost svařovacího proudu a velikost přitlačné síly. Svařované plechy byly očištěny hadříkem a vloženy mezi elektrody s požadovaným přesahem přeplátování. Poté bylo spuštěno svařování pomocí nožního spínače svařovacího lisu.

Svařovací parametry byly voleny tak, aby vznikly vyhovující i nevhovující svary. Použité svařovací parametry jsou uvedeny v tabulce 11 na následující stránce.

Tabulka 11 Použité svařovací parametry pro jednotlivé série vzorků

	Čas svařování (period)	Čas svařování (ms)	Přítlačná síla (kN)	Svařovací proud
V1	8	160	1,9	7
V2	8	160	2	7
V3	8	160	2,1	7
V4	9	180	1,9	7
V5	9	180	2	7
V6	9	180	2,1	7
V7	10	200	1,9	7
V8	10	200	2	7
V9	10	200	2,1	7
V10	8	160	1,9	8
V11	8	160	2	8
V12	8	160	2,1	8
V13	9	180	1,9	8
V14	9	180	2	8
V15	9	180	2,1	8
V16	10	200	1,9	8
V17	10	200	2	8
V18	10	200	2,1	8
V19	8	160	1,9	9
V28	8	160	1,9	6
V29	8	160	2	6
V30	8	160	2,1	6
V31	9	180	1,9	6
V32	9	180	2	6
V33	9	180	2,1	6
V34	10	200	1,9	6
V35	10	200	2	6
V36	10	200	2,1	6

### Ultrazvuková zkouška (UT)

Pro kontrolu bodových svarů byla použita sonda s měničem o průměru 4 mm s předsádkou na bázi vodního sloupce s pryžovou membránou. Na zkoušený svar byla nanesena tenká vrstva gelu. Ultrazvuková sonda byla přiložena kolmo ke svaru. Náklon sondy byl mírně měněn tak, aby první koncové echo dosáhlo přibližně 80 % obrazovky. Potom byl obraz zaznamenán a uložen. Vyhodnocení svarů bylo provedeno na základě vlastností echogramů, které byly popsány v kapitole 6. Typické případy vyhodnocení reálných záznamů jsou dále uvedeny v podkapitole 7.3. Ultrazvuková zkouška byla provedena u všech svarů v sérii. Dále byla zaznamenána tloušťka stlačených plechů. Z těchto údajů bylo provedeno celkové vyhodnocení ultrazvukové zkoušky (Vyhovuje/Nevyhovuje).

## **Metalografický výbrus**

U prvního vzorku ze série byl zhotoven metalografický výbrus. Výsledné obrazy makrostruktury byly převzaty od Ing. Ladislava Kolaříka, Ph.D., IWE. Postup přípravy metalografického výbrusu byl následující: Dělení vzorku bylo provedeno ruční

metalografickou pilou s intenzivním chlazením Labotom 3 (od firmy Struers). Byl použit kotouč na běžné materiály s 3D segmenty 46A25. Preparace vzorku byla provedena na metalografickém lisu pro zalévání za tepla CitoPress (od firmy Struers). Jako zalévací hmota byl použit multimet (černý termoset). Broušení a následné leštění vzorku bylo provedeno na metalografické brusce/leštičce Phoenix Beta (od firmy Buehler). Pozorování vzorku bylo provedeno na invertovaném metalografickém mikroskopu Axio Observer Dm1 (od firmy Zeiss) osazeném kamerou komunikující s vyhodnocovacím softwarem Axio Vision.

Z obrazu makrostruktury byly dále odečteny geometrické charakteristiky.

## **Zkouška stříhem**

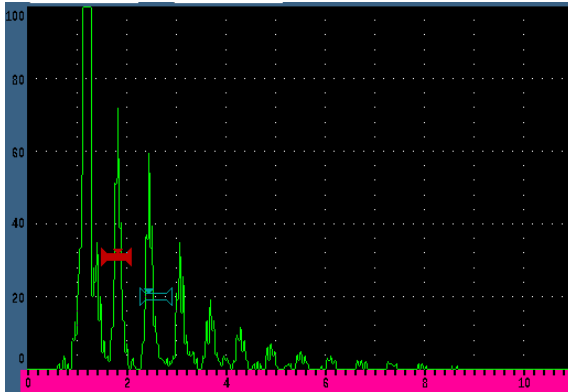
Zkouška stříhem byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 14273 a to na třech vzorcích z každé série (vzorky označené 2 až 4). Vzorky byly upnuty do čelistí trhacího stroje. Počáteční posuv čelistí byl 5 mm/min a po dosažení 100 N byl posuv 10 mm/min. Po ukončení zkoušky byl vzorek vyjmut a byla změřena velikost svarové čočky (podle normy ČSN EN ISO 14273, viz podkapitola 4.4).

Pátý vzorek ze série byl ponechán jako záložní.



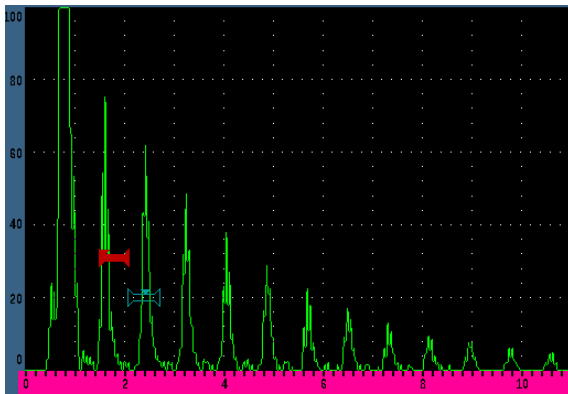
### 7.3. Typické případy vyhodnocení echogramů

V této podkapitole jsou uvedeny typické případy vyhodnocení reálných záznamů echogramů.



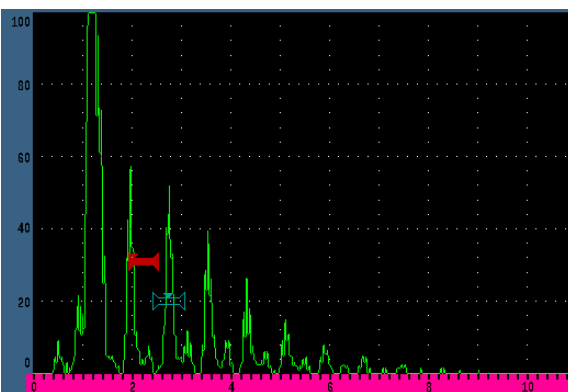
Obrázek 44 Echogram vyhovujícího svaru

U vyhovujícího spoje je pokles koncových ech dostatečně strmý a v echogramu nejsou patrná žádná vadová meziecha.



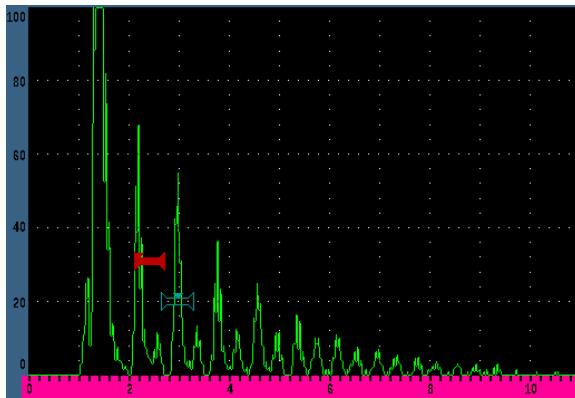
Obrázek 45 Echogram vzorku se studeným spojem

Studený spoj je charakterizovaný velkým počtem koncových ech z důvodu malého útlumu v materiálu, který není dostatečně provařen.



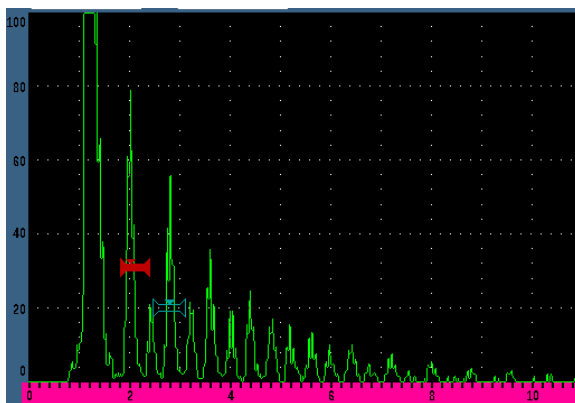
Obrázek 46 Echogram vzorku s vadami ve svaru

V echogramu vzorku s vadami ve svaru jsou znatelná meziecha způsobená odrazem ultrazvuku od vady.



Obrázek 48 Echogram vzorku s malým průměrem svarové čochky

V echogramu vzorku s malým průměrem svarové čochky jsou viditelná echa způsobená odrazem ultrazvuku od nesvařených plechů



Obrázek 47 Echogram malého spoje se sousedící „přilepenou“ zónou

V echogramu malého spoje s přilepenou zónou je viditelný nárůst a poté pokles velikosti vadových ech (tzv. „Napoleonův klobouk“)

#### 7.4. Požadované vlastnosti vyhovujícího svaru

Z příslušných norem a předpisů byly určeny kritéria hodnocení kvality svarových spojů. Svary nesmí obsahovat vnitřní vady. Průměr svarové čochky musí být alespoň  $4\sqrt{t}$ , což pro danou tloušťku plechu odpovídá **3,35 mm** (při experimentu byl použit materiál tloušťky 0,7 mm). Maximum velikosti svarové čochky je  $5\sqrt{t}$ , což odpovídá **4,18 mm**. Minimální tloušťka spojených plechů by měla být součet tloušťek obou plechů snižena o 25 %. V tomto případě je minimální tloušťka **1,05 mm** (to odpovídá vtisku elektrod **0,35 mm**). Orientační vyhovující hodnota střížné síly je **3 520 N**. Tato hodnota byla stanovena na základě předběžného vyhodnocení a podle vzorku číslo V34 jehož střížná síla (3 512 N) je nejvyšší ze všech vzorků s viditelnými vadami v obrazu makrostruktury. Orientační vyhovující hodnota střížné síly byla zvolena tak, aby všechny vzorky, jejichž metalografický obraz obsahuje viditelné vady měly nižší průměrnou střížnou sílu než vyhovující hodnota. Tento údaj je zde uváděn pouze pro srovnání.

Výsledky zkoušek byly vzájemně porovnány. Dále následuje ukázka naměřených hodnot a vyhodnocení pro jednu zkušební sérii (série V1). Údaje pro ostatní zkušební série (V2 až V36) jsou uvedeny v příloze.

# Zkušební série - V1

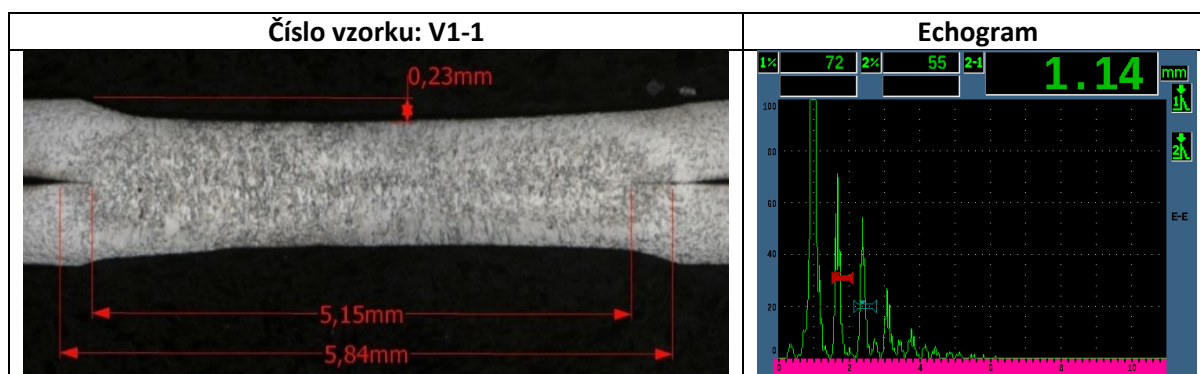
## Svařovací parametry

Tabulka 12 Svařovací parametry zkušební série V1

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus

Tabulka 13 Metalografický výbrus (zkouška makrostruktury) 1. vzorku ze série V1 a echogram příslušného vzorku (vpravo)



Tabulka 14 Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu vzorku V1-1

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,15
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,84
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,23

## Zkouška stříhem

Tabulka 15 Naměřené hodnoty střížné síly a průměrů svarové čočky 2. až 3. vzorku série V1 a jejich průměrná hodnota

	Střížná síla $F_m$ (N)	Průměr svarové čočky $d_n$ (mm)
V1-2	3 280	5,35
V1-3	3 181	4,96
V1-4	3 157	5,08
PRŮMĚR	3 206	5,13

## Zkouška ultrazvukem

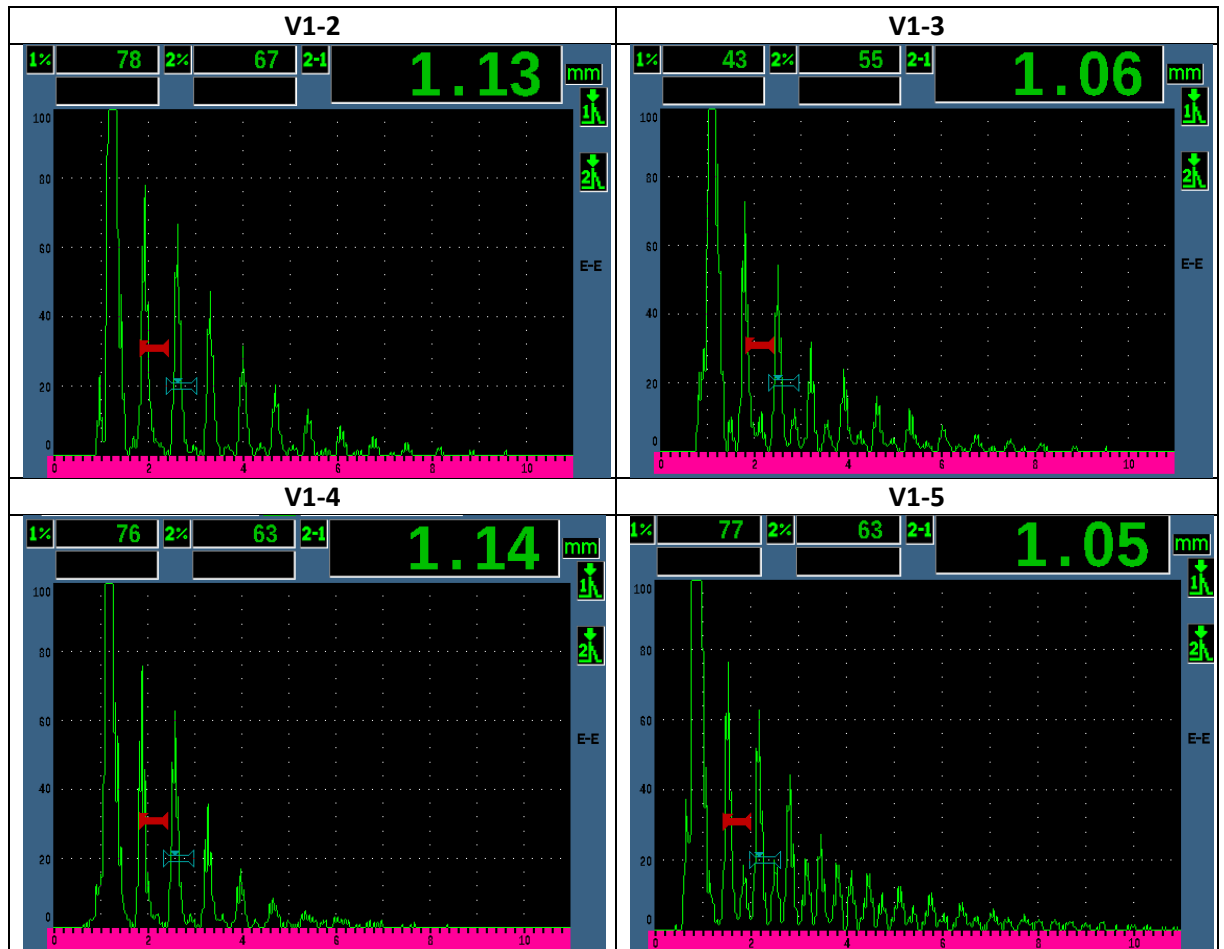
Tabulka 16 Vyhodnocení průběhů echogramů, tloušťky stlačených plechů a celkové vyhodnocení u jednotlivých vzorků série V1

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V1-1	Vady ve svaru	1,14 mm	Nevyhovuje
V1-2	Vyhovující svar	1,13 mm	Vyhovuje
V1-3	Vady ve svaru	1,06 mm	Nevyhovuje
V1-4	Vyhovující svar	1,14 mm	Vyhovuje
V1-5	Malý spoj s přilepenou zónou	1,05 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V1

Echogram vzorku V1-1 obsahuje vadová echa, která odpovídají pórovitosti v metalografickém výbrusu. Vadová echa se vyskytují i v echogramu vzorku V1-3. Echogram V1-5 odpovídá malému spoji s přilepenou zónou, což indikuje tzv. „Napoleonův klobouk“ v echogramu. Echogramy vzorků V1-2 a V1-4 odpovídají vyhovujícímu spoji. Průměrná velikost střížné síly 3 206 N je příliš nízká. Průměrná velikost svarové čočky 5,13 mm je větší než maximální dovolená hodnota. Velikost stlačení plechů je u všech vzorků vyhovující (do 25 %).

Tabulka 17 Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V1



## 7.5. Vyhodnocení experimentu

V následující tabulce je uvedena úspěšnost diagnostiky u každého jednotlivého vzorku.

Legenda:

A vyhodnocení UT odpovídá výsledkům zkoušky makrostruktury a zkoušky stříhem

N vyhodnocení UT neodpovídá výsledkům zkoušky makrostruktury a zkoušky stříhem

*Tabulka 18 Shoda vyhodnocení UT kontroly v porovnání se zkouškou makrostruktury a zkouškou stříhem*

	1	2	3	4	5
V1	A	N	A	N	A
V2	N	A	A	A	N
V3	A	A	A	A	A
V4	A	A	A	A	A
V5	A	A	A	A	A
V6	A	A	A	A	A
V7	A	A	A	A	A
V8	A	A	A	A	A
V9	A	A	A	A	A
V10	A	A	A	A	A
V11	A	A	A	A	A
V12	A	A	A	A	A
V13	A	A	A	A	A
V14	A	A	A	A	A
V15	A	A	A	A	A
V16	A	A	A	A	A
V17	A	N	A	A	A
V18	A	A	A	A	A
V19	A	A	-	-	-
V28	N	N	N	N	N
V29	A	A	A	A	A
V30	A	A	A	A	A
V31	A	A	A	A	A
V32	A	A	A	A	A
V33	A	A	A	A	A
V34	A	A	N	A	N
V35	A	A	A	N	A
V36	N	N	A	N	A

*Tabulka 19 Počet správně a nesprávně diagnostikovaných vzorků, celková úroveň shody*

	Počet
A	121
N	16
Úspěšnost	88,3 %

## 8. Závěr

Celková úroveň shody ultrazvukové metody s destruktivními zkouškami v experimentu byla stanovena na 88,3 %.

Vyhodnocování echogramů bylo v některých případech nejednoznačné, hraniční. Použití manuální ultrazvukové metody klade vysoké nároky na zkušenosti obsluhy, a to jak ve správném přiložení sondy, tak z hlediska vyhodnocení echogramu. Přesnější vyhodnocení by mohl umožnit software vycházející ze znalosti diagnostiky většího množství svarů.

Zjištěná úroveň úspěšnosti UT je částečně závislá na zvolených svařovacích parametrech. Svařovací parametry byly v tomto experimentu voleny tak, aby došlo ke vzniku vyhovujících i nevyhovujících svarů. Pro zjištění použitelnosti v konkrétní aplikaci by bylo potřeba provést experiment s konkrétními svařovacími parametry.

Při porovnání měření tloušťky stlačených plechů pomocí ultrazvuku byla zjištěna průměrná odchylka od hodnoty určené ze zkoušky makrostruktury 1,65 %, což může být způsobeno nepřesností odečtu hodnoty z metalografického výbrusu. Z tohoto hlediska lze považovat ultrazvukovou zkoušku za velmi přesnou.

Větší množství vzorků bylo diagnostikováno jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení svařovaných plechů. Pro snížení množství takových svarů by bylo potřeba volit menší přitlak elektrod, aby nedocházelo k tak velkému stlačení plechů.

Ve velkém množství případů byla zjištěná velikost svarové čočky větší, než bylo požadováno. Důvodem vzniku velkých svarových čoček bylo pravděpodobně použití elektrody s poměrně velkým průměrem svarové plochy 5 mm (tato elektroda je používána pro svařování stejného typu plechů ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.). Požadovaná velikost svarové čočky by měla být stanovena výrobcem pro danou konkrétní aplikaci.

Vyhovující svarové spoje byly vytvořeny pro svařovací proud 160 ms, přitlačnou sílu 1,9 kN a svařovací proud 6 A. U těchto svarů byla zjištěna vyhovující velikost stlačení plechů, dostatečná velikost stříhové síly a v obrazu makrostruktury nebyly patrné žádné vady.

Použití UT metody je výhodné z důvodu výrazného snížení nákladů na kontrolu v porovnání s destruktivními zkouškami. Další výhodou je vysoká možnost automatizace, která je ve výrobě realizována pomocí šestiosých robotů s ultrazvukovou sondou. Pro vyhodnocení echogramů je poté využíván vyhodnocovací software.

## 9. Seznam použitých literárních zdrojů

- [1] NEUMANN, Heinz. *Odporové svařování, podklady pro kurz IWE*. 2006.
- [2] KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařování elektrickým odporem, studijní podklady*. Praha : ČVUT, Ústav strojírenské technologie.
- [3] MATOUŠEK, Jan. *Nedestruktivní kontrola bodových svarů v automobilovém průmyslu*. Praha : Advanced Technology Group s. r. o., 2016.
- [4] JANOTA, M. *Procesy a riadenie odporového zvarania*. Bratislava : VUT, 1985.
- [5] ZHANG, Hongyan a SENKARA, Jacek. *Resistance welding*. Londýn : Taylor & Francis Group, 2006. ISBN 0-203-61639-1.
- [6] *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 2 Tlakové svařování*. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. ČSN ISO 6520-2.
- [7] FOREJTOVÁ, Lucie, a další. Svařitelnost ocelí pro karoserie automobilů. *MM Průmyslové spektrum*. 2017, 3.
- [8] DVOŘÁK, Milan a PILVOUSEK, Tomáš. *Přednáška VUT*. Brno : Škoda Auto a.s., 2014.
- [9] MAZANCOVÁ, Eva. *Technické materiály I Kovové materiály*. Ostrava : VŠB - Technická universita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2577-9.
- [10] Extract from the product catalogue. [Online] 6. 10 2015. [Citace: 10. 3 2017.] <http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/ArcelorMittal%20Automotive%20product%20offer%20EN.pdf>.
- [11] Steel types. *World Auto Steel*. [Online] World steel association. [Citace: 7. 3 2017.] <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/>.
- [12] Povrchové úpravy v autoprůmyslu - Škoda Superb. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 13. 10 2004. [Citace: 10. 3 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-v-autoprumslyu-skoda-superb.html>.
- [13] *Příručka žárového zinkování*. Ostrava : Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011.
- [14] PILVOUSEK, Tomáš. Lehké konstrukce automobilů - Specifické povlaky hlubokotažných ocelí. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 14. Prosinec 2016. [Citace: 20. Duben 2017.]

