

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



OPTIMALIZACE PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ MAG POMOCÍ MĚŘENÍ EFEKTIVITY

Diplomová práce

Cankářová Jitka

1999

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA STROJÍRENSKÉ METALURGIE

Studijní obor:
23-07-8
STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

Zaměření:
STROJÍRENSKÁ METALURGIE

OPTIMALIZACE PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ MAG POMOCÍ MĚŘENÍ EFEKTIVITY

Jitka Cankářová

KSM - 474

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 85

Počet tabulek: 6

Počet obrázků: 69

Počet grafů: 17

Počet výkresů: 0

31. května 1999



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské metalurgie

Studijní rok: 1998/99

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Jitka CANKÁŘOVÁ

obor

23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

Strojírenská metalurgie

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Optimalizace parametrů svařování MAG pomocí měření efektivity.

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vliv parametrů svařování na formování housenky svaru a způsob monitorování parametrů.
2. Seznamte se s metodikou měření efektivity svařování a prostudujte již provedené měření efektivity ručního MAG svařování.
3. Navrhněte metodu a experimentální program optimalizace parametrů strojního svařování metodou MAG koutových svarů, kde jako hlavní kritérium bude efektivita provedení svaru.
4. Navrženou metodu experimentálně ověřte.
5. Zhodnoťte provedené experimenty a podle možností (program Weld CAD) proveďte ekonomický výstup experimentálně provedené optimalizace.

KSM/SM
84a.

V 138/99 S

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací parametrů svařování MAG pomocí měření efektivity svařování ve zkratovém, sprchovém a pulzním režimu v poloze PA.

Tato problematika je řešena pomocí dvou metodik.

V první části této práce je úkolem nalézt optimální rychlost svařování při maximální efektivitě. Druhá část navazuje na výsledky z první části a cílem je určit maximální rychlost svařování při zachování nosné velikosti svaru.

Výsledkem diplomové práce jsou grafické závislosti parametrů svařování pro jednotlivé typy režimů.

Anotation

This thesys deals with the optimalization of the MAG measuring of the welding parameters in the short – arc, spray wire and pulsed – arc in the position PA.

The realization is resolved by helping two methods. The first part is to be found the optimal speed of the welding at the maximal effectivity. The second part with the aim to find out the maximal speed of welding at the keeping and carrying greatness of the weld.

The results of this thesys are the graphic dependens of the welding parameters for the separate régime types.

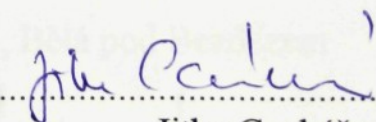
PROHLÁŠENÍ K VYUŽÍVÁNÍ VÝSLEDKŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jsem si vědoma toho, že diplomová práce je majetkem školy, a že s ní nemohu sama bez svolení školy disponovat. Diplomová práce může být naprokována či kopírována (kopie) za účelem vytvoření jejího obsahu.

PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne


.....
Jitka Cankářová

PROHLÁŠENÍ K VYUŽÍVÁNÍ VÝSLEDKŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jsem si vědoma toho, že diplomová práce je majetkem školy, a že s ní nemohu sama bez svolení školy disponovat. Diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po 5ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

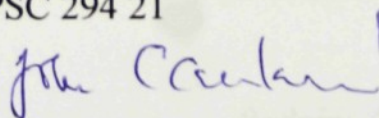
Jméno a příjmení:

Jitka Cankářová

Adresa:

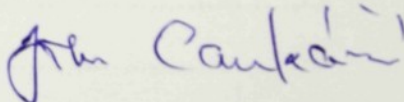
Nerudova 445, Bělá pod Bezdězem
PSC 294 21

Podpis:



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Doc. Ing. Heinzi Neumannovi a hlavně konzultantovi Ing. Zdeňkovi Hudcovi za odbornou pomoc, vedení a cenné připomínky při řešení a zpracování této diplomové práce. Dále děkuji p. Evě POKORNÉ za pomoc při zpracování vzorků.

Podpis: 

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 PRINCIP MAG SVAŘOVÁNÍ	11
2.2 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ ELEKTRICKÝ OBLOUK.....	15
2.3 VLIV PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ NA FORMOVÁNÍ SVAROVÉ HOUSENKY ..	16
2.3.1. Svařovací proud	18
2.3.2. Svařovací napětí.....	20
2.3.3. Rychlost svařování.....	21
2.3.4. Průměr drátu.....	22
2.3.5. Volná délka drátu	23
2.3.6. Poloha svařování a úhel sklonu drátu.....	24
2.3.7. Vliv složení základního a přídavného materiálu.....	25
2.3.8. Vliv předehřevu materiálu	25
2.4 DRUHY PŘENOSU SVAROVÉHO KOVU DO MATERIÁLU	26
2.4.1 Zkratový přenos	28
2.4.2 Zrychlený zkratový přenos	28
2.4.3 Sprchový přenos	29
2.4.4 Moderovaný sprchový přenos	30
2.4.5 Rotující oblouk	31
2.4.6 Pulzní přenos	31
2.5 SVAŘOVACÍ DRÁTY	32
2.6 OCHRANNÉ PLYNY.....	33
2.7 SVAŘOVÁNÍ UHLÍKOVÝCH A NÍZKOUHLÍKOVÝCH OCELÍ	34
2.8 PRODUKTIVITA MECHANIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ	35
2.9 EFEKTIVITA PROVEDENÍ SVARU	36
3. PRAKTICKÁ ČÁST.....	40
3.1 ÚVOD	40

3.2 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍSTROJE	40
3.3 POSTUP PŘI OPTIMALIZACI PARAMETRŮ S OHLEDEM NA EFEKTIVITU	44
3.3.1 1. metodika	45
3.3.2 2. Metodika	48
3.4 POSTUP VYHODNOCENÍ SVARU	52
4. VÝSLEDKY	55
4.1 1. METODIKA – SPRCHOVÝ A ZKRATOVÝ	55
4.1.1 Tabulky naměřených hodnot	55
4.1.2 Obrázky makrovýbrusů	58
4.1.3 Grafické výsledky	61
4.2. 1 METODIKA – PULZNÍ PŘENOS	65
4.2.1 Tabulky naměřených hodnot	65
4.2.2 Obrázky makrovýbrusů	67
4.2.3 Grafické výsledky	70
4.3 2. METODIKA – PULZNÍ PŘENOS	74
4.3.1 Tabulky naměřených hodnot	74
4.3.2 Obrázky makrovýbrusů	75
4.3.3 Grafické výsledky	80
5. ZÁVĚR	82
5.1 1. METODIKA -ZKRATOVÝ A SPRCHOVÝ PŘENOS	82
5.2. 1 METODIKA - PULZNÍ PŘENOS	83
5.3. 2. METODIKA – PULZNÍ PŘENOS	84
6. POUŽITÁ LITERATURA	85

1. ÚVOD

MAG svařování je obloukový svařovací proces, kde se teplo potřebné pro svařování vytváří v elektrickém oblouku, který hoří mezi tavícím se drátem a svařovaným materiálem v atmosféře aktivního ochranného plynu.

Svařovací metoda MAG se používá ve stále větší míře než kterákoliv jiná metoda svařování. Důvodem je snadná automatizace a tím i zvyšující se produktivita. Dnes je svařování MAG nejrozšířenější metodou v Evropě, Japonsku a USA. Ačkoli první zmínky o obloukovém svařování sahají až do minulého století, významnější rozvoj je možné datovat od roku 1940. Metoda MAG se v té době objevila v USA. Svařování bylo prováděno nejdříve v poloze PA a bylo spojeno se značným rozstříkem. Vývoj zdrojů proudu, tenčích přídavných drátů a použití směsných plynů, sestávajících z argonu a oxidu uhličitého, měly za následek redukci rozstříku při svařování a možnost svařovat v jakékoliv poloze. Od 60. let byla metoda MAG vyvíjena a modernizována použitím nových materiálů, přídavných drátů, zlepšených zdrojů proudu a ochranných plynů. Od konce 80. let pokrok spočívá v konstrukci nových typů zdrojů, tzv. invertorů, které umožňují nastavení, řízení i monitorování libovolného svařovacího režimu, dále umožňují nové, řízené svařovací procesy s minimálním vnesením tepla do svařovaného materiálu a tím snížení deformací a napětí v okolí svaru a snížení rozstříku. Nové, výkonnější podavače drátu a způsoby vinutí drátu umožňují až dvojnásobnou rychlost podávání drátu a tím zvýšení produktivity svařování, nové směsi ochranných plynů udrží stabilitu vysokovýkonných přenosů kovu. V současnosti je podíl spotřeby drátu pro svařování MIG/MAG 70 –80%.

Obloukové svařování v ochranném plynu, resp.jeho užité vlastnosti spočívají v kombinaci 3 komponentů:

1. zdroje,
2. drátu,
3. ochranného plynu.

Produktivita svařování přímo závisí na :

1. rychlosti svařování
2. efektivitě vyplnění svaru.

Koutové svary mají největší podíl v konstrukcích (asi 70%). Přitom právě koutový svar nemá pevně vymezenou velikost geometrických svarových ploch jako tupý svar a v praxi efektivita vyplnění koutového svaru je velmi nízká, což bylo předmětem předcházejících diplomových prací [1], [2].

Na druhé straně s využitím platné normy je možno vhodným nastavením parametrů při dosažení optimálního závaru podstatně snížit množství vytaveného přídavného materiálu pro konstruktérem určenou nosnou velikost svaru.

Moje práce navazuje na dvě diplomové práce, řešené na KSM, které se zabývají měřením efektivy ručního svařování koutových svarů ve všech polohách při použití různých ochranných plynů [1] a měřením efektivy při svařování plným a trubičkovým drátem [2].

Úkolem mé diplomové práce bylo stanovit a ověřit postup optimalizace mechanického svařování koutových svarů v základní poloze (PA). Z hlediska návaznosti na diplomové práce [1], [2], byl vybrán svar nosné velikosti 5 mm na plechu tloušťky 8 mm.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Princip MAG svařování

Elektrický oblouk hoří mezi přídavným drátem a základním materiálem, kde vytváří potřebné teplo pro místní natavení svařovaného materiálu i pro tavení přídavného materiálu. Svařovací drát, obvykle průměru 0,6 - 1,6 mm, se podává rovnoměrnou rychlostí do místa svaru, kde se odtavuje. Vytváří svarovou lázeň, kterou před okolní atmosférou chrání přiváděný aktivní ochranný plyn. Přívod ochranného plynu a kontakt svařovacího proudu s drátem zabezpečuje svařovací pistole (Obr.1). Hlavní podmínkou je vytvoření spolehlivé ochranné zóny v bezprostřední blízkosti svaru, která ovlivňuje stabilitu a hloubku závaru. Každý druh ochranné atmosféry vytváří charakteristický profil svařované housenky.

Ochrannou atmosféru u MAG svařování vytváří aktivní plyn, nejčastěji CO_2 , popřípadě různé směsi plynů, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2$.

Při svařování MAG se běžně pracuje s poměrně vysokou proudovou hustotou S , která dosahuje hodnoty od 60 do 300 $[\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}]$, u vysokovýkonných metod i více.

Podle zatížení elektrody svařovacím proudem a v závislosti od napětí na oblouku je možnost svařovat při různých přenosech kovu obloukem, přičemž u svařování v CO_2 se nejčastěji používá zkratový přenos kovu obloukem. Při svařování v ochranné atmosféře argonu a ve směsích plynů s převahou argonu je charakteristický tzv. bezzkratový sprchový přenos kovu. Kvalita svarového kovu je nejvíce závislá na tom, jak ochráníme tavnou svarovou lázeň před stykem se vzdušným kyslíkem a dusíkem, které svar znehodnocují. Ochrana není vždy dokonalá a důsledkem toho bývá snížená kvalita svarového spoje. Při svařování v ochranných atmosférách se používají holé dráty. Ochranný plyn se dodává pod malým tlakem ze zásobníku tak, že plyn drát neustále obtéká a současně překrývá a chrání roztavené svarové plochy a tavnou lázeň před stykem se vzduchem. Výhody dodávání ochranného plynu ze zásobníku:

- a) svařovací drát je možné navinout na cívku a plynule ho dodávat do svarové lázně bez časté a nepohodlné výměny svařovacích elektrod,
- b) svařovací proud je možno dodávat na drát blízko jeho odtavujícího se konce pomocí třecích kontaktů. Proudem zatížená část drátu je krátká a bez obalu je možno dosáhnout na 1 mm^2 průřezu drátu větší proudovou hustotu, než při svařování obalenými elektrodami, což značně zkracuje čas odtavení váhové jednotky svarového kovu a tedy i vlastního svařovacího procesu,
- c) mechanizace svařovacího procesu je značně zjednodušená, protože obal přídavného materiálu nepřekáží manipulaci s tímto materiálem a přívodem proudu a tím zároveň odpadá odstraňování strusky.

