

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Martin Královský

**Bodové odporové svařování pokovených ocelových
plechů elektrodami vyrobenými práškovou
metalurgií**

Diplomová práce

1996

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské metalurgie

Bodové odporové svařování pokovených ocelových plechů elektrodami vyrobenými práškovou metalurgií

Martin Královský

KSM 449

Vedoucí diplomové práce : Ing. Heinz Neumann, CSc, TU Liberec

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 77

Počet tabulek : 8

Počet obrázků : 33

Počet grafů : 21

Počet výkresů : --

24. května 1996

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra :

Školní rok :

Katedra strojírenské metalurgie

1995/96

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Martina K R Á L O V S K É H O

obor

Strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č.172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci :

Název tématu :

Bodové odporové svařování pokovených ocelových plechů elektrodami vyrobenými práškovou metalurgií.

Zásady pro vypracování :

1. Seznamte se s teoretickými základy metod odporového svařování a technologickými aspekty odporového svařování ocelových plechů s kovovými povlaky.
2. Seznamte se s metodami hodnocení kvality bodových odporových svarů a hodnocení životnosti elektrod.
3. Elektrodové materiály pro odporové bodové svařování - druhy, třídění, vlastnosti.
4. Ve spolupráci s vedoucím DP navrhnete experimentální program pro ověření vhodnosti elektrodových špiček vyrobených práškovou metalurgií.
5. Rozbor a celkové zhodnocení dosažených výsledků.

Obsah :

1. Úvod	5
2. Teoretická část	6
2.1 Odporové svařování - dělení a definice	6
2.2 Fyzikální podstata odporového svařování	7
2.3 Využití elektrického tepla ke svařování	7
2.4 Bodové odporové svařování	9
2.4.1 Princip a základní typy bodového odporového svařování	9
2.4.2 Technologie bodového svařování	11
2.4.3 Elektrody pro bodové odporové svařování	13
2.4.3.1 Požadavky kladené na elektrodové materiály	13
2.4.3.2 Druhy a vlastnosti elektrodových materiálů	14
2.4.3.3 Životnost elektrod	16
2.4.4 Bodové odporové svařování povrchově upravených plechů	19
2.4.5 Specifika bodového odporového svařování pozinkovaných plechů	22
2.5 Metody hodnocení jakosti odporových svarů	23
2.6 Plechy s povlaky na bázi Zn	29
2.6.2 Nanášení povlaků v roztavených kovech (žárové pokovení)	29
2.6.3 Galvanické pokovování	31
3. Experimentální část	33
3.1 Cíle experimentální části práce	33
3.2 Použitá zařízení	34
3.3 Příprava elektrod a vzorků pro experimentální práce	37
3.4 Provádění experimentu	38
3.5 Metodika vyhodnocení experimentu	40
3.6 Vyhodnocení experimentu	42
4. Závěr	73

Význam použitých symbolů :

I_{ef} svařovací proud [kA]

t_s svařovací čas [N]

$D_{dolní}$ průměr dolní elektrody [mm]

$D_{horní}$ průměr horní elektrody [mm]

D_{svaru} průměr svarové čocky [mm]

F_{max} maximální únosnost svarového spoje [mm]

n počet svarových spojů

s tloušťka svařovaného plechu

1. Úvod

Vysoká konkurence na světovém trhu strojírenských výrobků nutí všechny výrobce neustále zdokonalovat své výrobky a zvyšovat jejich jakost. Jedním z hlavních požadavků kladených dnes na strojírenské výrobky (především automobily) je zvyšování jejich korozní odolnosti. Vývoj v této oblasti ukázal nutnost použití ocelových plechů s kovovými povlaky.

Pokovené ocelové plechy splňují vysoké požadavky kladené na protikorozní odolnost, ale jejich použití přináší i určité problémy. Jedním z těchto problémů je jejich svařitelnost. Při bodovém odporovém svařování pokovených plechů dochází velmi rychle k opotřebení pracovních ploch svařovacích elektrod a tím k rychlému snížení jejich životnosti. Tímto problémem se zabývá ve svém výzkumném programu i Ústav materiálového výskumu SAV v Košicích. Vyvíjí elektrodové materiály vyrobené práškovou metalurgií. Tyto materiály by měly být použity při svařování pozinkovaných a pohliníkových ocelových plechů v automobilovém průmyslu. Důležitým stupněm vývoje po navržení složení, technologie výroby a výrobě elektrod je vlastní ověření jejich vhodnosti pro bodové odporové svařování ocelových plechů s povlaky. Tedy stanovení životnosti elektrod a zjištění jakosti jimi provedených svarových spojů.

Tato diplomová práce se zabývá testy životnosti svařovacích elektrod vyrobených práškovou metalurgií při svařování žárově pozinkovaných plechů tloušťky 0.7 mm, navazuje na zkušenosti získané na Katedře strojírenské metalurgie a vznikla jako součást spolupráce mezi TU Liberec a Ústavem materiálového výskumu SAV v Košicích.

2. Teoretická část

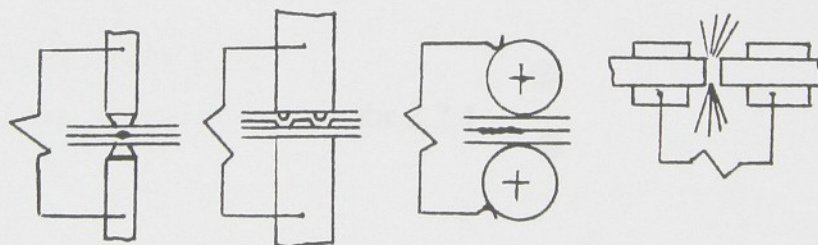
2.1 Odporové svařování - dělení a definice.

Odporové svařování je způsob svařování, při kterém se spoj vytváří teplem vyvinutým průchodem elektrického proudu svařovanými díly a jejich stykem za spolupůsobení tlaku.[1]

Podle technologického způsobu využití odporového ohřevu na svařování dělíme odporové svařování na čtyři základní druhy[2]:

- a) bodové :spoje se vytváří v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými dílci
- b) švové :spoje se vytváří kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého svaru většinou mezi přeplátovanými dílci
- c) stykové :svařované dílce jsou přitlačovány ve styčných plochách a svařují se v celé styčné ploše
- d) výstupkové :spoje se vytvářejí na místech styku přirozených a nebo záměrně vytvořených výstupků

Tyto základní druhy jsou schematicky znázorněny na obrázku 2.1.1



Obr.2.1.1 Základní druhy odporového svařování.

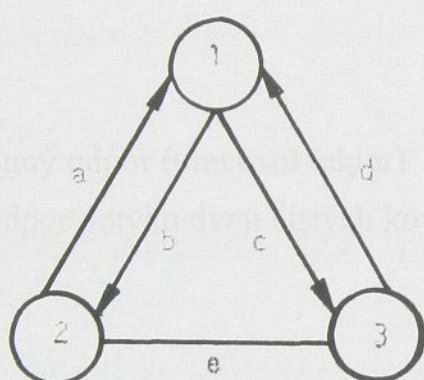
Typické vlastnosti tohoto způsobu svařování jsou [2]:

- vysoká rychlost ohřevu základního materiálu v oblasti vytvářeného svaru (až 100 000 °C/s)
- vytváření spojů bez použití přídavných materiálů
- je možné svařovat mnohé materiály jinými způsoby obtížně svařitelné

2.2 Fyzikální podstata odporového svařování

Odporové svařování je nerovnovážný děj, během kterého vzniká svarový spoj působením rozličných mechanismů. Hnací silou svařovacího procesu je existence teplotních a deformačních gradientů a spojení svařovaných částí vzniká krystalizací natavené oblasti tzv. svarové čochy. Svarový kov spoje tvoří přetavený základní materiál. Přítlačná síla zajišťuje přiblížení povrchu svařovaných částí, zabezpečuje průchod svařovacího proudu, udržuje natavený obsah svarové čochy v místě spoje, působí plastické deformace chladnoucího kovu (prokování svaru) [8].

Hlavní fyzikální děje a jejich vzájemné vazby u odporového svařování jsou zřejmé z obr.2.2.1



1 vznik a vedení tepla

2 deformační působení

3 elektrické pole

a změny geometrie

b změny mech.vlastností s teplotou

c teplotní závislost měrného el.odporu

d pole proudové hustoty

e změny geometrie

obr.2.2.1

2.3 Využití elektrického tepla ke svařování

Podstatou elektrického odporového svařování je soustředění vzniklého elektrického tepla do místa, které se má svařovat. Proto musí mít ohřívané místo co největší odpor a co nejmenší tepelné ztráty. Během svařování se pracovní odpor i proud mění.

Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas t je podle Joulova zákona[2]:

$$Q = \int_0^t R \cdot I^2 dt \quad (1)$$

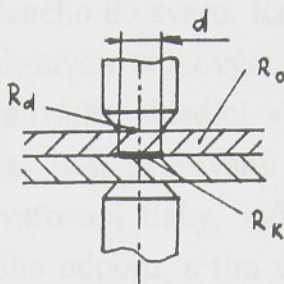
R -celkový činný odpor mezi elektrodami(pracovní odpor)

I-proud protékající tímto odporem[A]

dt-diferenciál času

Odpor materiálu mezi elektrodami závisí na rozměrech vodiče, směru průchodu proudu a měrném odporu materiálu, který silně roste s teplotou.

Složky odporu při bodovém svařování(obr2.3.1). [2]



obr.2.3.1

$$R=2R_d+R_k+2R_0$$

R_0 ...činný odpor (pracovní odpor)

R_d ..odpor dotyku dvou čistých kovových ploch

$$R_d := \frac{\delta_c}{d} [\Omega] \quad (2)$$

δ_c ..je aritmetický střed odporů dotýkajících se kovů při dané teplotě

d ...průměr dotykové plochy [cm]

R_0 ..odpor svařovaného materiálu

$$R_0 := \frac{4 \cdot \chi \cdot t \cdot \rho^2}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

χ ..součinitel zmenšení odporu proti odporu válce

ρ ..měrný odpor [Ωm]

t ..tloušťka svařovaných plechů[cm]

Průměr dotyku závisí na tlaku mezi stykovými plochami F a na pevnosti materiálu v

tlaku: $d := k \cdot \sqrt{\frac{F}{10}}$

$k = 0,0123$ pro měď+měď, měď+ měkká ocel

$k = 0,0174$ pro měď+ hliník

R_k ..odpor kontaktního styku vzniká tím, že povrch svařovaných ploch není nikdy absolutně hladký, takže přitlačované plochy se stýkají v mnoha samostatných, malých ploškách, jejichž velikost závisí na tloušťce, mechanických vlastnostech materiálů a stavu jejich povrchu.

Ze tří přechodových odporů a dvou ohmických odporů svařovaných součástí je pro vytvoření svaru nejvýznamnější odpor styku mezi svařovanými součástmi, neboť ten rozhoduje o množství tepla přivedeného do svaru. Kontaktní odpory mezi elektrodami a materiálem je nutno zmenšit úpravou stykových ploch na minimální hodnotu a vyvinuté teplo v těchto místech odvádět chladicí vodou, aby teplota elektrodových špiček nepřesáhla dovolenou mez. Je-li svařovaný materiál znečištěn, deformován nebo jsou-li voleny nesprávné svařovací tlaky, může se většina svařovacího tepla soustředit do jiného místa největšího odporu, a tím vytvořit nedokonalý svar tam kde ho nepožadujeme. Kromě toho se poškozují přívodní plochy na součástech nebo vznikají hluboké vtisky a deformace v okolí svaru [2].

2.4 Bodové odporové svařování

2.4.1 Princip a základní typy bodového odporového svařování

Bodové odporové svařování je druh odporového svařování, při němž se spoje vytvářejí ve tvaru svarových čoček mezi přelátovanými dílci. Podle uspořádání svařovacích elektrod se dá rozdělit na dvě hlavní skupiny [2]:

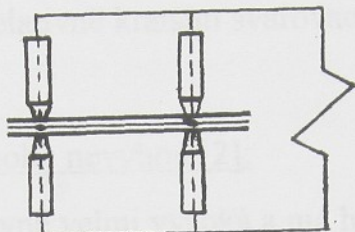
přímé bodové svařování-vytvářejí se svary mezi elektrodami umístěnými obvykle souose z opačných stran svařovaných dílců

nepřímé bodové svařování-elektrody jsou umístěny obvykle v různých osách z jedné strany svařovaných dílců

Přímé i nepřímé odporové svařování může být s bočním proudem, při němž část sekundárního proudu odbočuje mimo vytvářené svary, nebo bez bočního proudu, kdy se vytváří jeden nebo více svarů a celý sekundární proud protéká přes vytvářené svary. Kromě jednobodového svařování existuje dále i dvoubodové nebo vícebodové, kdy se na jednom stroji pomocí dvou nebo více elektrod zhotoví dva nebo více bodů na jednu operaci.

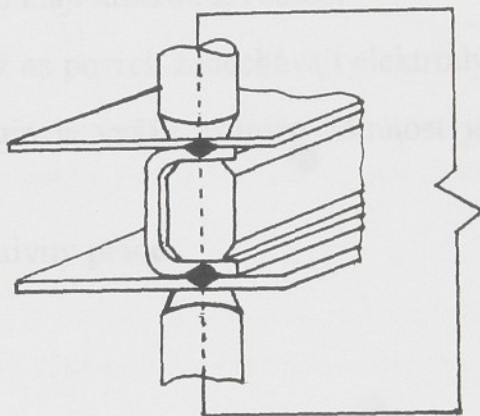
Podle dalšího hlediska rozeznáváme[2]:

-paralelní bodové svařování, což je způsob přímého bodového svařování, při němž se pomocí dělené elektrody současně zhotoví více svarů(obr2.4.1.1)



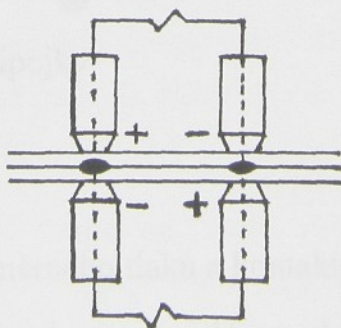
obr2.4.1.1

-sériové bodové svařování, při němž se v sérii vytváří nejméně dva svary(obr2.4.1.2)



obr2.4.1.2

-dvoubodové svařování v protitaktu (mezinárodně označované jako princip push-pull) je zvláštní způsob bodového svařování, kdy jsou protilehlé dvojice elektrod připojeny k samostatným transformátorům s okamžitou opačnou polaritou (obr2.4.1.3).



obr2.4.1.3

2.4.2 Technologie bodového svařování

Svařovací parametry odporového svařování přímo působí na jakost svarového spoje. Vzájemná kombinace velikostí svařovacích parametrů je svařovací režim, při němž měkký je kombinace relativně nižšího svařovacího proudu a tlaku s relativně delším svařovacím časem, naproti tomu tvrdý režim je kombinací relativně vyššího svařovacího proudu a tlaku s relativně kratším svařovacím časem.

Měkký svařovací režim má mnoho nevýhod [2]:

- svarová čouka :
 - je relativně velmi vysoká a má hrubší strukturu
 - má malý průměr což snižuje únosnost spoje
- vzhledem k nízkým svařovacím tlakům hrozí výstřik roztaveného jádra svaru
- elektrody jsou značně tepelně namáhané následkem dlouhého styku a vyšší teploty pod povrchem kovu, a proto mají krátkou životnost
- při materiálu prohřátém až na povrch zanechávají elektrody velké vtisky
- spotřeba elektrické energie je vyšší, protože účinnost je malá následkem vyšších tepelných ztrát
- dosahuje se menší produktivity práce
- únosnost spoje je nízká

Tvrdý svařovací režim [2]:

- má v podstatě opačné charakteristiky než režim měkký
- vyžaduje : vyšší výkony
 - přesně odměřené časy-řádově v periodách
 - vyšší přítlačné síly
 - silnější elektrické přípojky

Svařovací přítlačná síla [2]:

- rovná se součinu základního měrného tlaku a kontaktní plochy elektrody

Průměr kontaktní plochy elektrody je závislý na tloušťce svařovaného materiálu a určuje se podle různých empirických vzorců.

Při svařování tuhých a zdeformovaných dílců je třeba počítat s určitým zvýšením svařovací síly. Nikdy však nesmí svařovací síla převyšovat mez kluzu použitého elektrodového materiálu.

Správně nastavená přitlačná síla zabraňuje výstřiku roztaveného jádra svaru, při ochlazení působí jako kovací síla za tepla, což má vliv na zjemnění krystalizace. Proto se přitlačná síla ke konci svařovací operace při programově řízeném tlaku zvyšuje a má působit tak dlouho, dokud se teplota jádra nesníží pod 400°C. Další působení tlaku elektrod (kování) pomáhá též odvést teplo z místa spoje a tím zmenší deformace.

Svařovací proud [2]:

- má z hlediska vzniku elektrického odporového tepla prvořadý význam, protože v Joulově rovnici (1) se vyskytuje v kvadratické závislosti

Při určování svařovacího proudu vycházíme ze základní proudové hustoty a z kontaktní plochy elektrody. Při malém svařovacím proudu může nastat stav, že se přiváděná energie rovná ztrátám tepla vedením do materiálu a sáláním do okolí, vytvoří se pouze difúzní svar, jehož mechanická pevnost je velmi malá.

Při svařování velmi dobrých vodičů tepla a el. proudu používáme vysoké intenzity svařovacího proudu, musí se však pamatovat na možnost vystříknutí svarového kovu.

Svařovací čas t_s [2]:

- je časový interval, kdy materiálem protéká svařovací proud, při pulsačním svařování se časový interval počítá začátkem prvního a ukončením posledního pulzu včetně součtu časů přerušení proudu. Je to časový interval potřebný na vytvoření úplného svaru. Svařovací čas se měří v sekundách [s] nebo desetinách sekundy, výhodnější je však měřit svařovací čas v periodách síťového kmitočtu. V České republice je frekvence sítě 50 Hz, takže jedna perioda je 1/50 s (to odpovídá 0.02 s).

Na svařitelnost při bodovém svařování mají vliv tloušťka a různé vlastnosti svařovaných materiálů, například vnitřní odpor, tepelná vodivost a měrné teplo.

Činitelé, na nichž závisí jakost bodových svarů jsou [2]:

- metalurgické vlastnosti svařovaných materiálů
- povrch v místě svaru
- hodnoty použitých svařovacích veličin
- použitý svařovací program

2.4.3 Elektrody pro bodové odporové svařování

2.4.3.1 Požadavky kladené na elektrodové materiály

Elektroda jako součást sekundárního obvodu svařovacího zařízení přichází do přímého styku se svařovaným dílem. Jejím hlavním úkolem je zabezpečit průchod elektrického proudu svařovanými díly, ale také formovat svarový spoj. Těmito funkcemi je dáno namáhání elektrod:

- metalurgicky
- mechanicky
- tepelně
- elektricky

Během svařování se namáhání dynamicky mění. Všechny typy namáhání působí na elektrodu současně.

Ze způsobu namáhání vycházejí požadavky kladené na elektrodové materiály. Od elektrodových materiálů jsou vyžadovány:

- vysoká elektrická vodivost
- vysoká tepelná vodivost
- mechanická pevnost
- odolnost proti otěru za vyšších teplot
- co nejvyšší teplota měknutí
- co nejnižší sklon k nalegování svařovaným materiálem
- dobrá obrobitelnost
- nízké pořizovací náklady

Získat elektrodový materiál splňující všechny tyto požadavky nelze. Vždy se jedná o určitý kompromis ve prospěch jedné vlastnosti je nutno obětovat jinou. Například čím vyšší je elektrická vodivost materiálu tím nižší je jeho pevnost a naopak.

2.4.3.2 Druhy a vlastnosti elektrodových materiálů

S ohledem na výše jmenované požadavky (viz kapitola 2.4.3.1) vysokou elektrickou a tepelnou vodivost se elektrodové materiály vyrábějí na bázi slitin mědi.

Podle RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association) se elektrodové materiály dělí do dvou základních skupin (viz [15]).

Skupina A - slitiny na bázi mědi

Třída 1 : jsou slitiny měď- kadmium (jmenovité složení 1% Cd, zbytek Cu) a doporučují se jako elektrodový materiál pro všeobecné použití. Materiály třídy 1 jsou zpevněné tvářením za studena a vykazují příznivější vlastnosti než čistá měď.

Třída 2 : jsou slitiny měď- chrom (jmenovitý obsah 0,8 % ČR, zbytek Cu) vytvrzené a s poněkud horší elektrickou a tepelnou vodivostí než u materiálů třídy 1. Jejich všeobecně příznivé fyzikální vlastnosti a odpor proti deformaci při středně vysokých tlacích je činí nejlepším elektrodovým materiálem pro všeobecné použití.

Třída 3 : jsou slitiny měď- berylium (jmenovité složení 0,5 % Be, 1 % Ni, 1 % Co a zbytek Cu) vytvrzené a s vyššími mechanickými vlastnostmi a nižší elektrickou vodivostí než mají materiály třídy 2. Používají se především tam, kde se požadují vyšší mechanické vlastnosti a odpor proti deformaci je důležitější než elektrická vodivost.

Třída 4 : jsou slitiny měď- berylium s vyšším obsahem berylia (jmenovité složení 1,8 % Ba, 0,3 % Co a zbytek Cu) vytvrzené na maximální tvrdost a pevnost obvykle dosažitelnou u slitin na bázi mědi. Tyto materiály mají podstatně nižší elektrickou vodivost než materiály třídy 3 a tendenci ke křehnutí za tepla. Používají se na díly u nichž se požaduje vysoká odolnost proti otěru a tlaku, a které se v procesu svařování nadměrně neohřívají.

Třída 5: jsou slitiny měď-hliník (jmenovité složení 12 % Al, zbytek Cu) s vysokou pevností a odolností proti otěru a používají se především pro elektrovodné konstrukční části odporových svařovacích strojů.

Skupina B - žáruvzdorné slitiny

Materiály skupiny B jsou většinou vyráběné práškovou metalurgií a používají se tam, kde vysoké teploty, dlouhé svařovací časy a vysoký měrný tlak způsobují u slitin skupiny A rychlou deformaci a ztrátu funkční schopnosti.

Třídy 10, 11, 12 se vyrábějí na bázi Cu-W a s rostoucím číslem třídy se zvyšuje jejich odolnost. Používají se např. jako vložky na svařovací elektrody.