<http://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-automobilu-specificke-povlaky-hlubokotaznych-oceli.html>.

[15] *Odporové svařování - Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů*. místo neznámé : Český normalizační institut, 2007. ČSN ISO 10447.

[16] *Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů*. místo neznámé : Český normalizační institut, 2003. ČSN EN ISO 14272.

[17] *Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů* . místo neznámé : Český normalizační institut, 2003. ČSN ISO 14273.

[18] *Odporové svařování - Zkoušení tvrdosti podle Vickerse (nízká síla a mikrotvrdost) odporových bodových, výstupkových a švových svarů*. 2012. ČSN EN ISO 14271.

[19] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Brno : CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.

[20] Introduction to Nondestructive Testing. ASNT. [Online] [Citace: 19. 3 2017.] <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>.

[21] Radioscopic Testing (RS). ATG. [Online] Advanced technology group . [Citace: 28. 7 2017.] <http://www.atg.cz/ndt-114>.

[22] Ultrasonic Testing (UT). *Advanced technology group*. [Online] ATG. [Citace: 7. 31 2017.] <http://www.atg.cz/ndt-121&display=UT>.

[23] HYŽA, R. a KUČÍK, P. Skúšanie bodových zvarových spojov. *NDT Trade*. [Online] [Citace: 23. 3 2017.] <http://www.ndttrade.cz/UserFiles/File/Skusanie%20bodovych%20zvarovych%20spojov.pdf>.

[24] Spot Weld Inspection. *Scan Master*. [Online] [Citace: 17. 6 2017.] <http://scanmaster-irt.com/products/automotive/spotweld-inspection/>.

[25] Zkušební trhací stroje 0 - 2000kN. *LaborTech*. [Online] 2013. [Citace: 19. 6 2017.] <http://www.labortech.cz/clanek/zkusebni-trhaci-stroje-0-2000kn/17/>.

[26] DC06. *European Steel and Alloy Grades*. [Online] National Technical University KhPI, 2011-2017. [Citace: 7. 27 2017.] [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=203](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=203).

[27] EPOCH 650. *Olympus*. [Online] 19. 3 2017. [http://www.olympus-ims.com/cs/epoch650/#!cms\[tab\]=%2Fepoch650%2Fspecifications](http://www.olympus-ims.com/cs/epoch650/#!cms[tab]=%2Fepoch650%2Fspecifications).



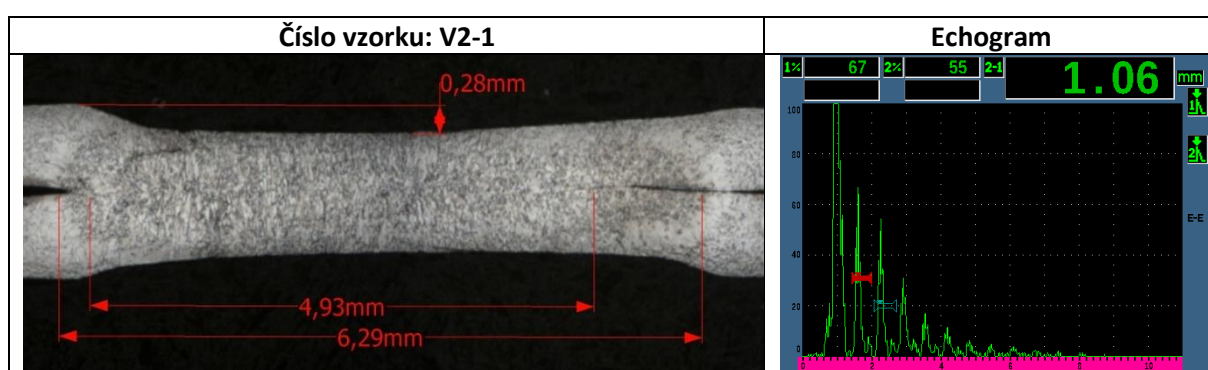
## 10. Příloha

# Zkušební série - V2

### Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	7

### Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čocky	$d_n$ (mm)	4,93
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,29
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,28

### Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	Průměr svarové čocky $d_n$ (mm)
V2-2	3 293	5,27
V2-3	3 249	4,88
V2-4	3 337	4,95
PRŮMĚR	3 293	5,03

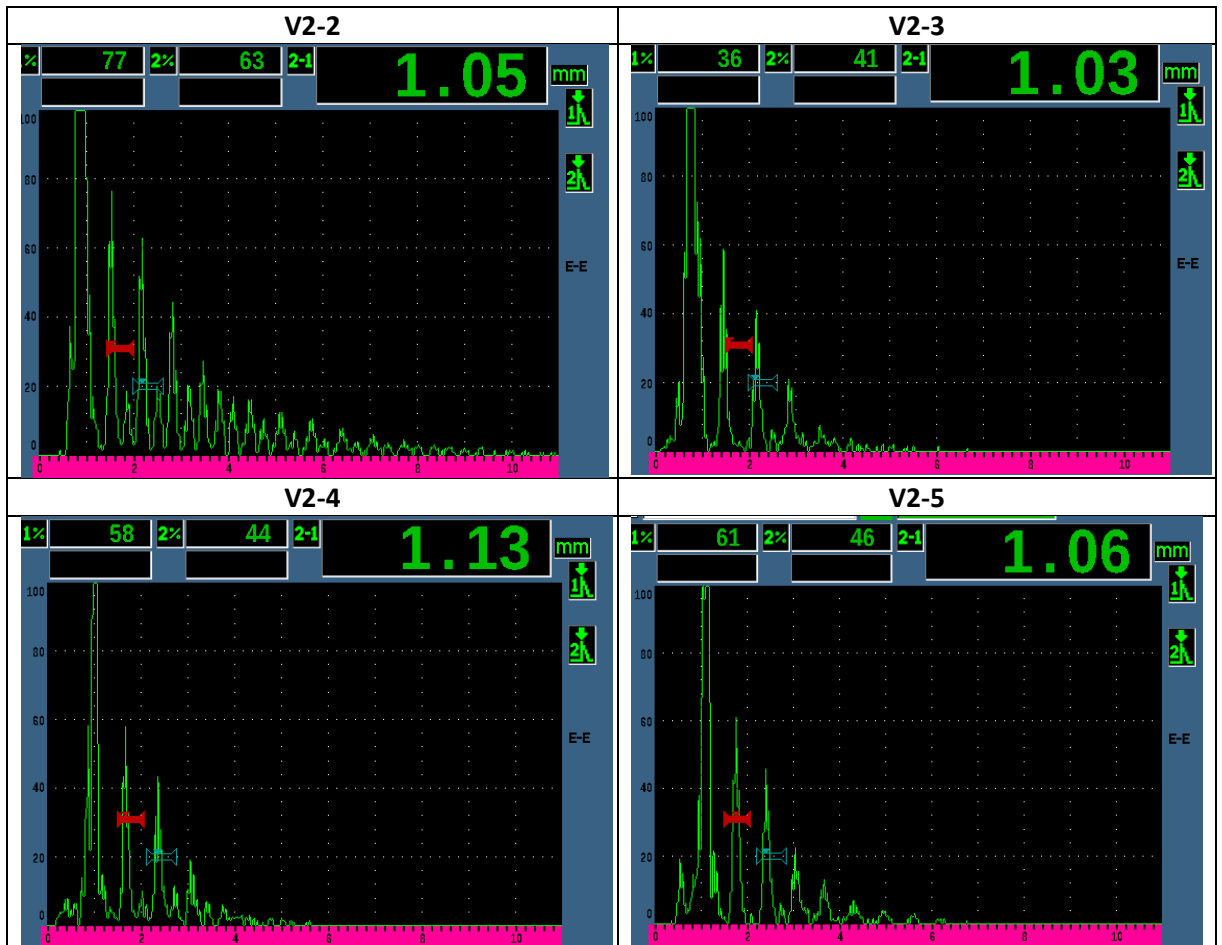
### Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V2-1	Vyhovující svar	1,06 mm	Vyhovuje
V2-2	Malý spoj s přilepenou zónou	1,05 mm	Nevyhovuje
V2-3	Nevyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V2-4	Nevyhovující svar	1,13 mm	Nevyhovuje
V2-5	Vyhovující svar	1,06 mm	Vyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V2

Vzorky V2-1 a V2-5 indikují vyhovující svar. U vzorku V2-2 je patrný tzv. „Napoleonův klobouk“ indikující malý spoj s přilepenou zónou. Rychlost poklesu koncových ech v echogramech vzorků V2-3 a V2-4 je příliš strmá v porovnání s vyhovujícími svary, proto byly tyto svary vyhodnoceny jako nevyhovující. Echogram ale neodpovídá žádnému z typických popsanych průběhů echogramů. Velikost střížné síly 3 293 N je příliš nízká. Průměrná velikost svarové čočky 5,03 mm je vyšší než maximální dovolená velikost.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V2

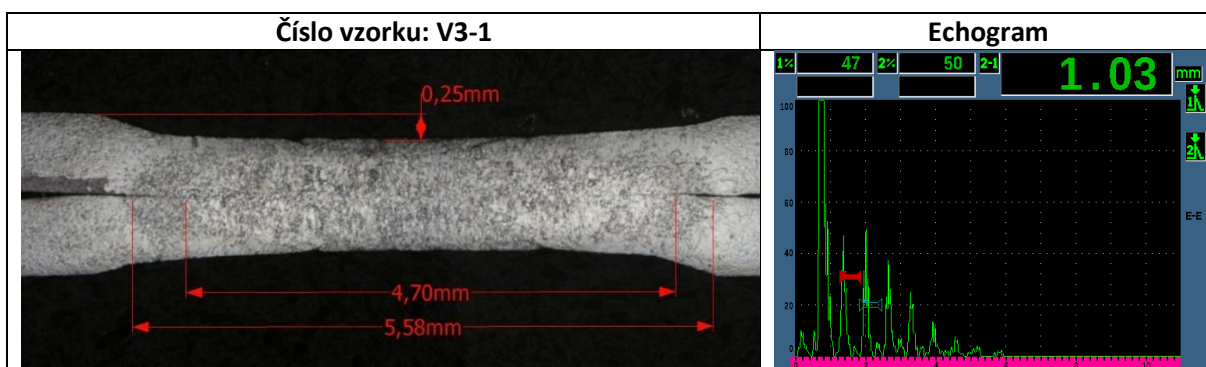


# Zkušební série - V3

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,70
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,58
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,25

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V3-2	3 545	5,96
V3-3	3 511	5,93
V3-4	3 480	5,88
PRŮMĚR	3 512	5,92

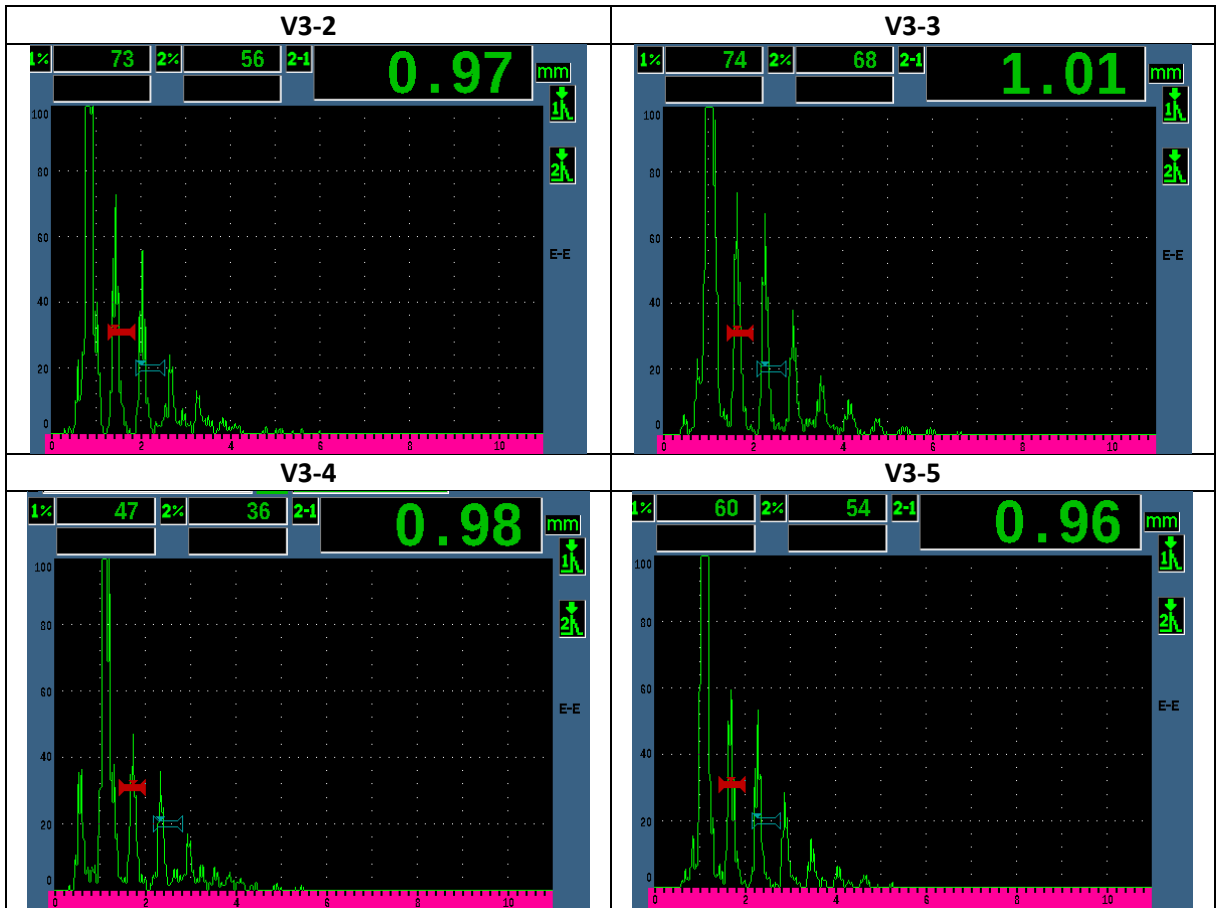
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V3-1	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V3-2	Vyhovující svar	0,97 mm	Nevyhovuje
V3-3	Vyhovující svar	1,01 mm	Nevyhovuje
V3-4	Nevyhovující svar	0,98 mm	Nevyhovuje
V3-5	Vyhovující svar	0,96 mm	Nevyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V3

Echogramy V3-1 a V3-4 jsou nejednoznačné, pro přesnější vyhodnocení by bylo vhodné opakovat měření. U vzorků V3-2 a V3-3 a V3-5 odpovídají průběhy echogramu vyhovujícímu svaru. Všechny vzorky série V3 byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. Velikost svarové čočky je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota. Průměrná velikost střížné síly 3 512 N je nižší než orientační požadovaná hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V3

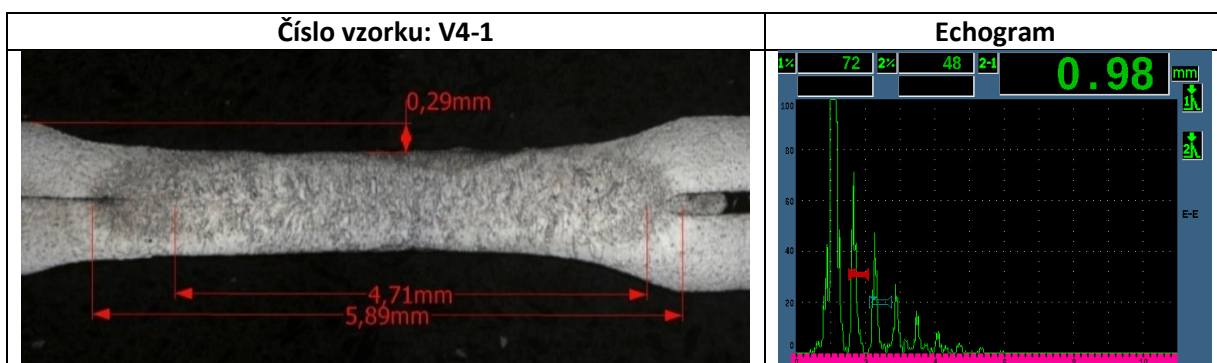


# Zkušební série - V4

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,71
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,89
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,29

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V4-2	3 427	5,68
V4-3	3 441	5,29
V4-5	3 460	5,42
PRŮMĚR	3 443	5,46

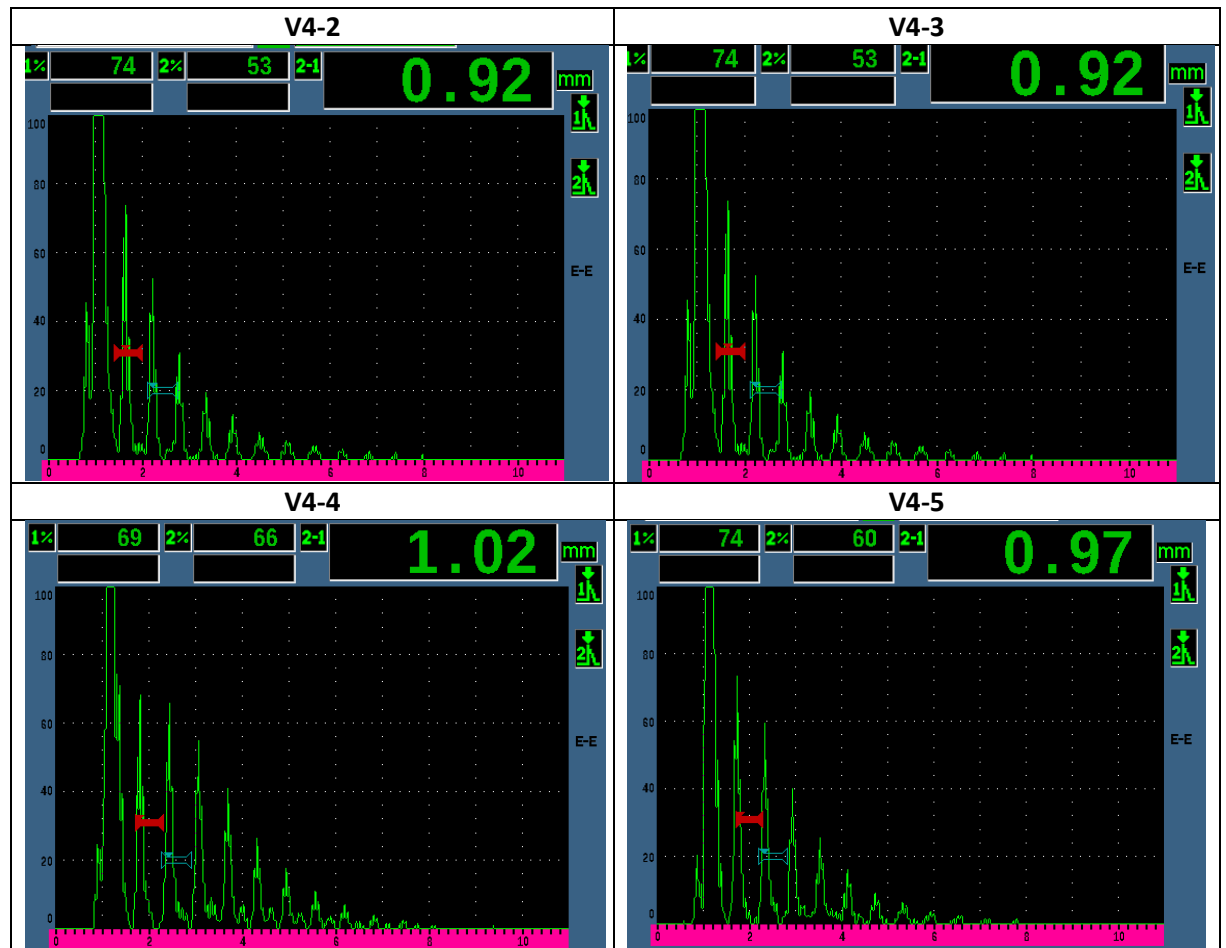
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V4-1	Vyhovující svar	0,98 mm	Nevyhovuje
V4-2	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V4-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V4-4	Vyhovující svar	1,02 mm	Nevyhovuje
V4-5	Vyhovující svar	0,97 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V4

Průběhy všech echogramů indikují vyhovující svary, ale z důvodu velkého stlačení plechů byly všechny svary vyhodnoceny jako nevyhovující. V metalografickém výbrusu je znatelný výstřik svarového kovu. Velikost střížné síly je nižší než orientační vyhovující hodnota. Průměr svarové čočky je u všech vzorků větší než maximální povolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V4

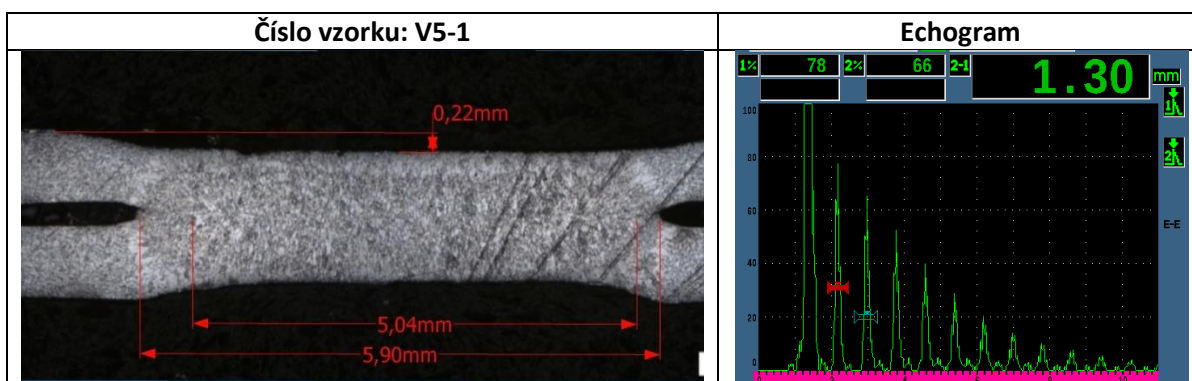


# Zkušební série - V5

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,04
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,90
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,22

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V5-2	4 031	6,01
V5-3	3 490	6,07
V5-4	3 395	5,53
PRŮMĚR	3 639	5,87