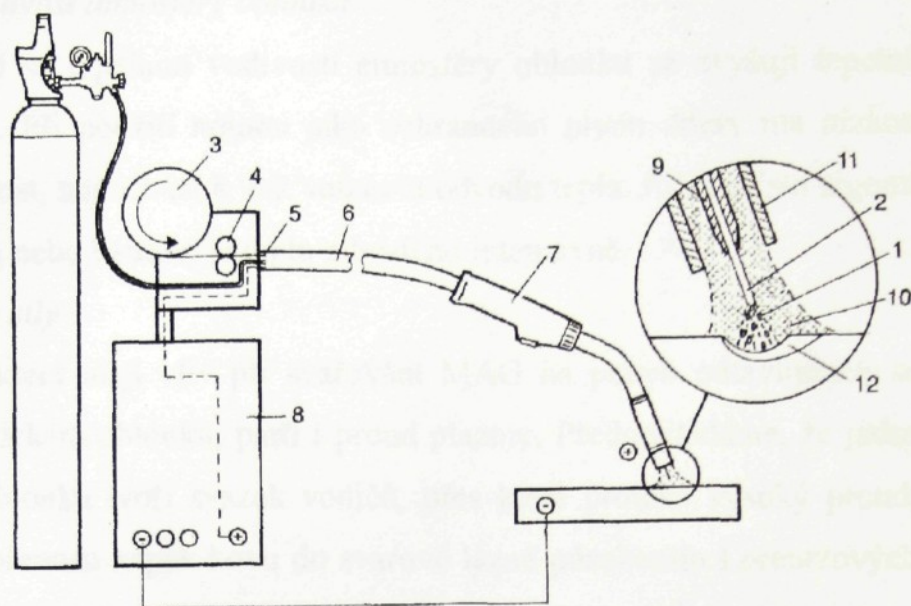
Pro MAG svařování se používá stejnosměrný proud. Na průběh svařovacího procesu má rozhodující vliv polarita. Při svařování kladnou elektrodou (svařovací drát je zapojený na plus pól a svařovaný materiál na minus pól) oblouk hoří klidně a vytváří hluboký průvar. Znakem je syčivý a pískavý zvuk vytvářený obloukem. Při svařování zápornou elektrodou (svařovací drát je zapojený na minus pól a svařovaný materiál na plus pól), se tavící výkon v porovnání se svařováním kladnou elektrodou zvýší o 30%, ale sníží se hloubka závaru. Svarový kov přitom vytváří větší kapky, které se do svarové lázně přenášejí nerovnoměrně, což má za následek větší rozstřík a nerovný povrch svaru. [2]

Elektrický oblouk je samostatný elektrický výboj v plynném prostředí. Samostatný elektrický výboj může vzniknout a udržet se i bez vnější ionizace. Svařovací elektrický oblouk má obvykle délku 2 až 7 mm, proud 10 – 2000 A a napětí 10 – 50 V. Za normálních okolností jsou plyny elektricky nevodivé. Plyn se stane elektricky vodivý, pokud obsahuje částice s kladným a záporným elektrickým nábojem, tj. pokud je ionizován. Plyn v ionizovaném stavu se nazývá plazma. Plazma je soubor velkého množství částic bez pevné vazby, z nichž alespoň některé mají elektrický náboj. Je to soubor elektronů, kladných a záporných iontů, neutrálních atomů a molekul. Důležitým

parametrem plazmy je stupeň ionizace. Nejnižší teploty, při které má plyn významnější stupeň ionizace záleží na druhu plynu. Prvky s nízkou ionizační energií zvyšují stabilitu hoření elektrického oblouku. Při svařování se ionizace prostředí dosahuje vysokou teplotou a elektrickým polem.

S rostoucím proudem klesá napětí potřebné pro hoření oblouku. Při vyšších proudových hustotách se postupně charakter průběhu závislosti proudu a napětí mění a napětí je na proudu prakticky nezávislé. Závislost ustálených hodnot napětí a proudu při konstantí délce oblouku je tzv. statická charakteristika elektrického oblouku. Na velikost napětí elektrického oblouku má kromě velikosti proudu a délky oblouku vliv i polarita, druh materiálu drátů, složení atmosféry oblouku a rychlost jejího proudění i další parametry. Závislost napětí a proudu v přechodových stavech vyjadřuje dynamická charakteristika.

Oblouk, který je zdrojem tepla, zabezpečuje dostatek tepla pro vytvoření a udržení roztavené lázně potřebné velikosti a musí být dostatečně soustředěný. Elektrický oblouk je řízen elektromagnetickými silami. Proudová hustota je velmi vysoká v těch místech na katodě, ze kterých vystupuje oblouk. Současně je ke katodě veden čerstvý neionizovaný plyn. Účinkem magnetického pole, které vzniká okolo svařovacího drátu a následkem toku proudu, vzniká síla, která podporuje oddělení kapky a její zrychlení ve směru svislé osy k základnímu materiálu. [3]



1. Elektrický oblouk
2. Svařovací drát
3. Cívka nebo buben
4. Podávací válečky
5. Ohebná hadice
6. Obal hadice
7. Svařovací pistole
8. Zdroj proudu
9. Kontaktní trubka
10. Ochranný plyn
11. Tryska ochranného plynu
12. Svarová lázeň

Obr.1 Princip svařování MAG [4]

2.2 Činitelé ovlivňující elektrický oblouk

a) Tepelná vodivost atmosféry oblouku

Se zvyšující se tepelnou vodivostí atmosféry oblouku se zvyšují tepelné ztráty oblouku. Při použití argonu jako ochranného plynu, který má nízkou tepelnou vodivost, nedochází k tak velkému odvodu tepla. Když místo argonu použijeme CO_2 nebo hélium, je teplo odváděno intenzivně.

b) Magnetické síly

Mezi síly, které mají vliv při svařování MAG na pohyb odtavujících se kapek v elektrickém oblouku, patří i proud plazmy. Předpokládáme, že jádro elektrického oblouku tvoří svazek vodičů, přes které protéká vysoký proud, dochází tak k přenosu kapek kovu do svarové lázně působením Lorentzových sil. To je výrazné v místě velké proudové hustoty (na hrotu drátu).

c) Složení ochranného plynu

Ovlivňuje v rozhodující míře chování oblouku, velikost a tvar natavené svarové lázně. Spolu s chemickým složením drátu a základního materiálu ovlivňuje složení ochranného plynu povrchové napětí roztaveného kovu, charakter přenosu kovu i stav povrchu svarové lázně.

d) Disociace a rekombinace

Ovlivňuje vytvořený oblouk. Když se molekulové plyny zahřejí v elektrickém oblouku, nejprve se rozpadnou na jednotlivé atomy – disociují se. Ty se poté elektricky polarizují a míra ionizace závisí na druhu a množství energie dodávané do plynu. Dvouatomové plyny potřebují mnohem více energie než jednoatomové, aby dosáhly teploty potřebné k ionizaci. V místě styku se studeným kovem se dvouatomový plyn rekombinuje rychleji než jednoatomový a svar zahřívá rychleji.

e) Proudová hustota

Ovlivňuje vytvořený oblouk. Proudová hustota spolu se specifickým odporem kovu elektrody má vliv na množství vyvinutého tepla a tím i na teplotu hrotu svařovacího drátu, tedy i na to, že se dosáhne bod tání nebo bod varu. Protože proud protékající elektrodou je stejný jako proud protékající

obloukem, existuje souvislost mezi přenosem kovu, tvarem jádra oblouku a mezi působením Lorentzových sil.

f) Napětí oblouku a polarita

Napětí oblouku pro určitý ochranný plyn a složení drátu je dané délkou oblouku. Rozdíl katodového a anodového napětí nám určuje napětí ve sloupci oblouku. Napětí ve sloupci oblouku závisí na stupni ionizace. Polarita určuje směr proudění elektronů. Při svařování tavícím se drátem volíme kladnou polaritu. Emisní schopnost katody lze zvýšit přidáním látek zvyšujících emisi elektronů nebo změnou složení ochranného plynu, zvláště přidáním CO_2 nebo O_2 .

2.3 Vliv parametrů svařování na formování svarové housenky [5]

Správná volba parametrů a podmínek svařování je podmínkou vytvoření kvalitního svarového spoje. Při poloautomatickém svařování může svářeč produktivitu a kvalitu svařování ve značné míře ovlivnit. V průběhu svařování se musí zabezpečit proces s nejmenšími výkyvy nastavených hodnot. Při automatickém svařování automat jen dodržuje nastavené hodnoty bez vlivu obsluhy.

Základními parametry ovlivňujícími formování housenky jsou:

- 1. svařovací proud,**
- 2. napětí,**
- 3. rychlost svařování.**

Pomocí těchto veličin se dá výpočtem vyjádřit jedna z důležitých podmínek svařování, tzv. měrné vnesené teplo na jednotku délky svaru. Umožňuje dopředu poznat rozsah tepelného ovlivnění.

Měrný tepelný výkon:
$$Q = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v_s} \quad [\text{J} \cdot \text{cm}^{-1}],$$

kde:

$I[\text{A}]$... svařovací proud

$U[\text{V}]$... napětí

$v_s[\text{cm/min}]$... rychlost svařování

Kromě základních parametrů mají vliv na a rozměry svaru tyto veličiny:

- a) průměr drátu,
- b) polarita proudu,
- c) výlet drátu,
- d) poloha svařování a úhel sklonu drátu,
- e) složení základního a přídavného materiálu,
- f) složení ochranného plynu,
- g) přehřev.

Souhrnný vliv parametrů a podmínek svařování na tvar a rozměry průřezu se dají vyjádřit tzv. tvarovým součinitelem svaru (Obr.2):

- vnitřní součinitel tvaru svaru:
$$K_{VN} = \frac{b}{h_e}$$

- vnější součinitel tvaru svaru:
$$K_{VO} = \frac{b}{h_a}$$

kde: h_a = převýšení

h_e = hloubka závaru

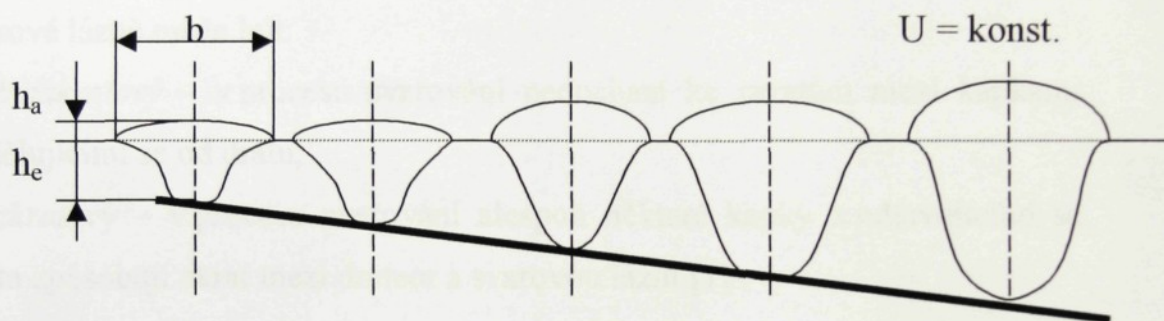
Při svařování je důležitý především hluboký závar, a proto také menší K_{VN} .