Třída 14 a třída 15 jsou technicky čistý wolfram a molybden. Jsou to materiály všeobecně považované za jediné materiály splňující náročné požadavky při svařování neželezných kovů.

Pro odporové svařování se však používá i celá řada dalších materiálů opět převážně na bázi mědi, např. slitiny Cu-Cr-Zr, Cu-Te, Cu-Ag a řada dalších vytvrditelných slitin s malými přísadami některých uvedených prvků - Ni, Si, Be, Al, Zr, Cr, Co, V, Fe.

Zvýšená pozornost se v současné době věnuje materiálům na bázi mědi zpevněných jemnou disperzí žáruvzdorných a žárupevných oxidů Al_2O_3 (nebo jiných oxidů např. Zr a Th). Tyto materiály mají dobrou elektrickou vodivost a vysokou tvrdost i pevnost. Při zkouškách životnosti, resp. opotřebení elektrod vykazují v porovnání s klasickými materiály třídy 2 podle RWMA pozoruhodné výsledky.

Vhodností použití těchto materiálů jako elektrodových materiálů pro bodové odporové svařování se zabýval ve své práci Mráz [16].

Vlastnosti a označení zkoumaných elektrod [16]:

označení elektrod	materiál	HB	mez pevnosti [MPa]	el. vodivost z teor. vod. Cu
05	Cu-10 obj.% CuO. Al_2O_3	210	300	55%
07	Cu-10 obj.% CuO. Al_2O_3	210	300	55%
5	Cu-5 obj.% CuO. Al_2O_3	159	---	---
45	Cu-5 obj.% CuO. Al_2O_3	150	550	65%
35	Cu-5 obj.% CuO. Al_2O_3	150	550	65%
57	Cu-5 obj.% CuO. Al_2O_3	150	550	65%
55	Cu-5 obj.% CuO. Al_2O_3	150	550	65%
3	Cu-3 obj.% CuO. Al_2O_3	---	---	---

Elektrody byly vyrobeny z nanokrystalického disperzně zpevněného materiálu



Test životnosti elektrod č. 05, 07, 5, 45 byl proveden na ocelovém oboustranně žárově pozinkovaném plechu (tloušťka plechu včetně povlaku je 0,8 mm).

Test životnosti elektrod č. 35, 57, 55, 3 byl proveden na ocelovém oboustranně žárově pohliníkováném plechu (tloušťka plechu včetně povlaku je 0,8 mm).

Pro určení životnosti elektrod byla použita metoda praktikovaná na Katedře strojírenské metalurgie [12].

Autor [16] došel k závěru, že životnost všech testovaných elektrod je velmi malá a končí většinou po svaření deseti, padesáti nebo jednoho sta svarů. Při svařování dochází velmi rychle k rozpěchování a ke zvětšení průměru pracovní části elektrod. U některých elektrod docházelo k lepení elektrodového materiálu na svařovaný materiál.

Protože během testování elektrod docházelo k rychlému rozpěchování pracovní části a u některých elektrod k vytvoření výstupku uprostřed pracovní plochy elektrody, předpokládal autor [16] , že příčinou jsou nestejněměrné mechanické vlastnosti elektrodové špičky. Tento předpoklad se však měřením tvrdosti na průřezu kolmém na pracovní plochu elektrody nepotvrdil. Celkově byly elektrody z daných materiálů hodnoceny jako nevhodné pro bodové odporové svařování ocelových plechů s povlaky.

Další perspektivní slitinou je molybdenová slitina označovaná TZM (0,05% Ti, 0,08% Zr, zbytek Mo) používaná jako špička připájená na pracovní část elektrody. Rychlost opotřebování elektrody se špičkou ze slitiny TZM je podstatně menší než u materiálu třídy 2 podle RWMA [15].

2.4.3.3 Životnost elektrod

V procesu svařování jsou elektrody vystaveny několika typům namáhání (viz kap.2.4.3.1). V důsledku toho dochází ke změně pracovní části elektrody - k jejímu opotřebování (změna drsnosti, znečištění pracovní plochy, změna mechanických a fyzikálních vlastností elektrodového materiálu). V souvislosti s tím se mění podmínky pro vytváření svarů a to způsobuje změnu jejich kvality.

Definovat samotný pojem životnost elektrody znamená stanovit přesná kritéria hodnocení kvality svarů.

Životnost elektrod je ovlivňována celou řadou faktorů (výrobce materiálu elektrody, výrobce elektrod, výrobce svařovacího stroje, uživatel. Výrazný vliv na životnost mají také svařovací parametry. Svařovací čas a proud ovlivňují elektrické, tepelné a také metalurgické namáhání elektrody. Svařovací síla, tlumení dosedu elektrod a doba dotlaku ovlivňují především mechanické namáhání [4].

Pro uživatele elektrodových materiálů je z technologického i ekonomického hlediska důležitá znalost vlivu faktorů, kterými lze životnost ovlivnit.

Pokud jde o kritéria hodnocení životnosti elektrod je nutno poznamenat, že jednoznačná kritéria neexistují. Vzhledem ke skutečnosti, že životnost elektrod je závislá na mnoha faktorech, lze také velmi obtížně porovnávat práce různých autorů, neboť ne vždy se uvádějí všechny podmínky, za kterých se experimenty prováděly.

Velmi důležitým údajem při vytváření nosných svarových spojů je počet bodů s pravidelnou svarovou čoučkou určité minimální velikosti s dostatečnou únosností. Problémem je minimální přípustná velikost svarové čoučky. Velikost svarové čoučky souvisí s průměrem pracovní plochy elektrody. V práci [15] je definován pojem použitelná životnost jako počet bodů, které mají pravidelnou svarovou čoučku o průměru větším nebo rovném dosedacímu průměru pracovní plochy elektrody.

Průměr dosedací plochy elektrody se často stanovuje z empirických vzorců v závislosti na tloušťce svařovaného materiálu[16]:

$$D_{\text{elektrody}} := \text{konst} \cdot \sqrt{s} \quad (4)$$

$D_{\text{elektrody}}$průměr dosedací plochy elektrody [mm]

stloušťka materiálu [mm]

Přijatelnou velikost svarové čoučky lze uvádět v obdobném vztahu:

$$D_{\text{svaru}} := \text{konst} \cdot \sqrt{s} \quad (5)$$

D_{svaru}kritérium velikosti svarové čoučky [mm]

stloušťka materiálu [mm]

Pokud účelem svaru je zajištění vzájemné polohy svařovaných dílů bez zvláštních požadavků na nosnost (stehovací svary) lze za kritérium životnosti pokládat počet bodů, kdy se tvoří svarová čocka bez limitování jejího tvaru a velikosti. Tento počet bodů se označuje jako celková životnost. Netvoří-li se svarová čocka znamená to, že svar nemá tavný charakter a nevznikají kvalitní svary (tvoří se pouze difúzní spoje).

Mráz v [16] doporučuje jako další kritérium hodnocení životnosti elektrody stanovení maximálního dovoleného zvětšení pracovní plochy elektrody tak, aby proudová hustota nepoklesla pod hranici, kdy se již netvoří svarová čocka.

Pokud jde o konkrétní metody určování životnosti elektrod pro bodové odporové svařování ze studia literárních pramenů vyplývá, že nejpoužívanější metodou je modifikovaná metoda "Ford BA 13-1 test 2000". Za předepsaných podmínek se zhotoví 2000 svarových spojů bez údržby či výměny elektrod. Každý 250-tý svar se vyhodnotí. Podle zkušeností získaných na Katedře strojírenské metalurgie, které Neumann uvádí v [15], nelze tento postup jednoznačně doporučit. Zkouška nebere v úvahu změny relativní charakteristiky rozptýlení (variačního koeficientu) hodnot rozměru svaru v určitém stadiu opotřebení elektrod. Výsledky dosahované při bodovém odporovém svařování jsou ovlivněny celou řadou náhodně působících vlivů (např. změna kvality výchozího materiálu, změna napětí v síti). Proto se z důvodů zvýšení objektivity výsledků přistoupilo k tomu, že po provedení 250-ti svarů byly vyhodnocovány alespoň tři svary.

Tato modifikovaná metoda byla též použita v diplomové práci Hrabánka [12] a Mráze [16], kde jako kritéria životnosti elektrod byly určeny mezní hranice únosnosti svarového spoje (mezní hranice byla 80% maximální únosnosti svarového spoje dosažené na začátku testu) a mezní hranice velikosti průměru svarové čocky (mezní hranice byla určena empirickým vzorcem $(5) - \text{konst.} = 3$).

Další metodou stanovování životnosti elektrod je metoda popsaná v [17]:

Svary se provádějí na testovacích panelech o rozměrech 470 x 350 mm a svařování zkušebních vzorků probíhá podle následujícího popisu. Při svařování se dodržuje vzdálenost 10 mm od kraje panelu. Vzdálenosti svarů na panelu se udržují tak, aby na panelu bylo provedeno celkem 192 svarů ve dvanácti řadách o šestnácti svarech. První

Pokud účelem svaru je zajištění vzájemné polohy svařovaných dílů bez zvláštních požadavků na nosnost (stehovací svary) lze za kritérium životnosti pokládat počet bodů, kdy se tvoří svarová čočka bez limitování jejího tvaru a velikosti. Tento počet bodů se označuje jako celková životnost. Netvoří-li se svarová čočka znamená to, že svar nemá tavný charakter a nevznikají kvalitní svary (tvoří se pouze difúzní spoje).

Mráz v [16] doporučuje jako další kritérium hodnocení životnosti elektrody stanovení maximálního dovoleného zvětšení pracovní plochy elektrody tak, aby proudová hustota nepoklesla pod hranici, kdy se již netvoří svarová čočka.

Pokud jde o konkrétní metody určování životnosti elektrod pro bodové odporové svařování ze studia literárních pramenů vyplývá, že nejpoužívanější metodou je modifikovaná metoda "Ford BA 13-1 test 2000". Za předepsaných podmínek se zhotoví 2000 svarových spojů bez údržby či výměny elektrod. Každý 250-tý svar se vyhodnotí. Podle zkušeností získaných na Katedře strojírenské metalurgie, které Neumann uvádí v [15], nelze tento postup jednoznačně doporučit. Zkouška nebere v úvahu změny relativní charakteristiky rozptýlení (variačního koeficientu) hodnot rozměru svaru v určitém stadiu opotřebení elektrod. Výsledky dosahované při bodovém odporovém svařování jsou ovlivněny celou řadou náhodně působících vlivů (např. změna kvality výchozího materiálu, změna napětí v síti). Proto se z důvodů zvýšení objektivity výsledků přistoupilo k tomu, že po provedení 250-ti svarů byly vyhodnocovány alespoň tři svary.

Tato modifikovaná metoda byla též použita v diplomové práci Hrabánka [12] a Mráze [16], kde jako kritéria životnosti elektrod byly určeny mezní hranice únosnosti svarového spoje (mezní hranice byla 80% maximální únosnosti svarového spoje dosažené na začátku testu) a mezní hranice velikosti průměru svarové čočky (mezní hranice byla určena empirickým vzorcem $(5) - \text{konst.} = 3$).

Další metodou stanovování životnosti elektrod je metoda popsaná v [17]:

Svary se provádějí na testovacích panelech o rozměrech 470 x 350 mm a svařování zkušebních vzorků probíhá podle následujícího popisu. Při svařování se dodržuje vzdálenost 10 mm od kraje panelu. Vzdálenosti svarů na panelu se udržují tak, aby na panelu bylo provedeno celkem 192 svarů ve dvanácti řadách o šestnácti svarech. První

řada svarů začíná v rohu panelu a svary se provádí při kadenci 50 svarů za minutu napříč panelem. Po dokončení první řady se pohyb panelu obrátí a zhotoví se druhá řada. Tento postup se opakuje až do využití poloviny panelu, potom se panel otočí o 180 stupňů a postup se opakuje. Svařování na panelu končí po provedení 192 svarů.

Po každém dvoustém svaru se zhotoví 8 svarů testovacích. Tyto testovací svary se provádějí na zvláštním plechu o rozměrech 30 x 250 mm. Udrží se stejná vzdálenost od kraje jako na panelu. Pět z osmi svarů se testuje, zbylé tři svary se ponechají v rezervě pro případ jakékoliv další zkoušky kvality svaru.

Životnost elektrod je dána předpokladem, že vykonané svary mají větší průměr svarové čočky, než 70 % počátečního průměru svaru. A to vždy alespoň pro tři svary ve zkušebním vzorku pěti svarů. Počáteční průměr odpovídá původnímu průměru pracovní části elektrody. Průměr svarové čočky se zjišťuje odlupovací zkouškou. Měří se ve dvou na sebe kolmých směrech, ze kterých se vypočítává aritmetický průměr.

Další alternativní kritéria ohraničující životnost elektrody jsou:

- hranice snížení maximální únosnosti svaru, v dokumentu se uvádí mezní hranice - 70 % z maximální únosnosti svarového spoje zhotoveného na začátku testu
- stejná kritéria jako se používají při zkoušce krutem
- kritéria kladená na vzhled svarového spoje, patří sem např. kvalita povrchového vtisku (prstencové svary a svary s povrchovou vadou nejsou přípustné)

2.4.4 Bodové odporové svařování povrchově upravených plechů

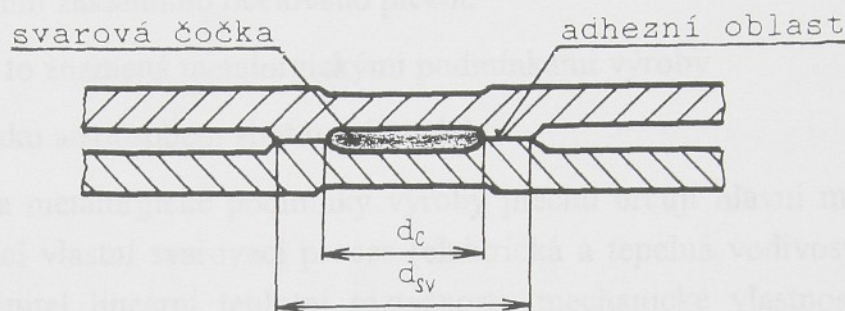
Bodové odporové svařování povrchově upravených plechů se vyznačuje určitými metalurgickými zvláštnostmi.

V místě dosedu elektrod dochází k natavení povlaku a vytlačování roztaveného kovu. S rostoucím počtem svarů dochází k opotřebení elektrod a tím se mění charakter i rozsah poškození povlaku v místě dosedu elektrody. Dosedací plocha se zvětšuje, snižuje se měrný tlak a proudová hustota. Vtisk přestává být hluboký a ostře ohraničený.

Poškození povlaku má význam především z hlediska míry snížení protikorozní ochranné funkce povlaku. [12]

Při svařování plechů s povlaky má svar dvě charakteristické oblasti (obr.2.4.4.1):

- a) vlastní svarovou čočku
- b) adhezní oblast



obr.2.4.4.1

Svarová čočka vzniká natavením základního materiálu v průběhu procesu svařování. V adhezní oblasti k natavení základního materiálu nedochází. Roztaví se pouze povlak plechu a tavenina je většinou vytlačena účinkem svařovací síly. Tato oblast se podílí na celkové únosnosti svaru a má vliv i na korozní odolnost. Jsou důležité i plastické vlastnosti adhezní oblasti, neboť zabráněním vzniku trhlin v této oblasti spoje, zabráníme i přístupu korozního prostředí k vlastní svarové čočce [4].

Při odporovém svařování povrchově upravených plechů vznikají tyto problémy [15]:

- dosažení jakostních svarových spojů s vyhovujícími mechanickými vlastnostmi
- zachování korozní odolnosti oblasti svarových spojů
- nízká životnost elektrod
- vyšší náročnost na technologickou přípravu výroby, řízení a kontrolu jakosti svarových spojů a s tím spojené vybavení svařovacího pracoviště

Největší problémy činí v praxi nízká životnost elektrodových špiček z klasických materiálů (slitiny CuCr a CuCrZr) i při velmi nízké kadenci svařování.

Odporová svařitelnost pokovených ocelových plechů.

Definování pojmu odporové svařitelnosti kovových materiálů není jednoznačné a pro hodnocení odporové svařitelnosti není vypracovaná jednotná metodika [4].

Podle ČSN 05 1310 je svařitelnost komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu na zhotovení svarů s požadovaným účelem, při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje [11].

Jestliže tuto definici přizpůsobíme podmínkám odporové svařitelnosti ocelových plechů s povlaky, pak je nutné se zaměřit na řešení více dílčích problémů [4].

Vhodnost svařovaného materiálu k odporovému svařování je podmíněna těmito hlavními faktory:

- chemickým složením základního ocelového plechu
- stavem materiálu, to znamená metalurgickými podmínkami výroby
- charakterem povlaku a způsobem zhotovení povlaku

Chemické složení a metalurgické podmínky výroby plechu určují hlavní materiálové vlastnosti ovlivňující vlastní svařovací proces (elektrická a tepelná vodivost, hustota, měrné teplo, součinitel lineární teplotní roztažnosti, mechanické vlastnosti atd.) a charakter i rozsah změn v teplem ovlivněném pásmu svaru (kinetika, dezoxidace, záruka odolnosti proti stárnutí, způsob válcování včetně dokončovacích operací).

Chemické složení i tloušťka povlaku ovlivňují svařovací proces změnou podmínek pro průchod svařovacího proudu (elektrická a tepelná vodivost, teplota tání). Složení a tloušťka povlaku rozhodují o metalurgickém ovlivnění kovu svarové čocky i o charakteru a vlastnostech adhezní oblasti [4].

Technologická možnost svařování je podle [4] určena schopností odborně zhotovit v daných výrobních podmínkách svarové spoje s určitými vlastnostmi a konstrukční spolehlivostí. Možnost kvalitního svařování závisí především na technologických podmínkách (svařovací parametry, svařovací stroj a jeho vlastnosti, řízení svařovacího stroje - možnost svařování s různými programy, monitorovací a korekční systémy apod.)

Konstrukční spolehlivost svarového spoje je podle [4] závislá na provozních podmínkách (druh a velikost napětí v konstrukci, korozní prostředí, teplota apod.) a vlastnostech svarového spoje.

Při hodnocení svařitelnosti pokovených ocelových plechů je tedy nutné posuzovat kvalitu svarových spojů vždy z hlediska provozních podmínek, kterým bude svařovaná konstrukce vystavena.

Problém řešení a určování odporové svařitelnosti pokovených ocelových plechů je obtížný, neboť se jedná o komplexní charakteristiku zahrnující mnoho faktorů.

Problematiku odporové svařitelnosti ocelových plechů s kovovými povlaky lze podle [4] shrnout do následujících bodů :

- stanovení požadavků kladených na svarové spoje (a to na základě rozboru provozních podmínek navrhované svařované konstrukce)
- stanovení základních předpokládaných technicko-ekonomických parametrů výroby (podle druhu a určení svařované konstrukce)
- určení kritérií hodnocení kvality svarů a metodik pro jejich stanovení

2.4.5 Specifika bodového odporového svařování pozinkovaných plechů :

Při bodovém odporovém svařování zinkem pokovených ocelových plechů přichází nejprve svařovací nástroj - elektroda do styku s povlakem zinku. Tento povlak má odlišné vlastnosti od základního svařovaného materiálu, kterým je ocelový plech.

Mezi odlišnosti patří:

- nižší teplota tavení povlaku (teplota tání čistého zinku je 419 °C)
- dobrá elektrická a tepelná vodivost povlaku, tím jsou sníženy přechodové odpory mezi elektrodou a plechem (také mezi svařovanými díly)

Zvýšená tepelná a elektrická vodivost povlaku vyžaduje zvýšení svařovacího proudu. To znamená, že pro svařování pozinkovaných plechů je nutno nastavit jiné svařovací parametry než pro svařování čistých ocelových plechů.

Obecně lze říci, že ke svařování zinkem pokovených plechů je nutno použít svařovací proud vyšší o cca 20 až 30 % a svařovací síly zvýšit o cca 10 % [12]. Se zvýšením svařovacích výkonů je spojena i nutnost zvýšit množství chladicí vody.

Jako největší problém bodového odporového svařování pozinkovaných plechů lze označit radikální snížení životnosti svařovacích elektrod v porovnání se svařováním čistých ocelových plechů. V důsledku zhoršení jakosti elektrod rychle klesá pevnost spoje. Výrazné snížení životnosti elektrod je způsobeno difúzí Zn z povlaku do materiálu elektrody.

Při použití elektrodových materiálů na bázi mědi tedy dochází k jejich legování zinkem a vzniká mosaz. Mosaz se oproti mědi vyznačuje nižší teplotou tání, vyšším elektrickým odporem, horší tepelnou vodivostí a nižší pevností při vysokých teplotách. V důsledku toho svařovací elektrody mění rychle svůj tvar. Tím dochází ke změnám

hustoty svařovacího proudu a zhoršuje se kvalita svarového spoje. Významný vliv na svařovací parametry má i rovnoměrnost tloušťky zinkové vrstvy pokovených ocelových plechů.

Nezanedbatelným jevem doprovázejícím bodové odporové svařování pozinkovaných plechů je tvorba ZnO a nutnost jeho odsávání z pracoviště [12].

Žárově pozinkovaný a následně vyžíhaný ocelový plech (Ferozinc) má díky tomuto tepelnému zpracování relativně dobrou svařitelnost, protože během tepelného zpracování difundují částičky železa do zinkové vrstvy. Svařitelnost plechů s povlaky na bázi Zn se dá výrazně zlepšit, jak je uvedeno v [4], přidavkem železa do povlaku. Železo zvyšuje oxidační potenciál, bod tavení, elektrický odpor a tvrdost povlaku a tím snižuje také nároky na velikost svařovacího proudu. Zároveň se také zvyšuje životnost elektrod.

2.5 Metody hodnocení jakosti odporových svarů:

Kvalita odporových svarů se hodnotí destruktivními i nedestruktivními metodami. Vhodný rozsah a způsob hodnocení závisí na účelu zkoušek a na požadovaných vlastnostech svarů.

Jednou z mála nevýhod odporového svařování je nedostatek vhodných, zejména nedestruktivních zkušebních metod pro rychlé ověření vhodnosti materiálu a kvality svarového spoje [2].

Kvalita svarových spojů se hodnotí různými zkouškami, které více či méně objektivně postihují výsledný efekt svařovacího procesu.