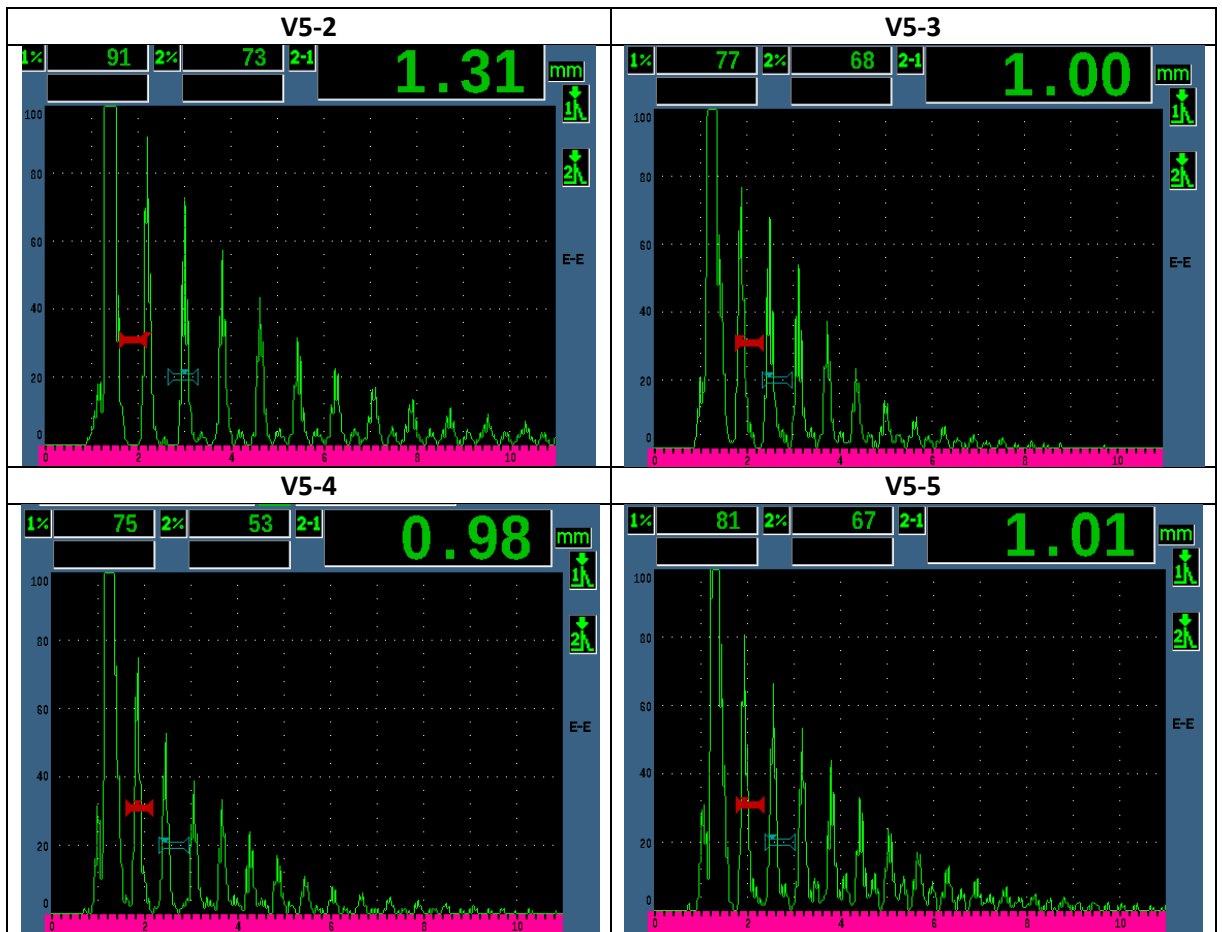
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V5-1	Vyhovující svar	1,30 mm	Vyhovuje
V5-2	Vyhovující svar	1,31 mm	Vyhovuje
V5-3	Vyhovující svar	1,00 mm	Nevyhovuje
V5-4	Vyhovující svar	0,98 mm	Nevyhovuje
V5-5	Vady ve svaru	1,01 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V5

Všechny echogramy byly vyhodnoceny jako vyhovující. U vzorků V5-1 a V5-2 je vyhovující i velikost stlačení plechů. Vzorky V5-3, V5-4, V5-5 byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. V metalografickém výbrusu nejsou viditelné žádné vady. Velikost průměrné střížné síly 3 639N je vyhovující. Velikost svarové čočky je u všech vzorků vyšší než maximální povolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V5



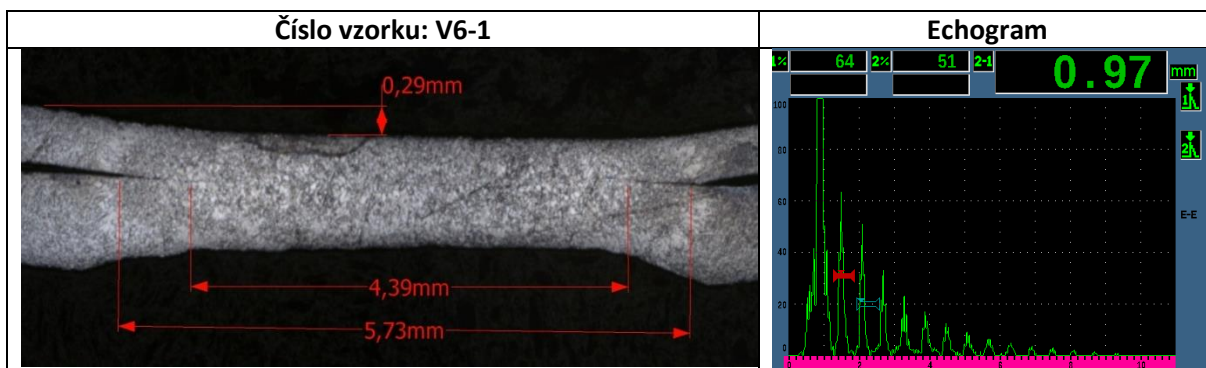


# Zkušební série - V6

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,67
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,73
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,29

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V6-2	3 531	5,60
V6-3	3 633	5,81
V6-4	3 553	5,85
PRŮMĚR	3 572	5,75

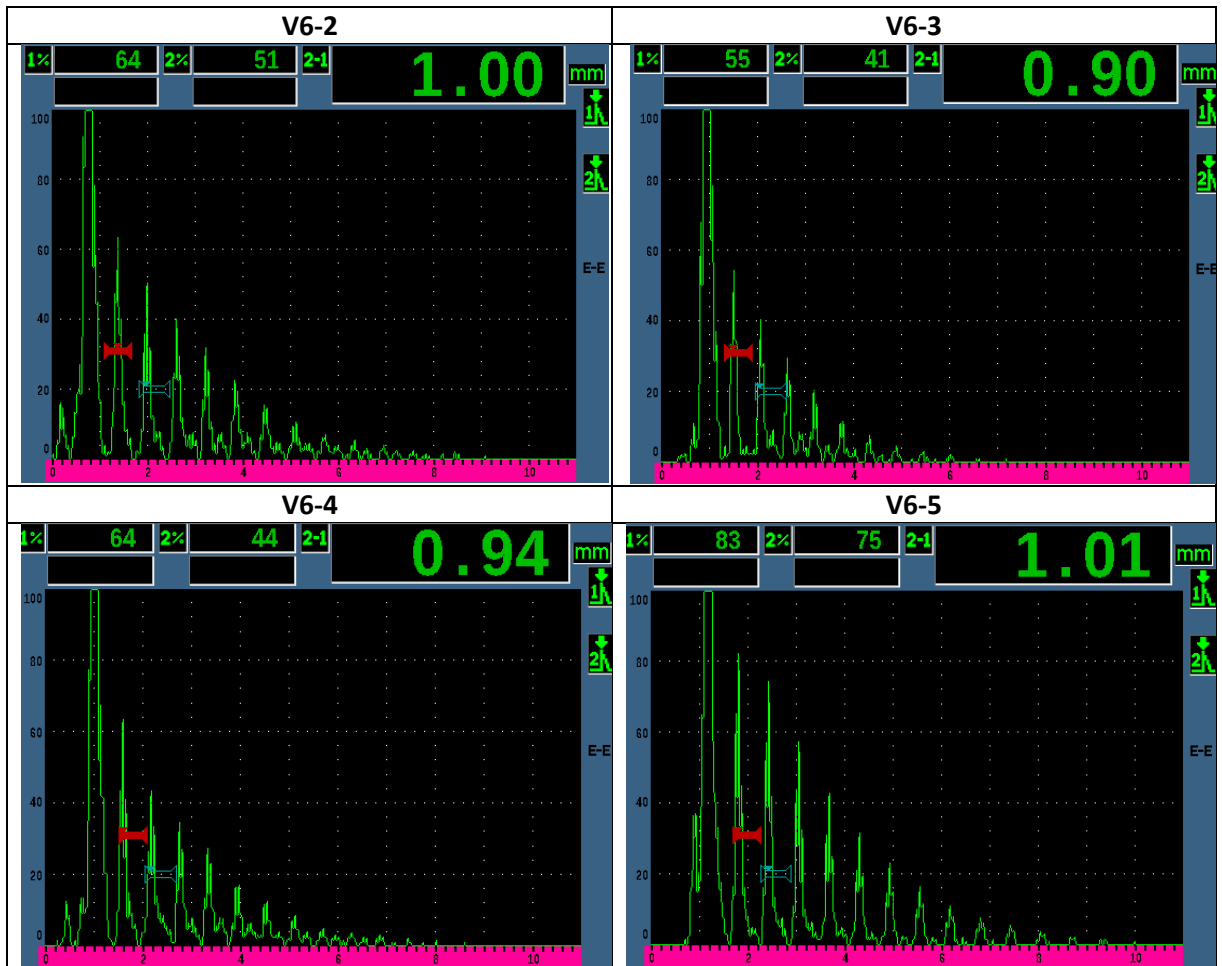
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V6-1	Vyhovující svar	0,97 mm	Nevyhovuje
V6-2	Vyhovující svar	1,00 mm	Nevyhovuje
V6-3	Vyhovující svar	0,90 mm	Nevyhovuje
V6-4	Vyhovující svar	0,94 mm	Nevyhovuje
V6-5	Vyhovující svar	1,01 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V6

Všechny echogramy indikují vyhovující svar, ale všechny vzorky byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. Naměřená průměrná střížná síla 3 572 N je poměrně vysoká. Velikost svarové čočky je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V6

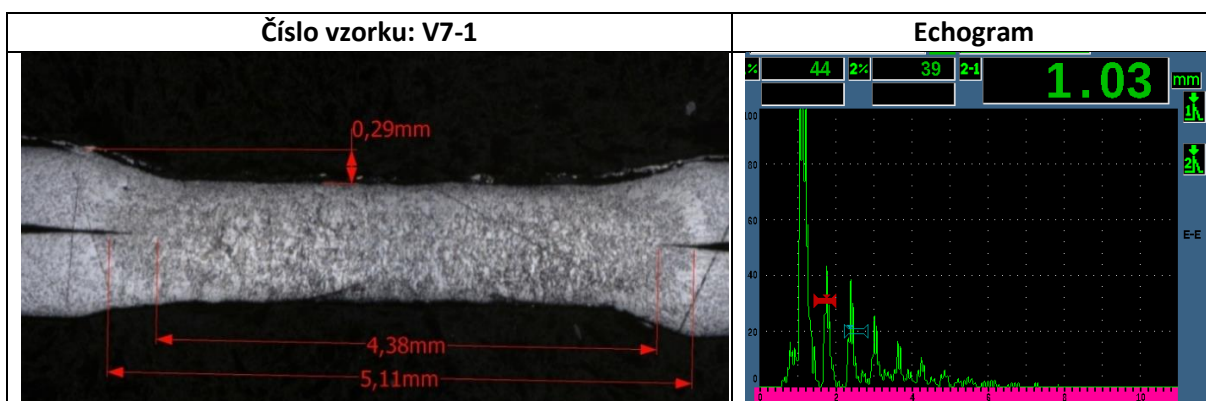


# Zkušební série - V7

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,38
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,11
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,29

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V7-2	3 488	5,70
V7-3	3 514	5,82
V7-4	3 642	5,99
PRŮMĚR	3 548	5,84

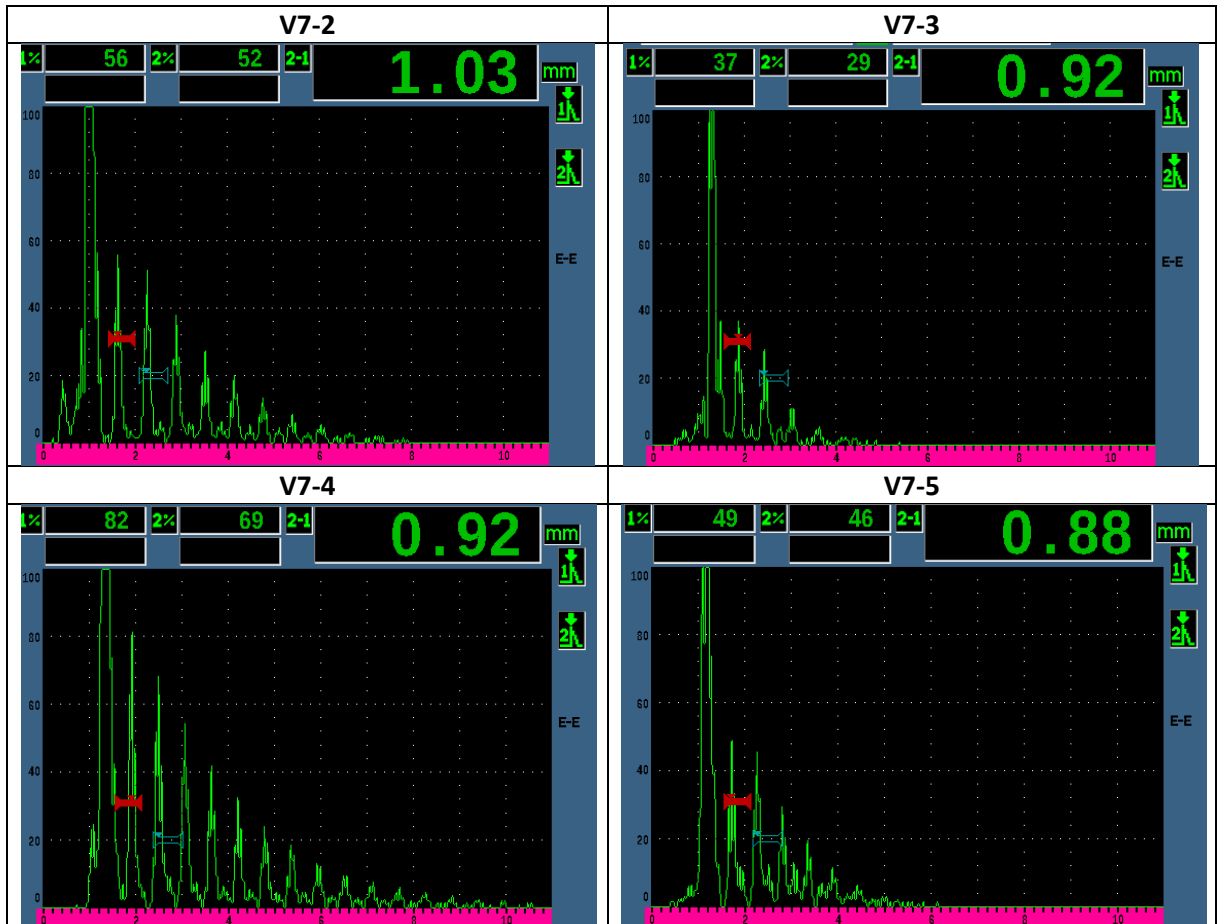
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V7-1	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V7-2	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V7-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V7-4	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V7-5	Vady ve svaru	0,88 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V7

Průběhy echogramů indikují u všech vzorků vyhovující svary, všechny vzorky byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu velkého stlačení plechů. Průměrná stříhová síla 3 548 N je vyšší než orientační vyhovující hodnota. Velikost svarové čočky je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V7

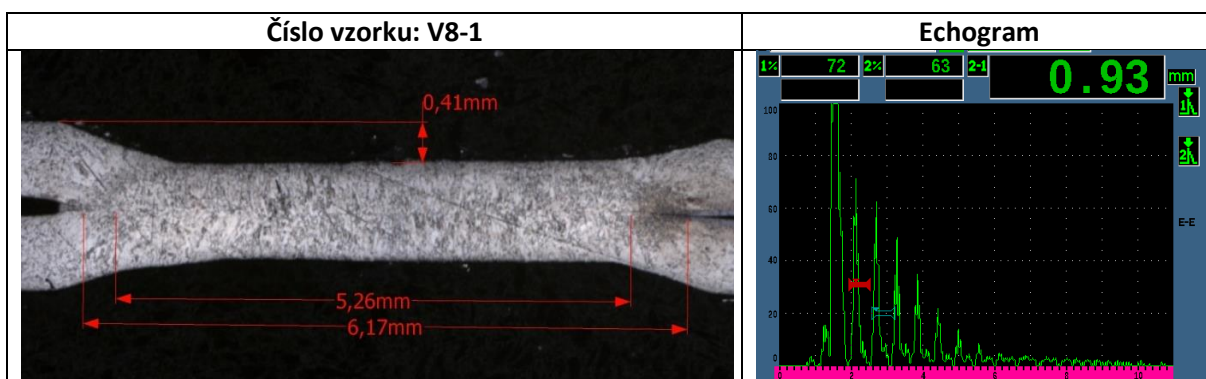


# Zkušební série - V8

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,26
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,17
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,41

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V8-2	3 841	5,80
V8-3	3 518	5,76
V8-4	3 666	6,31
PRŮMĚR	3 675	5,95

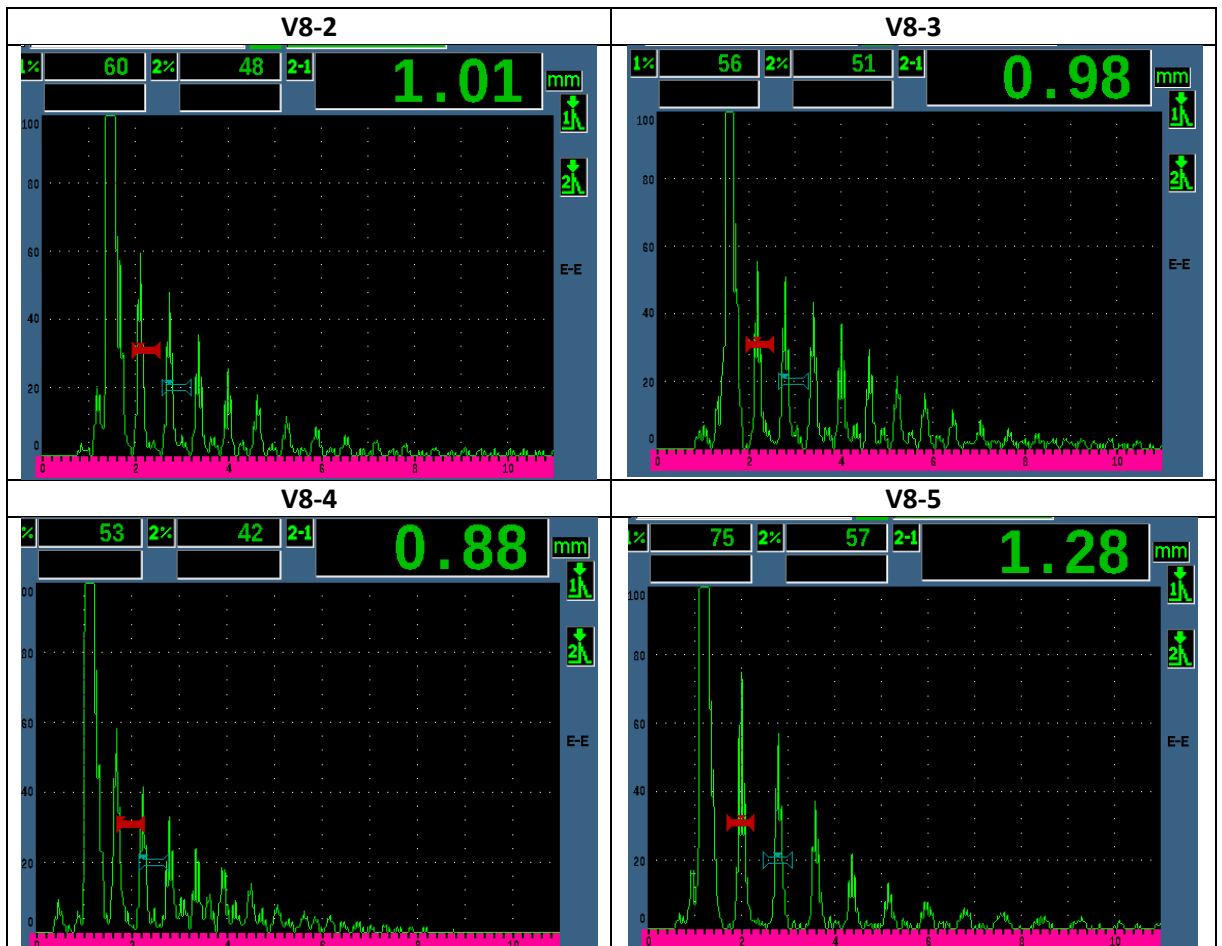
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V8-1	Vyhovující svar	0,93 mm	Nevyhovuje
V8-2	Vyhovující svar	1,01 mm	Nevyhovuje
V8-3	Vyhovující svar	0,98 mm	Nevyhovuje
V8-4	Vady ve svaru	0,88 mm	Nevyhovuje
V8-5	Vyhovující svar	1,28 mm	Vyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V8

Průběh echogramů kromě vzorku V8-4 indikují vyhovující svary. Všechny vzorky série V8 byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. V echogramu vzorku V8-4 jsou patrné vady ve svaru. Hodnota střížné síly převyšují hodnotu 3 675 N. Velikost svarové čočky u všech svarů této série je větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V8

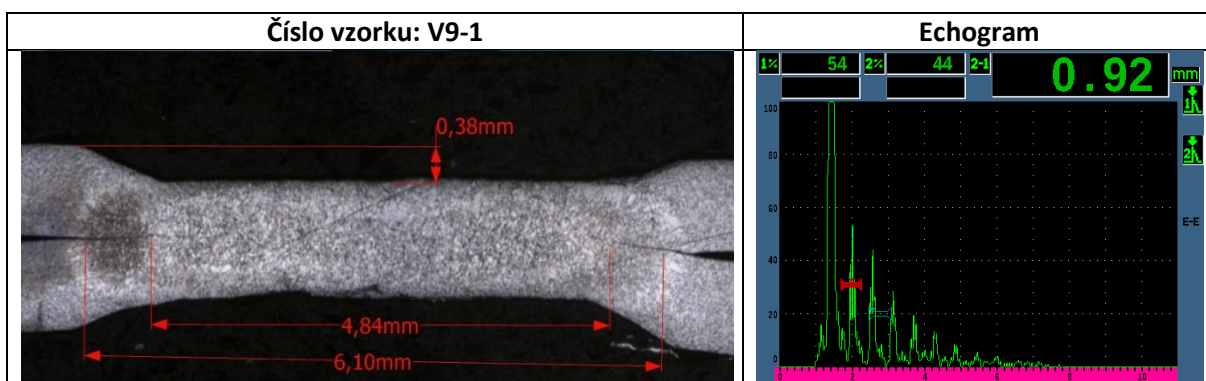


# Zkušební série - V9

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	7

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,84
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,10
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,38

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V9-2	3 470	5,48
V9-3	3 574	5,87
V9-4	3 633	5,98
PRŮMĚR	3 559	5,77