Vliv základních parametrů na geometrii svaru:

2.3.1. Svařovací proud

Svařovací proud má na tvar průřezu housenky největší vliv. Při rostoucím proudu vzrůstá proudová hustota, velikost svarové lázně, odtavovací výkon a průvar.

Při konstantním napětí na oblouku (obr. 2) nastává při zvyšování svařovacího proudu intenzivní vzrůst hloubky závaru h_e s mírným vzrůstem převýšení h_a a malým vzrůstem šířky housenky b . Šířku housenky ovlivňují především napětí a rychlost svařování.



M 3 : 1

I = 200 300 400 500 600 [A]

h_a – převýšení, h_e – hloubka závaru, b – šířka housenky

Obr. 2 Vliv svařovacího proudu na tvar housenky

Při nadměrném zvětšení svařovacího proudu vzrůstá rozstřík a nebezpečí protavení svařovaného materiálu. Velikost výchozího svařovacího proudu se volí se zřetelem na tvar a rozměry spoje zkušebně. Pro nejvhodnější závar dané tloušťky materiálu se svařovací proud postupně zvyšuje.

Svařovací proud je veličina, která je u MAG svařovacích zdrojů s plochou charakteristikou závislá na rychlosti posuvu drátu daného průměru.

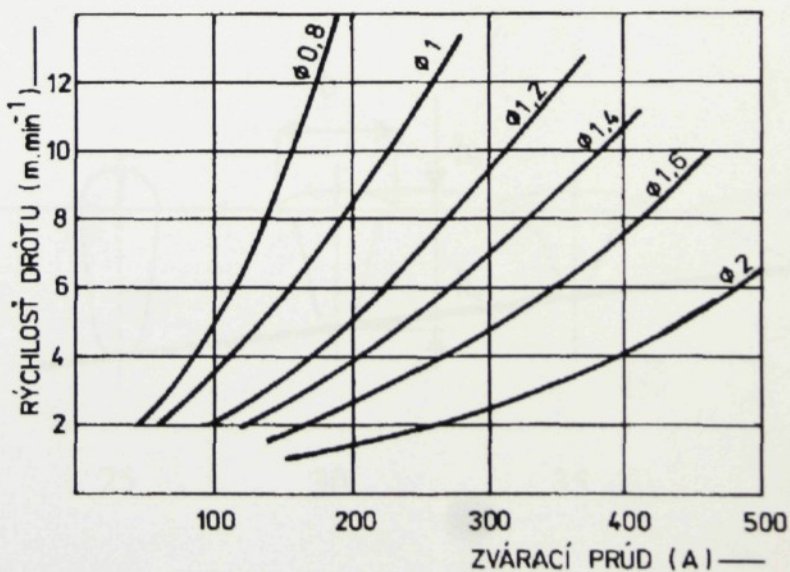
Podle nastavené rychlosti posuvu drátu si drát daného průměru odebírá ze svařovacího zdroje také množství proudu, které je potřebné pro jeho natavení (Obr. 3).

Svařovacím proudem se ovlivňuje také charakter přenosu kovu v oblouku. Při rostoucím proudu roste frekvence přenosu kapek.

- Při rostoucím proudu se podle složení ochranného plynu ovlivňují síly, které účinkují na kapku.
- Při rostoucím proudu se u drátů všech průměrů zmenšuje objem kapek a roste frekvence přenosu kapek.

Při svařování elektrickým obloukem dochází k přenosu tekutého kovu do svarové lázně ve formě kapek různých rozměrů. Přenos tekutého kovu do svarové lázně může být:

- a) *bezzkratový* – v procesu svařování nedochází ke zkratům mezi kapkami oddělujícími se od drátu,
- b) *zkratový* – v procesu svařování alespoň některé kapky z odtavujícího se drátu způsobují zkrat mezi drátem a svarovou lázní.[1]

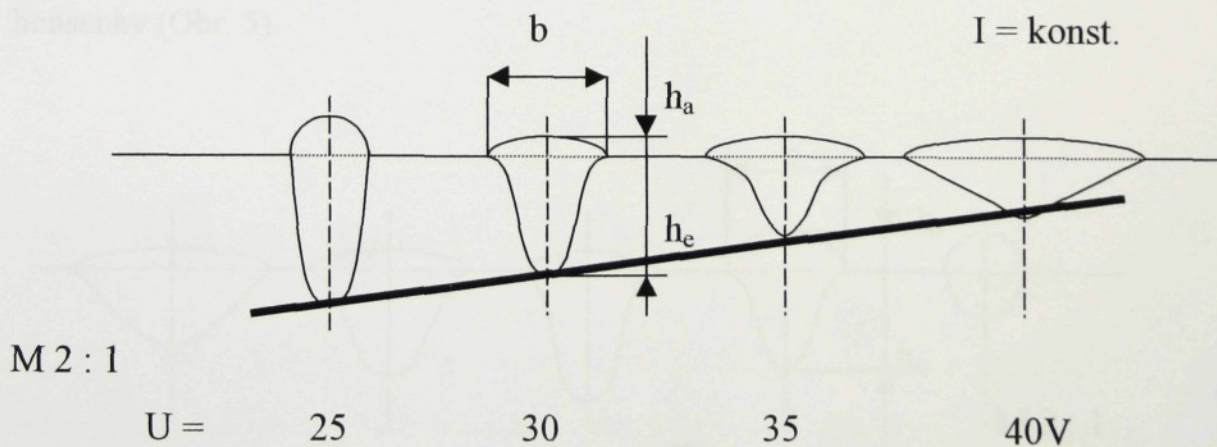


Obr. 3 Závislost rychlosti posuvu drátu na odebíraném proudu ze zdroje

2.3.2. Svařovací napětí

Napětí na oblouku představuje potenciální rozdíl mezi koncem drátu a povrchem svarové lázně. Mění se podle délky oblouku. Ovlivňuje především šířku housenky. Při konstantním proudu má hloubka závaru h_e klesající tendenci (Obr.4). Se změnou napětí se podle V-A charakteristiky mění proud, s rostoucím napětím klesá závar. Příliš vysoké napětí může být příčinou zvýšeného propalu svařovaného materiálu. Doba styku odtavující se kapky s prostředím oblouku se prodlužuje. Důsledkem toho jsou chemické reakce, které ovlivňují složení svarového kovu a tím i změny mechanických vlastností spoje. Takto vzniklé svary jsou náchylné na pórovitost. Dále zvýšené napětí způsobuje i větší rozstřík. Při větších napětích dochází k natavení většího objemu drátu, vznikají tak větší kapky, které vytváří tavnou lázeň, která se předbíhá před obloukem. Z toho vyplývají problémy při svařování v některých polohách.

Příliš nízké napětí bývá příčinou nestabilního procesu, vznikají úzké housenky s velkým převýšením, především při větších rychlostech svařování. V těchto případech vzniká nedokonalé natavení na okrajích svaru.



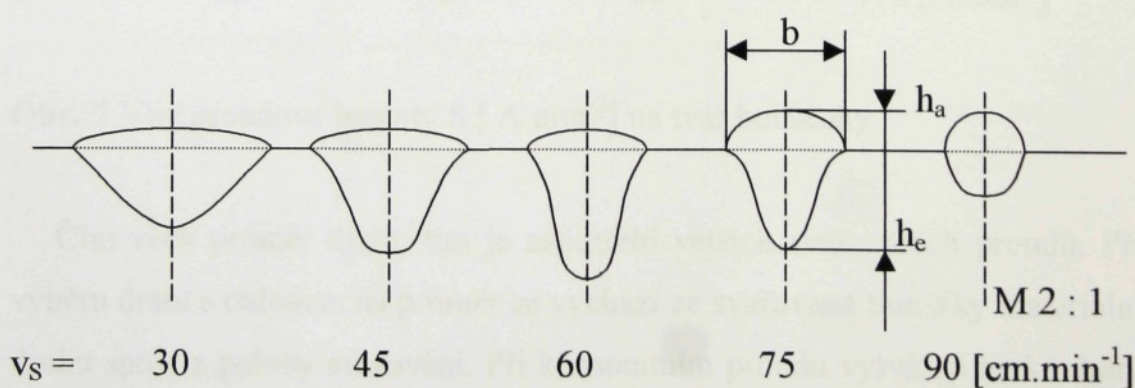
h_a - převýšení, h_e - hloubka závaru, b - šířka housenky

Obr. 4 Vliv napětí oblouku na tvar housenky

2.3.3. Rychlost svařování

Rychlost svařování je třetí důležitá veličina, která je nepřímo závislá na množství tepla vneseného na jednotku délky svaru. Správné hodnoty nastavení jsou závislé na ostatních parametrech a podmínkách s ohledem na ohřev a ochlazování svařovaného mat. Zvětšováním rychlosti svařování roste rychlost ochlazování materiálu po svařování. Především u ocelí vyšších mechanických vlastností se po překročení kritické rychlosti ochlazování objevují chyby celistvosti svarů. Účinek rychlosti svařování se projevuje na tvaru a rozměrech průřezu svaru. Rychlostí svařování se ovlivňuje proud plynu potřebný na ochranu svaru a jeho okolí.

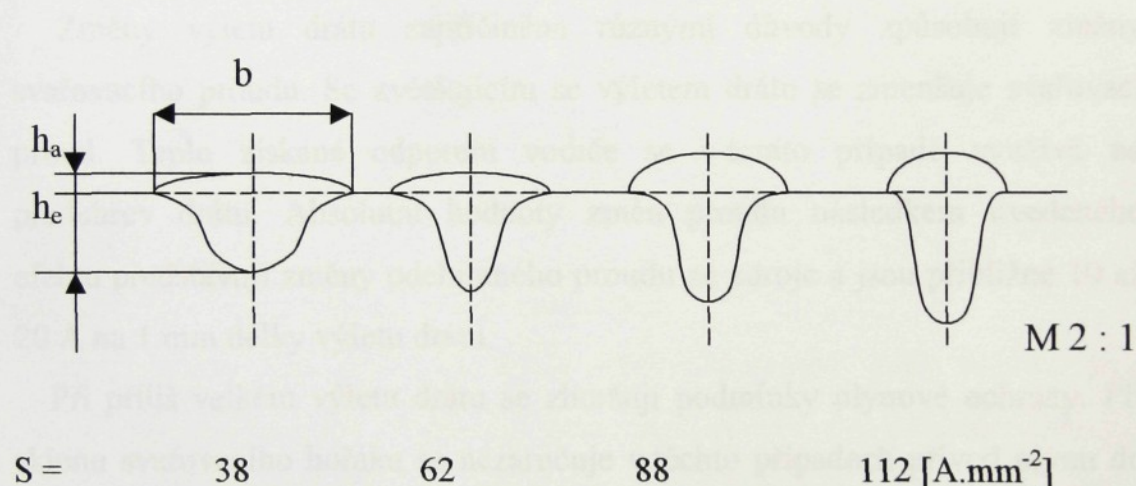
S klesající rychlostí svařování se zvětšuje šířka housenky a zmenšuje převýšení svaru. Při postupném zvyšování rychlosti roste svařování hloubka závaru a od určité rychlosti svařování nastává pokles hloubky závaru. Tento pokles nastává od tzv. přechodového bodu P, který je různý a závisí především na velikosti svařovacího proudu (pro náš případ bod $P = 60 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$). Zvětšováním rychlosti svařování nad hodnoty bodu P poklesne hloubka závaru a zmenší se šířka housenky. Zvyšuje se převýšení svaru. Dochází ke zvýšení rozstříku, roste převýšení svaru, což zapříčiňuje rychlé ochlazování okrajů housenky (Obr. 5).



Obr.5 Vliv rychlosti svařování v_s na tvar housenky

2.3.4. Průměr drátu

Při používání drátu menšího průřezu, který je zatížen velkou proudovou hustotou, vytváří se vysoce účinný a koncentrovaný zdroj tepla. Proudovou hustotou se vyjadřuje proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez. Proudová hustota S [$\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$] roste s poklesem průměru drátu (pro $I = \text{konst.}$). Zvýšením proudové hustoty roste výkon odtavení a hloubka závaru (Obr.7). Při poklesu proudové hustoty se zvětšuje šířka housenky, klesá hloubka závaru a převýšení. Proudovou hustotou se ovlivňuje podíl základního materiálu ve svarovém kovu spoje. Pro každý průměr drátu jsou dány omezení dolní hranice velikosti proudové hustoty. Možnost využití vyšších proudových hustot spočívá především v úsporách na přípravu svarových ploch, např. zmenšení úhlů úkosu a rozevření.