Běžně používané zkoušky se rozdělují na:

- destruktivní - mechanické
 - technologické
 - metalografické
- nedestruktivní - vizuální
 - fyzikální

Vhodný rozsah a způsob hodnocení kvality svarových spojů závisí především na účelu prováděných zkoušek a na požadovaných funkčních vlastnostech svarů.

Mechanické zkoušky:

Mechanickými zkouškami svarových spojů se získávají základní údaje nutné pro hodnocení únosnosti svarových spojů a pro jejich pevnostní výpočet. Z hlediska působení zátěžných sil lze tyto zkoušky rozdělit na statické a dynamické. Pro hodnocení svarových spojů se většinou používají statické zkoušky.

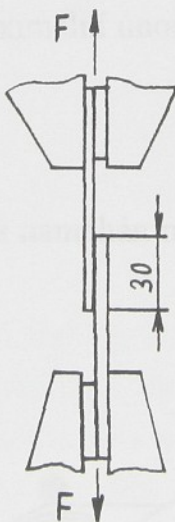
Hlavním důvodem je ta skutečnost, že dynamické zkoušky jsou časově náročné a zkušební zařízení nejsou snadno dostupná [9].

Mezi základní zkoušky, které v celku objektivně hodnotí kvalitu svarových spojů z pevnostního hlediska, patří:

- zkouška tahem (tahem ve střihu)
- zkouška tahem kolmo - zátěžná síla působí při zkoušce kolmo k povrchu svařovaného vzorku a namáhá svar na vytržení
- zkouška kroucením

Zkouška tahem (tahem ve střihu):

Princip zkoušky je zřejmý z obr.2.5.1



obr.2.5.1 Schéma provedení zkoušky tahem (tahem ve střihu) [2].

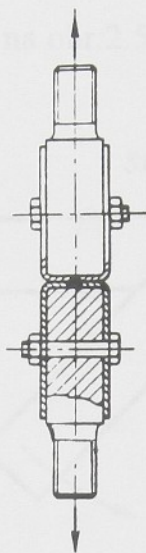
Zkouška se provádí na běžných trhacích strojích a stanovuje se síla potřebná na porušení zkušební tělesa a rozměry svaru po přetržení.

Pro zjišťování maximální únosnosti svarových spojů při namáhání tahem se u nás používá normalizovaná zkouška dle ČSN 05 1122.

Zkouška tahem na odtržení plechů:

Při této zkoušce tahem je svarový spoj namáhán na vytržení a po porušení vzorku se posuzuje také vzhled lomu a rozměr svaru.

Schéma realizace zkoušky je znázorněno na obr.2.5.2

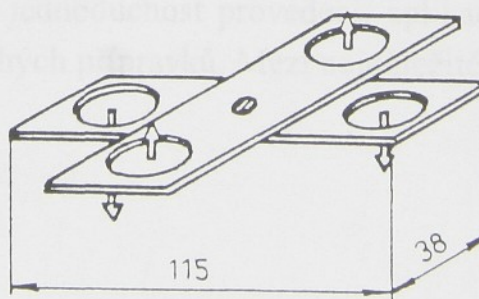


obr.2.5.2 Schéma provedení tahové zkoušky na odtržení plechů zkušebních těles tvaru "U" [9]

Při zkoušce se opět stanovuje maximální únosnost spoje před porušením.

Křížová zkouška:

Při křížové zkoušce je spoj taktéž namáhán na vytržení. Schematicky je provedení této zkoušky znázorněno na obr.2.5.3

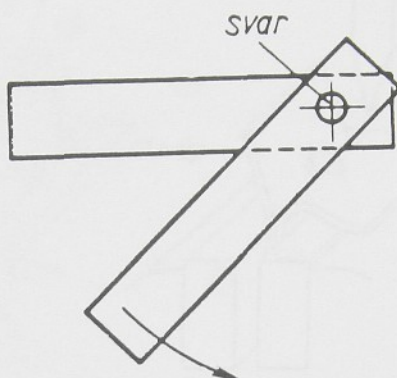


obr.2.5.3 Křížová zkouška [2]

Těleso je při zkoušce umístěno ve speciálním přípravku a spoj je namáhán statickou silou až do porušení. Účelem je stanovení maximální únosnosti svaru a posouzení vzhledu a charakteru porušení [9].

Zkouška kroucením:

Schematicky je zkouška znázorněna na obr.2.5.4



obr.2.5.4 Zkouška kroucením [2]

Tato zkouška je poměrně málo používaná z důvodů obtížné reprodukovatelnosti výsledků.

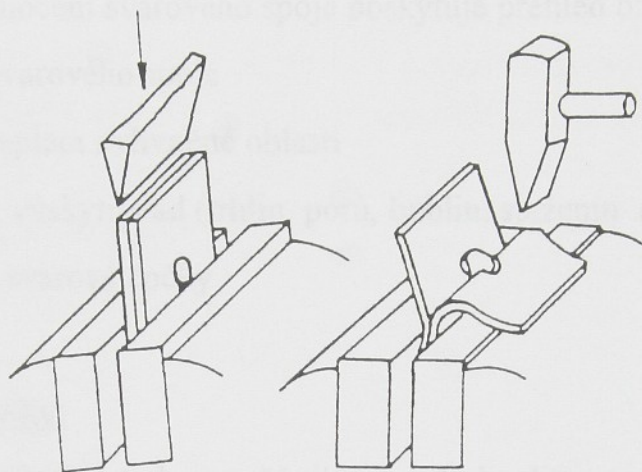
Technologické zkoušky:

Technologické zkoušky nejsou normalizované a používají se hlavně pro periodickou nebo namátkovou kontrolu ve výrobním procesu a při seřizování svařovacího stroje. Předností těchto zkoušek je jednoduchost provedení, aplikace dílenských prostředků, běžných zařízení a jednoduchých přípravků. Mezi nejdůležitější technologické zkoušky odporových svarů patří [2]:

- dílenská zkouška sekáčem
- odlupovací zkoušky

Zkouška sekáčem:

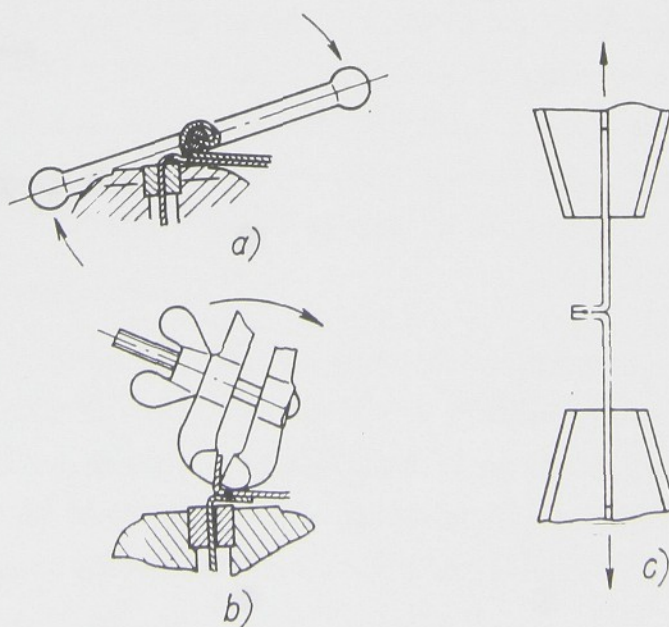
Nejběžnější technologickou zkouškou je dílenská zkouška sekáčem. Tato zkouška může velmi často, rychle a snadno identifikovat difúzní spoje a nadměrnou křehkost svarů. (viz obr.2.5.5)



obr.2.5.5 Zkouška sekáčem [2]

Odlupovací zkoušky:

Tyto zkoušky mohou poskytnout řadu cenných informací o chování svarových spojů v podmínkách blízkých provozním. Jejich princip je obdobný jako u dílenské zkoušky sekáčem. Odlupovací zkoušky jsou však objektivnější (viz obr 2.5.6).



obr.2.5.6 Odlupovací zkoušky (a, b-ručně; c- na trhacím stroji) [2]

Metalografické zkoušky:

Metalografické zkoušky doplňují v odůvodněných případech obvyklé mechanické a technologické zkoušky.

Metalografické výbrusy se připravují obvyklými postupy a při zkouškách se provádí hodnocení makrostruktury a mikrostruktury spoje [9].

Metalografické hodnocení svarového spoje poskytuje přehled o:

- strukturní stavbě svarového spoje
- strukturní stavbě teplem ovlivněné oblasti
- homogenitě svaru, výskytu vad (trhlin, pórů, bublin, staženin atd...)
- rozměrech a tvaru svarové čocky

Nedestruktivní zkoušky:

Nedestruktivní zkušební metody umožňují posoudit kvalitu svarových spojů bez jejich porušení. Jsou vhodné pro namátkovou i stoprocentní kontrolu svarových spojů ve výrobním procesu [9].

Nedestruktivní zkoušky svarových spojů slouží na zjišťování vnějších i vnitřních vad svarů a obvykle se dělí na:

a) vizuální

- optická kontrola povrchu svaru
- kapilární metoda
- fluorescenční metoda

b) fyzikální

- akustické a magnetoakustické
- magnetické
- radiografické
- ultrazvukové

2.6 Plechy s povlaky na bázi Zn

2.6.1 Nanášení povlaků v roztavených kovech (žárové pokovení):

Nejdůležitější ochranou proti korozi je ochrana povlaky. Těmito povlaky zabraňujeme, aby se kov stýkal s prostředím, které ho narušuje. Proto má být povlak pokud možno bez pórů a bez trhlin, neboť jinak se dostane korozivní prostředí k základnímu kovu [5]. To je zvlášť důležité, může-li dojít k elektrochemickému působení mezi základním kovem a povlakem.

Základní reakce při pozinkování:

Jde o tři hlavní pochody:

- moření
- působení tavidel
- vlastní pokovování

Účelem moření je odstranit s povrchu základního kovu nekovovou vrstvu okují, účelem tavidel je získat kovově čistý povrch základního kovu bezprostředně před pokovováním v roztaveném kovu a ponořením do roztaveného kovu se dostane vrstva kovu s mezivrstvou mezi základním kovem a povlakem. Moření není hlavní pochod, ale reakce základního kovu s tavidlem.

Tavidlo má vázat nečistoty na základním kovu a zajistit smáčení plechu taveninou, má být stále účinné a tekuté, nemá se rozkládat a má být ekonomické. Tavidlem může být palmový olej, který obsahuje velké množství volných mastných kyselin, vázajících cizí látky. Nejobvyklejší je však chlorid zinečnatý, obvykle s přísadou chloridu amonného. Nepodařilo se nahradit toto tavidlo minerálními oleji. Tavidlo se nanáší na pokovený předmět (např. plech) v kapalném stavu a další pochod může být buď "mokrá" nebo "suchá" (nevysušené nebo vysušené tavidlo např. na plechu) [5].

Pozinkování v roztaveném zinku:

Před pozinkováním se předměty, plechy, pásy, dráty upravují mořením, před nímž může být někdy zařazeno odmašťování. Moří se v kyselině sírové 6 až 10 %, teplé 70 až 80°C, 10 až 20 minut, nebo v kyselině solné 17 až 20 %, studené. Při moření se přidávají do mořidel tzv. úsporná mořidla (inhibitory), jež mají zmenšit ztrátu kovu, snížit spotřebu kyseliny a zabránit vnikání vodíku do základního kovu.

Po moření se předměty zbavují oplachováním zbytků kyselin. Přesto zůstávají na povrchu oceli zbytky solí železa, jež jsou velmi nesnadno rozpustné ve vodě. Tyto soli

by bránily reakci mezi ocelí a roztaveným zinkem. Proto se odstraňují s povrchu základního kovu tzv. tavidly, jež podporují také smáčení povrchu předmětu snížením povrchového napětí roztaveného zinkem. Tavidlo se nanáší na povrch předmětu dvěma způsoby:

- a) při tzv. mokrému způsobu ponořujeme předměty do pozinkovací lázně vrstvou roztaveného tavidla, které plove na jejím povrchu
- b) při suchém pozinkování se namáčejí předměty do tavidla, vysuší se v sušící peci a se zaschlým tavidlem se ponoří do roztaveného zinku

Tavidla pro mokré pozinkování bývají převážně chlorid amonný s příměsí, tavidla pro suché pozinkování jsou chlorid zinečnatý s příměsí chloridu amonného. Pro použití tavidel je důležité také složení pozinkovací lázně, obsahuje-li při pozinkování zinek asi 0.2 % hliníku (aby se zmenšila tloušťka mezivrstvy mezi železem a zinkem FeZn) lze použít jen suchého způsobu.

V pozinkovací lázni se tvoří tzv. tvrdý zinek, sloučenina FeZn jež zhoršuje jakost zinkového povlaku a je jednou z příčin ztrát zinku při pozinkování. Tvorba tvrdého zinku závisí na různých činitelích: způsobu moření, oplachování, teplotě a složení pozinkovací lázně, způsobu vytápění pozinkovací vany, rychlosti průchodu předmětů, plechů, pásů, drátů lázní.

Struktura povlaku odpovídá poměrům, které lze posoudit v binárním rovnovážném diagramu železa se zinkem. (viz obr.2.6.1.1)

Železo tvoří se zinkem pět intermetalických fází. Tyto fáze se liší procentuálním obsahem zinku v železe, liší se i krystalografickou mřížkou a také mikrotvrdostí.

Nejblíže k samotnému ocelovému plechu se v povlaku nachází tuhý roztok α , dále pak následuje přechodová vrstva tvořená sledem intermetalických fází.

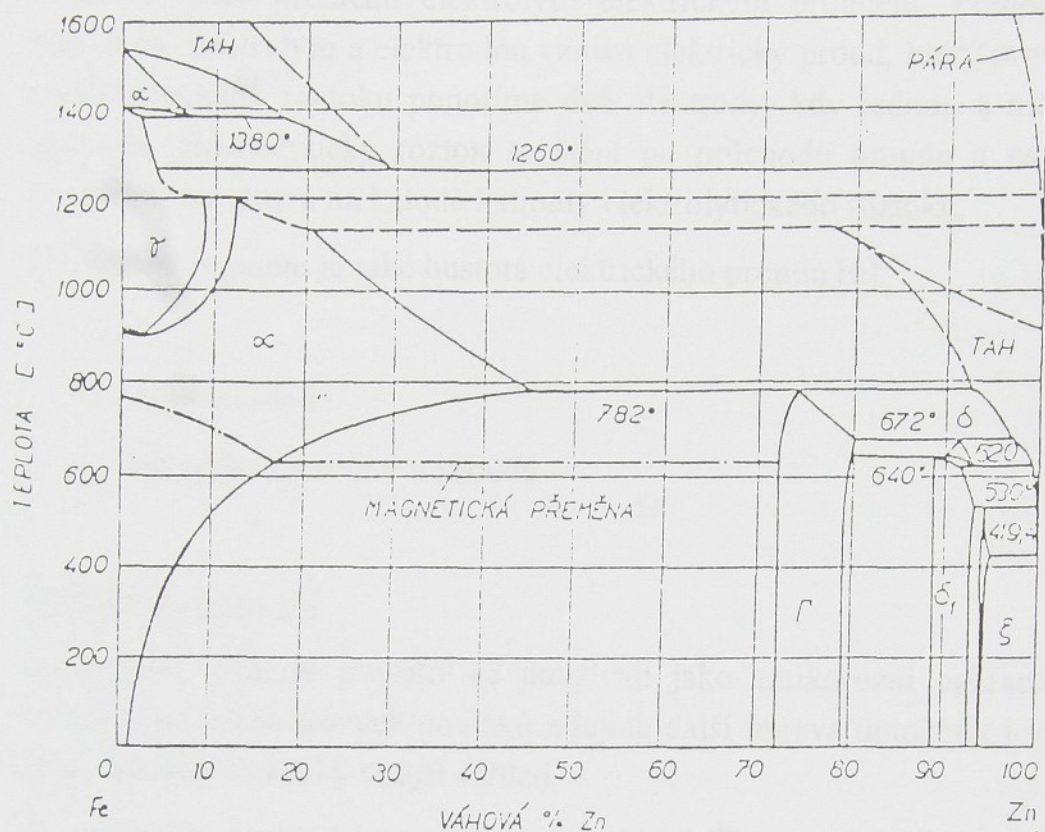
Těmito fázemi jsou:

fáze Γ - což je elektronová sloučenina $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ obsahující 72-79 hmotnostních % Zn

fáze δ_1 - opět elektronová sloučenina FeZn avšak obsahující až 88-93 % Zn, v povlaku se nachází jednak jako souvislá tenká vrstva a dále jako vrstva sloupcových krystalů

fáze ξ - kterou je nazývána sloučenina FeZn_{13} , kde je 93,8-94 % Zn

fáze η - tuhý roztok železa v zinku s 0.008 hmotnostními % Fe



obr.2.6.1.1 Rovnovážný diagram Fe-Zn [13]

2.6.2 Galvanické pokovování:

V galvanovnách se galvanicky nanášejí různé kovy a slitiny, jejichž fyzikální, mechanické i chemické vlastnosti se od sebe značně liší. Jsou mezi nimi zastoupeny kovy tak měkké, jako je olovo a cín, i kovy tak tvrdé, jako je nikl nebo chrom. Rozdíl je i v chemických vlastnostech používaných materiálů [6].

Antikorozní ochrana poskytovaná galvanickými povlaky je různá a závisí nejen na vlastnostech naneseného kovu nebo slitiny a na vlastnostech základního kovu, na který se povlak nanáší, ale i na tloušťce povlaku a na podmínkách, kterým je povlak vystaven.

Všeobecně lze říci, že korozní vlastnosti nepórovitých galvanických povlaků jsou v podstatě stejné jako vlastnosti litých kovů a jejich slitin stejného složení. Znalost korozivních vlastností elementárních kovů a jejich slitin je předpokladem správné volby povlaků pro specifické účely [6].

Jedním ze základních pojmů v galvanotechnice je elektrolyza. Elektrolyzu lze definovat jako přeměnu elektrolytů elektrickým proudem. Přenosem nábojů mezi roztokem elektrolytu a elektrodou vzniká elektrický proud, který protéká okruhem. Do elektrolytického roztoku ponoříme dvě elektrody, kdy jednou z nich je pokovovaný materiál, elektrolytický roztok se štěpí po průchodu proudu a na anodě se budou vylučovat anionty a na katodě kationty elektrolytického roztoku.

Důležitým pojmem je také hustota elektrického proudu [6]:

$$J = I / q$$

I....elektrický proud

q....plocha kolmá k průtoku proudu

Zinkové povlaky [6]:

Galvanické zinkové povlaky se používají jako antikoroziní ochrana železa a oceli. Vývoj lesklých zinkových povlaků a jejich další úprava umožňují i výrobu zboží, kde je požadavek na hezký vnější vzhled.

Rychlost koroze povlaků je lineární funkcí času a životnost povlaků je tedy úměrná tloušťce jejich vrstvy. Rychlejší průběh koroze v průmyslových oblastech se vysvětluje obsahem sloučenin síry v ovzduší, které ve spojení s vodou tvoří kyselinu sírovou. Zinkové povlaky podléhají poměrně snadno korozi v uzavřeném a vlhkém prostředí, ve kterém dochází na povrchu zinku ke kondenzaci par.

Pro zvýšení koroziní ochrany se používá ještě doplňková ochrana chromátováním. Zinek se do lázně dodává ve formě kyanidu zinečnatého. Přesně vypočtené množství této soli se dodá do lázně asi 60 °C teplé, zcela naplněné demineralizovanou vodou. Pak se lázeň doplní na aktivní objem a do roztoku ponoříme elektrody. Dále při průchodu proudu dochází k pozinkování, po němž následuje oplach. Součástí můžeme i chromátovat čímž se zlepší vzhled.

3. Experimentální část

3.1 Cíle experimentální části práce

Cílem experimentální části práce bylo zjištění vhodnosti použití elektrod vyrobených práškovou metalurgií pro bodové odporové svařování tenkých plechů s povlaky na bázi Zn. To předpokládá definovat kritéria hodnocení kvality svaru a navrhnout metodický a technologický postup pro zjištění životnosti elektrod. Stanovit životnost elektrod a určit vhodnost jejich použití.

Tato diplomová práce navazuje bezprostředně na diplomovou práci Mráze [16], který se též zabýval hodnocením životnosti elektrod vyrobených práškovou metalurgií - výsledky uvedeny v kap.2.4.3.2 .

Elektrody dodané Ústavem materiálového výskumu SAV v Košicích pro tuto diplomovou práci jsou oproti elektrodám zkoumaným v práci [16] vyrobeny jinou technologií. Zavedlo se kování za tepla a dospékání. Další změnou je kalibrování polotovaru za studena. Změna je i ve složení elektrod, oproti elektrodám v práci [16] jsou tyto legovány ještě Zn a C.