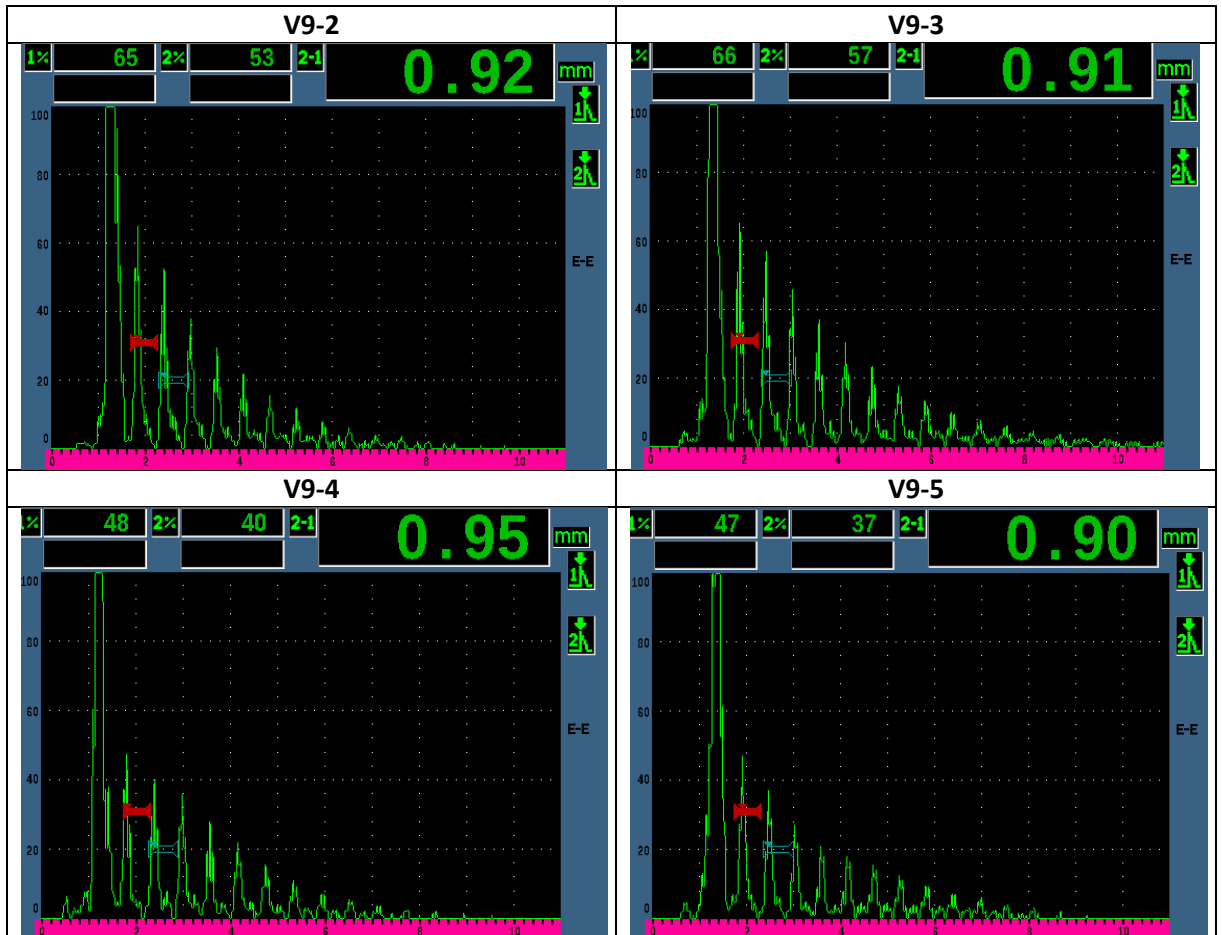
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V9-1	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V9-2	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V9-3	Vyhovující svar	0,91 mm	Nevyhovuje
V9-4	Vyhovující svar	0,95 mm	Nevyhovuje
V9-5	Vyhovující svar	0,90 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V9

Průběhy echogramů vzorků této série byly vyhodnoceny jako vyhovující. Všechny vzorky byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačen plechů. Průměrná velikost střížné síly 3 559 N je vyhovující. Průměr svarové čočky je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V9



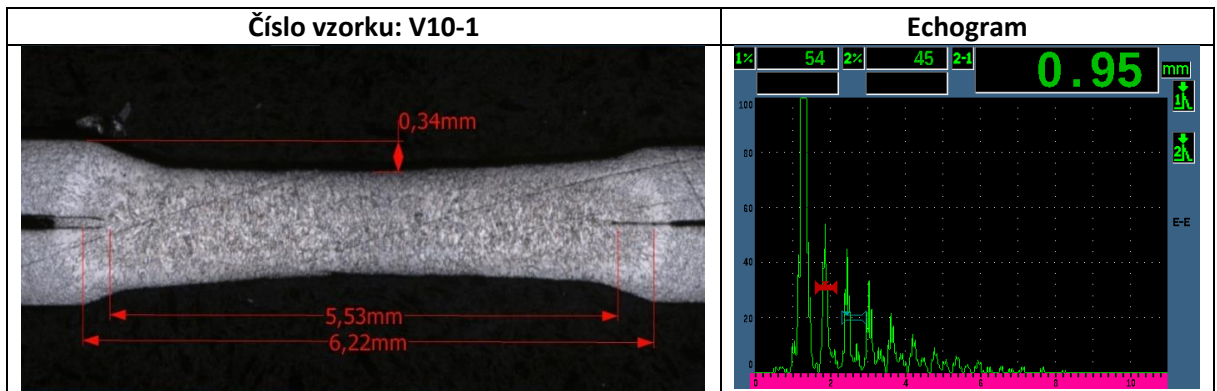


# Zkušební série - V10

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - Hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,53
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,22
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,34

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V10-2	3 697	5,89
V10-3	3 615	5,81
V10-4	3 976	5,86
PRŮMĚR	3 763	5,85

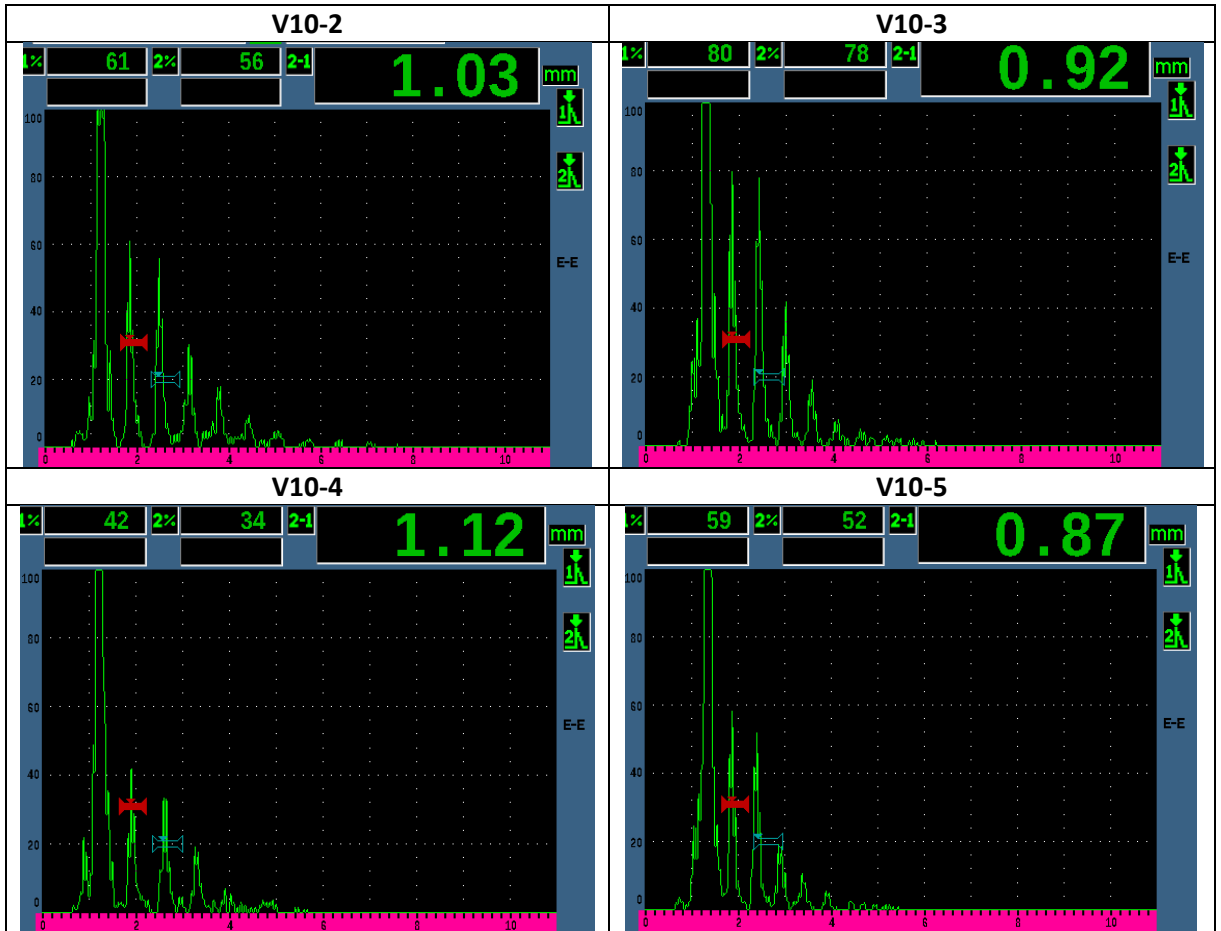
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V10-1	Vady ve svaru	0,95 mm	Nevyhovuje
V10-2	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V10-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V10-4	Nevyhovující svar	1,12 mm	Nevyhovuje
V10-5	Nevyhovující svar	0,87 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V10

V echogramu V1-1 jsou patrná meziecha, což může indikovat vadu ve svaru. V metalografickém výbrusu však není žádná viditelná vada, tato meziecha mohla vzniknout nesprávnou polohou sondy. Echogramy V2-2 a V2-3 vykazují pokles koncových ech odpovídající vyhovujícímu svaru. Všechny vzorky této série byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. Hodnota střížné síly 3 763 N je větší než požadovaných 3 520 N. Velikost svarové čochy je u všech vzorků větší než maximální dovolená velikost.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V10

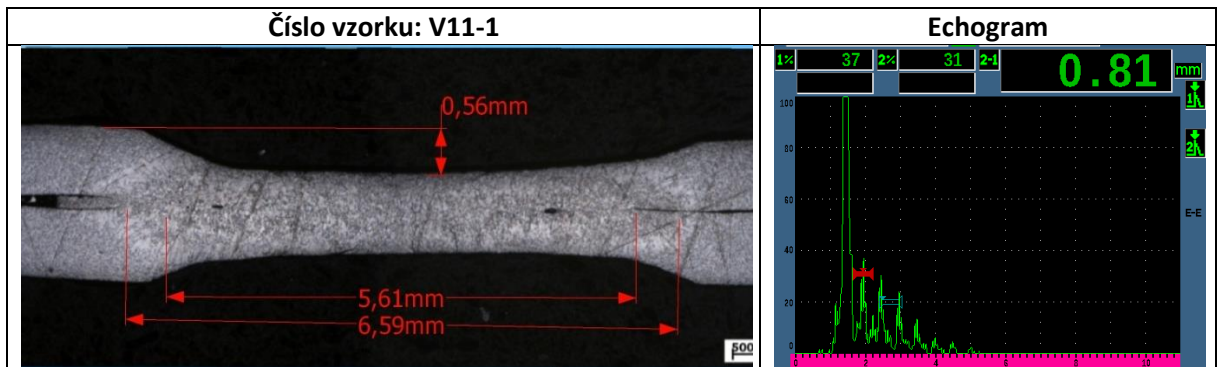


# Zkušební série - V11

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,61
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,59
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,56

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V11-2	3 617	5,79
V11-3	3 683	5,63
V11-4	3 804	5,76
PRŮMĚR	3 701	5,73

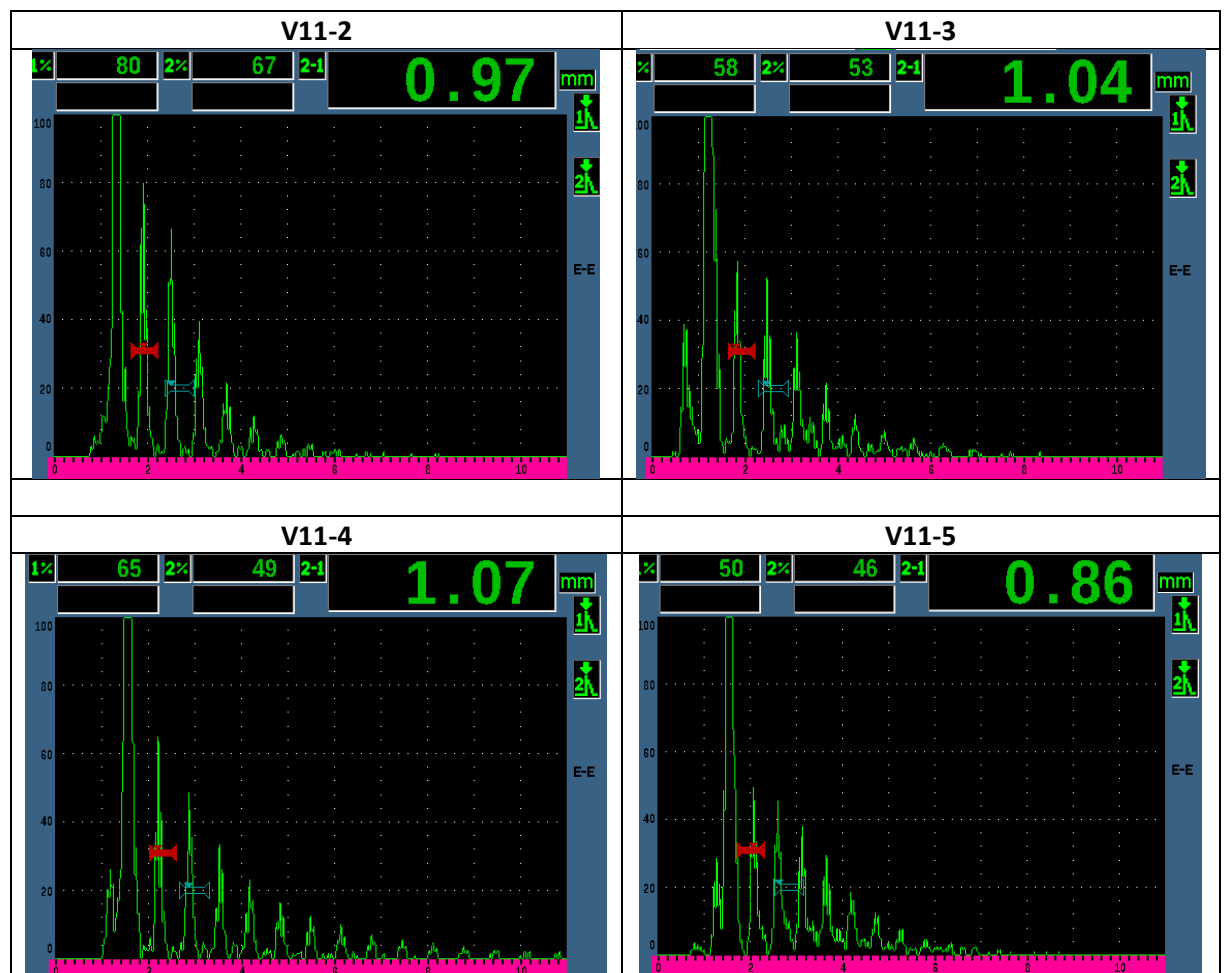
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V11-1	Vady ve svaru	0,81 mm	Nevyhovuje
V11-2	Vyhovující svar	0,97 mm	Nevyhovuje
V11-3	Vyhovující svar	1,04 mm	Nevyhovuje
V11-4	Vyhovující svar	1,07 mm	Vyhovuje
V11-5	Vyhovující svar	0,86 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V11

V echogramu V11-1 jsou patrná meziecha indikující vady ve svaru. Tyto vady jsou viditelné i na metalografickém výbrusu. Ostatní echogramy této série odpovídají vyhovujícím svarům. Velikost stlačení plechů je vyhovující pouze v případě vzorku V11-4. Velikost střížné síly u všech vzorků přesahuje orientační vyhovující hodnotu. Průměr svarové čochky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V11

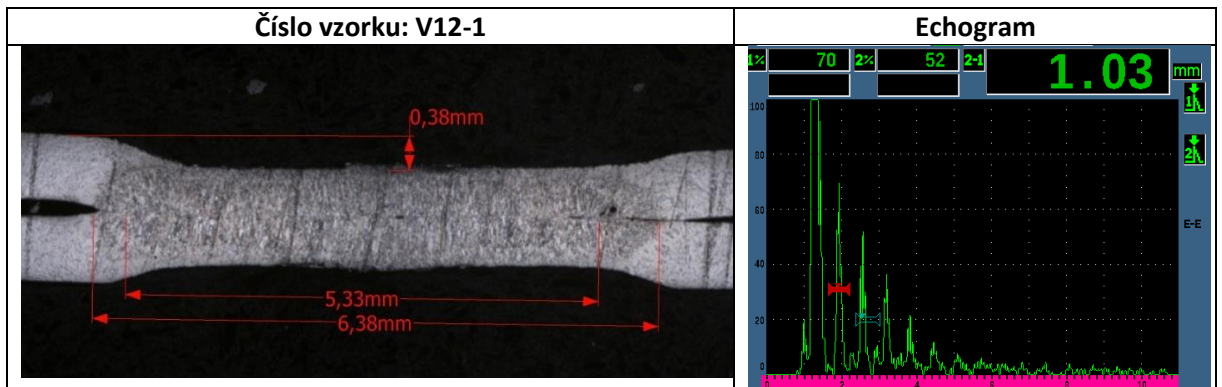


# Zkušební série - V12

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,33
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,38
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,38

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V12-2	3 398	5,62
V12-3	3 387	5,53
V12-4	3 464	5,88
PRŮMĚR	3 416	5,67

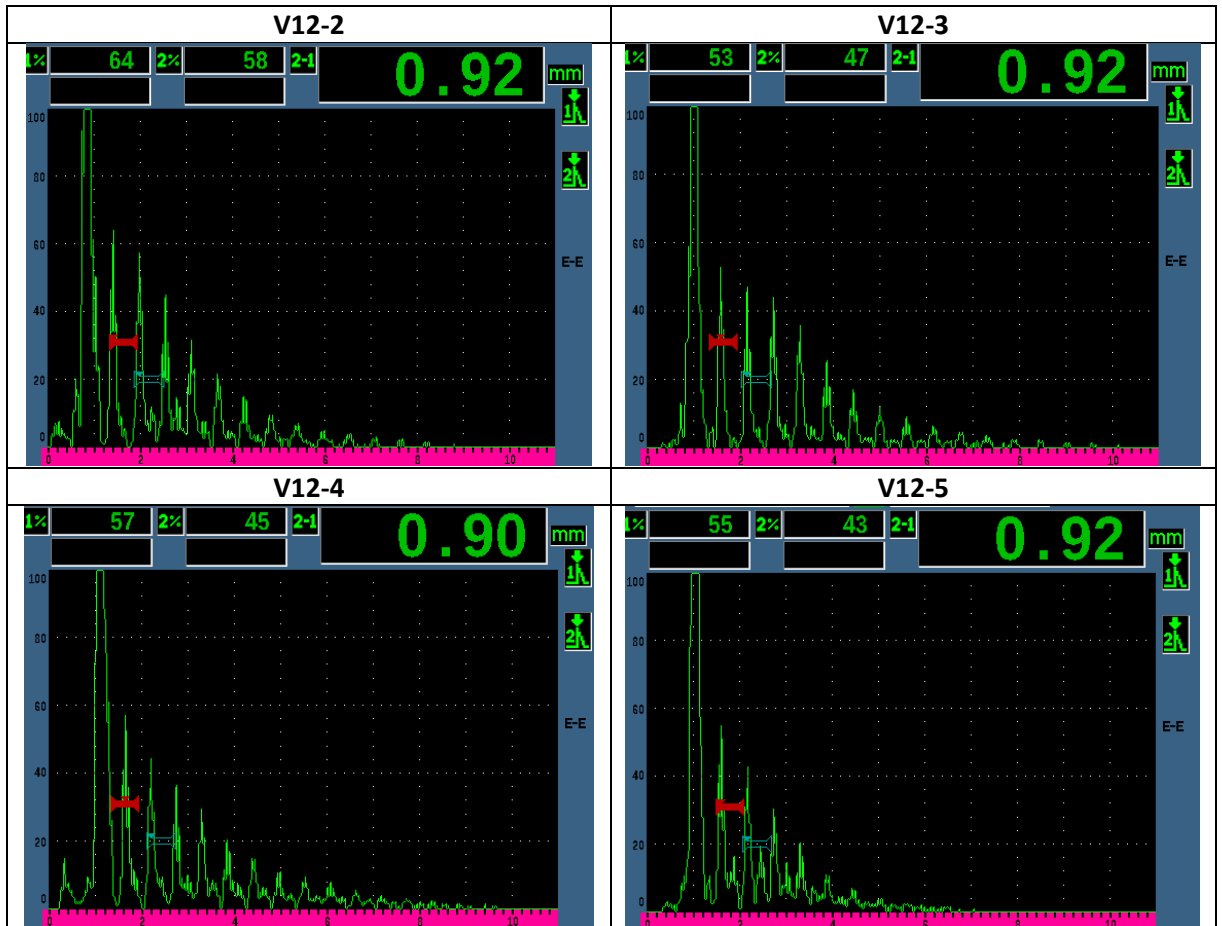
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V12-1	Vady ve svaru	1,03 mm	Nevyhovuje
V12-2	Vady ve svaru	0,92 mm	Nevyhovuje
V12-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V12-4	Vady ve svaru	0,9 mm	Nevyhovuje
V12-5	Vady ve svaru	0,92 mm	Nevyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V12

Svary této série obsahují vnitřní vady, což je patrné z metalografického výbrusu i nedostatečné průměrné stříhové síly 3 416 N. Vady jsou indikovány v echogramech všech vzorků kromě vzorku V12-3. Velikost stlačení plechů u všech vzorků větší než 25 % a z tohoto důvodu byly vyhodnoceny jako nevyhovující. Velikost svarové čočky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V12

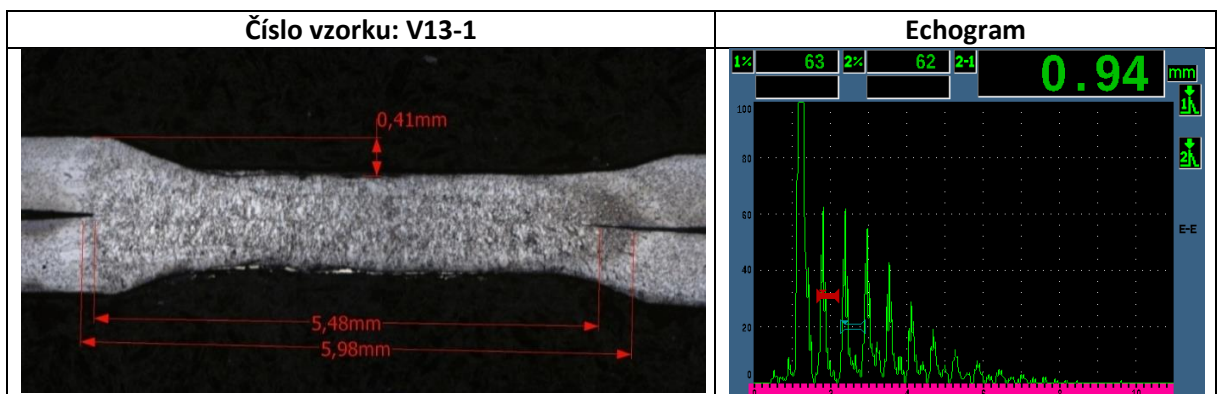


# Zkušební série - V13

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,48
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,98
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,41