Obr. 7 Vliv proudové hustoty S [$\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$] na tvar housenky

Čím větší průměr drátu, tím je zapotřebí větších svařovacích proudů. Při výběru drátu s ohledem na průměr se vychází ze svařované tloušťky materiálu, druhu spoje a polohy svařování. Při konstantním proudu vytvářejí tenké dráty větší počet kapek, které se přenášejí v oblouku. Tato skutečnost se příznivě projevuje především u vícevrstvých svarů a ve svarovém koření, kde je možné dosáhnout pomocí větší frekvence kapek větší hladkost povrchu housenek při menším proudu. Zároveň se zmenšujícím průměrem se snižuje i rozstřík.

Při volbě drátu je v některých případech důležitá směrová stabilita volné délky drátu. Se zvětšujícím se průměrem drátu se zvětšuje přesnost přívodu drátu do svaru a snižují se výkyvy drátu.

2.3.5. Volná délka drátu

Volná délka drátu měřená od ústí hubice k povrchu svařovaného materiálu se nazývá výlet drátu (Obr.8). Hodnotu výletu drátu ovlivňují průměr použitého drátu a druh plynové ochrany.

Velikost výletu drátu se počítá přibližně:

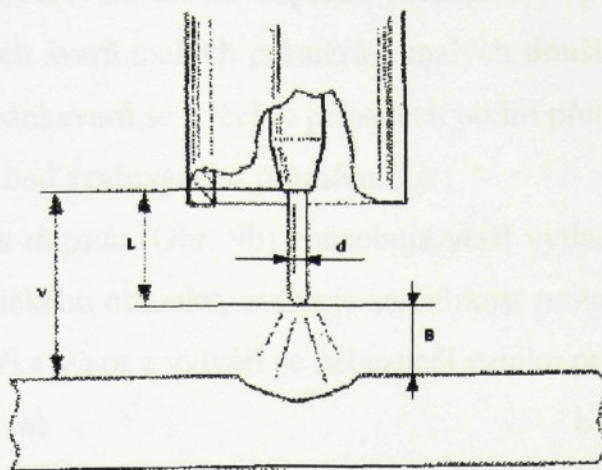
$$L = 8 + 5d$$

kde: - d je průměr použitého drátu

Změny výletu drátu zapříčiněné různými důvody způsobují změny svařovacího proudu. Se zvětšujícím se výletem drátu se zmenšuje svařovací proud. Teplo získané odporem vodiče se v tomto případě využívá na předehřev drátu. Absolutní hodnoty změn proudu následkem uvedeného efektu představují změny odebíraného proudu ze zdroje a jsou přibližně 10 až 20 A na 1 mm délky výletu drátu.

Při příliš velkém výletu drátu se zhoršují podmínky plynové ochrany. Při sklonu svařovacího hořáku se nezaručuje v těchto případech přívod plynu do požadovaného místa. Při zvýšeném výletu vzrůstá rozstřík.

Zmenšený výlet drátu způsobuje tepelné namáhání kontaktní koncovky hořáku. Nastává intenzivní zanášení koncových částí hořáku rozstříkem.



d...průměr svařovacího drátu

L...výlet drátu

V...vzdálenost kontaktní trubka- svařovaný materiál

B délka oblouku

Obr. 8 Výlet drátu [4]

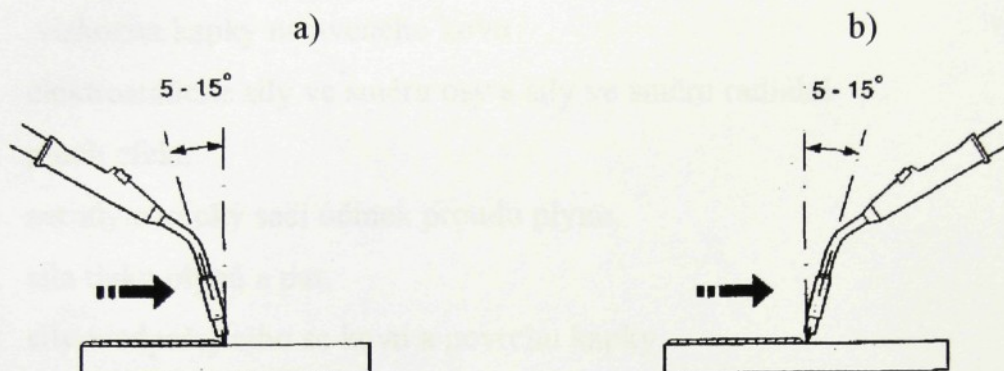
2.3.6. Poloha svařování a úhel sklonu drátu

Při svařování v nucených polohách vznikají omezení, kvůli kterým není možné použít svařovací parametry, které jsou vhodné pro základní polohu. Nad určitou hranici tepelného příkonu se přivádí do svaru takové množství přídavného materiálu a tepla, že vznikne svarová lázeň velkého objemu. Síly povrchového napětí a ostatní síly neudrží takto velkou lázeň na svařovaném materiálu a dochází k jejímu stékání.

Svařování úhlem dopředu (obr. 9a) se oblouk snaží zaujmout rovnoběžný směr s osou drátu, oblouk hoří velkou částí nad povrchem základního materiálu, zlepšuje se předehřev svarových ploch, objem tekutého kovu pod obloukem se zvětšuje, čímž se brzdí další intenzivní tavení základního materiálu a zmenšuje se hloubka závaru, zvětšuje šířka housenky a zmenšuje převýšení při nezměněných ostatních parametrech a podmínkách. V těchto případech se kužel oblouku rozkládá na větší ploše. Rozstřík kovu se však

intenzivně zvětšuje. Svařování úhlem dopředu představuje operativní výhody formování obvodových svarů malých průměrů a malých tloušťek svařovaného materiálu. Na formování svarů se v těchto případech podílí předsunutí drátu do polohy před nejvyšší bod svařovaného průměru.

Svařováním úhlem dozadu (Obr. 9b) způsobuje větší vytlačování tekutého kovu ze spodu elektrického oblouku, zvětšuje se velikost protavení, převýšení svaru, zmenšuje se šířka svaru a vytváří se nebezpečí vzniku prasklin a pórů.



Obr. 9 Svařování a) vpřed, b) vzad

2.3.7. Vliv složení základního a přídavného materiálu

Tvar průřezu svaru ovlivňuje tepelná vodivost a teplota tavení základního a přídavného materiálu. U vysokolegovaných austenitických materiálů se následkem menší tepelné vodivosti často vyžaduje korigovat svařovací proud v porovnání s nízkouhlíkovými a nízkolegovanými materiály. Při svařování nízkolegovaných Cr – Mo ocelí se už projevuje menší viskozita svarové lázně.

2.3.8. Vliv předehřevu materiálu

Vliv vneseného tepla z předehřevu se projevuje na viskozitě svarové lázně. Při předehřevu základního materiálu dochází k natavování svarových ploch, podobně jako kdybychom použili větší proudy svařování I [A]. Největší vliv má předehřev u kořenových svarů. Není zanedbatelný ani v případě výplňových a krycích vrstev.

2.4 Druhy přenosu svarového kovu do materiálu [6]

Způsob přenosu kapek kovu z nataveného přídavného drátu závisí především na vzájemném poměru sil (Obr. 10).

Na roztavený kov přídavného materiálu při svařování působí:

1. gravitace,
2. síla povrchového napětí,
3. elektromagnetická síla,
4. viskozita kapky nataveného kovu
5. elektrostatické síly ve směru osy a síly ve směru radiální
6. pinch efekt,
7. aerodynamický sací účinek proudu plynu,
8. síla tlaku plynů a par,
9. síly z odpařujícího se kovu a povrchu kapky.

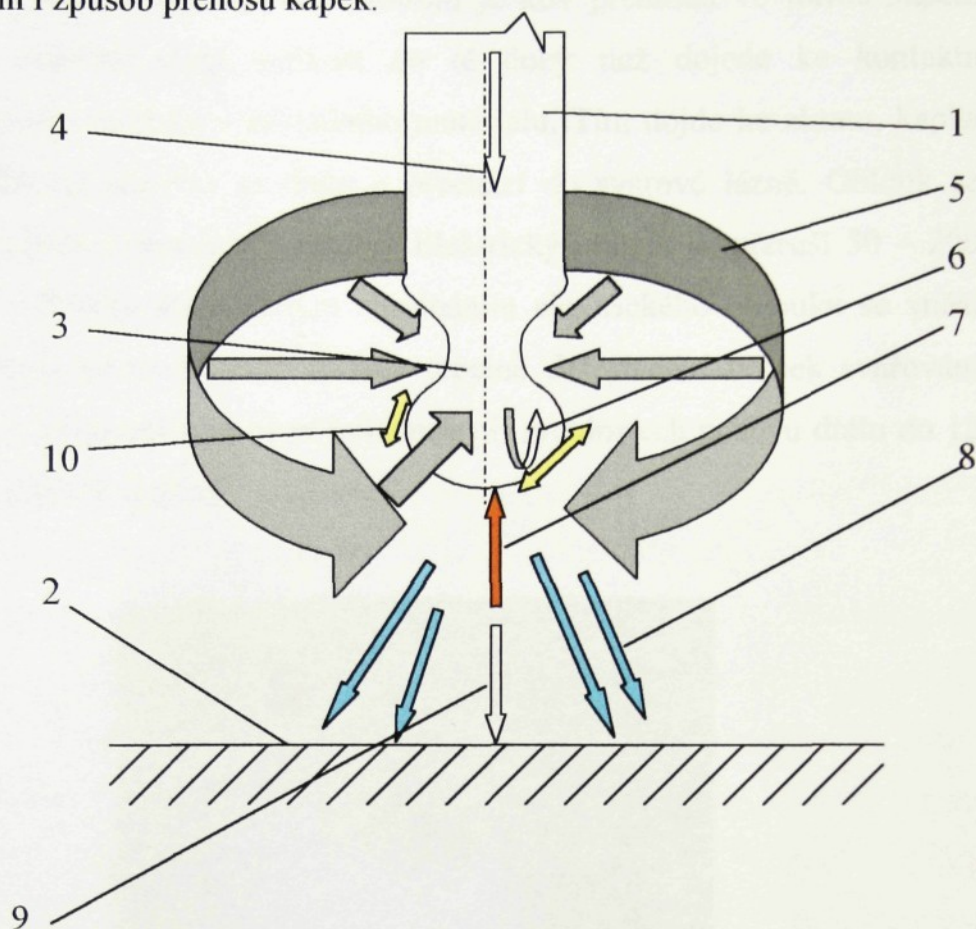
Velikost těchto sil a směr jejich výslednice jsou určovány svařovacími parametry, průměrem přídavného drátu, polaritou, fyzikálně chemickými vlastnostmi přídavného materiálu a ochranné plynové atmosféry.

Vliv gravitace závisí na poloze. Síla povrchového napětí udržuje kapku na konci drátu. Hodnota této síly je určena velikostí povrchového napětí a geometrickými rozměry kapky. Velikost povrchového napětí závisí především na teplotě a chemickém složení přídavného materiálu. Při zvýšení teploty se povrchové napětí nízkouhlíkových ocelí snižuje. Povrchové napětí je také možno snížit přidávkou povrchově aktivní látky, např. kyslíku. Viskozita rovněž ovlivňuje poměry při přechodu kapek do tavné lázně.

Velikost elektromagnetické síly je úměrná druhé mocnině svařovacího proudu a její směr je určen poměrem průměrů přídavného materiálu a elektrického oblouku a při svařování v ochranných atmosférách má podstatný vliv na přenos kovu.

Aerodynamické působení plynů a par pomáhá svým sacím účinkem k odtržení kapky. Vysoká teplota kapek kovu a elektrického oblouku způsobuje vypařování kovu na povrchu kapky a vznik reakčních sil působících na kapku.