Vlastnosti, složení a označení dodaných elektrod:

označení	složení [obj.%]	tvrdost HB	poznámka
1	Cu-3spinel	150	---
2	Cu-3spinel-1Zn	156	nespékané po kování
3-3	Cu-3spinel-1Zn-1C	140	---
A	Cu-3spinel-3C	120	---
A-A	Cu-3spinel-3C	127	---
C-C	Cu-3spinel-1Zn-3C	127	---
D	Cu-3spinel-1Zn-5C	112	---

Technologie výroby dodaných elektrod:

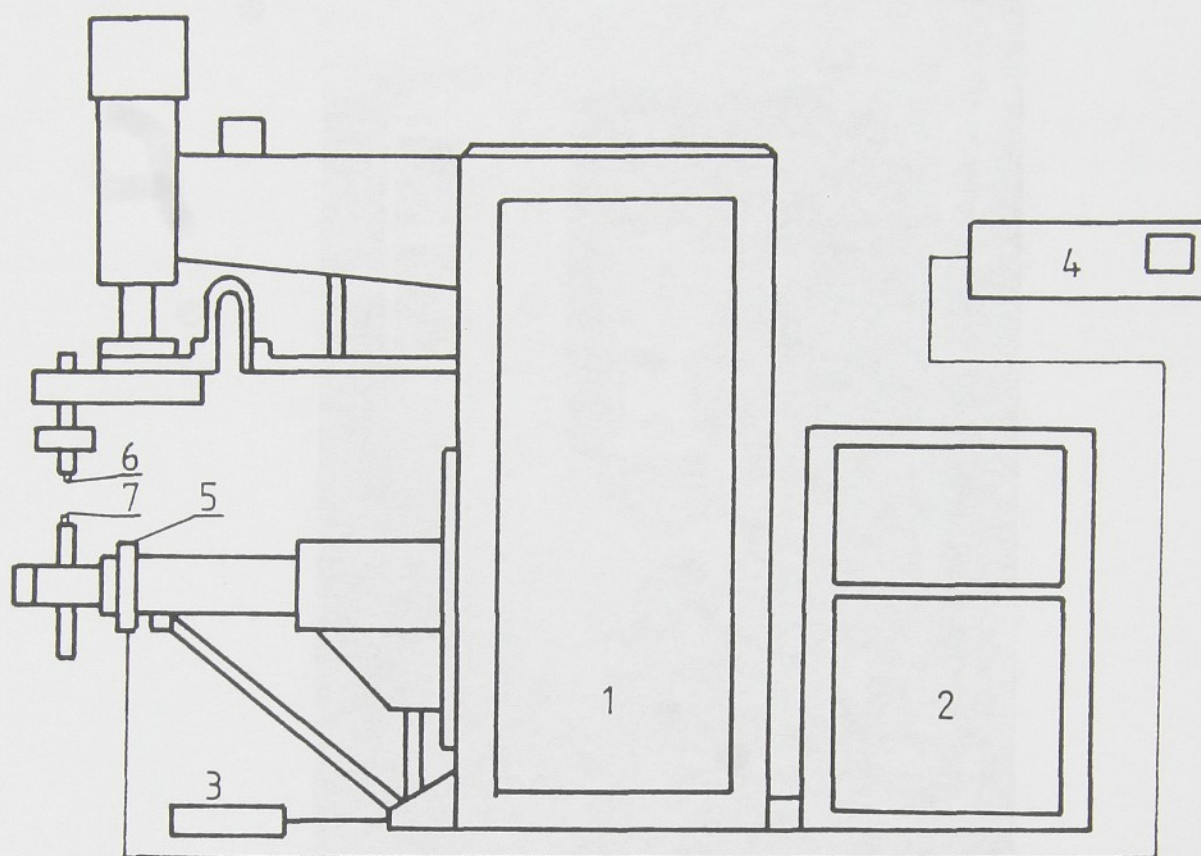
- 1...lisování - za teploty 20 °C
- 2...spékání - za teploty 900 °C
- 3...kování - za teploty 850-900 °C
- 4...dospékání - za teploty 1000(980) °C
- 5...kalibrování - za teploty 20 °C

Test životnosti elektrod byl prováděn na oboustranně žárově pozinkovaném plechu bez květu tloušťky 0.7 mm. Aby se ověřilo chování elektrod při svařování čistého ocelového plechu, bylo jedno měření provedeno na ocelovém plechu bez povlaku tloušťky 0.8 mm.

3.2 Použitá zařízení

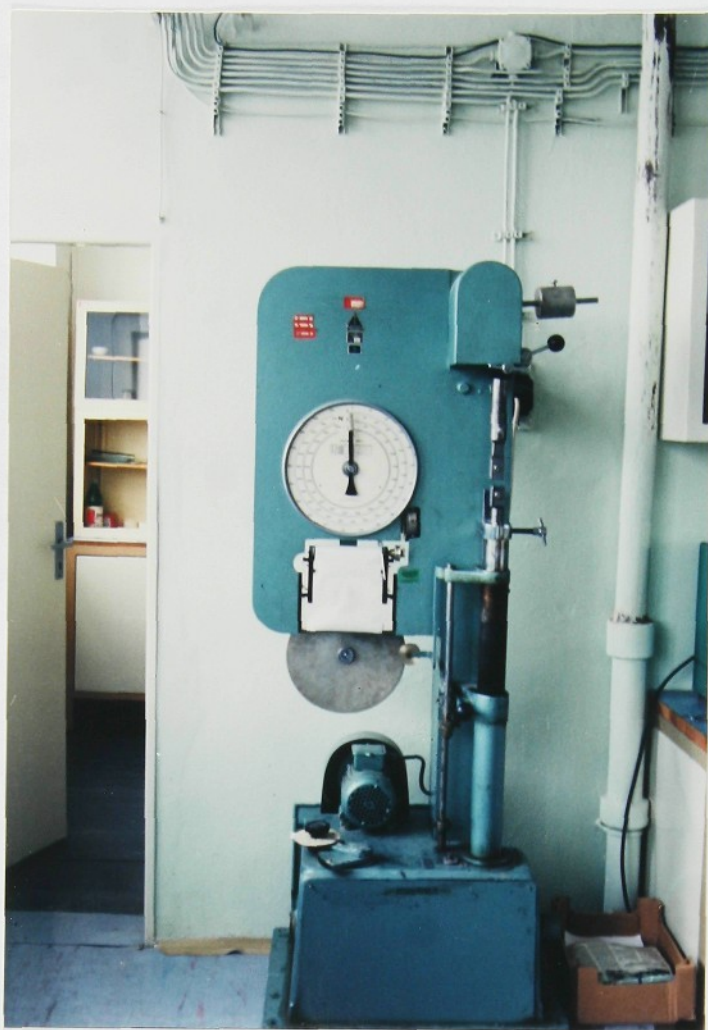
V průběhu experimentálních prací byla použita následující zařízení:

- bodový odporový svařovací stroj WBP 80.2 s řídicí skříní TS-B 50, vybavený měřičem svařovacího proudu a času VÚZ MZP-201 (viz obr.3.2.1)
- trhací stroj FM 1000 - na kterém se provádělo pevnostní vyhodnocování svarových spojů zkouškou tahem na odtržení plechu (viz obr.3.2.2)
- Abbého komparátor - optický přístroj, na kterém se provádělo měření průměru svarů (viz obr.3.2.3)

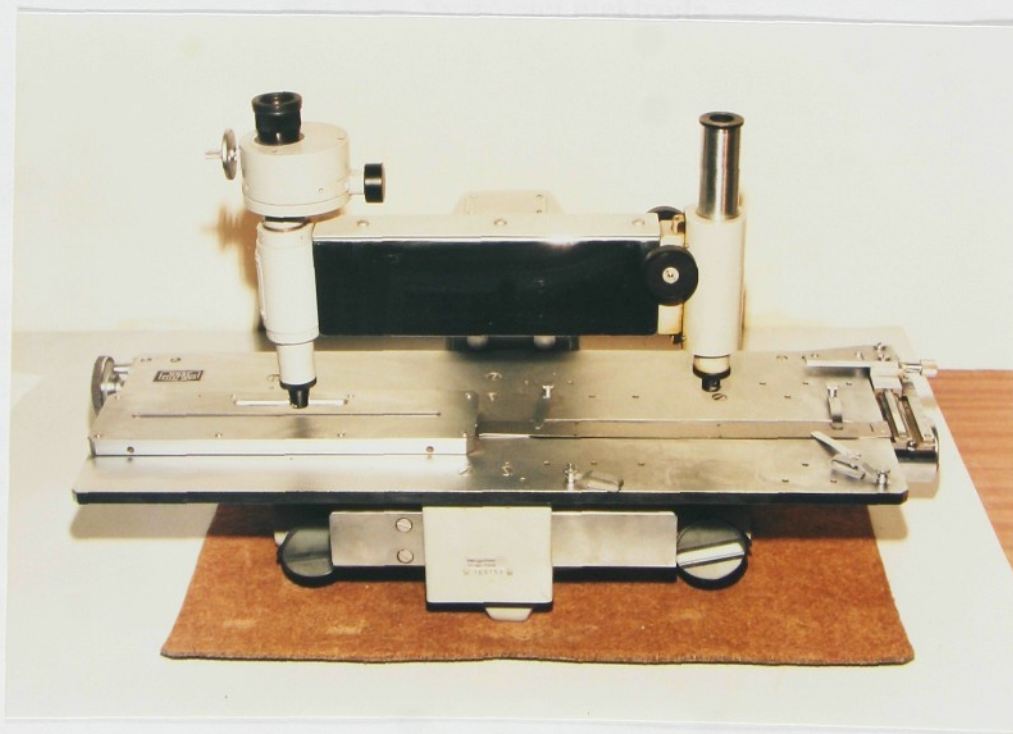


obr.3.2.1 Svařovací pracoviště

- 1 - bodový odporový svařovací stroj WBP 80.2
- 2 - řídicí skříň TS-B 50
- 3 - nožní spínač NS 9
- 4 - měřič svařovacího proudu a času VÚZ MZP-201
- 5 - snímač signálu pro měření proudu a času
- 6 - horní elektroda
- 7 - dolní elektroda



obr.3.2.2 Trhací stroj FM 1000



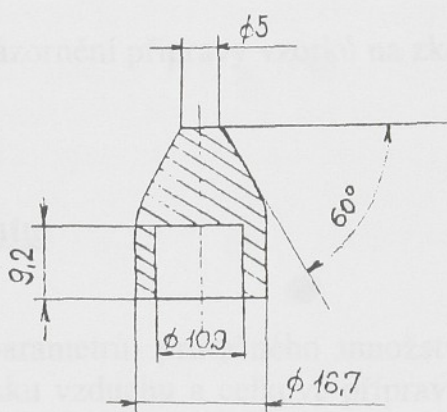
obr.3.2.3 Abbého komparátor

3.3 Příprava elektrod a vzorků pro experimentální práce

Příprava elektrod:

Dodané polotovary elektrod byly obrobeny na soustruhu tak, aby vznikla kuželová elektroda s vrcholovým úhlem 60 stupňů a průměrem pracovní plochy 5 mm (viz obr.3.3.1). Tímto byly dolní elektrody připraveny na svařování.

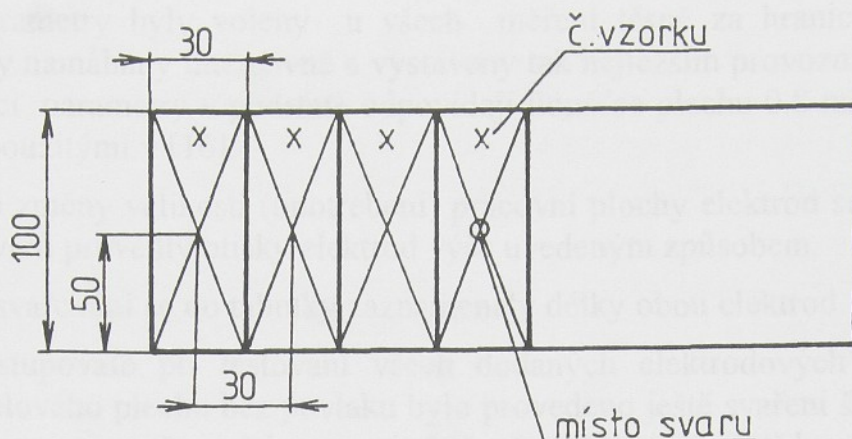
Horní elektrody byly vysoustruženy z materiálu CuCr rovněž jako kuželové elektrody s vrcholovým úhlem 60 stupňů a průměrem pracovní plochy 5 mm. K usnadnění jejich demontáže byl na jejich dřívku vyříznut závit a demontáž se pak prováděla pomocí rozpěrného kroužku a matice.



obr.3.3.1 Svařovací elektroda

Příprava vzorků:

Z dodaných tabulí plechu byly nastříhány na tabulových nůžkách pásy 100 x 1000 a 30 x 1000 mm. Pásy 30 x 1000 mm byly odmaštěny a tím připraveny na zhotovení bodových svarů mezi jednotlivými sériemi zkušebních vzorků (tyto svarové spoje se nevyhodnocovaly). Na pásy o rozměrech 100 x 1000 mm byly narýsovány obrysy vzorků šířky 30 mm pro zkoušku tahem, dále pak na každý vzorek vyraženo číselné označení a ve středu každého vzorku vyznačeno místo pro svarový spoj (viz obr.3.3.2). Nakonec byly pásy odmaštěny a vytvořeny dvojice (na sebe položené pásy) pro svaření zkušebních vzorků.



obr.3.3.2 Znáznornění přípravy vzorků na zkoušku tahem.

3.4 Provádění experimentu

Po nastavení svařovacích parametrů, průtočného množství chladicí vody, nastavení svařovací síly omezovači tlaku vzduchu a celkové přípravě svařovacího pracoviště se při zkouškách životnosti elektrod postupovalo následujícím způsobem.

Nejprve se změřila délka horní i dolní elektrody a změřené údaje se zaznamenaly do tabulky. Na bílý karton se provedlo šest otisků pracovních ploch horní i dolní elektrody. Otisky pracovních ploch se provedly následujícím způsobem. Mezi elektrody se vloží ocelový plech. Na obě jeho strany se přiloží bílý karton a černý kopírovací papír orientovaný tak, aby došlo k otisknutí elektrod.

Postupně se svařilo 10 svarů nutných pro ustálení podmínek průchodu svařovacího proudu. Tyto svary se prováděly na připravených pásech 30 x 1000 mm. U těchto svarů, které se nevyhodnocovaly se do tabulky zaznamenával svařovací proud, čas a došlo-li k výstřiku kovu z místa svaru. Po svaření tří svarů se prodloužil svařovací čas ze 4 na 5 period a po dalších třech svarech na 6 period. Potom se přistoupilo ke svaření tří zkušebních vzorků (vyznačených na pásech 100 x 1000 mm - viz kap.3.3) pro zkoušku tahem na zjištění maximální únosnosti svaru. U těchto zkušebních vzorků se do tabulky zaznamenávalo číslo vzorku, svařovací proud a čas, a opět došlo-li k výstřiku. Trojice zkušebních vzorků se svařovala vždy po deseti, padesáti, stu a dvoustechpadesáti svarech a dále po každých dvěstěpadesáti svarech až do okamžiku, kdy se přestávají tvořit svarové čočky (tedy kvalitní svarové spoje - což se namátkově zjišťovalo v průběhu svařování technologickými zkouškami - dílenskou zkouškou sekáčem nebo ruční odlupovací zkouškou). Pokud se tedy již netvořily kvalitní svarové spoje tak se svařování ukončilo.

Svarové spoje mezi jednotlivými sériemi zkušebních vzorků se prováděly podobně jako prvních deset svarů na pásech 30 x 1000 mm rozteč svarů se udržovala okolo 15 mm a kadence 20 svarů za minutu, kvalita těchto svarů se opět nevyhodnocovala.

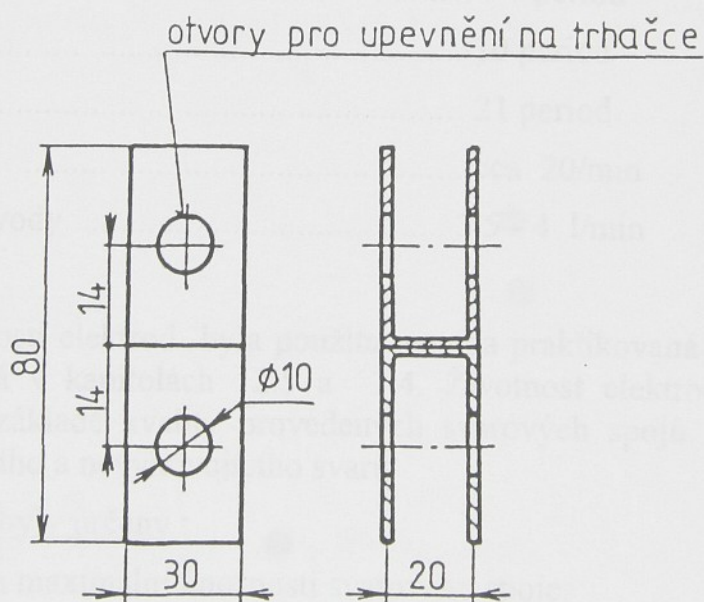
Svařovací parametry byly voleny u všech měření těsně za hranicí výstřiků, aby elektrody byly namáhány intenzivně a vystaveny tak nejtěžším provozním podmínkám. Tyto svařovací parametry v podstatě odpovídají tloušťce plechu 0.8 mm. Jsou totožné s parametry použitými v [16].

Pro sledování změny velikosti (opotřebení) pracovní plochy elektrod se po každé sérii zkušebních svarů provedly otisky elektrod výše uvedeným způsobem.

Po ukončení svařování se do tabulky zaznamenaly délky obou elektrod.

Takto se postupovalo při testování všech dodaných elektrodoých materiálů. Při svařování ocelového plechu bez povlaku bylo provedeno ještě svaření šesti zkušebních vzorků při nastavení svařovacích parametrů těsně pod hranicí výstřiku z důvodu určení kritéria životnosti elektrod - mezní hranice únosnosti svarového spoje.

Po skončení svařování se přistoupilo k praktickému vyhodnocení experimentu. Na tabulových nůžkách se nastříhaly jednotlivé vzorky na zkoušku tahem. Pomocí speciální příložky se vyznačila místa otvorů, za které byly vzorky při zkoušce upnuty. Potom se vzorky vyvrtaly a začistily se otřezy. Pomocí speciálního přípravku byly vzorky upraveny do tvaru U (viz obr.3.4.1) a opět začistěny dosud nezačištěné otřezy.



obr.3.4.1 Úprava vzorků pro tahovou zkoušku.

Na trhačím stroji FM 1000 (viz obr.3.2.2) se provedly tahové zkoušky. Zatěžovalo se až do okamžiku, kdy došlo k vytržení svarové čocky z plechů nebo k porušení adhezního spoje. Údaje o maximální únosnosti svarových spojů se zaznamenávaly do tabulky.

Proměrování velikosti svarových čoček bylo prováděno na Abbého komparátoru (viz obr.3.2.3) ve dvou na sebe kolmých směrech (průměry d_1 a d_2) a vypočítala se průměrná hodnota rozměru svarové čočky (D_{svaru}). Hodnoty byly zaznamenány do tabulky.

Proměrování otisků pracovních ploch elektrod bylo provedeno opět na Abbého komparátoru. Ze série otisků byl vybrán nejlépe provedený otisk (nejzřetelněji otištěný - s výraznými nerozmazanými okraji) a proměřen ve dvou na sebe kolmých směrech. Vypočítaný aritmetický průměr z těchto dvou hodnot průměru elektrod byl zaznamenán do tabulky.

Po skončení experimentů byly všechny zkoušené elektrody označeny a vyfotografován vzhled jejich pracovních ploch ve dvou směrech (elektrody fotografovány ze předu a ze strany).

3.5 Metodika vyhodnocování experimentu

Celkem bylo provedeno 7 měření s nastavením svařovacích parametrů :

- svařovací síla 2250 N
- svařovací čas 4 - 7 period
- kování 10 period
- dotlak 21 period
- kadence cca 20/min
- průtok chladicí vody 3.5 - 4 l/min

Pro určení životnosti elektrod byla použita metoda praktikovaná již v pracích [12] a [16] a popsaná v kapitolách 2.5 a 3.4. Životnost elektrod se v této metodě vyhodnocuje na základě kvality provedených svarových spojů. Přesně jsou určeny hranice vyhovujícího a nevyhovujícího svaru.

Za mezní hranice byly určeny :

a) 80-ti % hodnota maximální únosnosti svarového spoje:

- pro svařování čistého ocelového plechu je to 80 % z aritmetického průměru maximální únosnosti zkušebních vzorků provedených těsně pod hranicí výstřiku (viz kap. 3.4 a 3.6 - tab.4).

- pro svařování pozinkovaného plechu je to 80 % z aritmetického průměru maximální únosnosti 17, 18, 19 svarového spoje (pátého měření - elektroda D), které byly provedeny opět těsně pod hranicí výstřiku. Tyto tři svarové spoje byly k určení kritéria životnosti použity s toho důvodu, že u všech dalších měření došlo u první série zkušebních svarů (svary 11, 12, 13) k výstřiku a tudíž nemohly být

k tomuto účelu použity, tak jak by to bylo v souladu se standardní metodikou vyhodnocování (viz práce [12] a [16]).

b) minimální velikost průměru svaru, dána vztahem :

$$D_{\text{svaru}} = \text{konst} \cdot \sqrt{s} \quad (5)$$

s.....tloušťka plechu, konst.....3

Naměřené a vypočítané hodnoty se zpracovaly tabelárně a graficky.

Do tabulek se zanesly následující údaje:

- údaje o elektrodě:

- tvar
- vrcholový úhel
- průměr pracovní plochy
- složení
- označení
- délka před testem, po testu a rozdíl těchto délek

- údaje o plechu:

- druh
- tloušťka

- číslo vzorku

- počet zhotovených svarů

- svařovací parametry:

- proud I_{ef}
- čas t_s

- rozměry otisků pracovních ploch elektrod během testu

- rozměry svarů:

- průměry ve dvou na sebe kolmých směrech d_1 a d_2
- aritmetický průměr D_{svaru} (rozměr svarové čočky)

- únosnost svaru F_{max}

- poznámka charakterizující svar

Grafické zpracování:

Jako funkce počtu svařených bodových svarů se graficky vyhodnocovaly:

- a) únosnost svarových spojů stanovená zkouškou tahem (do grafu se červenou čarou vyznačila hranice vyhovujícího a nevyhovujícího svaru, vyhovující svary se pak značily zeleně a nevyhovující červeně)
- b) rozměr svarové čočky (do grafu se červenou čarou vyznačila hranice vyhovujícího a nevyhovujícího svaru, vyhovující svary se pak značily zeleně a nevyhovující červeně)
- c) opotřebení elektrod, resp. rozměry pracovních ploch elektrod

Tabulky a grafy jsou v kap. 3.6.

3.6 Vyhodnocení experimentu

V měření č.1 se testovala elektroda 1 (Cu-3spinel). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.1 (str. 46). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.1-3 (str. 54 a 55). Jak je patrné z grafu č.1 (str. 54) kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarového spoje není splněno již u první série zkušebních vzorků (svary 12, 13, 14). Kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno u páté série vzorků (svary 502, 503) viz graf č.2 (str. 54). V průběhu svařování se elektrody nelepily, do svaření 120 svarů docházelo k výstřikům , potom výstřiky ustaly. Měření bylo zakončeno po provedení 503 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je patrné z grafu č.3 (str. 55). Po skončení měření bylo zvětšení pracovních ploch elektrod následující. Pracovní plocha dolní elektrody se po svaření 503 svalů zvětšila o 160 %, horní pak o 76 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.1 a obr.3.6.2 (str. 68). Pracovní plocha dolní elektrody je zčernalá, znečištěná, s usazenými částeczkami kovu z povlaku svařovaného plechu a má otřepy. Horní elektroda je zčernalá, drsná s přichycenými částeczkami z povrchové vrstvy svařovaného plechu a je bez otřepů. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 1.1 mm, horní o 0.6 mm.