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V13-2	3 306	5,70
V13-3	3 414	5,59
V13-4	3 469	6,02
PRŮMĚR	3 396	5,77

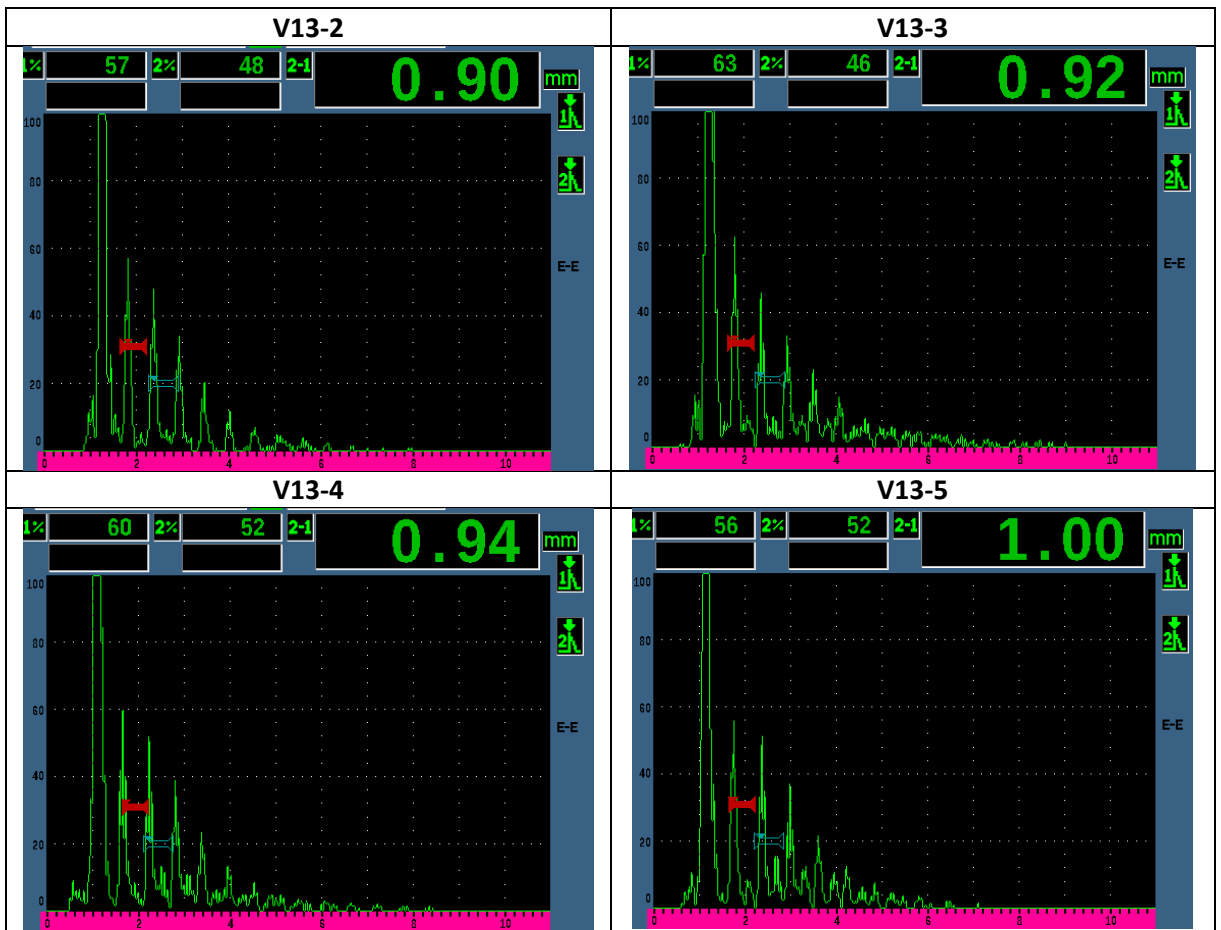
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V13-1	Vady ve svaru	0,94 mm	Nevyhovuje
V13-2	Vady ve svaru	0,90 mm	Nevyhovuje
V13-3	Vady ve svaru	0,92 mm	Nevyhovuje
V13-4	Vady ve svaru	0,94 mm	Nevyhovuje
V13-5	Vady ve svaru	1,00 mm	Nevyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V13

V echogramech této série jsou patrná vadová mezíčka a u všech vzorků je příliš veliké stlačení plechů, všechny vzorky tedy byly vyhodnoceny jako nevyhovující. Průměrná střižná síla 3 396 N je nižší než orientační vyhovující hodnota. V metalografickém výbrusu nejsou viditelné žádné vady, pro přesnější identifikaci vad by bylo třeba provést metalografický výbrus více vzorků. Průměr svarové čočky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V13



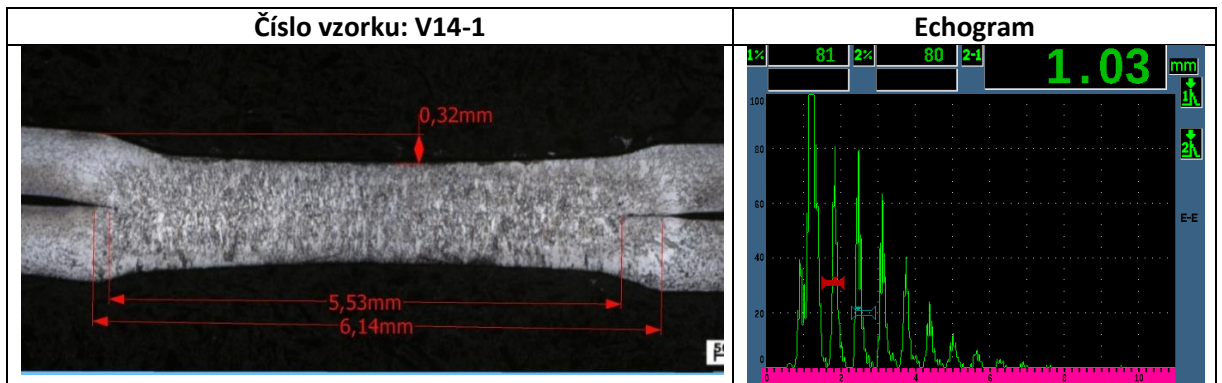


# Zkušební série - V14

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čochky	$d_n$ (mm)	5,53
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,14
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,32

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V14-2	3 598	6,02
V14-3	3 514	5,79
V14-4	3 746	5,73
PRŮMĚR	3 619	5,84

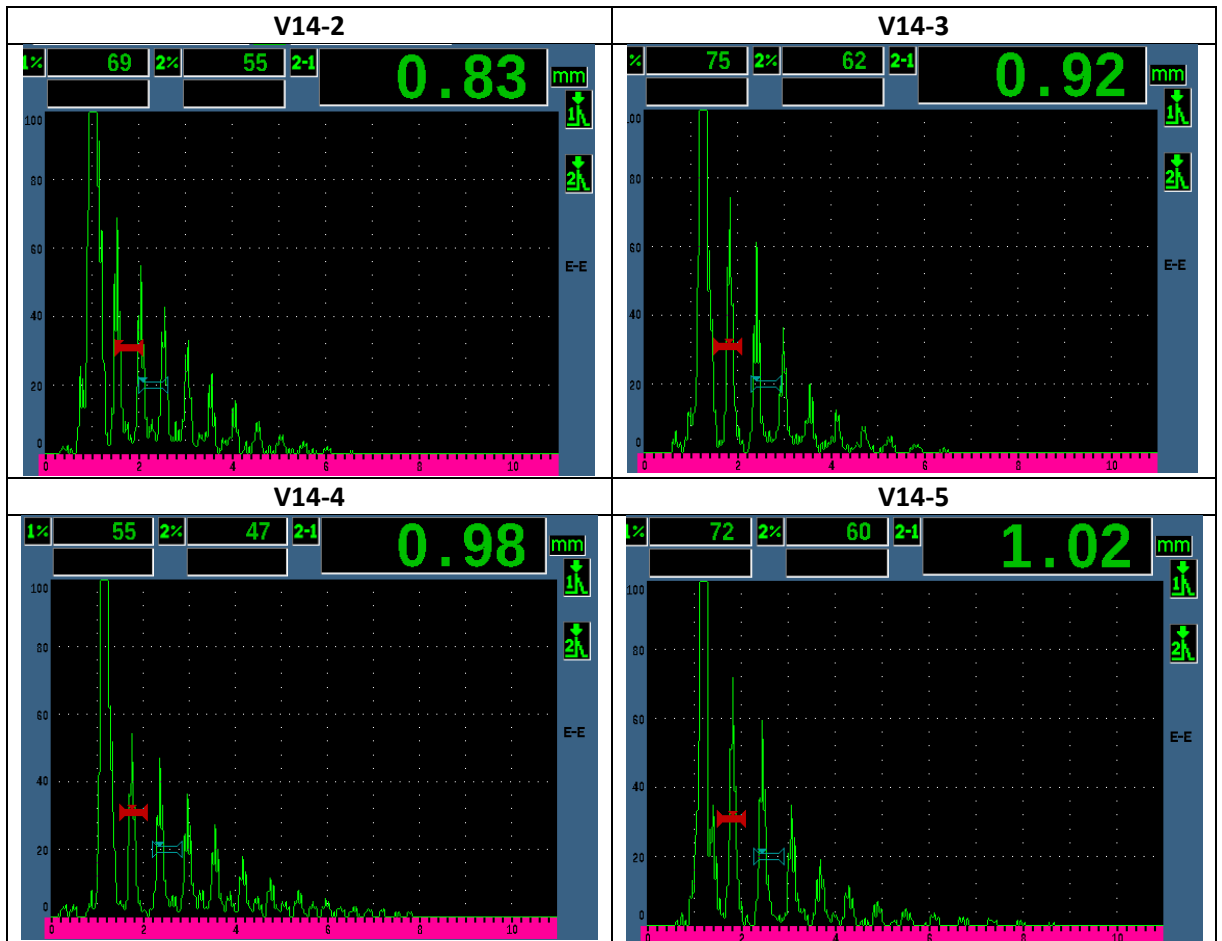
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V14-1	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje
V14-2	Vyhovující svar	0,93 mm	Nevyhovuje
V14-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V14-4	Vyhovující svar	0,98 mm	Nevyhovuje
V14-5	Vyhovující svar	1,02 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V14

Průběhy echogramů všech vzorků této série indikují vyhovující svary. Velikost stlačení plechů je příliš velká, z tohoto důvodu byly všechny vzorky vyhodnoceny jako nevyhovující. Zjištěná stříhová síla byla v průměru 3 619 N. Velikost svarové čocky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V14

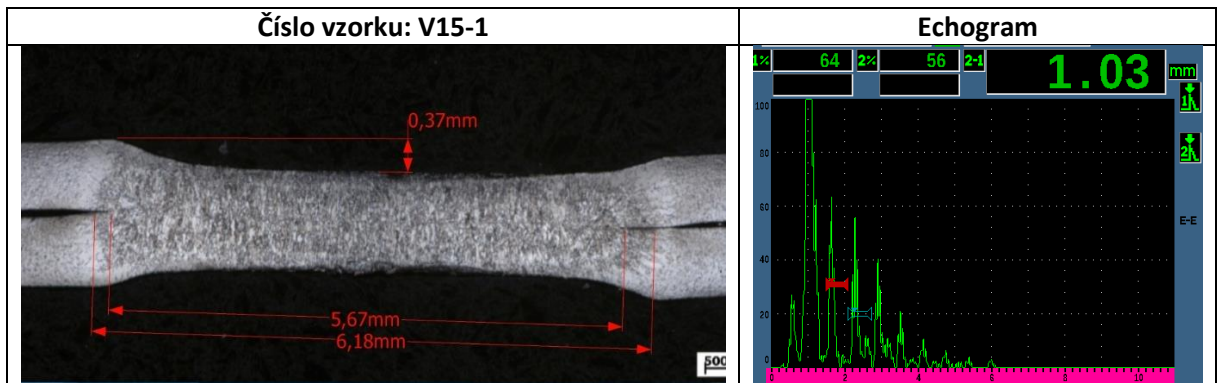


# Zkušební série - V15

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,67
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,18
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,37

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V15-2	3 304	5,72
V15-3	3 482	5,85
V15-4	3 363	5,94
PRŮMĚR	3 383	5,83

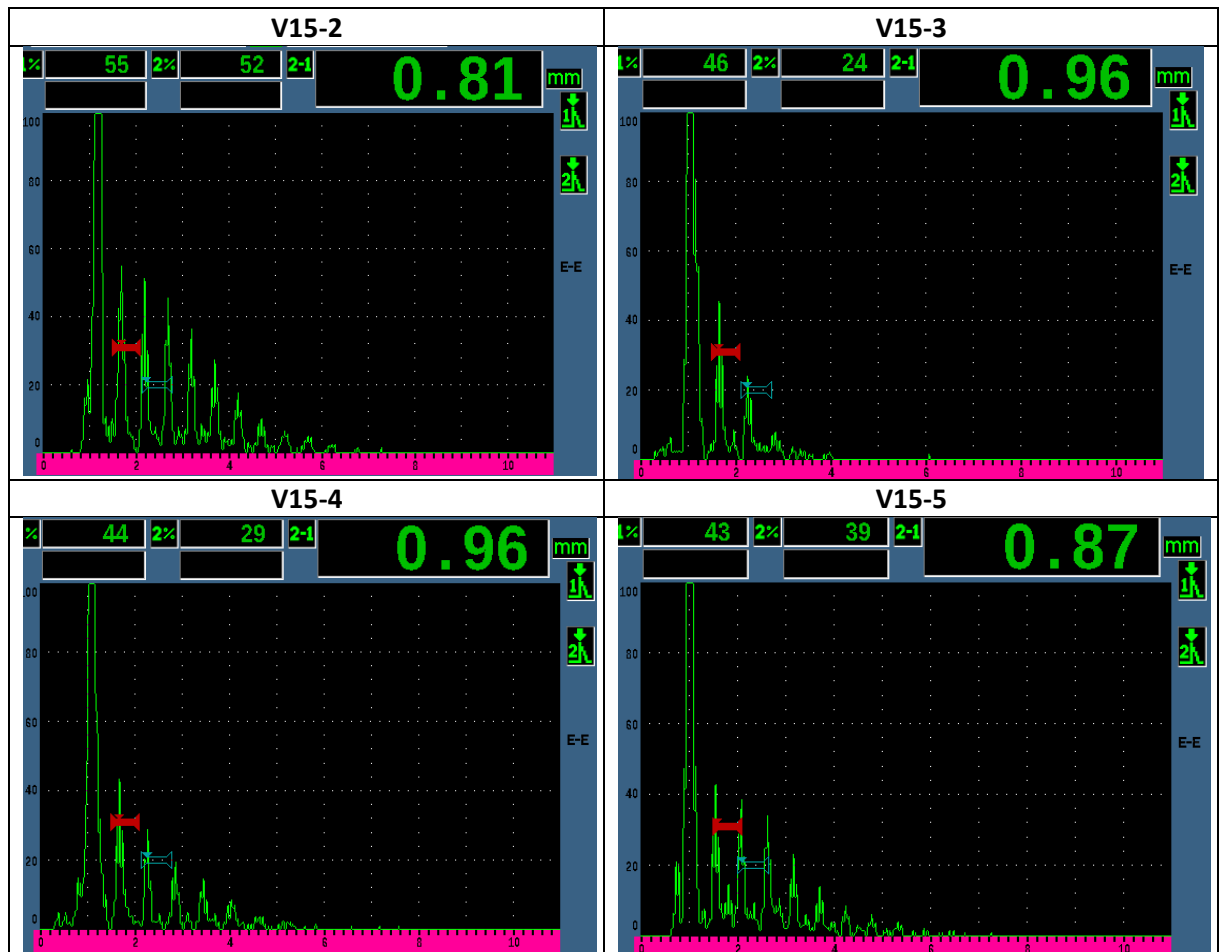
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V15-1	Vady ve svaru	1,03 mm	Nevyhovuje
V15-2	Vady ve svaru	0,81 mm	Nevyhovuje
V15-3	Vady ve svaru	0,96 mm	Nevyhovuje
V15-4	Vady ve svaru	0,96 mm	Nevyhovuje
V15-5	Vady ve svaru	0,87 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V15

Echogramy všech vzorků této série indikují vady ve svaru, velikost stlačení plechů je u všech vzorků příliš vysoká. Všechny vzorky této série byly vyhodnoceny jako nevyhovující. Průměrné stříhové síle je nízká, 3 383 N a nedosahuje požadované orientační vyhovující hodnoty. V metalografickém výbrusu nejsou viditelné žádné vady. Pro přesnější identifikaci vad by bylo třeba provést více metalografických výbrusů. Velikost svarové čocky u všech vzorků přesahuje maximální dovolenou velikost.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V15

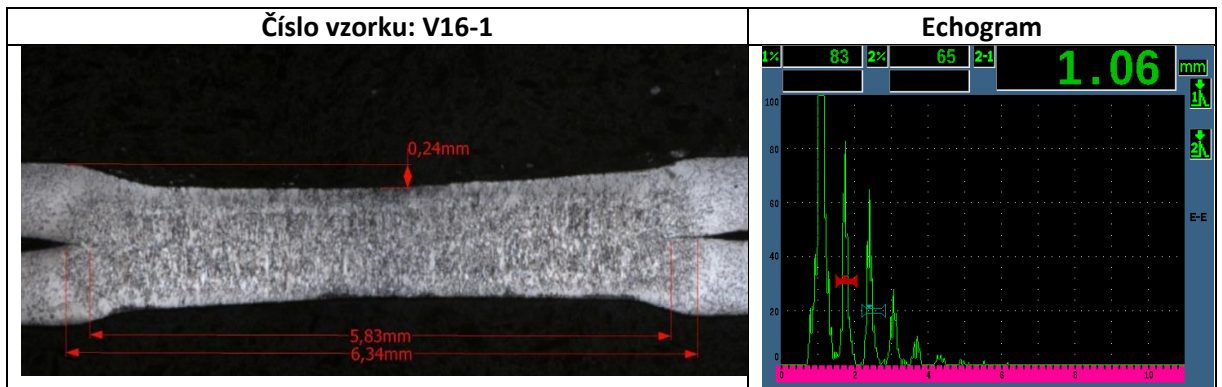


# Zkušební série - V16

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,83
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,34
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,24

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V16-2	3 859	6,17
V16-3	3 790	6,09
V16-4	3 802	6,12
PRŮMĚR	3 817	6,12

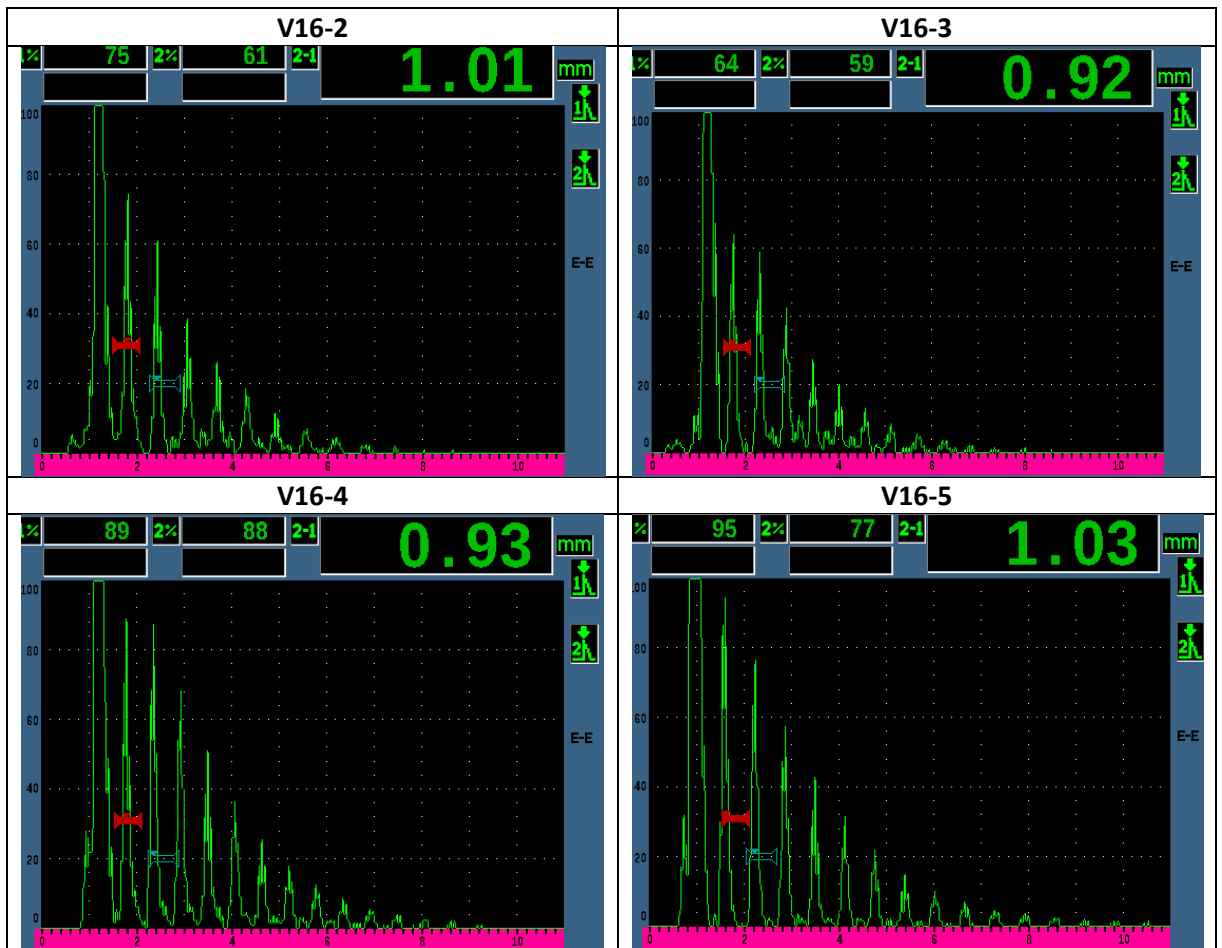
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V16-1	Vyhovující svar	1,06 mm	Vyhovuje
V16-2	Vyhovující svar	1,01 mm	Nevyhovuje
V16-3	Vady ve svaru	0,92 mm	Nevyhovuje
V16-4	Vyhovující svar	0,93 mm	Nevyhovuje
V16-5	Vyhovující svar	1,03 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V16

Echogramy všech vzorků kromě V16-3 indikují vyhovující svary. Zjištěná tloušťka stlačených plechů je vyhovující pouze u vzorku V16-1. Vzorky V16-2, V16-3, V16-4 a V16-5 jsou nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. Zjištěná síla ve stříhu je vysoká, průměrně 3 817 N. Velikost svarové čočky je u všech vzorků vyšší než maximální dovolená hodnota. V echogramu vzorku V16-3 jsou viditelná meziecha, může se ale jednat o nesprávnou polohu sondy.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V16