Změnou podmínek svařování se mění vzájemný poměr sil působících na kapku, a tím i způsob přenosu kapek.

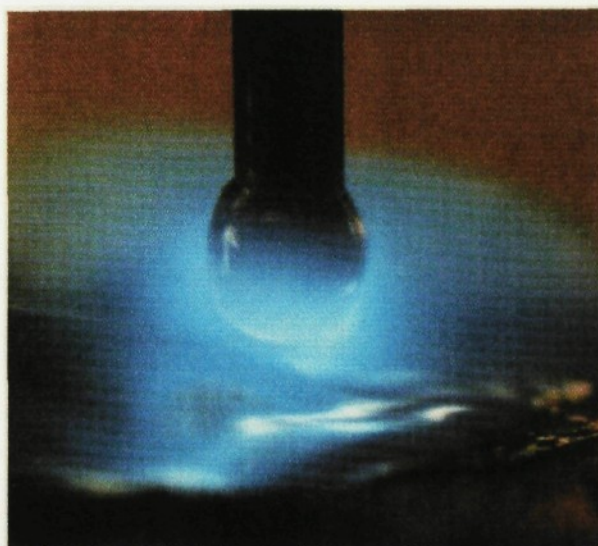


1. přídavný svařovací drát
2. svařovaný základní materiál
3. tvořící se kapka kovu z přídavného drátu
4. přitažlivost
5. pinch efekt
6. viskozita kovu
7. síly odpařujícího se kovu
8. sací účinek proudící plazmy
9. elektrostické síly
10. povrchové napětí roztaveného kovu kapky

Obr. 10 Síly působící na vytvoření kapky při svařování v ochranné atmosféře plynů

2.4.1 Zkratový přenos [2]

Při svařování zkratovým přenosem je kov přenášen ve formě kapek. Kapka zvětšuje svoji velikost do té doby než dojde ke kontaktu odtavujícího se drátu a základního materiálu. Tím dojde ke zkratu, kapka se oddělí od tavicího se drátu a přechází do svarové lázně. Oblouk se znovu zapálí a proces se opakuje. Elektrický oblouk se přeruší 50 – 200 krát za sekundu. Pravidelným zhasínáním elektrického oblouku se vnáší méně tepla do svaru, což snižuje tepelně deformační účinek svařování (Obr.11). Zkratový přenos se uplatňuje při rychlostech posuvu drátu do 12 m/min pro drát o průměru 1,2 mm.



Obr.11 Zkratový přenos [7]

2.4.2 Zrychlený zkratový přenos [8]

Při svařování zrychleným zkratovým přenosem se vzhledem ke zkratovému přenosu používá nižší svařovací napětí a současně větší výlet drátu, při posuvech drátu od 12 do 23 m/min. Tím se může zabránit propadení svaru u tenkostěnných plechů. Po zapálení elektrického oblouku dojde ke změkčení konce drátu a ten začne rotovat. Vybočení drátu se pohybuje od 1 do 2 mm, přičemž konec drátu způsobuje periodické zkraty. Drát se taví a kapka zvětšuje svoji velikost. Kapka se dostane do tavné lázně a oblouk se znovu

zapaluje a sekvence se kontinuálně opakuje. Vzhledem k vyššímu proudu je efekt ustřižení silnější než u konvečního svařování krátkým obloukem, tj. že zkratů jsou rychlejší a explosivnější.

2.4.3 Sprchový přenos [2]

Při svařování sprchovým přenosem se kov přenáší do tavné lázně ve formě relativně malých kapek v ose elektrického oblouku. Konec elektrody je odtavován do špičky, přechod kovu do tavné lázně probíhá bez zkratů a tyto vlivy způsobují, že se svařování uskutečňuje téměř bez rozstříku. Oblouk je velmi stabilní a má tvar zvonu a směřuje od drátu k tavné lázni (Obr.12). Síla oblouku je směřována do centra tavné lázně a vytváří hluboký závar.

Sprchového přenosu kovu drátu do tavné lázně docílíme při dostatečně vysoké proudové intenzitě a napětí. Např. pro drát o průměru 1,2 mm je rychlost posuvu drátu do 23 m/min. Dalším předpokladem je vhodná ochranná atmosféra argonu. Min. obsah argonu ve směsi, který zaručuje klidný stabilní svařovací proces je 75%. Odtavovací výkon je přibližně čtyřikrát větší než u zkratového přenosu.



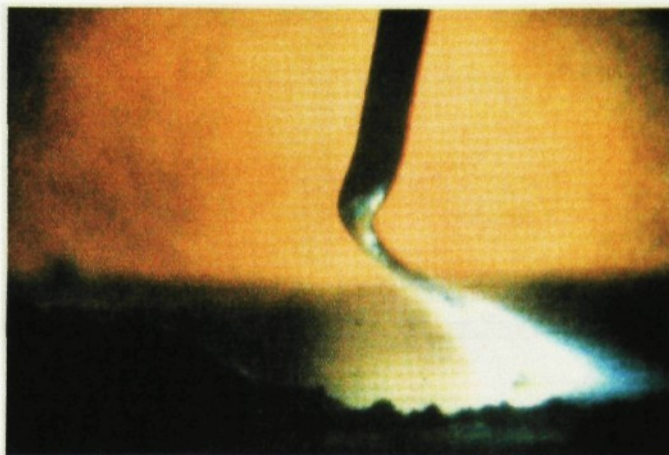
Obr. 12 Sprchový přenos [7]

2.4.4 Moderovaný sprchový přenos [8]

Označení sprcha je odvozeno od kapkovitého přenosu materiálu. Např. pro průměr drátu 1,2 mm se rychlosti posuvu drátu pohybují nad 23 m/min. Kapky jsou do tavné lázně vháněny jedna po druhé a tento přechod může být nejlépe přirovnán k přechodu kapek při pulzním svařování. Velikost kapky je jen nepatrně větší než průměr drátu. Délka oblouku kolísá podle toho, jak oblouk putuje z kapky do tavné lázně. Přitom se opakuje průběh odkapávání. Pro toto svařování je charakteristický tenký paprsek plazmy. Po změkčení spodního konce drátu se redukuje délka svařovacího oblouku a rozšiřuje se sloupec plazmy. Pomocí pinch efektu se zeslabuje natavený konec drátu a sloupec svařovacího oblouku se rozšiřuje. V okamžiku odtržení kapky, se oblouk znovu zapálí a hoří opět úzkým koncentrovaným paprskem plazmy.

2.4.5 Rotující oblouk [8]

U svařování rotujícím obloukem přenos probíhá ve formě nataveného konce drátu, který rotuje z vrcholu drátu do tavné lázně. Rotace oblouku nastává, když změkne konec drátu důsledkem průchodu proudu. Dojde k odklánění oblouku a konec drátu začne rotovat rychlostí 800 – 1000 otáček za vteřinu. Svařování rotujícím obloukem může být použito způsobem jako moderovaný sprchový oblouk, ale poskytuje mnohem širší závar. Např. pro průměr drátu 1,2 mm jsou požadované rychlosti posuvu volného konce drátu od 25 m/min a více, stejně tak i svařovací proud od 450 do 480 A. Vybočení volného konce drátu z jeho osy je v průběhu svařovacího procesu rozpoznatelné lidským okem (Obr. 13).

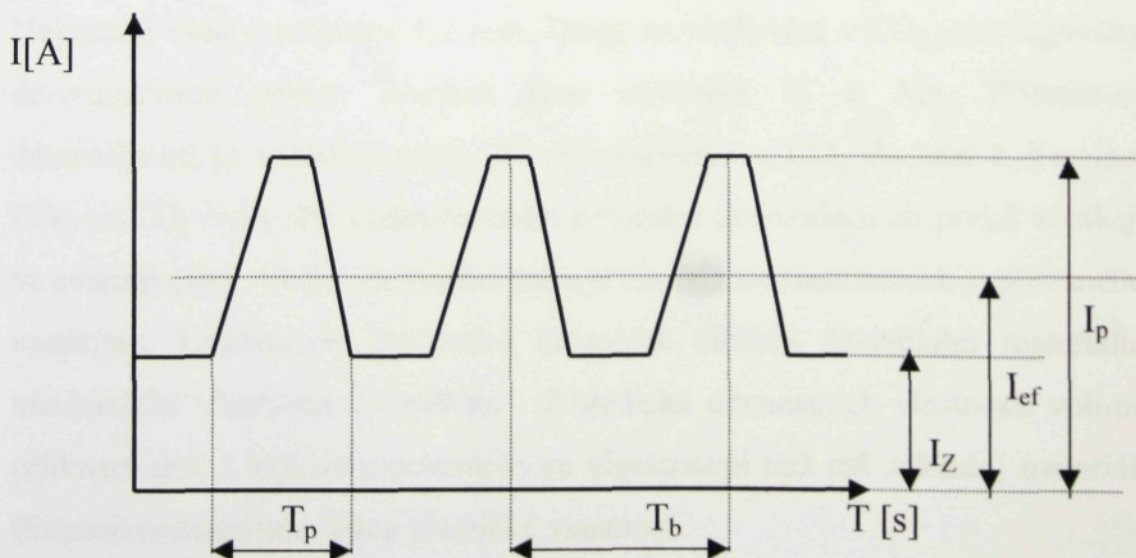


Obr. 13 Rotující oblouk [7]

2.4.6 Pulzní přenos [2]

Svařování pulzním procesem je zvláštní formou bezkratového přenosu kovu do tavné lázně. Oblouk je udržován ve stavu kapkového přenosu a pomocí pulzů převáděn do sprchového přenosu kovu (Obr. 14). Tím se při svařování překlene přechodová oblast. Pulzní svařování se reguluje tak, aby jedna kapka připadla na jeden puls. Nejdůležitějšími parametry pulzního

oblouku jsou základní proud, trvání pulzního proudu, tj. pulzní poměr a trvání pulzního cyklu, tj. frekvence (Obr. 15). Výkon a průměrný efektivní proud I_{ef} závisí na frekvenci.



I_p – špičkový proud

I_{ef} – efektivní proud

I_z – základní proud

T_b – čas cyklu

T_p – šířka pulsu

Obr. 15 Průběh proudu v závislosti na čase u pulzního svařování



Obr.14 Pulzní přenos [7]

2.5 Svařovací dráty [2]

Pro MAG svařování se používají dráty o průměrech od 0,6 až 1,6 mm. Nejčastěji však o průměru 1,2 mm. Dráty na svařování v CO_2 jsou legovány dezoxidačními prvky, kterými jsou obvykle Si a Mn. Přítomnost dezoxidátorů je potřebná proto, že při svařování v CO_2 dochází k disociaci CO_2 na $\text{CO} + \text{O}_2$. Při nedostatečném množství dezoxidačních prvků vznikají ve svarech póry. Volba vhodného drátu je závislá na vlastnostech svařovaného materiálu. Uvažujeme především chemické složení základního materiálu, mechanické vlastnosti a tloušťku. Z hlediska pevnostních vlastností volíme přídatný drát s lepšími mechanickými vlastnostmi než má základní materiál. Přičemž požadujeme dobré plastické vlastnosti.

2.6 Ochranné plyny

Pro svařování používáme různé druhy ochranných plynů, jejich použitím můžeme dosáhnout různé kvality samotného procesu svařování a kvality svarového spoje. Hlavní složku směsného plynu tvoří argon. Čistý argon má nízkou tepelnou vodivost, umožňuje mělký závar, avšak s výrazným úzkým hlubokým závarem v ose svaru. Rychlé ztuhnutí taveniny v spodní části svaru bývá příčinou vměstků, mohou se vyskytnout též neprůvary, proto se samotný argon pro oceli nepoužívá. Abychom dosáhli vyšší produktivity musíme k argonu přidávat aktivní plyny (CO_2 , O_2). Přídavek kyslíku nám však způsobuje oxidaci povrchu drátu a základního materiálu. Oxidační účinek atmosféry je potlačen přidavkem dezoxidačních prvků (Si, Mn) v drátu.