V měření č.2 se zkoušela elektroda A-A (Cu-3spinel-3C). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.2 (str. 47). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.4-6 (str. 56 a 57). Kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarů není splněno již u první sady vzorků (svary 12, 13) viz graf č.4 (str. 56). Jak je patrné z grafu č.5 (str.56) kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno u čtvrté sady zkušebních vzorků (svar 252). Při svařování se dolní elektroda nelepila vůbec a horní občas. Výstřiky probíhaly do svaření asi sta svarů. Měření bylo skončeno po provedení 503 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je znázorněno v grafu č.6 (str. 57). Pracovní plocha dolní elektrody se během svařování zvětšila o 139 %, horní o 73 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.3 (str.68) a obr.3.6.4 (str. 69) . Na pracovní ploše dolní elektrody se vytvořila malá prohlubeň, elektroda je zčernalá s

velkými otřepy a částčkami z povrchové vrstvy svařovaného plechu přecházejícími do otřepů. Horní je zčernalá s drobnými kráterky a usazenými částčkami z povlaku svařovaného plechu. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 1.3 mm, horní o 0.7 mm.

V měření č.3 se testovala elektroda A (Cu-3spinel-3C). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.3(1. a 2. díl - str. 48). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.7-9 (str. 58 a 59). Jak je patrné z grafu č.7 (str. 58) kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarového spoje není splněno u druhé série zkušebních vzorků (svar 52). Kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky je pro 750 zhotovených svarů splněno viz graf č.8 (str. 58). V průběhu svařování se elektrody nelepily, k výstřikům docházelo po celou dobu svařování. Měření bylo zakončeno po provedení 753 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je patrné z grafu č.9 (str. 59). Po zkončení měření bylo zvětšení pracovních ploch elektrod následující. Pracovní plocha dolní elektrody se po svaření 753 svarů zvětšila o 0 % (dosáhla výchozí velikosti), horní pak o 12 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.5 a obr.3.6.6 (str. 69). Pracovní plocha dolní elektrody je mírně zčernalá, s výstupkem a má otřepy. Horní elektroda je zčernalá, s prohlubní a je bez otřepů. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 1.05 mm, horní o 0.25 mm.

V měření č.4 se zkoušela elektroda 3-3 (Cu-3spinel-1Zn-1C). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.5 (str. 50). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.10 - 12 (str. 60 a 61). Kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarů není splněno již u první sady vzorků (svary 11, 12, 13) viz graf č.10 (str.60). Jak je patrné z grafu č.11 (str. 60) kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno u čtvrté sady zkušebních vzorků (svar 252). Při svařování se elektrody nelepily. Výstřiky probíhaly do svaření asi 150 svarů, potom již jen ojediněle a spíše z povrchu. Měření bylo skončeno po provedení 503 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je znázorněno v grafu č.12 (str.61). Pracovní plocha dolní elektrody se během svařování zvětšila o 145 %, horní o 16 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.7 a obr.3.6.8 (str. 70). Na pracovní ploše dolní elektrody se vytvořila malá prohlubeň, elektroda je zčernalá s otřepy a částčkami z povrchové vrstvy svařovaného plechu rozmístěnými po obvodu pracovní plochy elektrody. Horní elektroda je zčernalá s drobnými kráterky a usazenými částčkami z povlaku svařovaného plechu. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 1.25 mm, horní o 0.75 mm.

V měření č.5 se testovala elektroda D (Cu-3spinel-1Zn-5C). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.6 (str. 51). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.13 - 15 (str. 62 a 63). Jak je patrné z grafu č.13 (str. 62) kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarového spoje není splněno již u první série zkušebních vzorků (svary 11, 12, 13). Kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno u čtvrté série vzorků (svary 251, 252, 253) viz graf č.14 (str. 62). V průběhu svařování se elektrody nelepily, do svaření 80 svarů docházelo k výstřikům, potom výstřiky ustaly. Měření bylo zakončeno po provedení 503 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je

patrné z grafu č.15 (str. 63). Po zakončení měření bylo zvětšení pracovních ploch elektrod následující. Pracovní plocha dolní elektrody se po svaření 503 svarů zvětšila o 116 %, horní pak o 19 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.9 (str. 70) a obr.3.6.10 (str. 71). Pracovní plocha dolní elektrody je zčernalá, s usazenými částčkami kovu z povlaku svařovaného plechu přecházejícími do otřepů. Horní elektroda je zčernalá a je bez otřepů. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 2.25 mm, horní o 0.45 mm.

V měření č.6 se zkoušela elektroda 2 (Cu-3spinel-1Zn). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.7 (str. 52). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.16 - 18 (str. 64 a 65). Kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarů není splněno u třetí sady vzorků (svary 102, 103) viz graf č.16 (str.64). Jak je patrné z grafu č.17 (str.64) kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno u třetí sady zkušebních vzorků (svar 102, 103). Při svařování se elektrody nelepily. U tohoto měření po svaření prvních osmi svarů v porovnání s předcházejícími testy pozinkovaných plechů nedocházelo k výstřikům (viz tab.č.7). Proto se svařovací čas zvýšil na 7 period, po této změně však začalo docházet k velmi mohutným výstřikům a ukázalo se, že s takto nastavenými svařovacími parametry dále svařovat nelze. Proto byl svařovací čas snížen po svaření 20 svarů na 6 period a tím výstřiky opět ustaly. Měření bylo skončeno po provedení 253 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je znázorněno v grafu č.18 (str.65). Pracovní plocha dolní elektrody se během svařování zvětšila o 103 %, horní o 42 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.11 a obr.3.6.12 (str. 71). Pracovní plocha dolní elektrody je zčernalá, s částčkami z povrchové vrstvy svařovaného plechu rozmístěnými po obvodu pracovní plochy elektrody a přecházejícími do otřepů. Horní elektroda je zčernalá s drobnými rýhami a je bez otřepů. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 0.85 mm, horní o 0.5 mm.

V měření č.7 se testovala elektroda C-C (Cu-3spinel-1Zn-3C). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.8 (str. 53). Grafické zpracování výsledků je v grafech č.19 - 21 (str. 66 a 67). Jak je patrné z grafu č.19 (str. 66) kritérium životnosti z hlediska únosnosti svarového spoje není splněno u druhé série zkušebních vzorků (svary 51, 52, 53). Kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čočky není splněno rovněž u druhé série vzorků (svary 52, 53) viz graf č.20 (str. 66). V průběhu svařování se elektrody nelepily a nedocházelo ani k výstřikům. Měření bylo zakončeno po provedení 503 svarových spojů. Rozpěchování elektrod je patrné z grafu č.21 (str. 67). Po skončení měření bylo zvětšení pracovních ploch elektrod následující. Pracovní plocha dolní elektrody se po svaření 503 svarů zvětšila o 186 %, horní pak o 4 %. Vzhled pracovních ploch elektrod po svařování je na obr.3.6.13 a obr.3.6.14 (str. 72). Pracovní plocha dolní elektrody je zčernalá, s prohlubní a s usazenými částčkami kovu z povlaku svařovaného plechu rozmístěnými po obvodu pracovní plochy elektrody a má velké otřepy. Horní elektroda je zčernalá, s drobnými krátery a je bez otřepů. Dolní elektroda se zkrátila v průběhu testu o 1.7 mm, horní o 0.3 mm.

Jak ukazují grafy průběhu opotřebení pracovních ploch elektrod (str. 55, 57, 59, 61, 63, 65, 67) docházelo během svařování k dočasnému zmenšení pracovní plochy. Tato skutečnost byla způsobena tím, že původně rovinná dosedací plocha elektrody se dočasně změnila na vypouklý tvar, což se projevilo zmenšením otisku elektrody.

To, že mezní hodnota kritéria životnosti z hlediska únosnosti svarových spojů nebyla splněna již po svaření několika málo svarů bylo způsobeno tím, že v průběhu svařování docházelo k výstřikům. Svařovací parametry těsně nad hranicí výstřiku byly voleny již z výše uvedených příčin (viz kap.3.4).

Tabulka č.1 elektroda 1 (Cu-3 spinel)

Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel				
Označení: ---						Označení: 1				
Délka před testem: 59,2 mm						Délka před testem: 20,35 mm				
Délka po testu: 58,6 mm						Délka po testu: 19,25 mm				
Rozdíl délky: 0,6 mm						Rozdíl délky: 1,1 mm				
Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21										
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm										
č.	n	I _{ef}	t _s	D		d ₁	d ₂	D _{svaru}	F _{max}	poznámka
vz.		[kA]	[Per]	D _{dolní}	D _{horní}	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	
	1	9,6	4	5,2	5,5					
	2	9,6	4							
	3	9,7	4							
	4	9,8	5							
	5	9,7	5							
	6	9,7	6							
	7	9,8	6							
	8	9,8	6							výstřik
	9	9,7	6							výstřik
	10	9,7	6							
0	11	9,6	6			4,34	4,02	4,18	840	výstřik
1	12	9,4	6			3,96	4,98	4,47	1000	výstřik
2	13	9,6	6			3,87	4,36	4,12	1060	výstřik
3	14	9,6	6			4,32	4,27	4,30	1180	výstřik
4	51	9,6	6	4,5	5,3	3,34	3,40	3,37	1060	výstřik
5	52	9,5	6			3,49	4,43	3,96	1200	výstřik
6	53	9,5	6			3,47	3,98	3,73	1240	výstřik
7	101	9,6	6	4,7	5,8	3,33	3,48	3,40	860	výstřik
8	102	9,3	6			4,66	5,20	4,93	1690	výstřik
9	103	9,6	6			3,27	4,12	3,70	940	výstřik
10	251	9,4	6	8,1	6,6	4,25	4,51	4,38	1880	
11	252	9,6	6			3,72	4,18	3,95	1580	
12	253	9,6	6			3,85	4,04	3,95	1600	
13	501	9,6	6	8,4	7,3	3,58	2,89	3,24	1320	
14	502	9,6	6			2,13	2,08	2,11	980	
15	503	9,6	6			2,35	1,96	2,16	940	

Tabulka č.2 elektroda A-A (Cu-3 spinel-3 C)

Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-3 C				
Označení: ---						Označení: A-A				
Délka před testem: 56,7 mm						Délka před testem: 19,75 mm				
Délka po testu: 56,0 mm						Délka po testu: 18,45 mm				
Rozdíl délky: 0,7 mm						Rozdíl délky: 1,3 mm				
Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21										
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm										
č.	n	I _{ef}	t _s	D		d ₁	d ₂	D _{svaru}	F _{max}	poznámka
vz.		[kA]	[Per]	D _{dolní}	D _{horní}	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	
	1	10,4	4	5,3	5,25					
	2	10,2	4							
	3	10,2	4							
	4	10,0	4							
	5	10,0	5							
	6	10,0	5							
	7	9,8	6							
	8	9,8	6							
	9	9,8	6							
	10	9,8	6							výstřik
16	11	9,6	6			4,88	5,03	4,96	2000	výstřik
17	12	9,6	6			4,31	4,62	4,47	1140	výstřik
18	13	9,6	6			4,72	4,66	4,69	1020	výstřik
19	51	9,6	6	5,35	5,55	4,21	5,21	4,71	920	výstřik
20	52	9,6	6			5,31	4,93	5,12	3160	výstřik
21	53	9,8	6			4,67	5,44	5,06	1010	výstřik
22	101	10,2	6	6,4	5,8	4,37	4,71	4,54	2040	
23	102	10,0	6			4,19	4,67	4,43	1960	
24	103	10,0	6			4,15	4,53	4,34	2000	
25	251	9,6	6	8,2	7,1	3,29	3,28	3,29	1220	
26	252	9,6	6			0,80	0,72	0,76	580	
27	253	9,6	6			3,30	3,99	3,65	1470	
28	501	9,2	6	8,2	6,9	1,62	1,29	1,46	600	
29	502	9,4	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
30	503	9,2	6			2,20	2,96	2,58	1090	

Tabulka č.3 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C) - 1. díl

Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-3 C				
Označení: ---						Označení: A				
Délka před testem: 54,4 mm						Délka před testem: 19,55 mm				
Délka po testu: 54,15 mm						Délka po testu: 18,50 mm				
Rozdíl délky: 0,25 mm						Rozdíl délky: 1,05 mm				
Základní materiál: Plech bez povlaku - RRSt 1405 SBV 13										
Tloušťka základního materiálu: 0,8 mm										
č.	n	I _{ef}	t _s	D		d ₁	d ₂	D _{svaru}	F _{max}	poznámka
vz.		[kA]	[Per]	D _{dolní}	D _{horní}	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	
	1	8,8	4	5,2	5,1					
	2	8,8	4							
	3	8,8	4							
	4	8,8	5							
	5	8,8	5							
	6	8,8	5							výstřík
	7	7,6	5							výstřík
	8	8,0	5							výstřík
	9	8,1	6							výstřík
	10	8,4	6							výstřík
	11	8,0	6							výstřík
0	12	8,4	6			4,73	5,41	5,07	3260	výstřík
1	13	7,6	6			5,68	6,00	5,84	4050	výstřík
2	14	7,7	6			4,90	5,23	5,07	3760	výstřík
3	15	7,7	6			5,30	5,75	5,53	3380	výstřík
4	16	7,7	6			5,32	5,41	5,37	3640	výstřík
5	51	8,2	6	4,2	5,0	4,88	4,77	4,83	3400	výstřík
6	52	8,2	6			5,67	4,20	4,94	3260	výstřík
7	53	8,0	6			5,00	4,82	4,91	3500	výstřík
8	54	7,7	6			5,71	5,45	5,58	4180	
9	101	8,2	6	4,0	5,0	4,60	4,87	4,74	2520	výstřík
10	102	8,0	6			5,10	5,41	5,26	3620	výstřík
11	103	8,2	6			4,81	5,33	5,07	3160	výstřík
12	251	8,0	5	4,1	4,8	4,01	4,33	4,17	2780	výstřík
13	252	7,8	5			3,80	4,56	4,18	2540	výstřík
14	253	8,0	5			4,05	4,64	4,35	2060	výstřík
15	254	8,0	6			3,94	4,74	4,34	2300	výstřík
16	255	8,0	6			3,94	4,55	4,25	2130	výstřík
17	256	8,0	6			3,58	4,62	4,10	1960	výstřík
18	501	7,6	6	4,6	5,2	5,00	5,63	5,32	4470	
19	502	7,6	6			4,01	4,65	4,33	1990	výstřík
20	503	7,6	6			5,00	5,63	5,23	4520	

Tabulka č.3 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C) - 2. díl										
Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-3 C				
Označení: ---						Označení: A				
Délka před testem: 54,4 mm						Délka před testem: 19,55 mm				
Délka po testu: 54,15 mm						Délka po testu: 18,50 mm				
Rozdíl délky: 0,25 mm						Rozdíl délky: 1,05 mm				
Základní materiál: Plech bez povlaku - RRSt 1405 SBV 13										
Tloušťka základního materiálu: 0,8 mm										
č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
21	751	8,0	6	5,2	5,4	4,03	3,71	3,87	2020	výstřik
22	752	8,0	6			3,87	3,68	3,76	1820	výstřik
23	753	8,0	6			4,03	3,44	3,74	1040	výstřik

Tabulka č.4										
Určení kritéria životnosti - mezní hranice únosnosti svarového spoje										
Základní materiál: Plech bez povlaku - RRSt 1405 SBV 13										
Tloušťka základního materiálu: 0,8 mm										
č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
27	1	7,7	5			4,81	5,01	4,91	4140	
28	2	7,7	5			4,61	4,90	4,76	3940	
29	3	7,7	5			4,92	5,15	5,04	4220	
110	4	7,4	6			4,61	5,31	4,96	4300	
111	5	7,4	6			5,36	5,62	5,49	4180	
112	6	7,4	6			4,69	4,73	4,71	4180	

Tabulka č.5 elektroda 3-3 (Cu-3 spinel-1 Zn-1 C)										
Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-1 Zn-1 C				
Označení: ---						Označení: 3-3				
Délka před testem: 55,3 mm						Délka před testem: 19,6 mm				
Délka po testu: 54,55 mm						Délka po testu: 18,35 mm				
Rozdíl délky: 0,75 mm						Rozdíl délky: 1,25 mm				
Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21										
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm										
č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
	1	10	4	5,2	5,1					
	2	9,8	4							
	3	9,9	4							
	4	9,8	5							
	5	9,8	5							
	6	9,8	5							
	7	9,6	6							
	8	9,7	6							
	9	9,6	6							
	10	9,6	6							
31	11	9,6	6			3,34	4,25	3,80	1140	výstřik
32	12	9,6	6			4,12	4,08	4,10	880	výstřik
33	13	9,5	6			4,48	4,06	4,27	1120	výstřik
34	14	9,5	6			4,63	4,41	4,52	960	výstřik
35	51	9,6	6	4,4	5,2	4,30	3,95	4,13	960	výstřik
36	52	9,6	6			4,03	4,13	4,08	900	výstřik
37	53	9,6	6			4,48	4,06	4,27	1120	výstřik
38	101	9,6	6	4,7	5,2	4,05	4,60	4,33	1440	výstřik
39	102	9,5	6			3,42	4,85	4,14	1080	výstřik
0	103	9,2	6			4,28	4,48	4,38	1580	výstřik
40	104	9,6	6			2,77	3,57	3,17	860	výstřik
41	251	9,2	6	7,5	6,5	3,70	4,30	4,00	4180	
42	252	9,4	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
43	253	9,2	6			4,33	4,07	4,2	1900	
44	501	9,6	6	8,15	5,5	---	---	---	---	rozpad vzorku
45	502	9,6	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
46	503	9,6	6			---	---	---	---	rozpad vzorku

Tabulka č.6 elektroda D (Cu-3 spinel-1 Zn-5 C)

Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-1 Zn-5 C				
Označení: ---						Označení: D				
Délka před testem: 57,3 mm						Délka před testem: 18,4 mm				
Délka po testu: 56,85 mm						Délka po testu: 16,15 mm				
Rozdíl délky: 0,45 mm						Rozdíl délky: 2,25 mm				
Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21										
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm										
č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
	1	9,7	4	5,1	5,4					
	2	10	4							
	3	10	4							
	4	10	5							
	5	9,8	5							
	6	9,8	5							
	7	9,8	6							
	8	9,7	6							
	9	9,7	6							
	10	9,6	6							
56	11	9,6	6			4,73	3,78	4,26	840	výstřík
57	12	9,6	6			3,84	3,72	3,78	1030	výstřík
58	13	9,6	6			3,75	4,07	3,91	860	výstřík
59	14	9,2	5			4,47	3,73	4,10	810	výstřík
60	15	9,2	5			4,47	3,73	4,10	970	výstřík
61	16	9,2	5			4,70	4,18	4,44	1040	výstřík
62	17	8,8	6			4,92	5,08	5,0	1600	
63	18	8,8	6			5,22	5,31	5,27	2280	
64	19	8,8	6			5,05	5,00	5,03	2140	
65	51	9,4	6	4,5	5,2	3,13	5,01	4,07	900	výstřík
66	52	9,4	6			3,82	4,74	4,28	960	výstřík
67	53	9,4	6			3,64	4,89	4,27	780	výstřík
68	101	9,6	6	5,9	5,4	4,99	4,81	4,90	2060	
69	102	9,6	6			4,72	4,89	4,80	1900	
70	103	9,6	6			4,88	5,61	5,25	2220	
71	251	9,6	6	7,4	5,9	2,95	3,82	3,39	1520	
72	252	9,6	6			2,13	2,12	2,13	970	
73	253	9,6	6			2,78	2,20	2,49	1040	
74	501	9,6	6	7,5	5,9	2,15	2,43	2,29	1000	
75	502	9,6	6			0,80	0,80	0,80	120	
76	503	9,6	6			1,09	1,78	1,44	920	

Tabulka č.7 elektroda 2 (Cu-3 spinel-1 Zn)

Horní elektroda						Dolní elektroda				
Tvar: kuželová elektroda						Tvar: kuželová elektroda				
Vrcholový úhel: 60°						Vrcholový úhel: 60°				
Průměr pracovní plochy: 5 mm						Průměr pracovní plochy: 5 mm				
Složení: Cu-Cr						Složení: Cu-3 spinel-1 Zn				
Označení: ---						Označení: 2				
Délka před testem: 57,1 mm						Délka před testem: 21,05 mm				
Délka po testu: 56,6 mm						Délka po testu: 20,2 mm				
Rozdíl délky: 0,5 mm						Rozdíl délky: 0,85 mm				
Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21										
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm										
č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
	1	8,0	4	5,2	5,2					
	2	8,0	4							
	3	8,0	4							
	4	8,0	6							
	5	8,6	6							
	6	8,8	6							
	7	9,2	6							
	8	9,2	6							
	9	9,2	7							výstřik
	10	9,2	7							výstřik
44	11	9,2	7			5,00	5,05	5,03	1920	výstřik
45	12	9,0	7			4,58	4,58	4,58	2540	výstřik
46	13	9,0	7			4,88	5,07	4,98	2280	výstřik
47	51	8,9	6	4,8	5,3	4,43	4,74	4,59	2100	
48	52	9,0	6			4,51	5,52	5,02	2300	
49	53	9,0	6			4,55	4,89	4,72	2700	
50	101	9,1	6	6,9	5,6	3,65	4,00	3,83	1720	
51	102	9,0	6			1,49	1,80	1,65	920	
52	103	8,9	6			0,98	0,80	0,89	1160	
53	251	8,6	6	7,4	6,2	3,38	4,38	3,88	1780	
54	252	9,2	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
55	253	9,0	6			---	---	---	---	rozpad vzorku

Tabulka č.8 elektroda C-C (Cu-3 spinel-1 Zn-3 C)