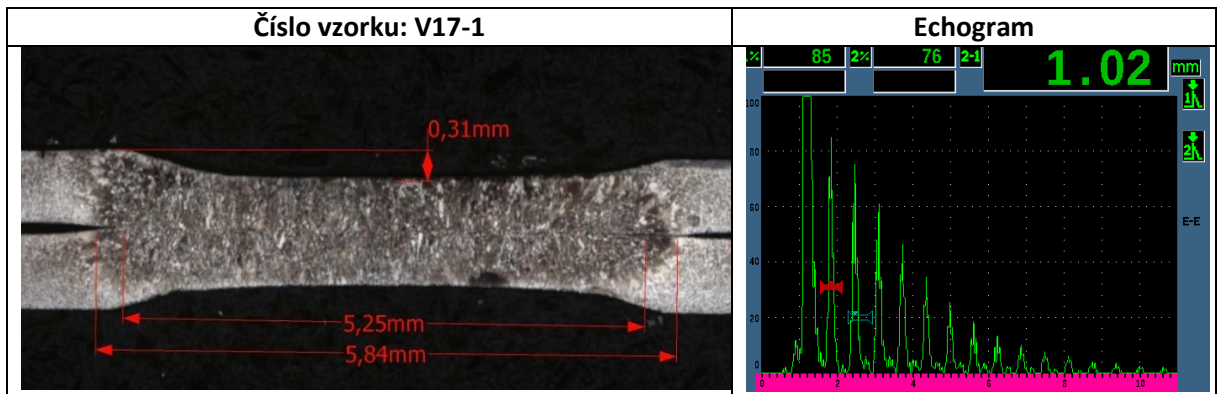


# Zkušební série - V17

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,25
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,84
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,31

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V17-2	4 046	6,05
V17-3	3 816	6,05
V17-4	3 552	6,19
PRŮMĚR	3 805	6,09

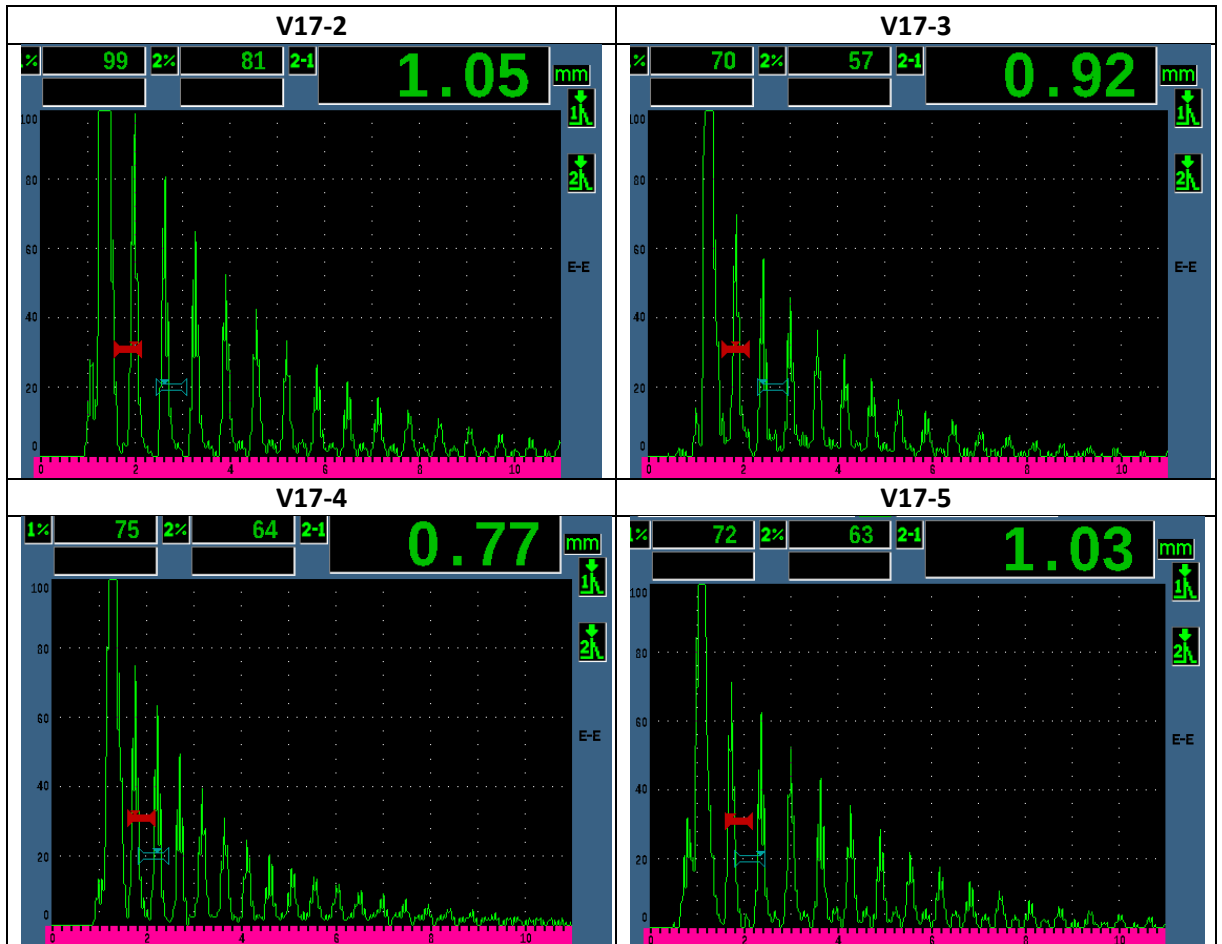
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V17-1	Vyhovující svar	1,02 mm	Nevyhovuje
V17-2	Studený spoj	1,05 mm	Nevyhovuje
V17-3	Vyhovující svar	0,92 mm	Nevyhovuje
V17-4	Vyhovující svar	0,77 mm	Nevyhovuje
V17-5	Studený spoj	1,03 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V17

Echogramy vykazují pozvolný pokles koncových ech, jehož interpretace je na hranici mezi vyhovujícím a studeným svarem. Průběhy echogramů vzorků V17-2 a V17-5 byly vyhodnoceny jako studený spoj, čemuž neodpovídá metalografický výbrus. Vzorky V17-1, V17-3, V17-4 a V17-4 byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu příliš velkého stlačení plechů. Velikost stříhové síly je vysoká, v průměru 3 805 N. Velikost svarové čocky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy 2 až 5



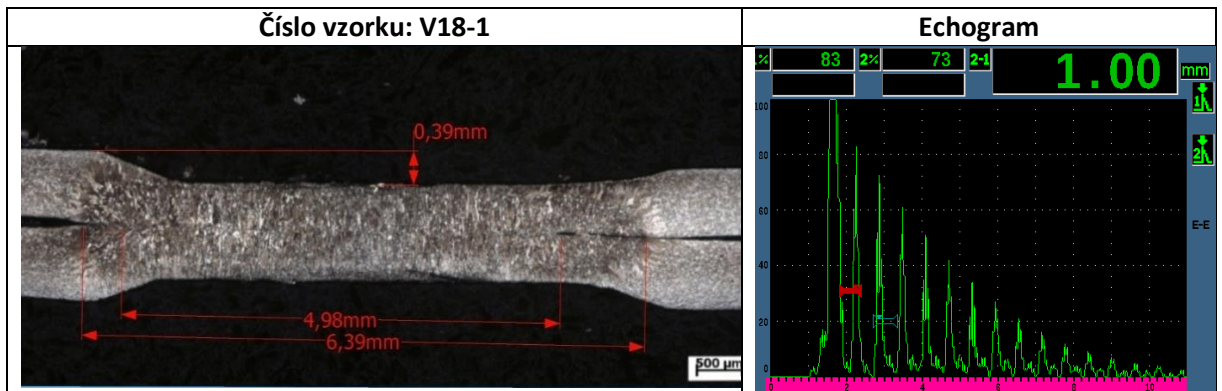


# Zkušební série - V18

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	8

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,98
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,39
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,39

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V18-2	3 652	5,64
V18-3	3 376	5,75
V18-4	3 469	5,73
PRŮMĚR	3 499	5,71

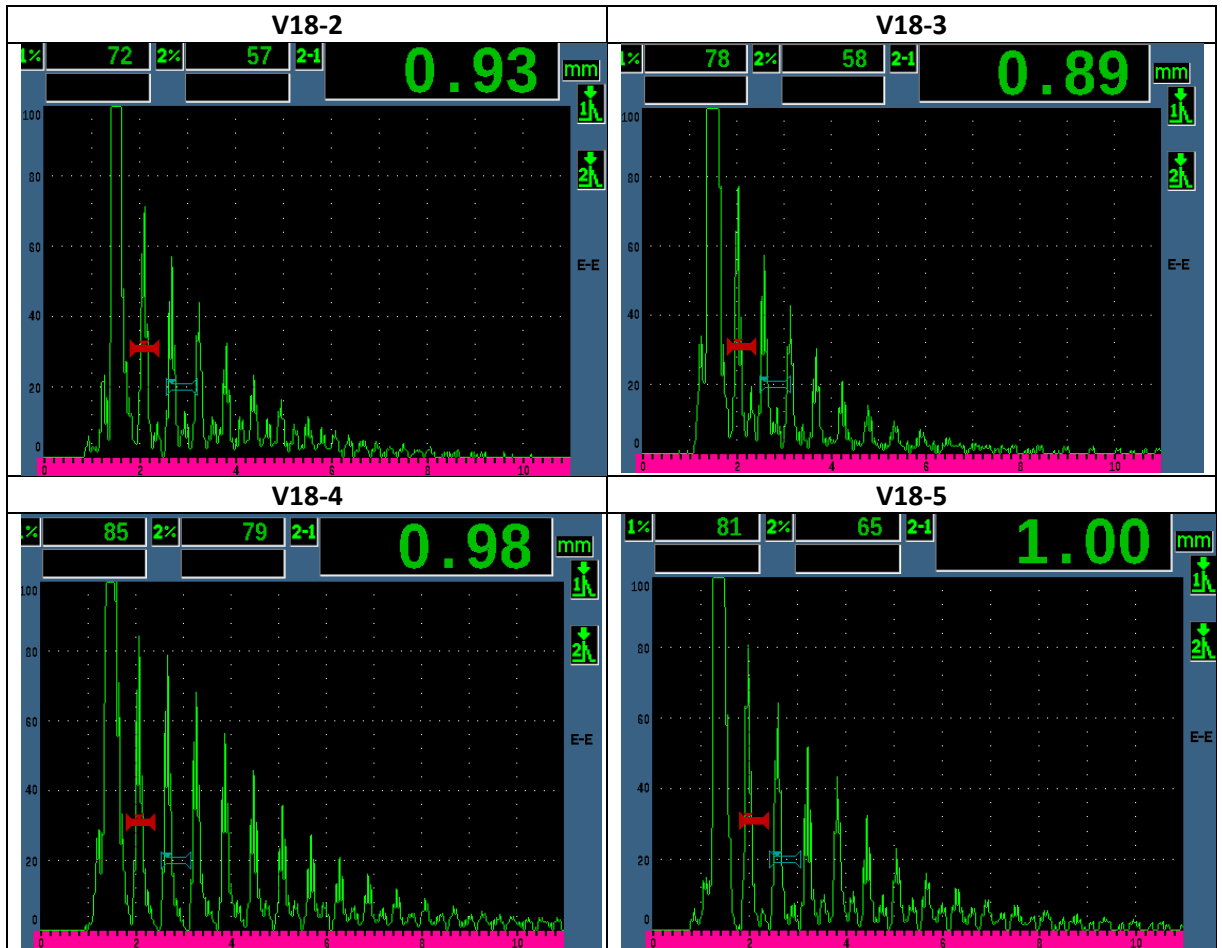
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V18-1	Vyhovující svar	1,00 mm	Nevyhovuje
V18-2	Vady ve svaru	0,93 mm	Nevyhovuje
V18-3	Vady ve svaru	0,89 mm	Nevyhovuje
V18-4	Vady ve svaru	0,98 mm	Nevyhovuje
V18-5	Vady ve svaru	1,00 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V18

V echogramech všech svarů kromě V18-1 jsou meziecha indukující vady ve svaru. Průběh echogramu vzorku V18 je vyhovující. Všechny vzorky byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu velikého stlačení plechů. Průměrná stříhová síla 3 499 N je nižší než orientační vyhovující hodnota. Velikost svarové čočky je u všech vzorků vyšší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V18

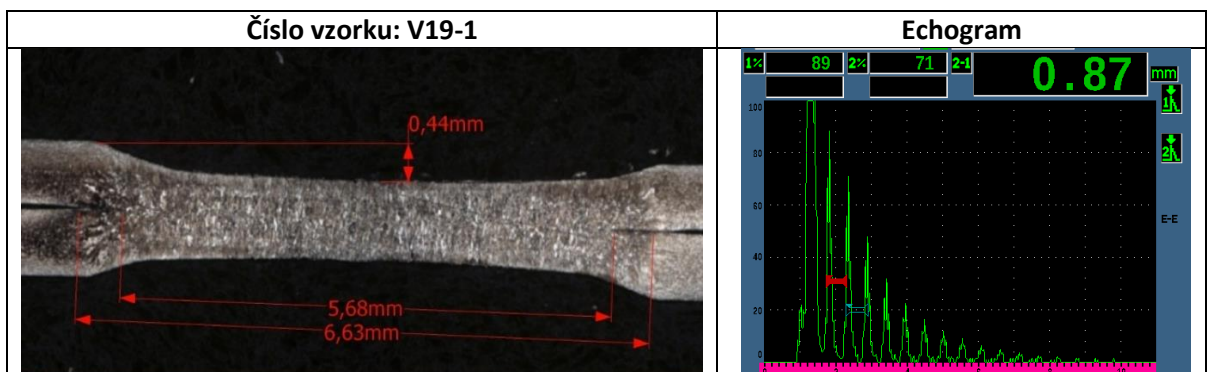


# Zkušební série - V19

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	9

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - Hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	5,68
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	6,63
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,44

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V19-2	4293	6,21

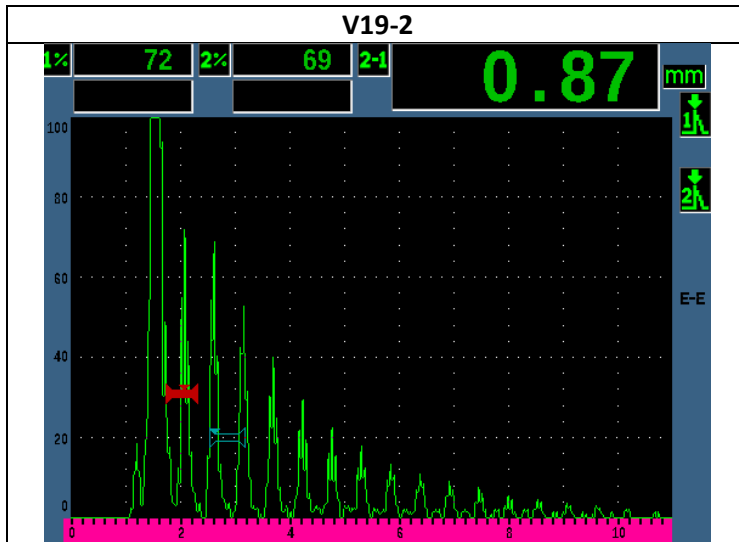
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V19-1	Vyhovující svar	0,87 mm	Nevyhovuje
V19-2	Vyhovující svar	0,87 mm	Nevyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V19

Při výrobě došlo z důvodu vysokého svařovacího proudu k přilepení elektrod ke vzorku, proto byly vyrobeny pouze dva zkušební vzorky. Echogramy indikují vyhovující svar. Oba vzorky byly vyhodnoceny jako nevyhovující z důvodu vysokého stlačení plechů. Byla naměřena vysoká střížná síla 4 293 N. Velikost svarové čočky je větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogram vzorku 2 ze série V19

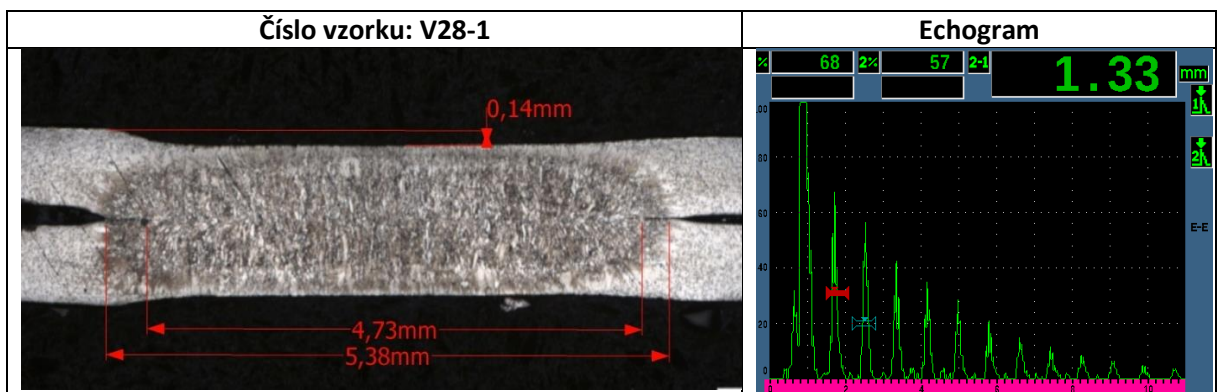


# Zkušební série - V28

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,73
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,38
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,14

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V28-2	3 523	4,98
V28-3	3 470	5,01
V28-4	3 127	4,85
PRŮMĚR	3 374	4,94

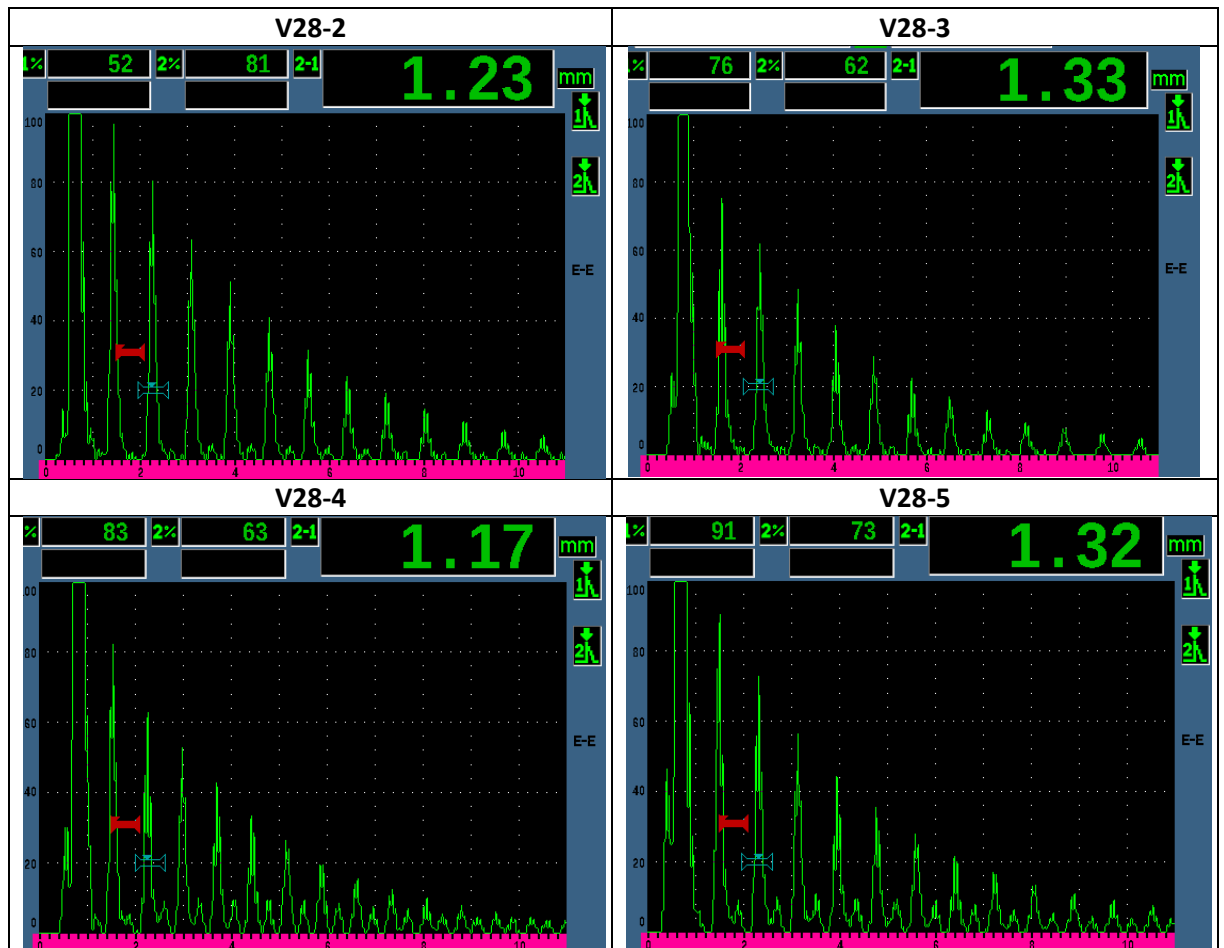
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramu	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V28-1	Studený spoj	1,33 mm	Nevyhovuje
V28-2	Studený spoj	1,23 mm	Nevyhovuje
V28-3	Studený spoj	1,33 mm	Nevyhovuje
V28-4	Studený spoj	1,17 mm	Nevyhovuje
V28-5	Studený spoj	1,32 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V28

Průběhy echogramů všech svarů této série indikují studený spoj, což ovšem neodpovídá metalografickému výbrusu, podle kterého se jedná o vyhovující svar. Tloušťka stlačených plechů je u všech vzorků této série vyhovující. Velikost střížné síly u vzorku V28-2 je 3 523 N u vzorku V28-3 je 3470 N a u vzorku V28-4 3 127 N a pohybuje se tedy kolem orientační vyhovující hodnoty. Velikost svarové čocky je u všech vzorků této série větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V28

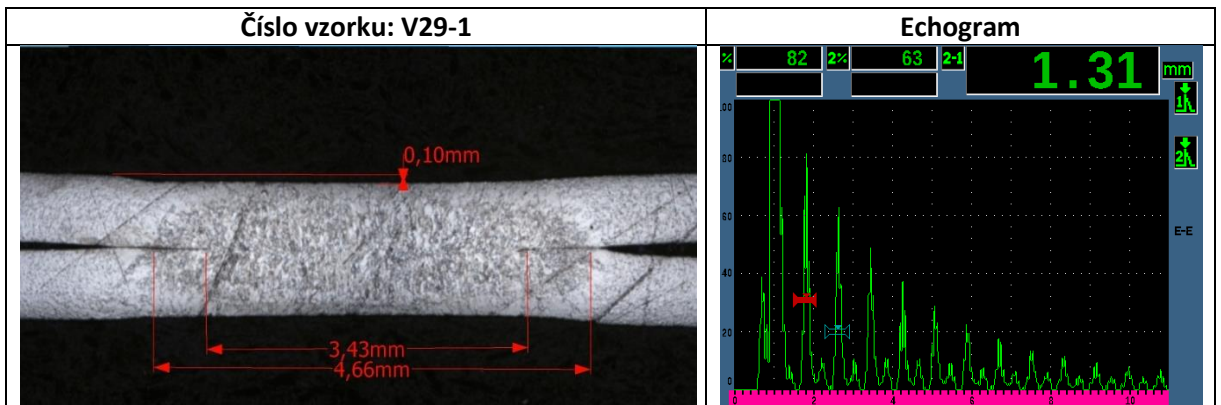


# Zkušební série - V29

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	3,43
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	4,66
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,10