Směsné plyny ve složení argon/kyslík nebo argon/kyslík/oxid uhličitý při vyšších proudových hustotách také umožňují výrazné zvětšení hloubky závaru v ose svaru. Při oboustranném svařování může dojít k přesazení os svarů a neprůvarům kořene. Směs argonu s 15 až 20% CO_2 je ideálním kompromisem přenosu tepla a stability elektrického oblouku. Umožňuje dosažení hlubokého závaru při velmi příznivém profilu svaru, povrch je viditelně hladší a lépe rozlité. Netvoří skoro žádný rozstřík. S rostoucím podílem CO_2 se závar zaobluje a dochází k provaření do stran. Šířka housenky klesá a její hladkost se zhoršuje.

Ve směsných plynech kyslík snižuje povrchového napětí a tím usnadňuje sprchový proces.

Základním úkolem ochranných plynů je:

- a) Ochrana tavné lázně, resp. svaru před kontaminací z okolní atmosféry. Přítomnost vzduchu způsobuje přechod kyslíku a dusíku do svarové lázně. Tyto chemické změny vedou k značnému zhoršení mechanických vlastností svarových spojů.

- b) Ulehčení zapalování oblouku a jeho stabilizace. Přidáváním O_2 resp. CO_2 do ochranné plynové směsi vznikají kovové oxidy, které snižují napětí oblouku o 1,5 až 6 V v porovnání s čistým argonem nebo směsí Ar – He.
- c) Zvýšení tekutosti svarové lázně. Tekutost se zlepšuje zmenšením povrchového napětí přidáním aktivních plynů (O_2 , CO_2) k základním plynové směsi. Přidáním helia do směsi lze docílit větší proudové hustoty a tím i větší množství tepla přenášeného do svaru. Tím se sníží povrchové napětí a zvýší smáčivost.

2.7 Svařování uhlíkových a nízkouhlíkových ocelí [2]

Používá se čistý CO_2 a nebo směsi Ar + 10 – 20% CO_2 nebo Ar + 5 – 8% CO_2 či Ar + 5% CO_2 . Stoupající procento CO_2 vždy vyžaduje zvýšení napětí oblouku a důsledkem je vyšší tok energie do základního materiálu, závar se přidáním CO_2 rozšiřuje. Narozdíl od zažitého názoru se mění hloubka závaru jen velice málo. Při krátkém oblouku, kdy je množství odtaveného kovu nejnižší, směs Ar + 18% CO_2 umožňuje dosáhnout poměrně malý rozstřík. Při svařování v čistém CO_2 se rozstřík zvětší. Při přenosu nataveného drátu tzv. dlouhým obloukem, je rozstřík nižší, ale je stále větší, než při krátkém oblouku. Při použití směsí bohatých na argon a vysokém přenášeném výkonu se dosáhne sprchového přenosu kovu, kterým získáme bezzkratový přenos s extrémně nízkým rozstříkem. Nejmenší rozstřík se docílí při pulzním obloukovém svařování. Podíl CO_2 ve směsných plynech pro sprchový proces a pulzující oblouk nesmí překročit 15%.

2.8 Produktivita mechanizovaného svařování [9]

Na rozdíl od produktivity ručního svařování, kde je nutno uvažovat i lidský faktor, je produktivita mechanizovaného svařování dána především tavným výkonem a operačním faktorem.

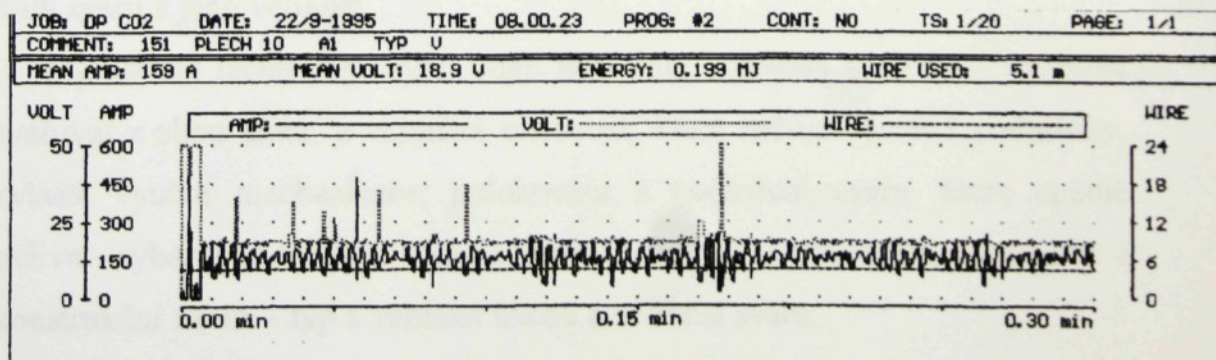
- **Tavný výkon** je dán velikostí proudu, který nám umožňuje svařování vyššími rychlostmi, zároveň vzniká ale i více dýmu a sálavého tepla.
- **Operační faktor** je dán podílem času hoření oblouku na celkovém pracovním čase. Závisí zejména na stupni automatizace.
- **Efektivita vyplnění svaru**

2.8.1 Měření faktorů produktivity [9]

Tavný výkon a operační faktor jsou již nyní velmi dobře měřitelné pomocí monitorovacích zařízení, které jsou příslušenstvím zdroje nebo univerzálním přídavným zařízením. Parametry svařování jsou v průběhu svařování ukládány na disketu nebo přímo na pevný disk počítače a jsou k dispozici pro pozdější vyhodnocování.

Monitorovací zařízení nám udává velikost proudu, napětí, rychlost svařování, rychlost posuvu drátu, čas a vnesené teplo.

Příklad záznamu je pomocí programu INFOWELD je na obr. 17.



Obr. 17 Záznam parametrů při zkratovém procesu programem Infoweld

Program Infoweld

Infoweld je PC – program, který je určen pro zvýšení užitečných vlastností svařovacích zdrojů COMMANDER BDH 320 a BDH 550 v oblasti dokumentace a řízení při ručním svařování. Komunikace mezi řídicí jednotkou svařovacího zdroje a PC se děje po optickém kabelu a to z důvodů vysoké úrovně rušivých elektromagnetických polí, která se při svařování běžně vyskytují. Hlavním úkolem systému je dokumentovat, popř. řídit parametry při svařovacím procesu. Dokumentace je pořizována ve formě grafické závislosti hlavních parametrů na čase a doplněna úplným výpisem nastavených hodnot a zvolených programů. Dokumentace parametrů, je automaticky ukládána na pevný disk PC. Později mohou být informace zálohovány na jiných druzích paměťových médiích nebo vytištěny na tiskárně.

2.9 Efektivita provedení svaru [9]

Efektivní svar je takový, který má pro určitý spoj daných mechanických vlastností minimální objem.

Pro efektivní vytvoření svaru je třeba sladit působení tří složek – konstrukčního návrhu, volby technologie a dílenského provedení.

Základními údaji pro konstrukční návrh svaru jsou kromě druhu a způsobu namáhání – druh materiálu a jeho tloušťka, druh spoje, případně i jeho délka a přístupnost. Podle toho a v souvislosti s technologií svařování volí konstruktér druh svaru a jeho velikost.

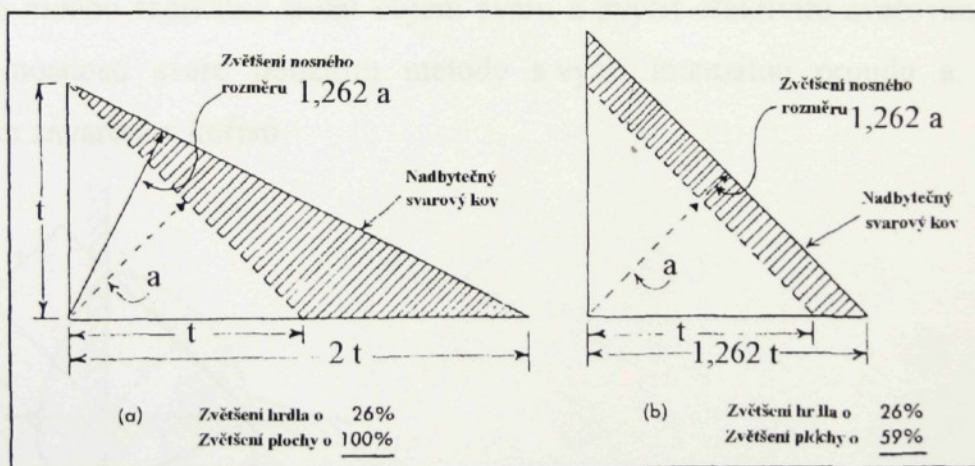
Základními technologickými údaji jsou dále – poloha svařování, možnost svařovat z obou stran, a zejména sériovost, která určuje výrobní podmínky, zvláště využití mechanizace, polohování a podložení svaru, které zpětně ovlivní výběr vhodné technologie svařování, volbu parametrů svařování i konstrukční návrh – typ a velikost úkosu a velikost svaru.

Efektivita koutového svaru [8]

Koutový svar je nejpoužívanějším spojem ve svařované konstrukci (asi 70%), normou není předurčena geometrie svarové plochy, a tak jeho velikost a pravidelnost je v rukou svářeče. Proto se často předimenzovává, což je zvláště u tohoto typu svaru hlavní příčinou nízké efektivity. Vyplývá to z jeho geometrie rovnostranného pravoúhlého trojúhelníku, kde plocha je druhou mocninou, výšky tedy nosného rozměru:

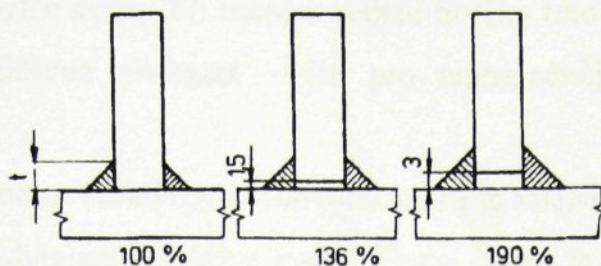
$$P = a^2$$

Z toho vyplývá, že např. koutový svar velikosti 5mm má o 56% větší plochu a tedy i objem než koutový svar velikosti 4 mm (obr. 18). Plocha svaru se může neefektivně zvětšit i rozlitím na jednu stranu (obr. 19) nebo větší mezerou při sestavení (obr.20)



Obr. 19 [10]

Obr.18 [10]

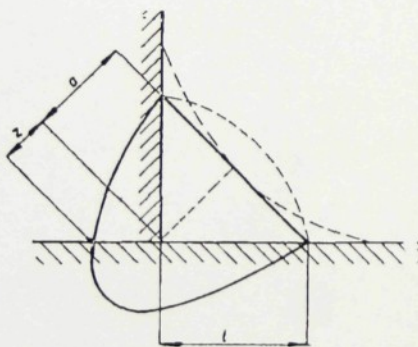
**Obr. 20** [10]

Relativní nevýhodu nevymezené velikosti svaru můžeme změnit ve výhodu, využijeme-li zvětšení průvaru v kořeni, které se dle ČSN 05 0120 do nosné velikosti svaru započítává (obr.21).

Nosná velikost svaru:

$$v = a + z$$

Tak je možno radikálně snížit objem svaru a zvýšit efektivitu svařování při stejné nosnosti svaru použitím metody s vyšší intenzitou proudu a tedy hlubším závarem v kořeni.