Horní elektroda

Dolní elektroda

Tvar: kuželová elektroda

Tvar: kuželová elektroda

Vrcholový úhel: 60°

Vrcholový úhel: 60°

Průměr pracovní plochy: 5 mm

Průměr pracovní plochy: 5 mm

Složení: Cu-Cr

Složení: Cu-3 spinel-1 Zn-3 C

Označení: ---

Označení: C-C

Délka před testem: 61,1 mm

Délka před testem: 19,8 mm

Délka po testu: 60,8 mm

Délka po testu: 18,1 mm

Rozdíl délky: 0,3 mm

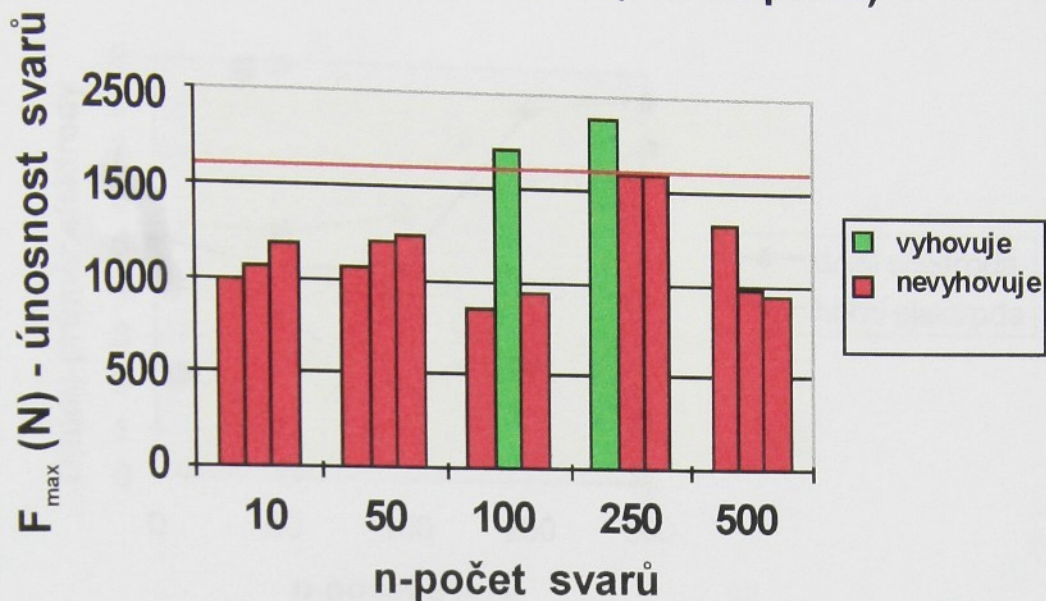
Rozdíl délky: 1,7 mm

Základní materiál: Žárově pokovený Zn (bez květu) - KHE 21

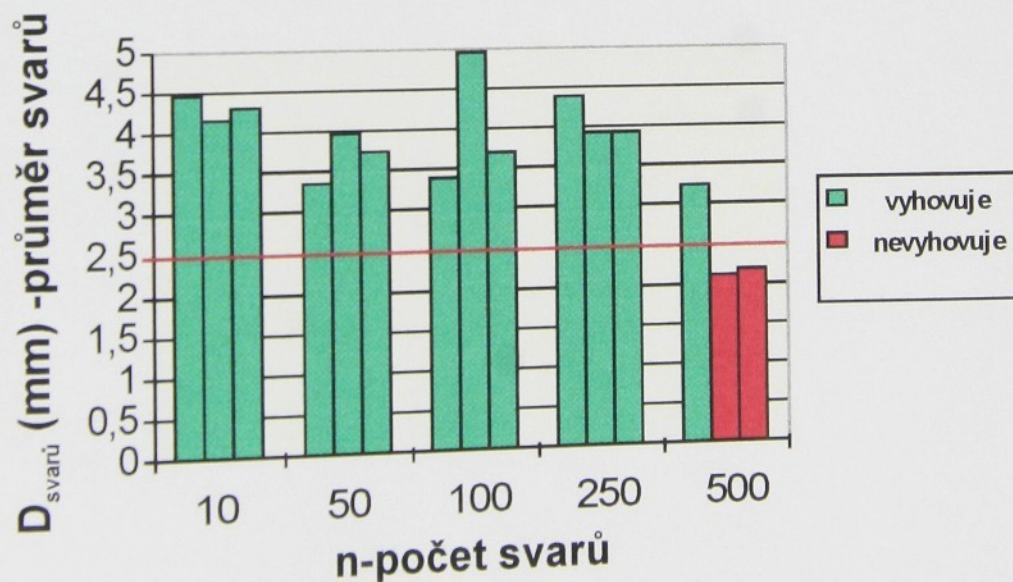
Tloušťka základního materiálu: 0,7 mm

č. vz.	n	I _{ef} [kA]	t _s [Per]	D		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D _{svaru} [mm]	F _{max} [N]	poznámka
				D _{dolní}	D _{horní}					
	1	9,7	4	5,2	5,4					
	2	10	4							
	3	9,9	4							
	4	10	4							
	5	9,9	5							
	6	9,8	5							
	7	9,8	5							
	8	9,8	6							
	9	9,8	6							
	10	9,8	6							
0	11	9,8	6			4,48	5,05	4,77	1040	
79	12	9,8	6			4,80	5,32	5,06	2020	
80	13	9,8	6			4,72	5,18	4,95	1820	
81	14	9,8	6			4,86	5,08	4,97	2060	
82	51	10	6	7,6	5,5	3,42	4,51	3,97	1520	
83	52	9,8	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
84	53	9,8	6			2,51	1,10	1,81	700	
85	101	10	6	8,0	5,7	2,25	3,95	3,10	1340	
86	102	9,8	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
87	103	9,8	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
88	251	9,7	6	8,6	5,3	2,41	1,53	1,97	600	
89	252	9,7	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
90	253	9,7	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
91	501	9,7	6	8,8	5,5	---	---	---	---	rozpad vzorku
92	502	9,8	6			---	---	---	---	rozpad vzorku
93	503	9,7	6			---	---	---	---	rozpad vzorku

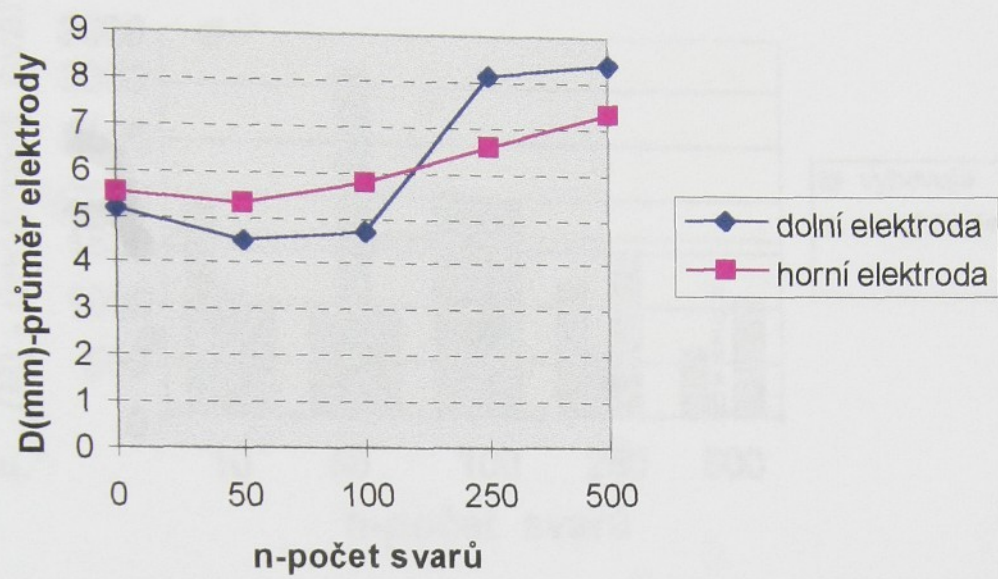
Graf č.1 elektroda 1 (Cu-3 spinel)



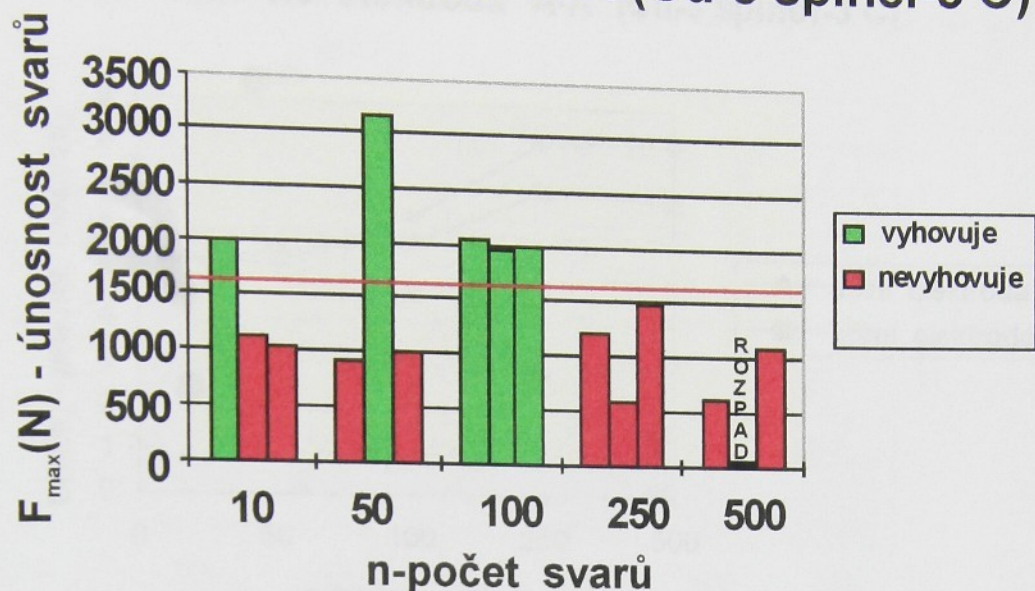
Graf č.2 elektroda 1 (Cu-3 spinel)



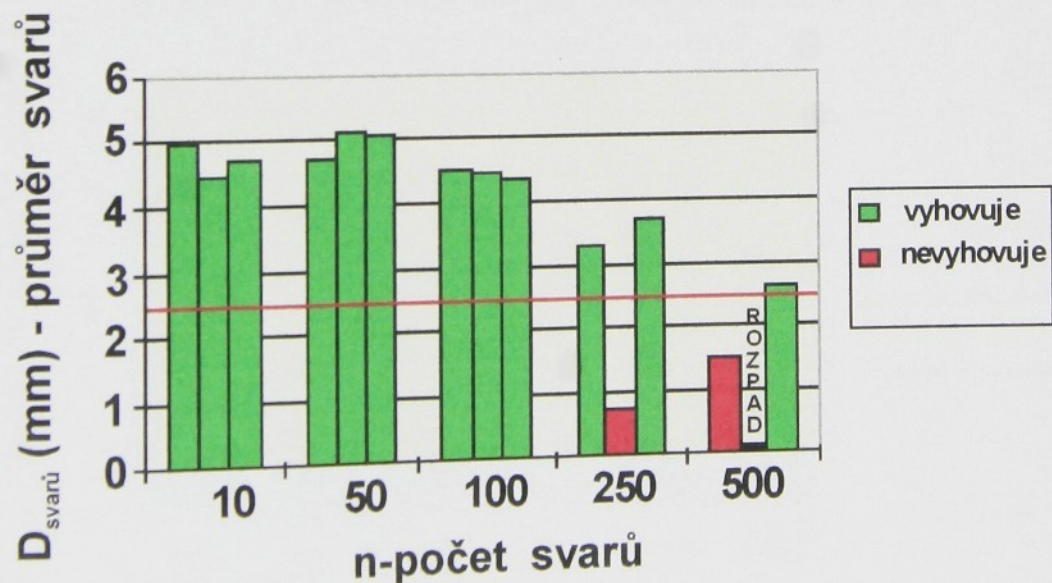
Graf č.3 Elektroda 1(Cu-3spinel)



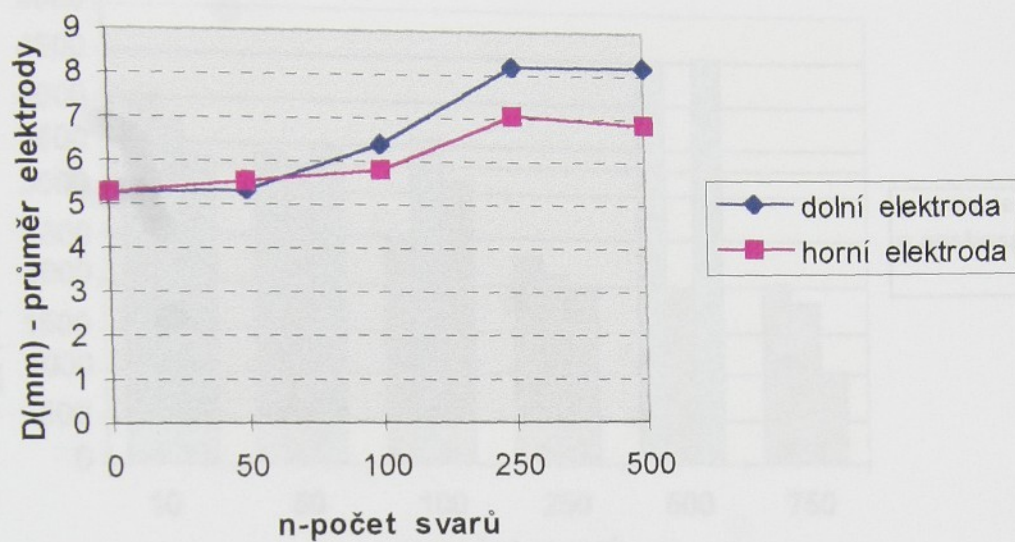
Graf č.4 elektroda A-A (Cu-3 spinel-3 C)



Graf č.5 elektroda A-A (Cu-3 spinel-3 C)



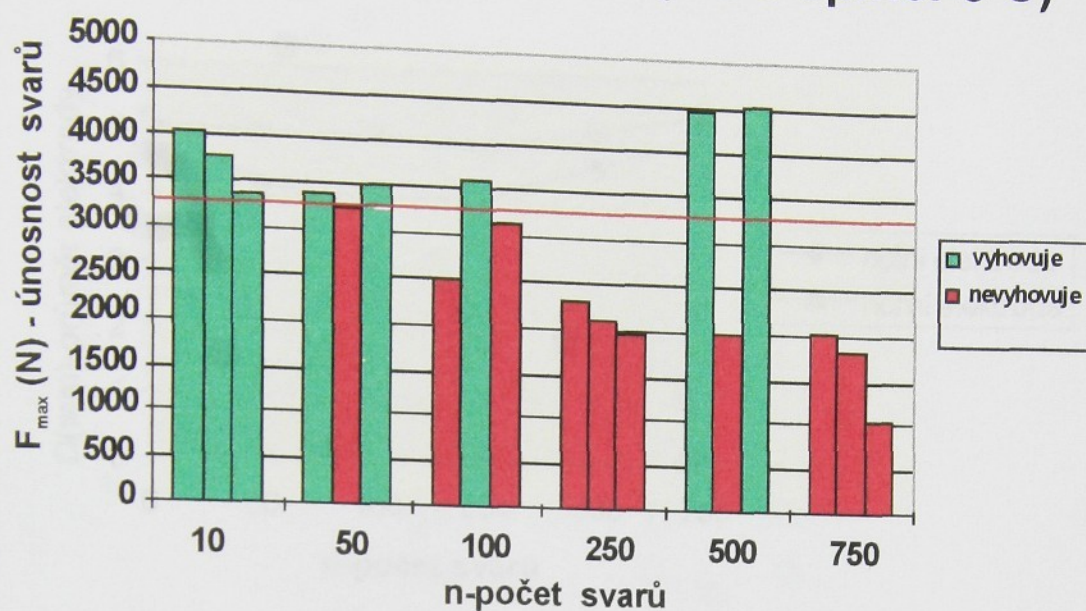
Graf č.6 elektroda A-A (Cu-3 spinel-3 C)



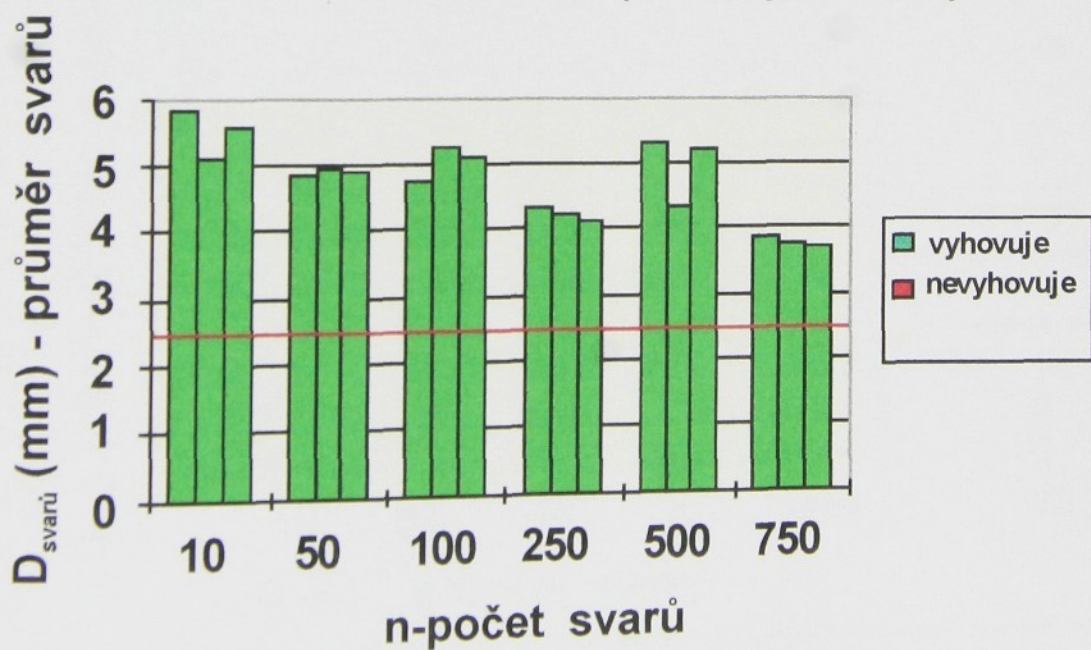
Graf č.8 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C)



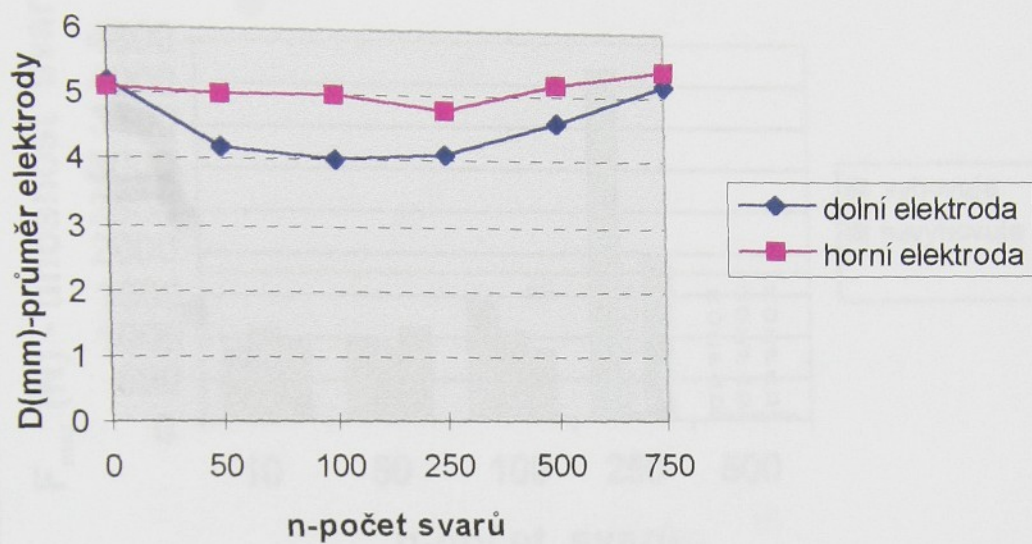
Graf č.7 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C)



Graf č.8 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C)



Graf č.9 elektroda A (Cu-3 spinel-3 C)

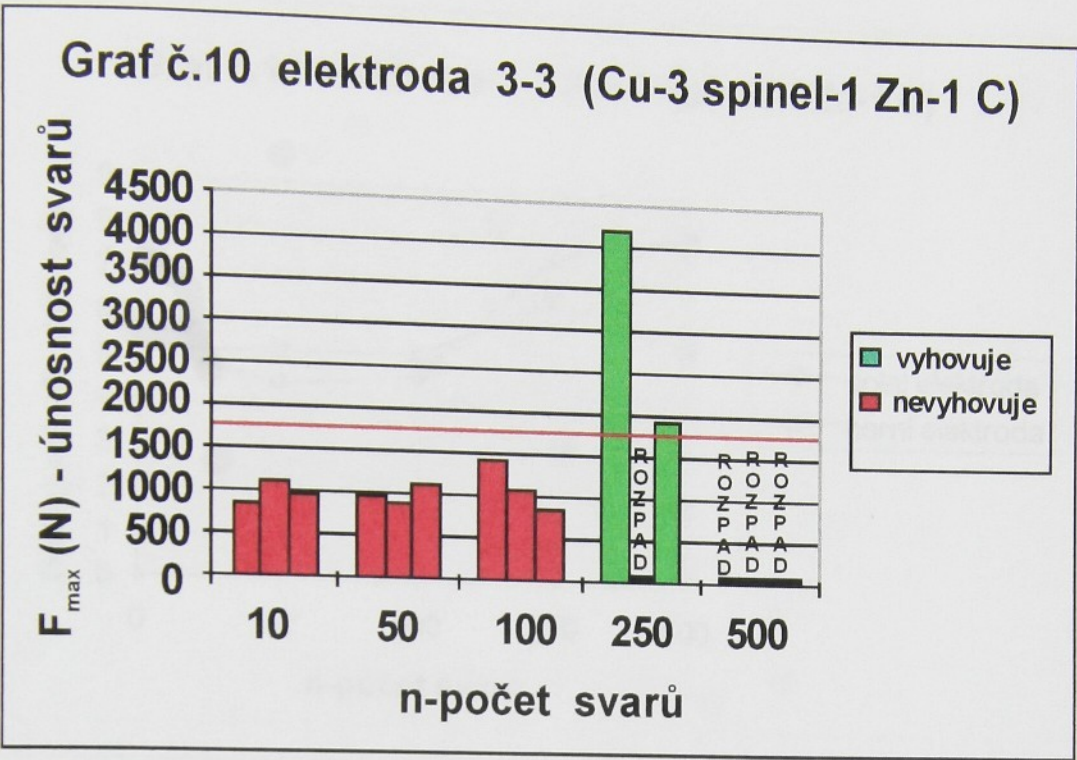


Graf č.11 elektroda 3-3 (Cu-3 spinel-1 Zn-1 C)