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V29-2	3 065	4,48
V29-3	3 090	4,38
V29-4	3 030	4,31
PRŮMĚR	3 062	4,39

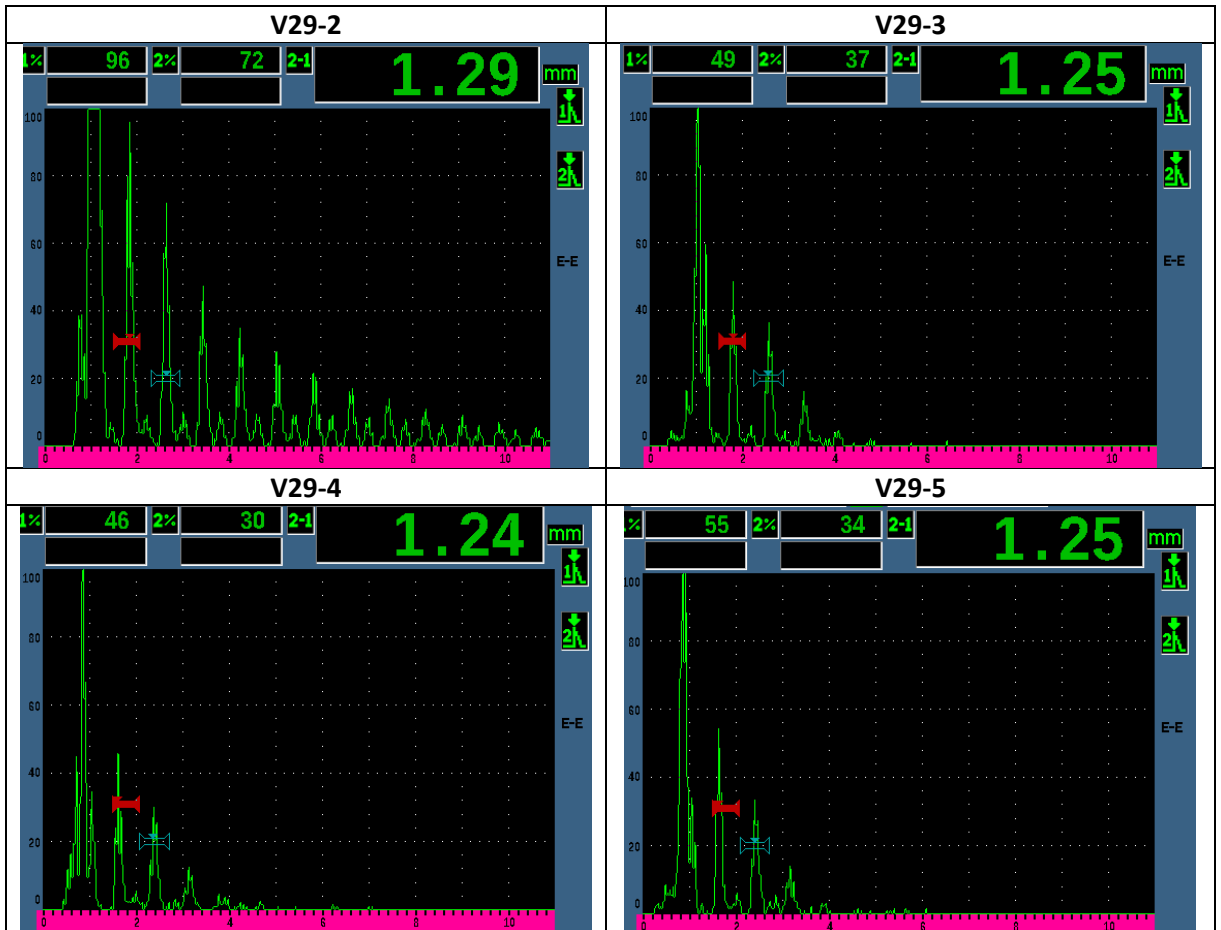
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V29-1	Vady ve svaru	1,31 mm	Nevyhovuje
V29-2	Vady ve svaru	1,29 mm	Nevyhovuje
V29-3	Vady ve svaru	1,25 mm	Nevyhovuje
V29-4	Vady ve svaru	1,24 mm	Nevyhovuje
V29-5	Vady ve svaru	1,25 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V29

Průběhy všech echogramů této série indikují vady ve svaru. Velikost stlačení plechů je u všech vzorků vyhovující. Naměřená průměrná stříhová síla 3 062 N je velmi nízká. Průměr svarové čočky odečtený z echogramu 3,43 mm je vyhovující. Průměr svarové čočky vzorků V29-2, V29-3 a V29-4 odečtený po provedení zkoušky stříhem je větší, než je povolená maximální hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V29



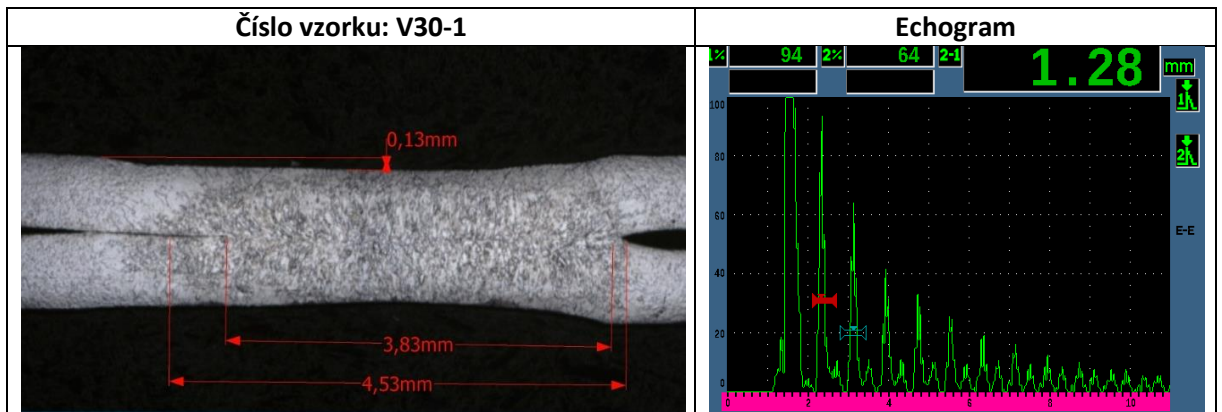


# Zkušební série - V30

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	160
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čocky	$d_n$ (mm)	3,83
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	4,53
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,13

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V30-2	2 836	4,67
V30-3	2 910	4,76
V30-4	3 068	4,17
PRŮMĚR	2 938	4,53

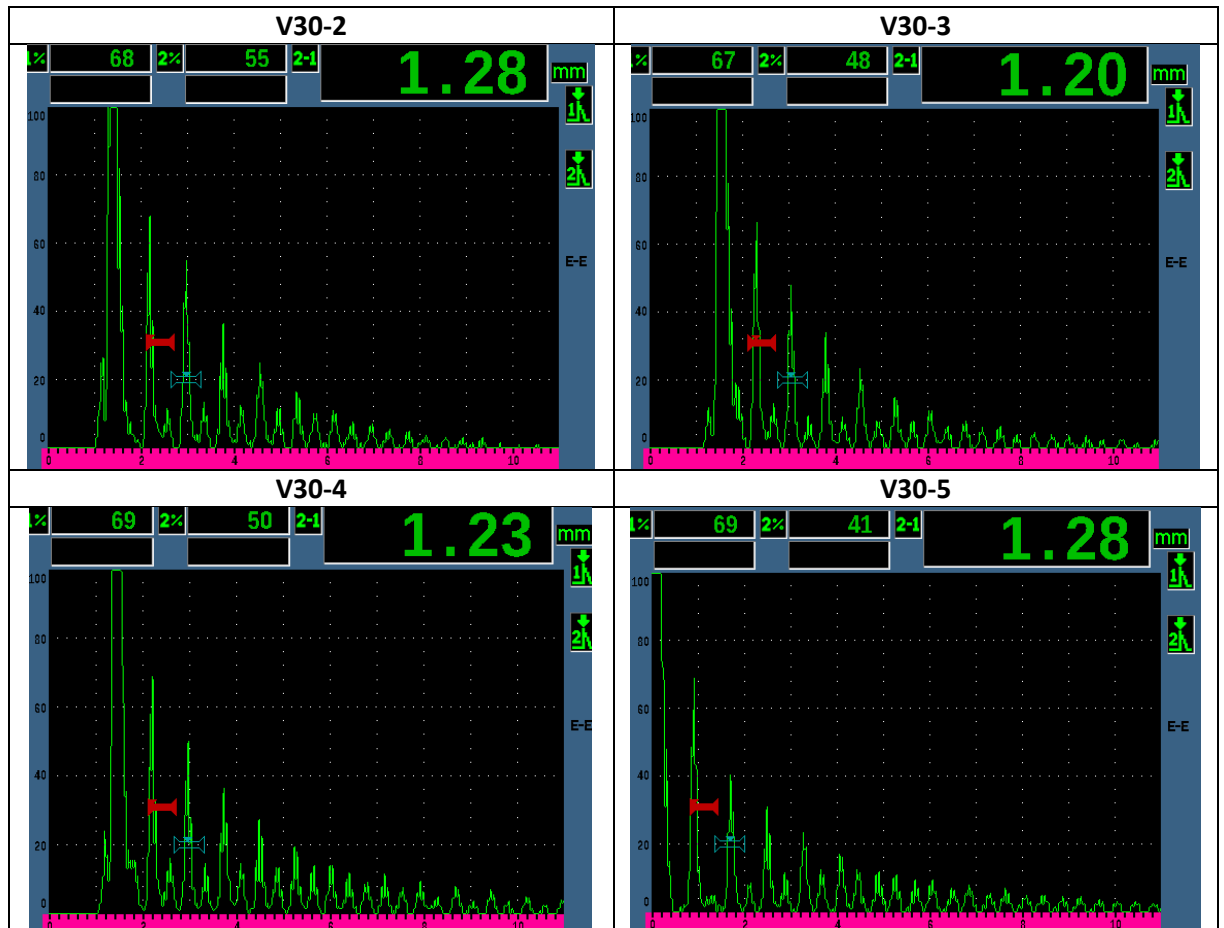
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V30-1	Malý průměr čocky	1,28 mm	Nevyhovuje
V30-2	Malý průměr čocky	1,28 mm	Nevyhovuje
V30-3	Malý průměr čocky	1,20 mm	Nevyhovuje
V30-4	Malý průměr čocky	1,23 mm	Nevyhovuje
V30-5	Malý průměr čocky	1,28 mm	Nevyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V30

Průběhy echogramů indikují malý průměr svarové čochky. V metalografickém výbrusu je patrná výrazná asymetrie čochky. Velikost průměrné střížné síly 2 938 N je nižší než orientační požadovaná hodnota. Velikost stlačení plechů je u všech vzorků této série vyhovující. Velikost svarové čochky odečtená z metalografického výbrusu 3,83 mm je vyhovující, požadováno bylo minimálně 3,35 mm. Velikost svarové čochky změřená po provedení zkoušky stříhem je u vzorků V30-2 a V30-3 nevyhovující, zatímco v případě vzorku V30-4 je vyhovující.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V30

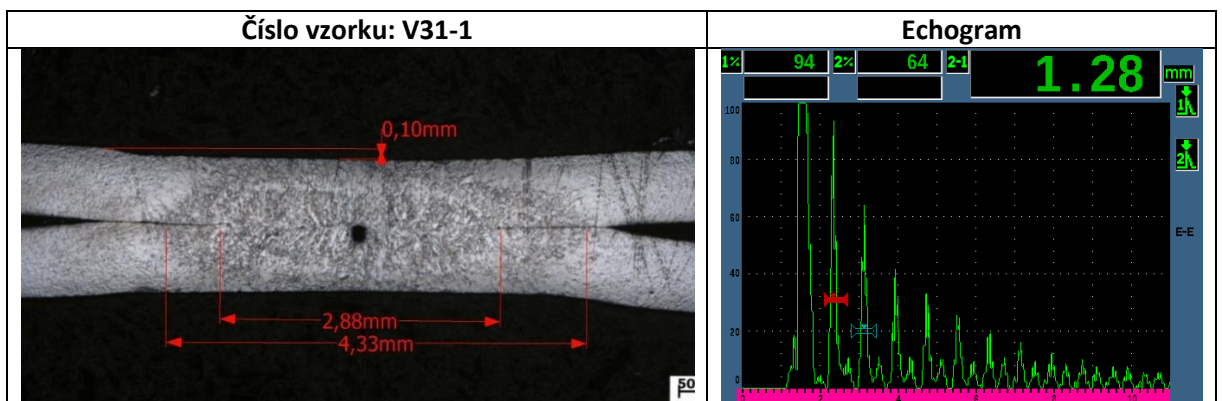


# Zkušební série - V31

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - Hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	2,88
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	4,33
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,10

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V31-2	3 123	4,83
V31-3	3 359	4,52
V31-4	3 225	4,84
PRŮMĚR	3 236	4,99

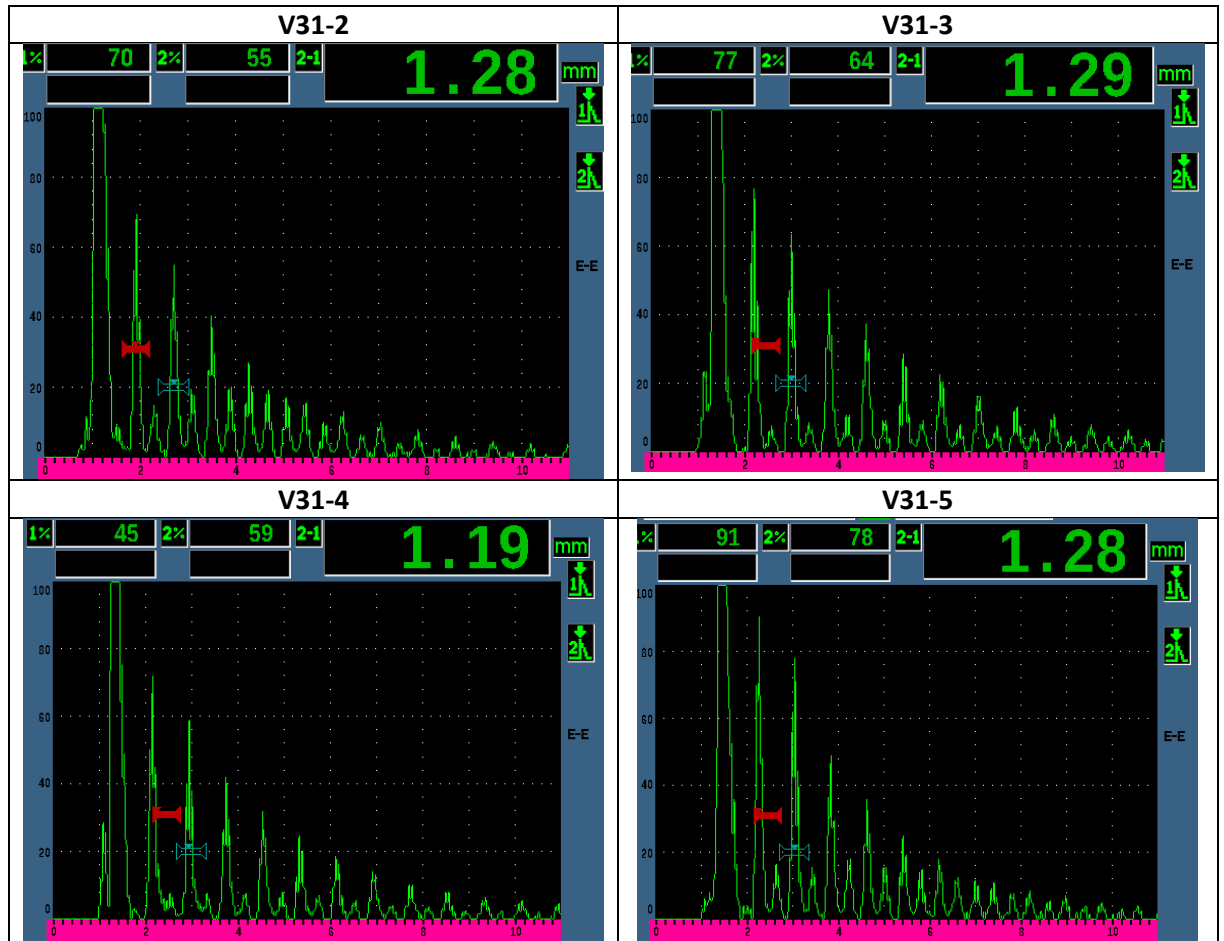
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V31-1	Vady ve svaru	1,28 mm	Nevyhovuje
V31-2	Malý spoj s přilepenou zónou	1,28 mm	Nevyhovuje
V31-3	Vady ve svaru	1,29 mm	Nevyhovuje
V31-4	Vady ve svaru	1,19 mm	Nevyhovuje
V31-5	Malý spoj s přilepenou zónou	1,28 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V31

Průběhy echogramů vzorků V31-1, V31-3 a V31-4 indikují vady ve svaru. V echogramech vzorků V31-1 a V31-5 je tzv. „Napoleonův klobouk“ indikující malý spoj s přilepenou zónou. Velikost stlačení plechů je ve všech případech této série vyhovující. V metalografickém výbrusu je viditelná dutina. Naměřená průměrná stříhová síla 3 236 N je nižší než orientační vyhovující hodnota. Velikost svarové čočky z metalografického výbrusu 2,88 je nevyhovující, požadováno bylo minimálně 3,35 mm. Velikost svarové čočky naměřená po provedení zkoušky stříhem je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V31

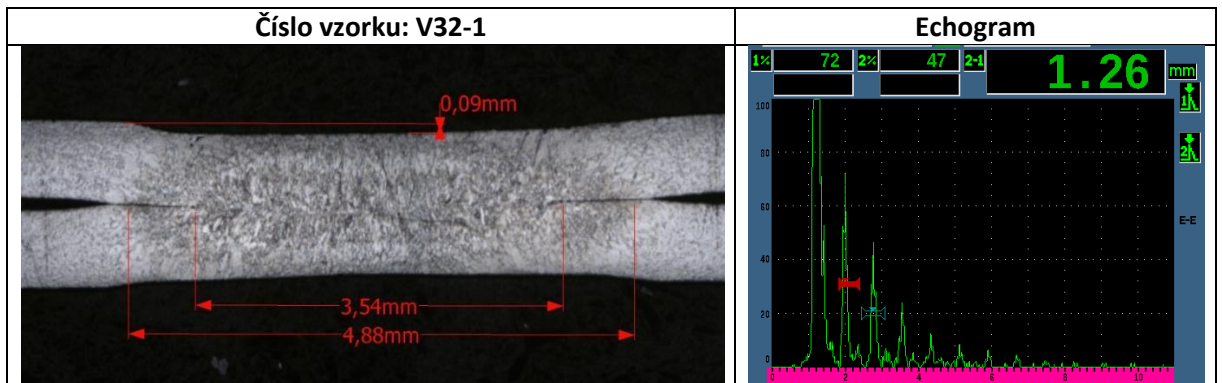


# Zkušební série - V32

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	3,54
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	4,88
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,09

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V32-2	3 145	4,83
V32-3	3 322	4,52
V32-4	3 253	4,84
PRŮMĚR	3 240	4,73

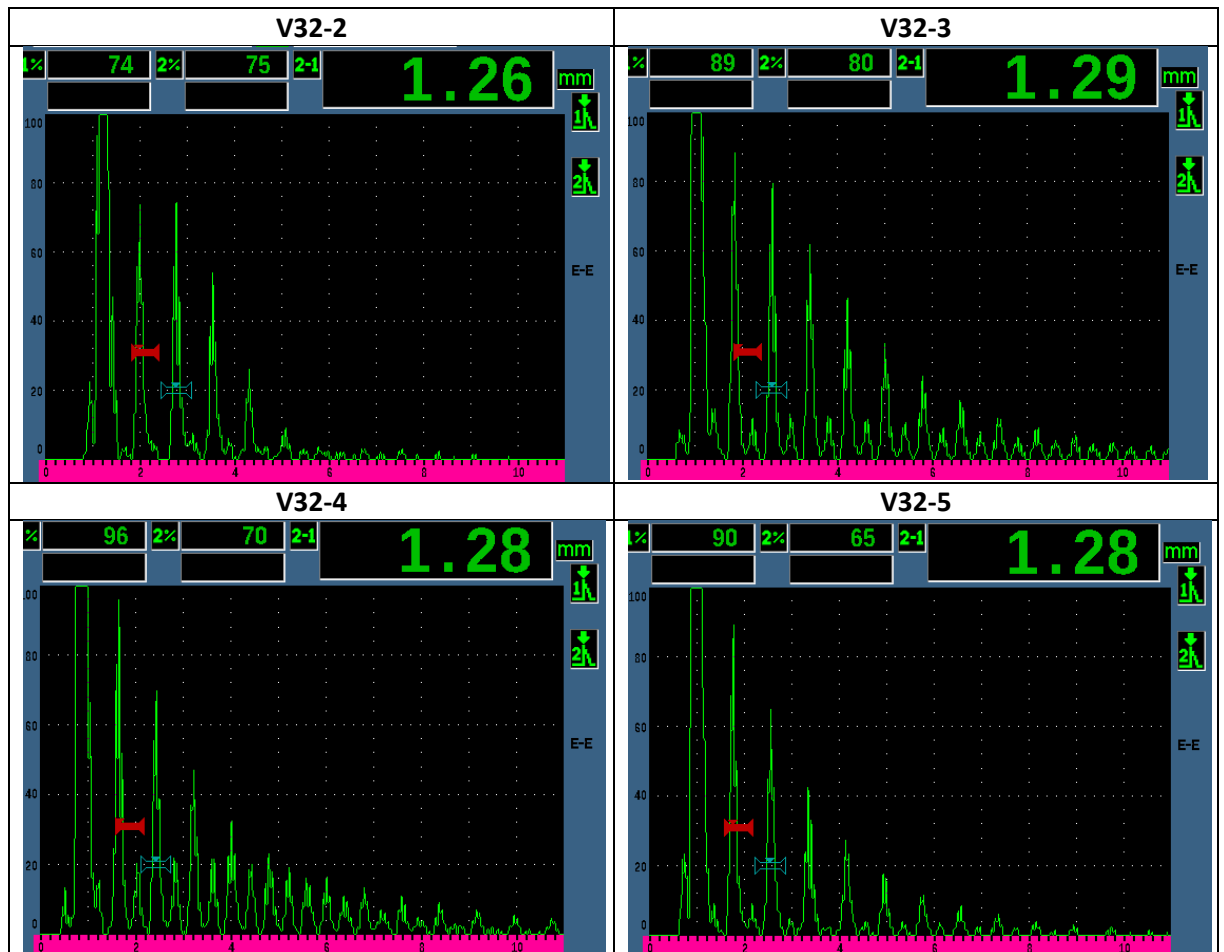
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V32-1	Vady ve svaru	1,26 mm	Nevyhovuje
V32-2	Vady ve svaru	1,26 mm	Nevyhovuje
V32-3	Vady ve svaru	1,29 mm	Nevyhovuje
V32-4	Vady ve svaru	1,28 mm	Nevyhovuje
V32-5	Malý spoj s přilepenou zónou	1,28 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V32