Nosný průřez koutového svarového spoje

Obr.21 [10]

Hloubka závazu v kořeni je u koutových svarů prvním faktorem efektivy svařování koutových svarů. To znamená, že i zde je přesnost přípravy, zejména sestavení podmínkou pro zvýšení efektivy svařování, což dále umožňuje použití mechanického svařování, které navíc zajišťuje pravidelnost

Druhým faktorem efektivity koutového svaru je vnější tvar a dodržení jeho velikosti a pravidelnosti po délce svaru. Tento faktor je naopak velmi dobře zjištělný vizuálně a pomocí měrek, takže se na něj soustřeďuje pozornost kontroly, což do značné míry ovlivňuje chování svářečů i výběr technologie.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

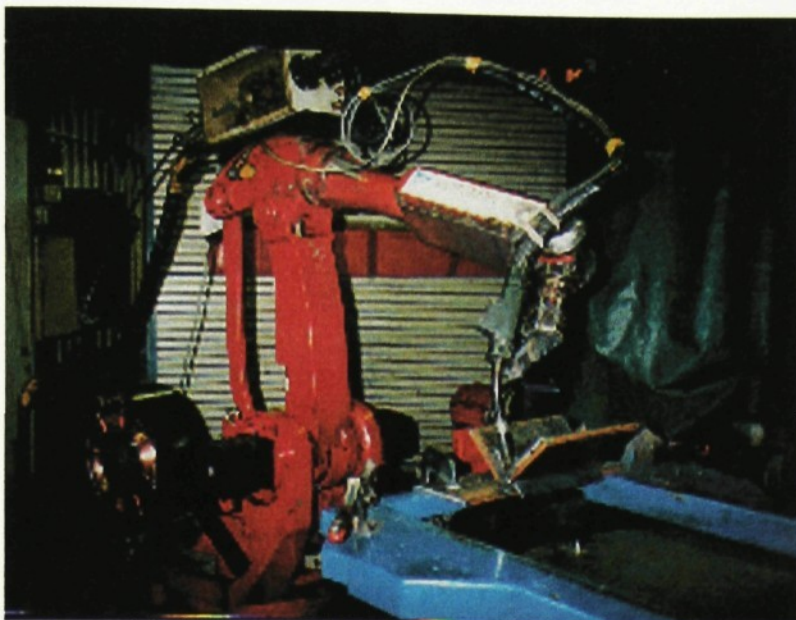
3.1 Úvod

Hlavním úkolem praktické části mé diplomové práce bylo navrhnout metodu a experimentální program optimalizace parametrů strojního svařování metodou MAG koutových svarů, kde jako hlavní parametry měly být efektivita provedení svaru a rychlost svařování.

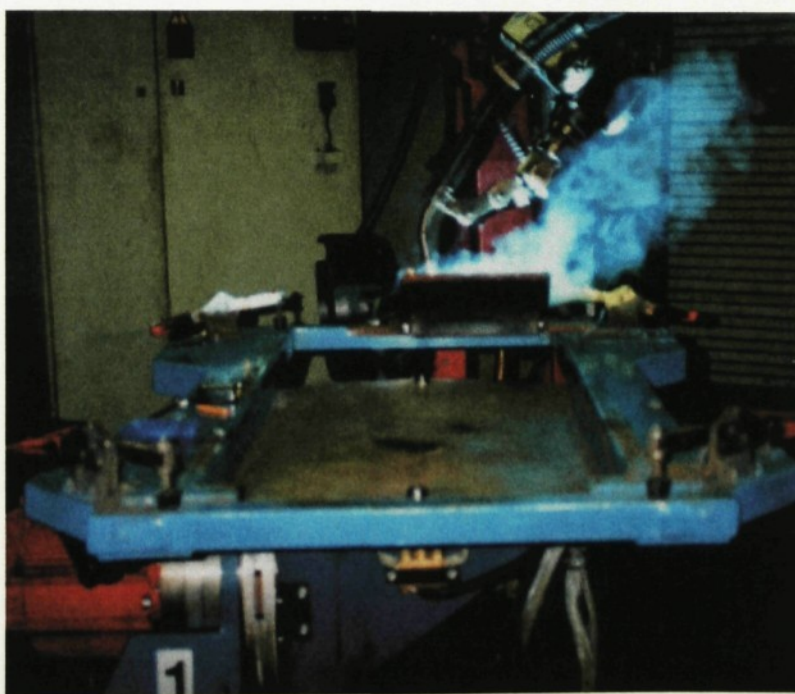
Svařování bylo prováděno především ve firmě ATMOS v Bělé pod Bezdězem robotem MOTOMAN SK6 – COOO (Obr. 22,23). Jako ochranný plyn byl použit MISON 8 od firmy AGA. Svařování bylo prováděno ve zkratovém, sprchovém a pulzním režimu v poloze PA. Polohování je zobrazeno na Obr. 24, 25. Pro monitorování byl použit program QDOC 9000 firmy Messer Griessheim zapůjčený firmou MGM Tábor. Pomocí monitorovacího zařízení jsem zjistili velikost proudu, napětí, rychlost svařování rychlost posuvu drátu a čas svařování. Příklad záznamu je na Obr. 26. Některé experimenty byly prováděny také ve svařovnách TU Liberec na lineárním automatu firmy BOKI, za použití zdroje BDH 550 a monitorovacího zařízení s programem Infoweld, který byl také zapůjčený firmou MIGATRONIK. Tento program monitoroval také velikost měrného tavného výkonu a měrného vneseného tepla na 1 cm svaru (Obr. 27).

3.2 Použité materiály a přístroje

- a) materiál tloušťky 8 mm jakosti 11 375
- b) svařovací robot MOTOMAN SK6-COOO + příslušenství
- c) svařovací lineární automat firmy BOKI
- d) invertorový zdroj Q 500 M firmy SKS
- e) invertorový zdroj BDH 550 firmy MEGATRONIK
- f) ochranný plyn MISON 8 firmy AGA
- g) plný svařovací drát $\varnothing$ 1.2 jakosti SG2 firmy ESAB Vamberk



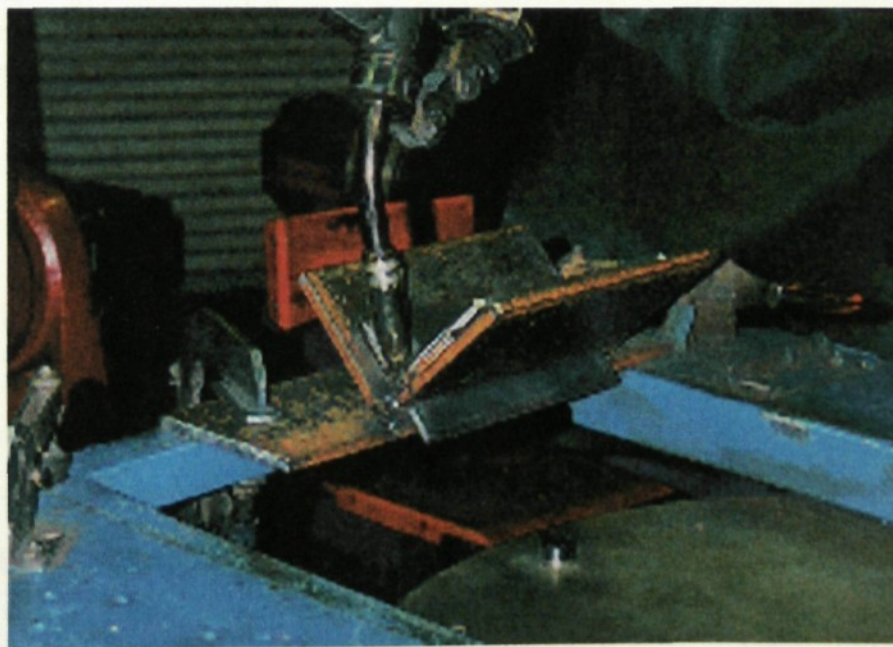
Obr. Č. 22 Fotografie robotizovaného pracoviště ve firmě ATMOS



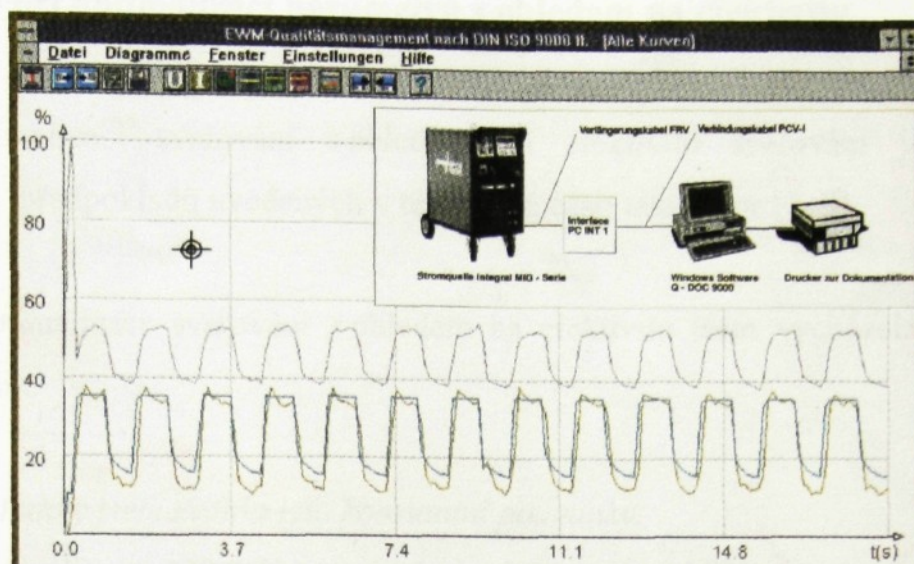
Obr. Č. 23 Fotografie svařování na robotizovaném pracovišti ve firmě ATMOS



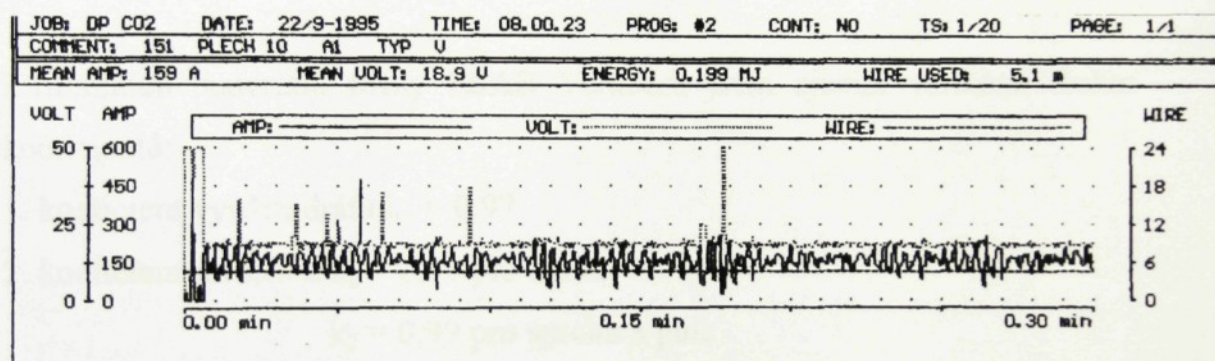
Obr. 24. Fotografie svařování robotem MOTOMAN



Obr. 25 Fotografie polohování svarku



Obr. 26 Monitorování parametrů pomocí programu Q DOC 9000



Obr. 27 Záznam parametrů při zkratovém procesu programem Infoweld

Pro svařování byly použity plyny od firmy AGA s označením MISON 8.

MISON 8 má složení $Ar + 8\% CO_2 + \max 0.03\% NO$

Tento plyn je hlavně určen pro svařování ve sprchovém přenosu a v pulsním režimu nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Při svařování krátkým obloukem vykazuje nižší tekutost taveniny. Výhodou je vysoká rychlost svařování, malé převýšení, nízká tvorba strusky a rozstřiku a malá emise dýmových splodin.

3.3 Postup při optimalizaci parametrů s ohledem na efektivitu

Při optimalizaci svařování s ohledem na efektivitu svařování jsem vycházela z předpokladů uvedených v teoretické části této práce [2. 3].

K řešení optimalizace svařování s ohledem na efektivitu jsem vycházela ze dvou metodik.

Pro obě metodiky jsem zvolila tyto konstantní podmínky:

1. vzorky o velikosti $100 * 220\text{mm}$, z plechu 8 mm mat. 11375
2. vzdálenost kontaktní trubka – svařovaný materiál 17mm
3. úhel hořáku 10° dopředu
4. délka svaru $L_S = 207\text{ mm}$

Z firemních materiálů firmy ESAB Vamberk jsem zjistila velikosti těchto koeficientů:

1. koeficient využití drátu $k_1 = 0,97$
2. koeficient rozstříku $k_2 = 0,95$ pro zkrat,
 $k_2 = 0,99$ pro sprchu a pulz

3.3.1 1.metodika

Cílem 1. skupiny zkoušek bylo vytvořit koutové svary stejné velikosti $a = 5\text{mm}$ při rostoucím proudu a rychlosti svařování. Nejprve jsem vypočítala potřebnou délku drátu L_D (1) pro vytvoření svaru o velikosti 5mm a délce 207mm (Obr.28). Pro každou velikost proudu jsem si zvolila předpokládanou rychlost svařování v_s a potom jsem provedla řadu zkušebních svarů, z nichž jsem vybrala ten, který se nejvíce blížil vypočítané hodnotě L_D .