Graf č.10 elektroda 3-3 (Cu-3 spinel-1 Zn-1 C)

n-počet svarů	vyhovuje (N)	nevyhovuje (N)
10	0	~800
50	0	~900
100	0	~1300
250	~4000	~1750
500	~1750	~1000



Graf č.11 elektroda 3-3 (Cu-3 spinel-1 Zn-1 C)

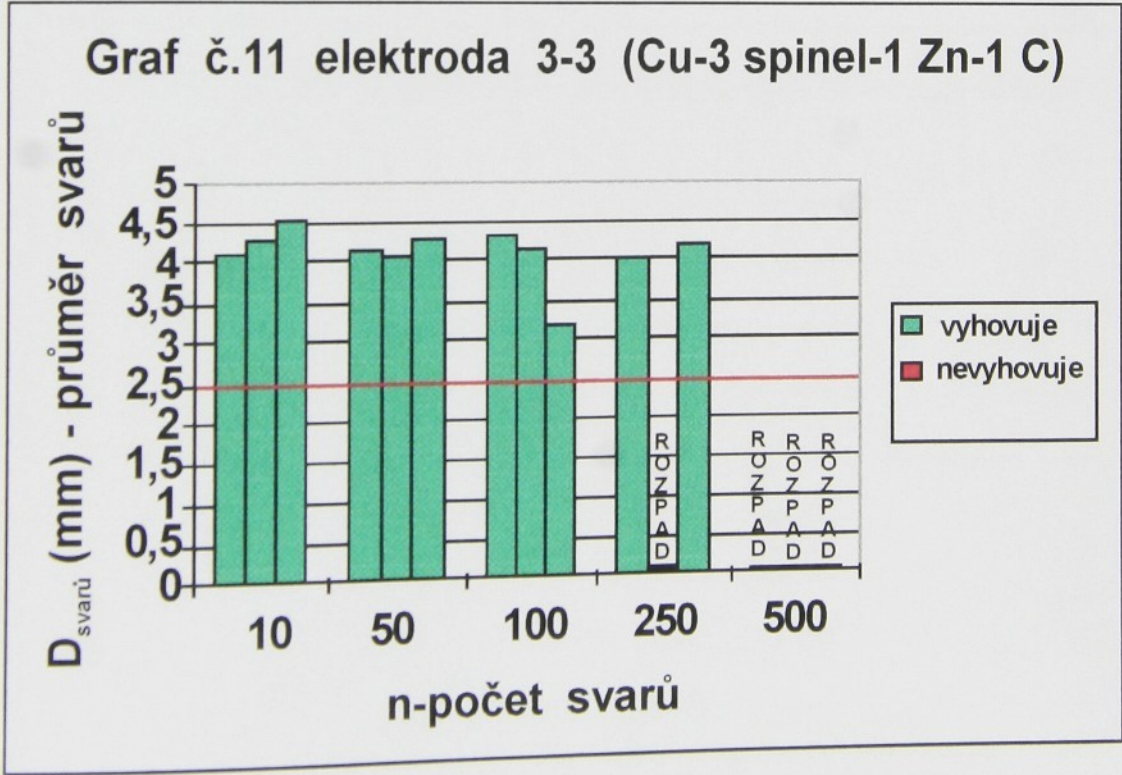
Y-axis: $D_{\text{svarů}}$ (mm) - průměr svarů

X-axis: n-počet svarů

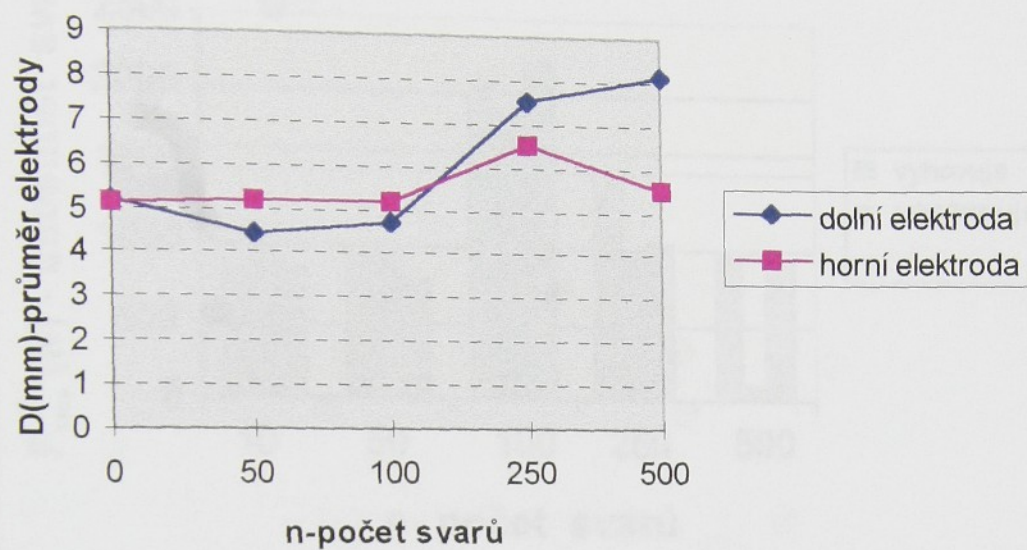
Legend:

- vyhovuje (green bar)
- nevyhovuje (red bar)

n-počet svarů	vyhovuje (mm)	nevyhovuje (mm)
10	4.1, 4.3, 4.5	0
50	4.2, 4.1, 4.3	0
100	4.4, 4.2, 3.3	0
250	4.1, 4.1, 4.3	0
500	0	0



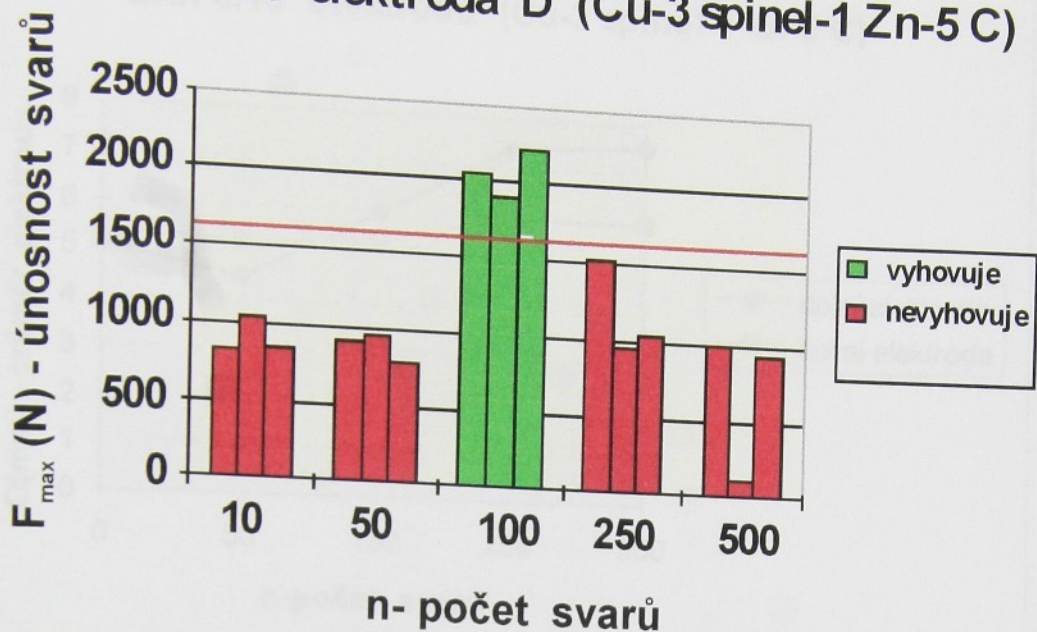
Graf č.12 elektroda 3-3 (Cu-3 spinel-1 Zn-1 C)



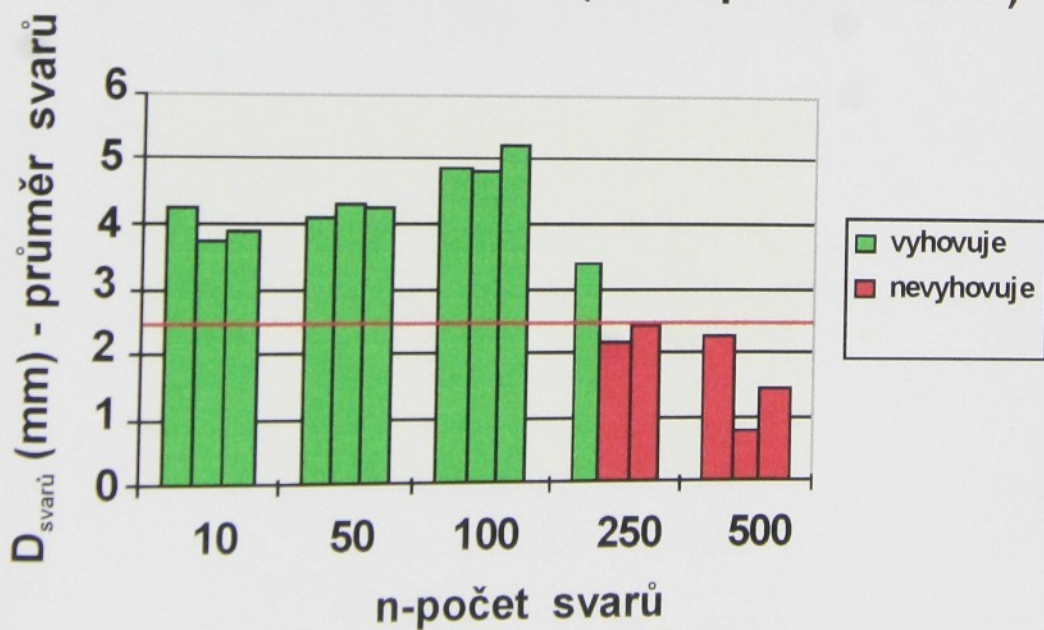
Graf č.14 elektroda D (Cu-3 spinel-1 Zn-5 C)



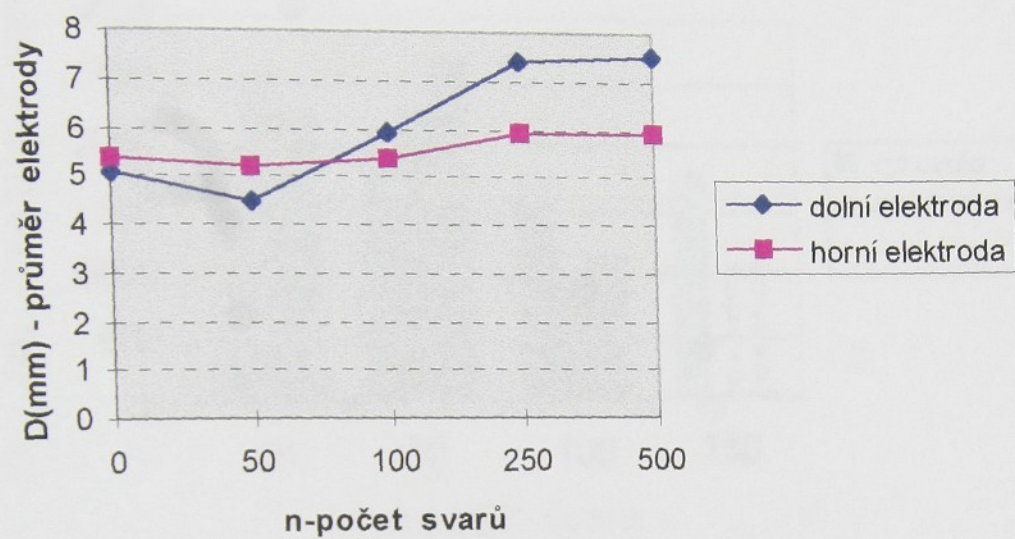
Graf č.13 elektroda D (Cu-3 spinel-1 Zn-5 C)



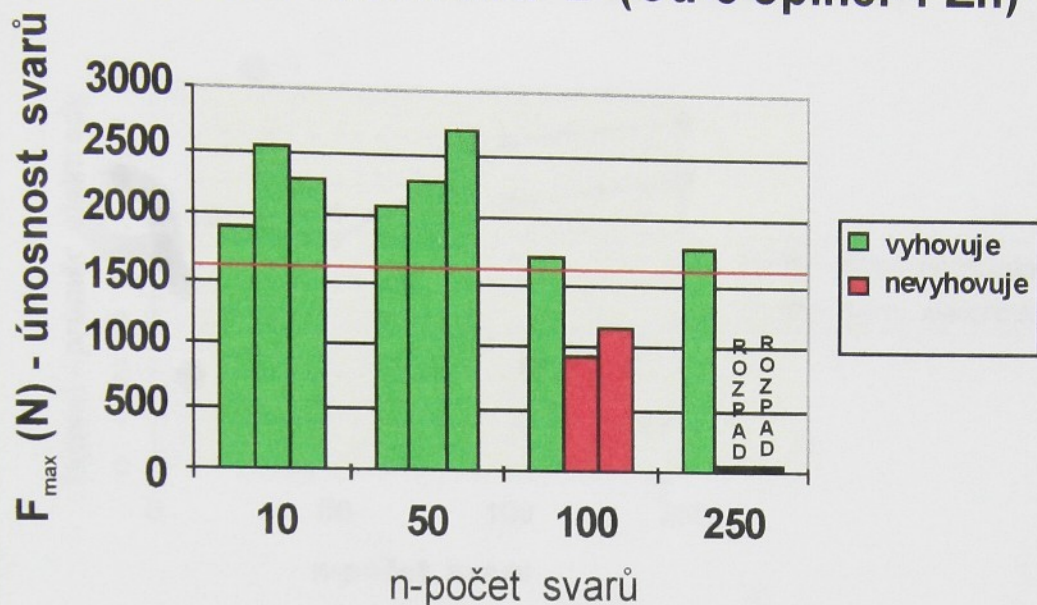
Graf č.14 elektroda D (Cu-3 spinel-1 Zn-5 C)



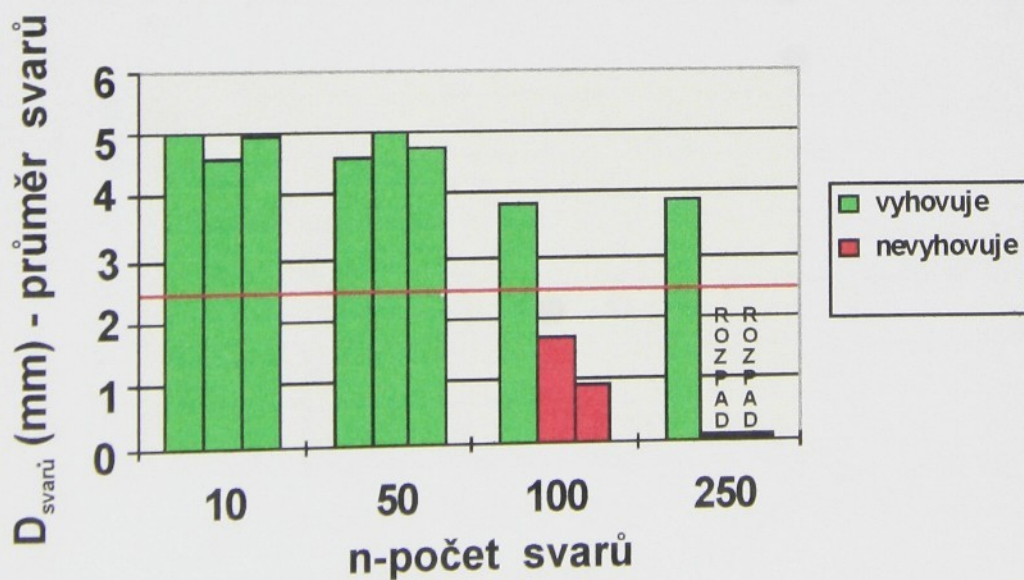
Graf č.15 elektroda (Cu-3 spinel-1 Zn-5 C)



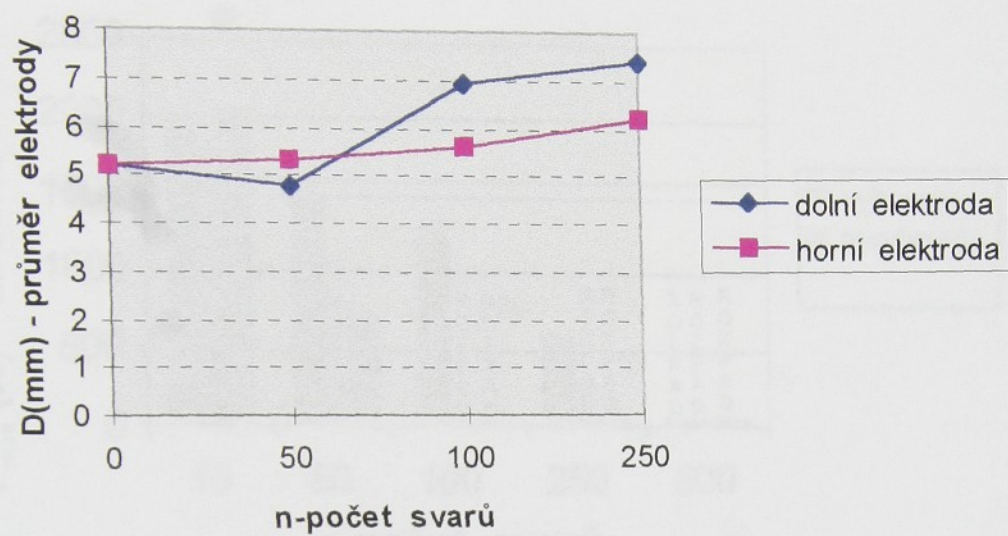
Graf č.16 elektroda 2 (Cu-3 spinel-1 Zn)



Graf č.17 elektroda 2 (Cu-3 spinel-1 Zn)



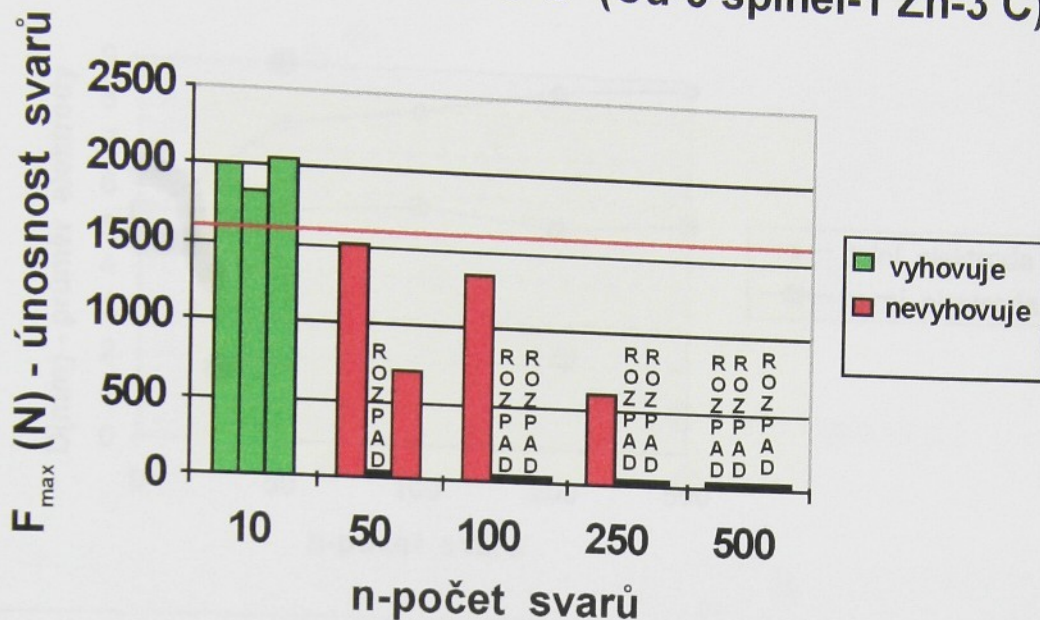
Graf č.18 elektroda 2 (Cu-3 spinel-1 Zn)



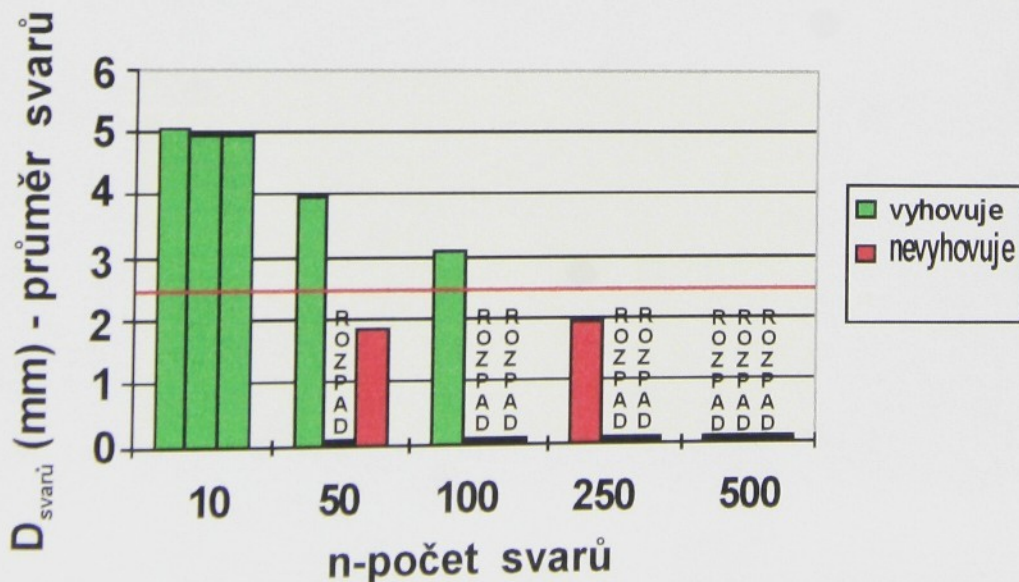
Graf č.29 elektroda C-C (Cu-3 spinel-1 Zn-3C)