Průběhy echogramů V32-1, V32-2, V32-3 a V32-4 indikují vady ve svaru a průběh echogramu V32-5 indikuje malý spoj s přilepenou zónou. Velikost stlačení plechů je u všech vzorků vyhovující. Naměřená stříhová síla 3 240 N je menší než orientační vyhovující hodnota. Velikost svarové čochy odečtená z metalografického výbrusu 3,54 mm je vyhovující, požadováno bylo 3,35 mm. Velikost svarové čochy odečtená po provedení zkoušky stříhem je ve všech případech větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V32

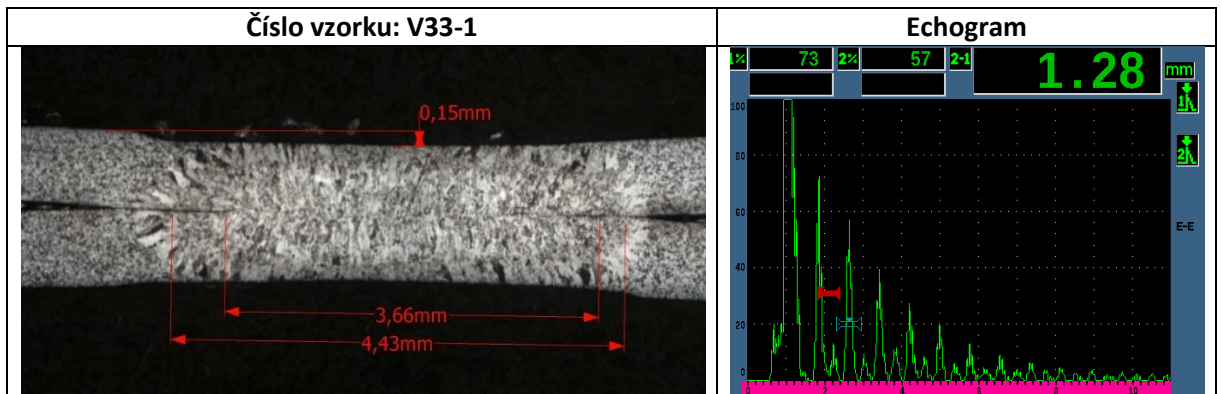


# Zkušební série - V33

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	180
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	3,66
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	4,43
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,15

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V33-2	3 149	4,58
V33-3	3 258	4,97
V33-4	3 265	4,84
PRŮMĚR	3 224	4,79

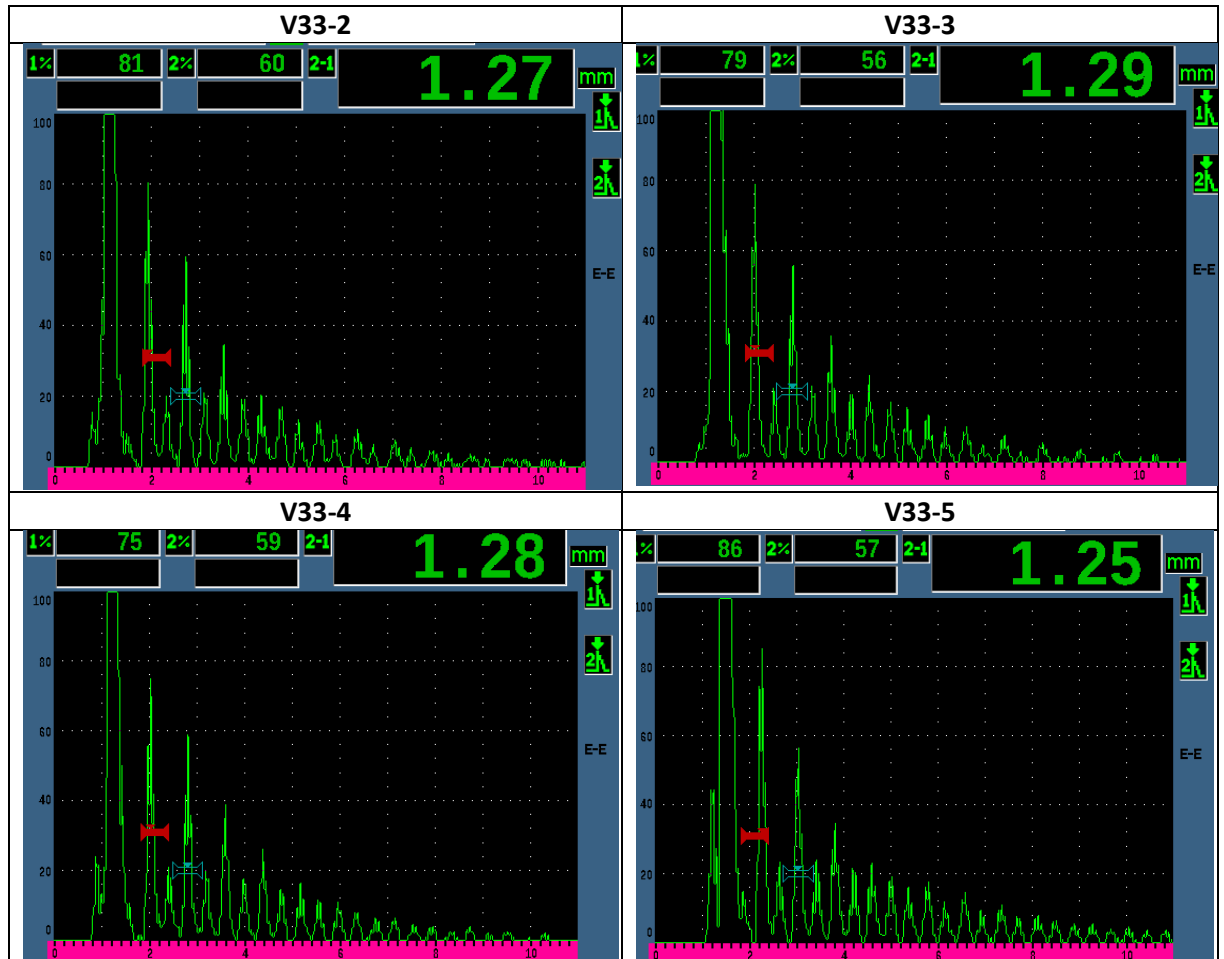
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V33-1	Malý průměr čočky	1,28 mm	Nevyhovuje
V33-2	Malý spoj s přilepenou zónou	1,27 mm	Nevyhovuje
V33-3	Malý spoj s přilepenou zónou	1,29 mm	Nevyhovuje
V33-4	Malý spoj s přilepenou zónou	1,28 mm	Nevyhovuje
V33-5	Malý spoj s přilepenou zónou	1,25 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V33

Průběh echogramu V33-1 indikuje malý průměr čočky, průběhy echogramů V33-2, V33-3, V33-4 a V33-5 malý spoj s přilepenou zónou (tzv. „Napoleonův klobouk“ v echogramu). Velikost stlačení plechů je u všech vzorků této série vyhovující. V metalografickém výbrusu je viditelná výrazná asymetrie svaru. Velikost stříhové síly 3 224 N je menší než orientační vyhovující hodnota. Průměr svarové čočky odečtený z metalografického výbrusu 3,66 mm je vyhovující, požadováno bylo 3,35 mm. Velikost svarové čočky změřená po provedení zkoušky ve stříhu je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V33



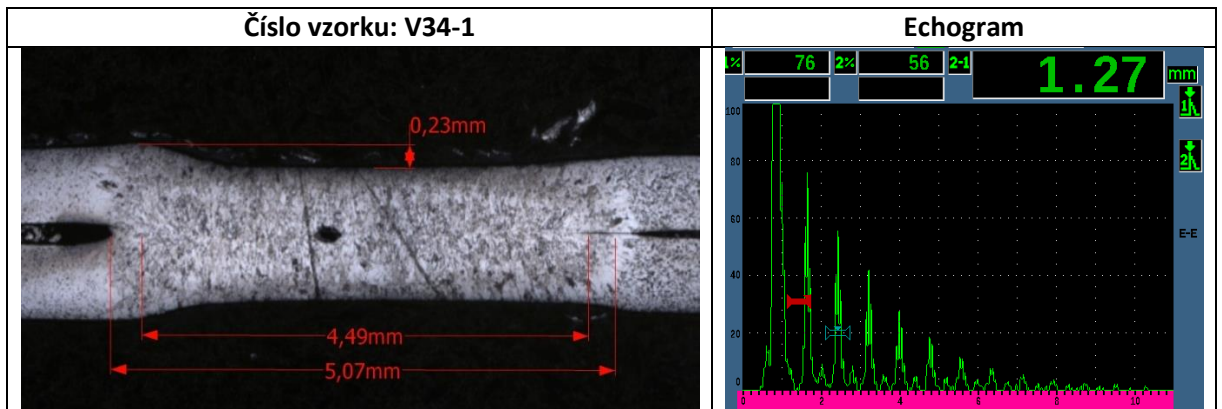


# Zkušební série - V34

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	1,9
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,49
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,07
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,23

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V34-2	3 458	5,39
V34-3	3 490	5,39
V34-4	3 587	4,75
PRŮMĚR	3 512	5,18

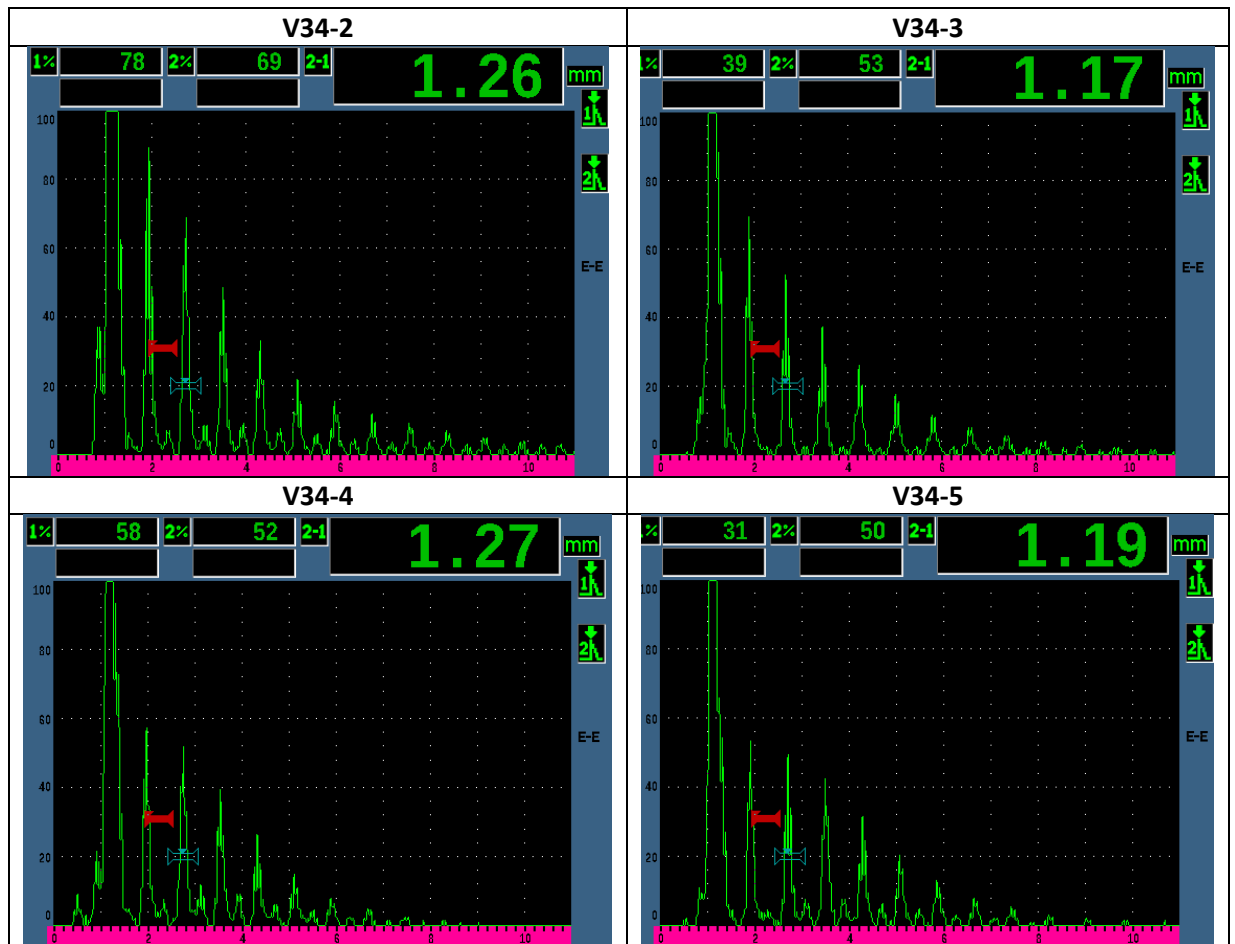
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V34-1	Vady ve svaru	1,27 mm	Nevyhovuje
V34-2	Vady ve svaru	1,26 mm	Nevyhovuje
V34-3	Vyhovující svar	1,17 mm	Vyhovuje
V34-4	Vady ve svaru	1,27 mm	Nevyhovuje
V34-5	Vyhovující svar	1,19 mm	Vyhovuje

### Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V34

Průběh echogramů vzorků V34-1, V34-2 a V34-4 indikuje vady ve svaru. Echogramy vzorků V34-3 a V34-5 indikují vyhovující svar. Velikost stlačení plechů je ve u všech vzorků série vyhovující V metalografickém výbrusu je viditelná vnitřní dutina. Průměrná velikost střížné síly 3 512 N je mírně pod orientační vyhovující hodnotou. Průměr svarové čočky je u všech vzorků větší než je maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V34

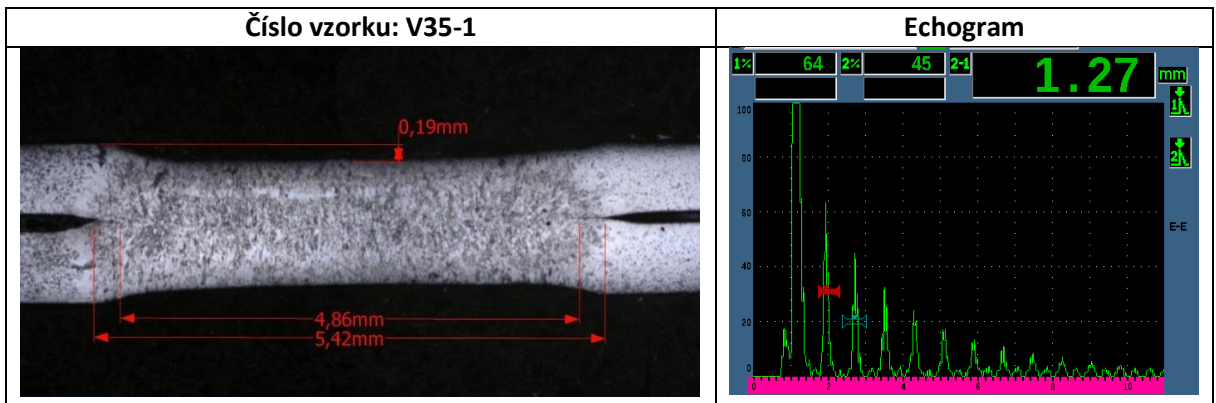


# Zkušební série - V35

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,86
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,42
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,19

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V35-2	3 452	5,14
V35-3	3 531	5,08
V35-4	3 515	5,50
PRŮMĚR	3 499	5,24

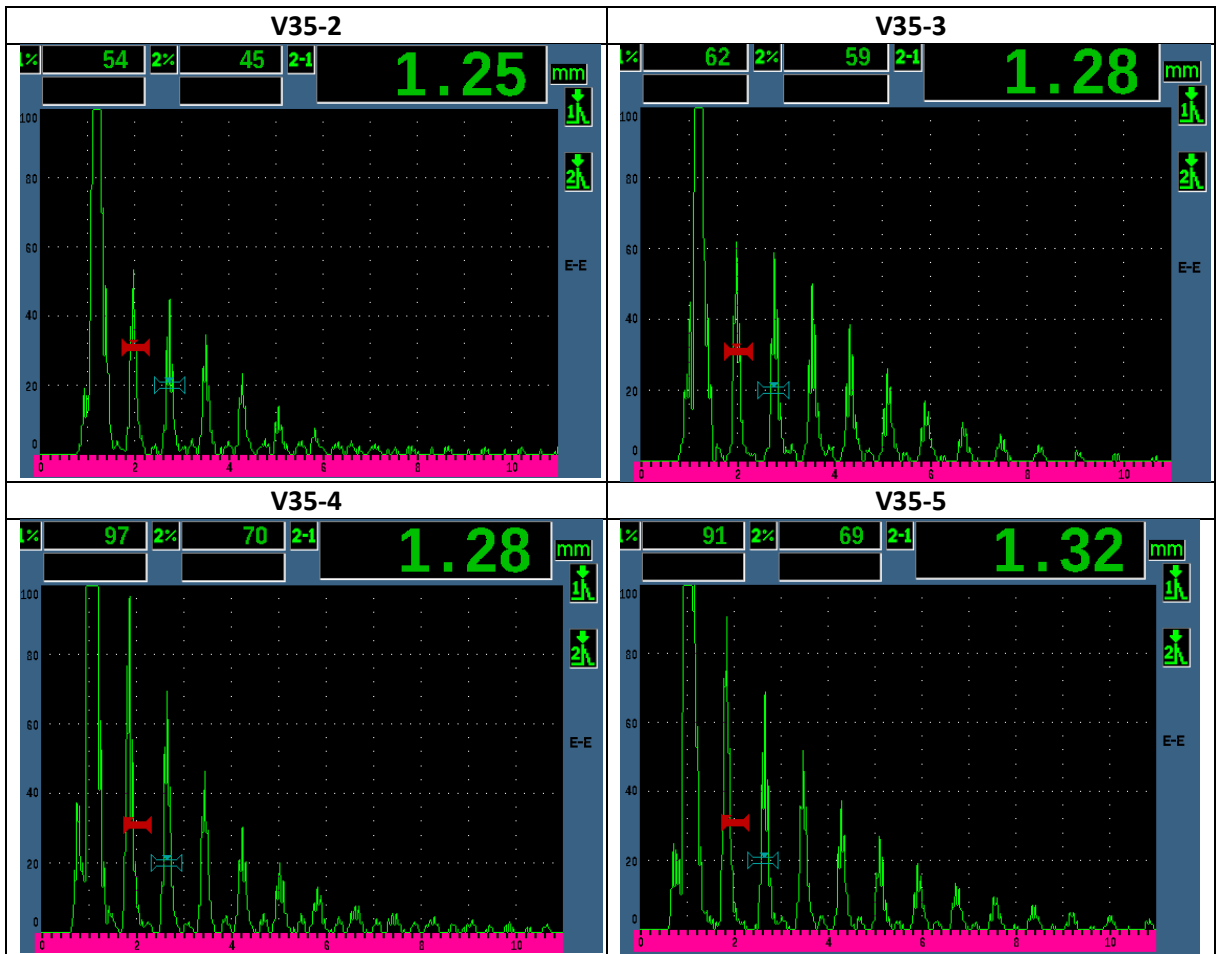
## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V35-1	Vyhovující svar	1,27 mm	Vyhovuje
V35-2	Vyhovující svar	1,25 mm	Vyhovuje
V35-3	Studený spoj	1,28 mm	Nevyhovuje
V35-4	Vyhovující svar	1,28 mm	Vyhovuje
V35-5	Studený spoj	1,32 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V35

Průběhy echogramů vzorků V35-1, V35-2 a V35-4 indikují vyhovující svar. U vzorků V35-3 a V35-5 byl pokles ech příliš pozvolný, proto byly vyhodnoceny jako studený spoj. Velikost stlačení plechů byla u všech vzorků série vyhovující. Metalografický výbrus odpovídá vyhovujícímu svaru. Velikost stříhové síly se pohybuje kolem orientační vyhovující hodnoty (U vzorku V35-2 je stříhová síla 3 452 N, u vzorku V35-3 je 3 531 N a u vzorku V35-4 je 3 515 N). Velikost svarové čocky je u všech vzorků větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V35

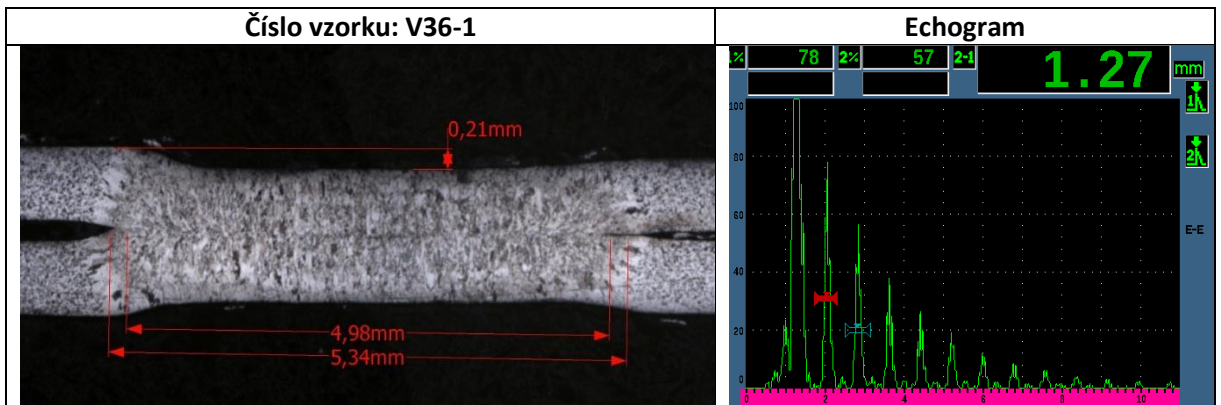


# Zkušební série - V36

## Svařovací parametry:

Čas svařování (ms)	200
Přítlačná síla (kN)	2,1
Svařovací proud (kA)	6

## Metalografický výbrus



Geometrické charakteristiky - Hodnoty odečtené z metalografického výbrusu:

Průměr svarové čočky	$d_n$ (mm)	4,98
Průměr TOO	$d_{TOO}$ (mm)	5,34
Hloubka vtisku	$e_u$ (mm)	0,21

## Zkouška stříhem

	Střížná síla $F_m$ (N)	$d_n$ (mm)
V36-2	3 482	5,51
V36-3	3 144	5,10
V36-4	3 185	4,93
PRŮMĚR	3 270	5,18

## Zkouška ultrazvukem

Vzorek	Průběh echogramů	Tloušťka stlačených plechů	Vyhodnocení
V36-1	Vyhovující svar	1,27 mm	Vyhovuje
V36-2	Vyhovující svar	1,25 mm	Vyhovuje
V36-3	Vady ve svaru	1,10 mm	Nevyhovuje
V36-4	Vyhovující svar	1,25 mm	Vyhovuje
V36-5	Vady ve svaru	1,25 mm	Nevyhovuje

## Zhodnocení výsledků zkoušek u série vzorků V36

Průběhy echogramů V36-1, V36-2 a V36-4 indikují vyhovující svar. Průběhy echogramů vzorků V36-3 a V36-5 indikují vady ve svaru. Velikost stlačení plechů je u všech vzorků vyhovující. Metalografický výbrus odpovídá vyhovujícímu svaru. Velikost svarové čochy je u všech svarů větší než maximální dovolená hodnota.

### Echogramy vzorků 2 až 5 ze série V36