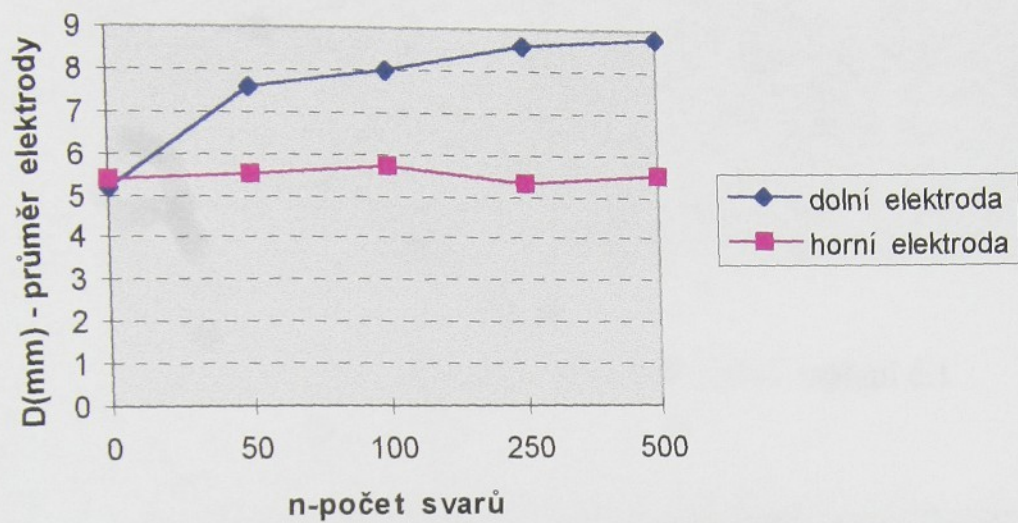
Graf č.19 elektroda C-C (Cu-3 spinel-1 Zn-3 C)



Graf č.20 elektroda C-C (Cu-3 spinel-1 Zn-3C)

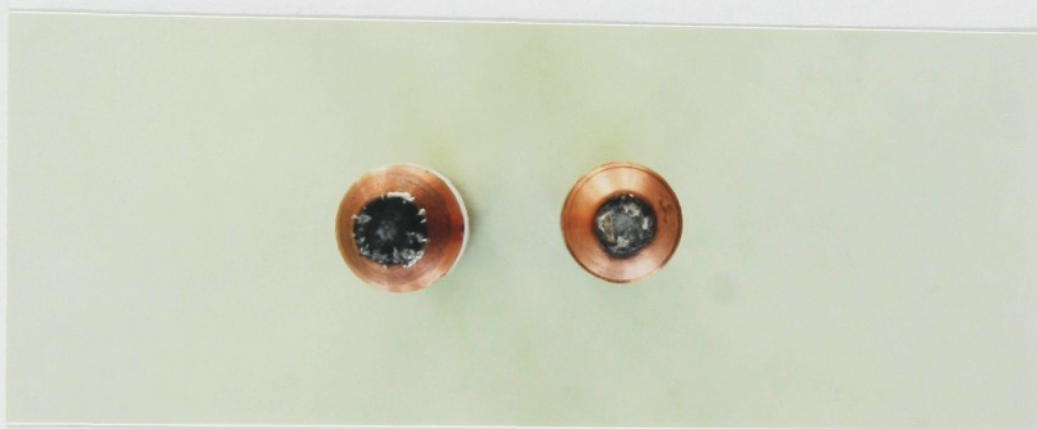


Graf č.21 elektroda C-C (Cu-3 spinel-1 Zn-3C)

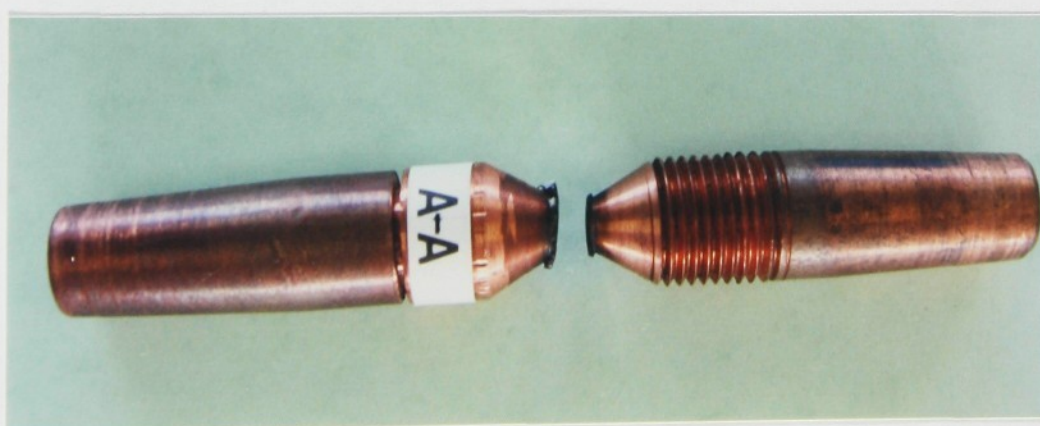




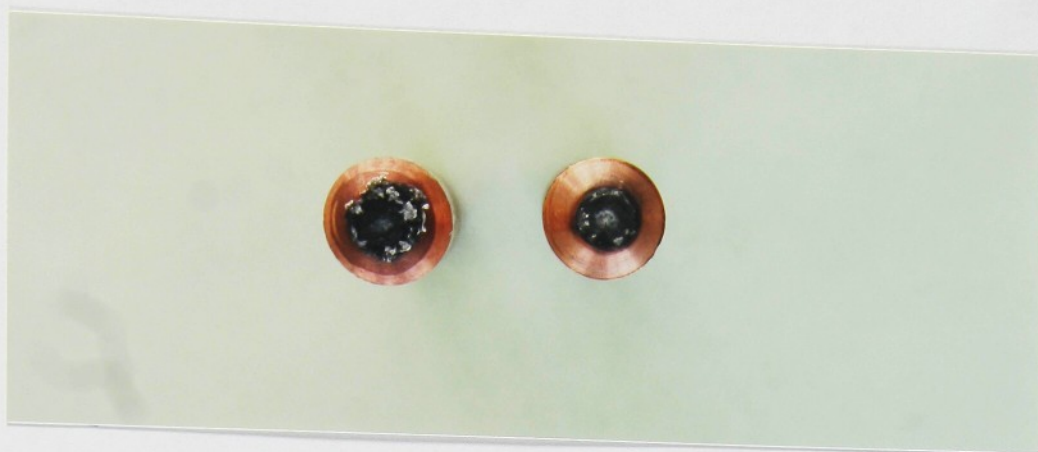
obr.3.6.1 Vzhled elektrod po svařování - měření č.1



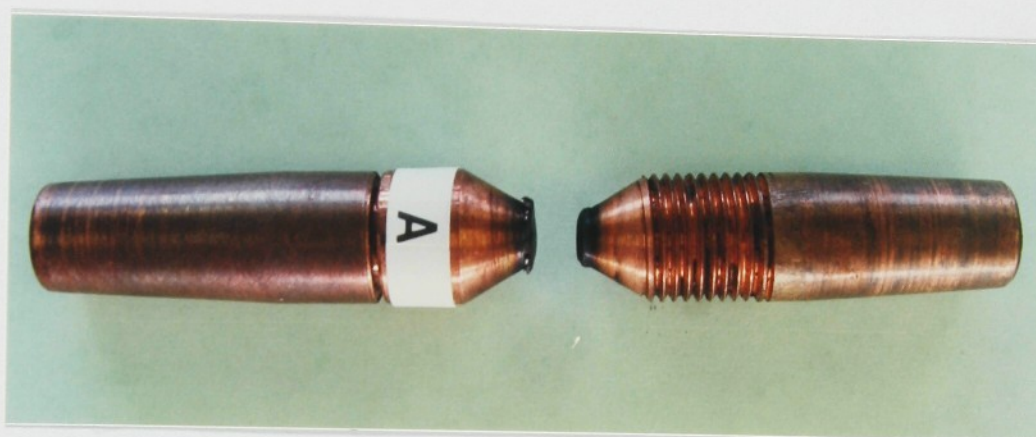
obr.3.6.2 Elektrody po svařování - měření č.1 (vlevo - elektroda 1 , vpravo CuCr)



obr.3.6.3 Vzhled elektrod po svařování - měření č.2



obr.3.6.4 Elektrody po svařování - měření č.2 (vlevo - elektroda A-A , vpravo - CuCr)



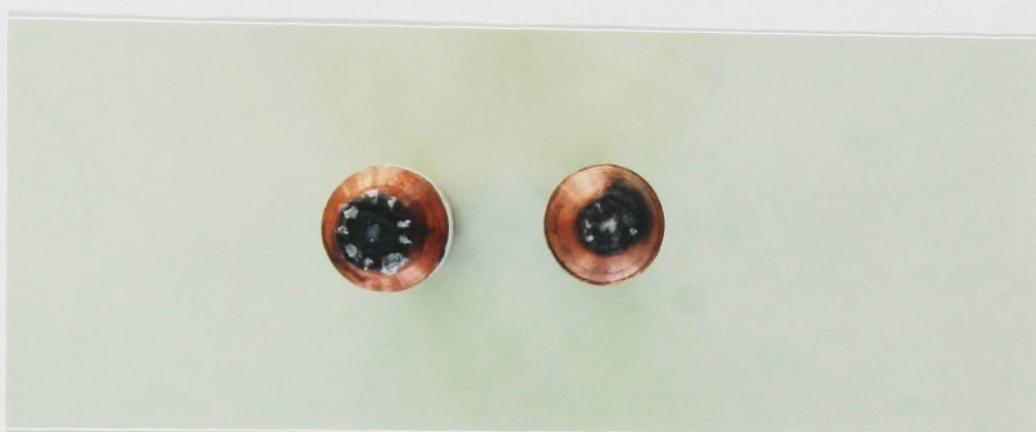
obr.3.6.5 Vzhled elektrod po svařování - měření č.3



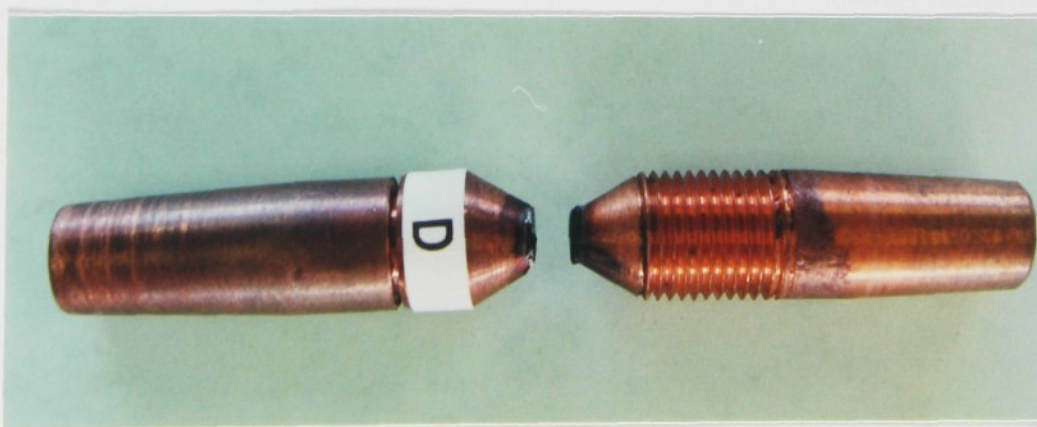
obr.3.6.6 Elektrody po svařování - měření č.3 (vlevo - elektroda A , vpravo - CuCr)



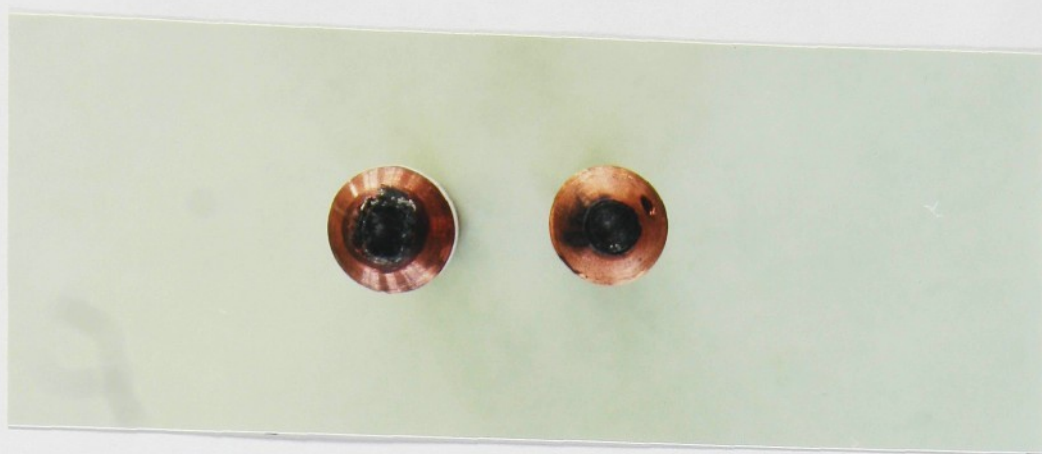
obr.3.6.7 Vzhled elektrod po svařování - měření č.4



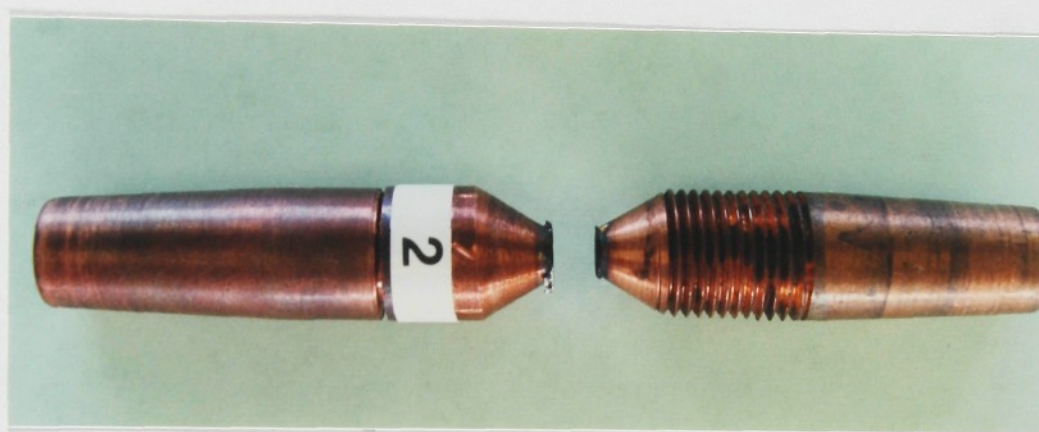
obr.3.6.8 Elektrody po svařování - měření č.4 (vlevo - elektroda 3-3 , vpravo - CuCr)



obr.3.6.9 Vzhled elektrod po svařování - měření č.5



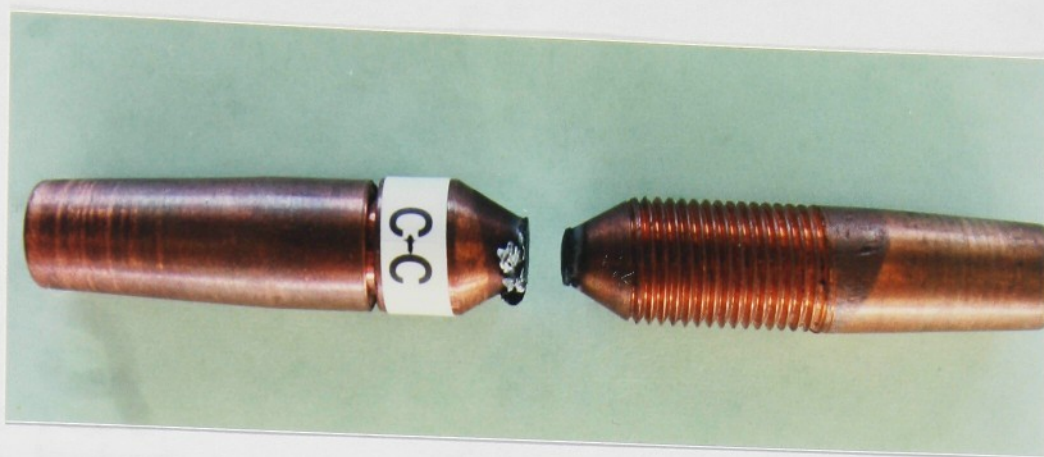
obr.3.6.10 Elektrody po svařování - měření č.5 (vlevo - elektroda D , vpravo - CuCr)



obr.3.6.11 Elektrody po svařování - měření č.6



obr.3.6.12 Elektrody po svařování - měření č.6 (vlevo - elektroda 2 , vpravo - CuCr)



obr.3.6.13 Elektrody po svařování - měření č.7



obr.3.6.14 Elektrody po svařování - měření č.7 (vlevo - elektroda C-C , vpravo - CuCr)

4. Závěr

Životnost všech testovaných elektrod vyrobených práškovou metalurgií je velmi nízká, končí po svaření deseti, padesáti maximálně sta svarů. Tento poznatek je v souladu s výsledky práce [16]. Aby se ověřilo chování elektrod při svařování čistých ocelových plechů byl proveden jeden test na ocelovém plechu bez povlaku. V tomto případě bylo kritérium životnosti z hlediska velikosti svarové čocky splněno pro všech 750 provedených svarů. Z hlediska únosnosti svarového spoje nebylo kritérium životnosti splněno u druhé série zkušebních vzorků. To však bylo způsobeno přítomností výstřiků. Svařovací parametry nebyly měněny z toho důvodu, aby zkoušky probíhaly stále za stejných podmínek. V souladu se známou skutečností týkající se elektrod vyrobených z CuCr i elektrody vyrobené práškovou metalurgií vykazují při svařování čistých ocelových plechů mnohem lepších výsledků než u plechů pokovených.

Při svařování testovanými elektrodami dochází velmi rychle k rozpěchování pracovních ploch (zvětšení průměru). Zvětšení dosedací plochy přesahuje u všech zkoušených elektrod hodnotu 35%, která se obvykle uvádí pro ohraničení životnosti viz např. práce [15]. Rovněž rozdíl délek elektrod před testem a po testu je značný. Vzhledem k tomu, že horní elektrody byly vyrobeny z CuCr je tedy možné přímé porovnání chování dolní elektrody (vyrobená práškovou metalurgií) a horní elektrody (CuCr). Jak je uvedeno v kap.3.6, průběh opotřebení horních elektrod je podstatně pomalejší než elektrod dolních, ale také velmi rychlý ve srovnání se svařováním čistých ocelových plechů bez povlaku. Rovněž změna povrchu elektrod (zčernání, znečištění, usazování částecek kovu z povlaku svařovaného materiálu) a změna délky je mnohem menší. Při srovnávacím testu s ocelovým plechem bez povlaku byla změna velikosti i tvaru dosedacích ploch u horní i dolní elektrody minimální, ale došlo k úbytku délek (u dolní elektrody 1.05 mm, u horní 0.25 mm).

Pozitivem bylo to, že v průběhu testování se elektrody vůbec nelepily na svařovaný materiál, narozdíl od elektrod zkoušených v práci [16]. Je nutno vyslovit domněnku, že to bylo způsobeno přítomností uhlíku v elektrodovém materiálu. Tento poznatek je v souladu s experimentem vykonaným na Katedře strojírenské metalurgie.

Ústavu materiálového výskumu SAV v Košicích byly zaslány předběžné výsledky a jako odpověď přislíbeno zaslání elektrod s korigovanou technologií výroby (operace 1 lisování, měla probíhat za teplot 400 - 500 °C). Elektrody s takto změněnou technologií však již pro experiment v této diplomové práci zaslány nebyly.

Při testování elektrod byly dosaženy přibližně stejné výsledky jako v práci [16]. Toto tvrzení je však poněkud zkresleno faktem, že v práci [16] se svařovaly plechy tloušťky 0.8 mm, zatímco v této práci 0.7 mm (při použití stejných svařovacích parametrů).

Vzhledem k tomu, že životnost elektrod je velmi nízká je nutno konstatovat, že elektrody dodané Ústavem materiálového výzkumu SAV v Košicích a testované v této diplomové práci prozatím nesplňují očekávání výrobce o vyšších užitečných vlastnostech.

Použitá literatura:

1. ČSN 05 0003 - Odporové zvárane. Základne pojmy. 1973
2. PLÍVA, L. : Odporové svařování. Praha. 1975
3. MIČKA, J. : Výstupkové svařování ocelových plechů s různými typy kovových povlaků. /Diplomová práce/.
4. NEUMANN, H.: Bodové odporové svařování ocelových plechů s povlaky na bázi slitiny Al-Zn. Liberec. VŠST. 1990.
5. TINDL, J. : Základy pokovování v roztavených kovech. Vysoká škola báňská v Ostravě. 1963.
6. RUML, V. - SOUKUP, M. : Galvanické pokovování. Praha. 1981.
7. LIPA, M. - HOLÁSEK, J. : Odporové zvárane v lise. 1.vydání Bratislava. SVTL. 1962.
8. NEUMANN, H. : Sledování řízení svařovacího procesu při odporovém bodovém svařování žárově pohlíníkových ocelových plechů.
/Kandidátská disertace/. Liberec. 1990-VŠST. Fakulta strojní.
9. NEUMANN, H. - TMĚJ, J. : Jakost odporových bodových svarových spojů žárově pohlíníkových ocelových plechů.
/Výzkumná zpráva - F 2421 - 053/. Liberec. VŠST. 1985.
10. LIPA, M : Zvárane, 42, 1993, č.1-6.
11. ČSN 05 1310 - Skúšanie svariteľnosti ocelí. Základne ustanovenia. 1988.
12. HRABÁNEK, M.: Bodové odporové svařování pozinkovaných ocelových plechů při výrobě karoserií osobních automobilů.
/Diplomová práce/. Liberec. 1992. VŠST. Fakulta strojní.
13. HANBEN, M.: Struktury dvojných slitin.
14. PEŠEK, F.- JENÍČEK, L. - RYS, P : Nauka o materiálu I. Nauka o kovech-třetí svazek neželezné kovy. 2. vydání. Praha. 1973.
15. NEUMANN, H.: Studium životnosti elektrodoých špiček při bodovém odporovém svařování žárově pohlíníkových ocelových plechů fal fy Thyssen.
/ Výzkumná zpráva č.u 62033/350 /. Liberec. VŠST. 1982.

16. MRÁZ, M.: Ověřování vhodnosti elektrodových špiček vyrobených práškovou metalurgií pro odporové bodové svařování ocelových plechů s povlaky.

/Diplomová práce/. Liberec. 1995. TU. Fakulta strojní.

17. Procedure for the evaluation of the life of spot welding electrodes parti - uncoated and coated steels. / Final draft /. Doc. III - WG13 - 92/1