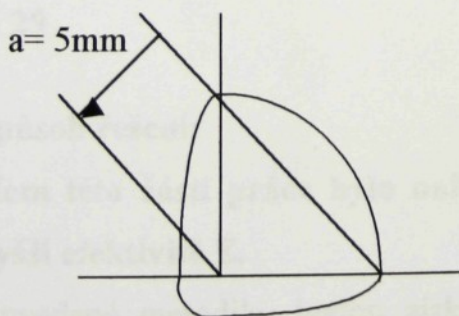
Délka drátu L_D :
$$L_D = \frac{p_s \cdot L_s}{p_D \cdot k_1 \cdot k_2} \quad (1)$$

Pro jednotlivé druhy přenosu:

1. zkrat:
$$L_D = 4,970m \quad (2)$$

2. sprcha a pulz:
$$L_D = 4,769m \quad (3)$$

- Kde: - p_s ...průměrná plocha svaru
 - p_D ...průměrná plocha drátu
 - k_1 ...koeficient využití drátu, dle
 - k_2 ...koeficient rozstříku
 - L_s ...délka svaru



Obr. 28 Svar velikosti 5mm

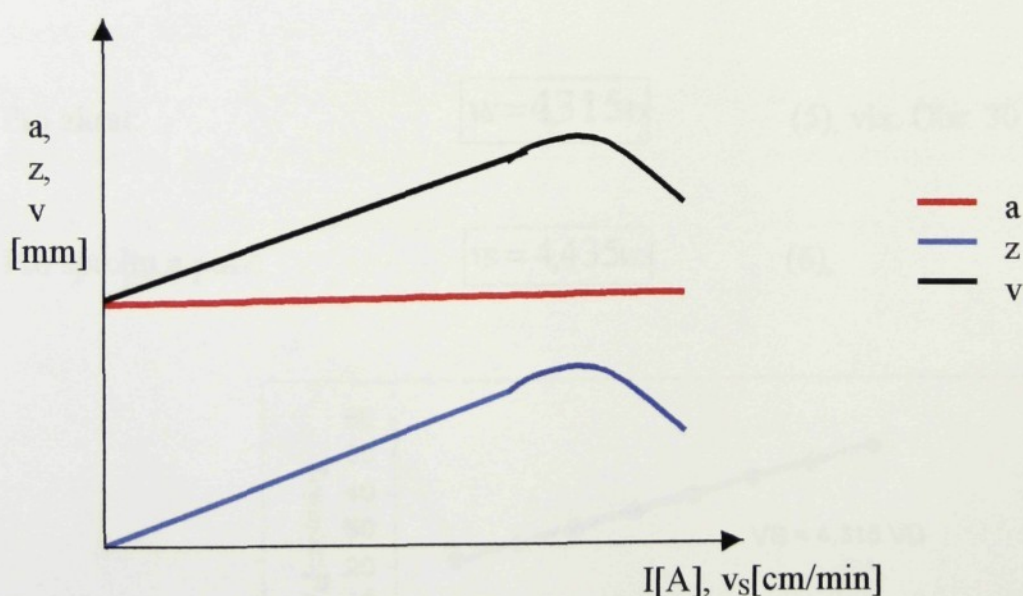
Tyto zkoušky jsem provedla ve využitelném rozsahu proudů do 340 A pro režimy:

1. zkratu,
2. sprchy,
3. pulzu.

a) Předpoklad:

Z odborné literatury, viz. s. 14 této práce je zřejmé, že do určité rychlosti svařování roste velikost závaru a převýšení mírně stoupá. Od určité mezní hodnoty rychlosti svařování závar opět klesá a narůstá převýšení.

Předpokládala jsem, že při zachování velikosti svaru $a = 5\text{ mm}$ bude při zvyšujícím se proudu I a rychlosti svařování v_s růst závar z a tím i celková velikost v (Obr. 29), od určité hodnoty rychlosti svařování v_s bude růst převýšení svaru r a začne klesat hodnota závaru.



Obr. 29

b) Způsob řešení:

Úkolem této části práce bylo nalézt hodnotu rychlosti svařování v_s při nejvyšší efektivitě E .

Dle uvedené metodiky budou získány řady vzorků svarů zhotovených při různé rychlosti svařování a různém proudu. Zároveň budou získány hodnoty

skutečných délek spotřebovaného drátu. Tyto hodnoty by se neměly výrazně lišit od vypočtené hodnoty (2), (3). Maximální odchylku jsem stanovila na 10%.

V tomto případě je pak možno přepočítat skutečné veličiny získané monitorováním a vyhodnocením makrovýbrusu poměrem skutečné a stanovené délky drátu. K tomu je nutno stanovit teoretickou závislost rychlosti svařování v_S na rychlosti posuvu drátu v_D pro danou velikost svaru (Obr. 30). Pro zvolené velikosti v_D jsem vypočítala v_S (4).

$$v_S = \frac{L_S \cdot p_S \cdot k_1 \cdot k_2}{P_T} v_D \quad (4)$$

kde: P_T ...požadovaná teoretická velikost svaru 25 mm²

Dle předem daných konstantních podmínek jsem vypočítala teoretické rychlosti svařování pro jednotlivé druhy přenosu (5), (6):

Pro zkrat:

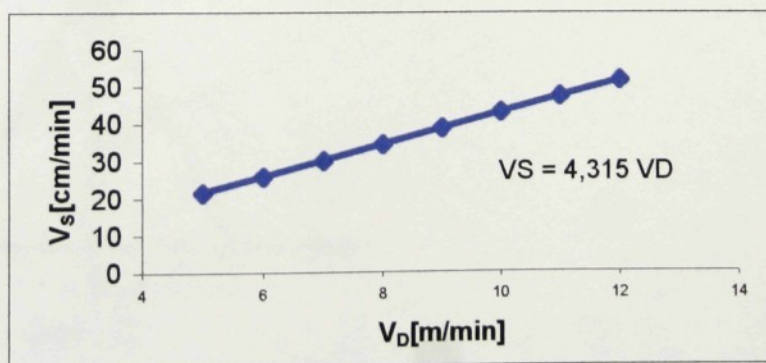
$$v_S = 4,315 v_D$$

(5), viz. Obr. 30

Pro sprchu a pulz:

$$v_S = 4,435 v_D$$

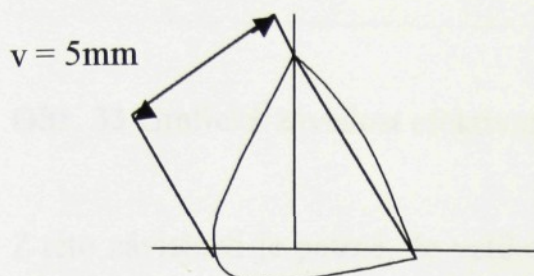
(6),



OBR. 30 Teoretická závislost rychlosti svařování na rychlosti posuvu drátu pro oblast zkratu

3.3.2 2. Metodika

Cílem 2.skupiny zkoušek bylo minimalizovat množství svarového kovu podle rostoucího závaru tak, aby nosná velikost svaru $\underline{v}$ byla konstantní, při rostoucím proudu I a rychlosti svařování v_D (Obr. 31).

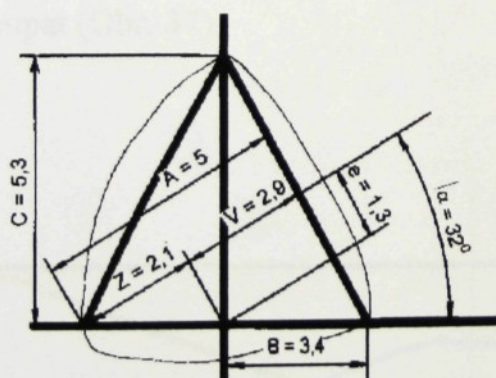


Obr. 31

a) Předpoklad:

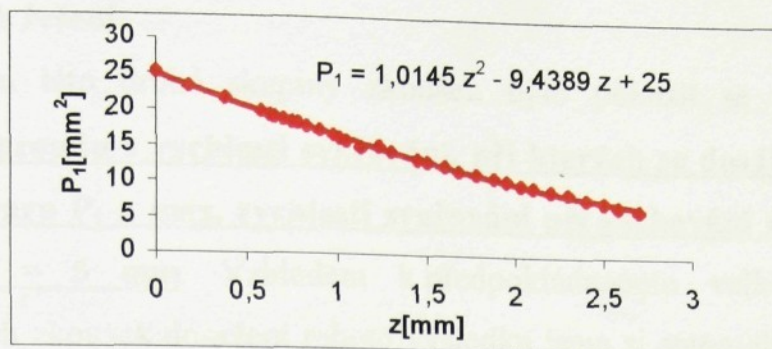
Vycházela jsem z normy ČSN 050120, která připouští započítat hloubku závaru do nosné velikosti svaru a zároveň určuje nosnou velikost svaru nerovnoměrných stran.

S uvažováním obou skutečností vyplývá, že efektivní vnější tvar koutového svaru se mění dle hloubky průvaru a to tak, že je to rovnoramenný trojúhelník jehož vrcholem je bod nejzazšího průvaru mezi pásnicí a stojinou (obr. 33).



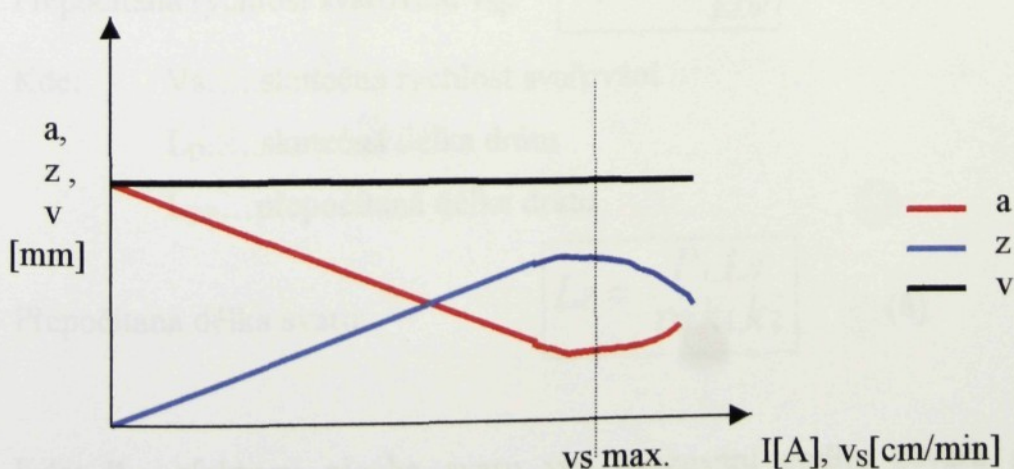
Obr. 32

Z uvedených skutečností vyplývá, že existuje přímá závislost mezi hloubkou závaru a velikostí vnějšího svaru (Obr. 34). Tento graf jsem vytvořila pomocí hodnot získaných grafickým řešením svaru. Zjistila jsem vzájemné závislosti parametrů z , P_1 , a , b , c , L_D .



Obr. 33 Grafická závislost efektivní velikosti svaru P_1 na hloubce závaru z .

Z této závislosti je patrné, že velikost svaru s hloubkou průvaru prudce klesá, což v praktické rovině lze docílit do určité mezní hodnoty pro určitý druh průměru přídavného materiálu. Každý přídavný materiál v určité ochranné atmosféře má určitou maximální hodnotu závaru, kterou může docílit při určité hodnotě intenzity proudu a dané velikosti svaru, tj. při určité rychlosti svařování při zachování nosné velikosti svaru (včetně závaru) $v = 5 \text{ mm}$. Bude při rostoucím proudu a rychlosti svařování růst závar a snižovat se velikost svaru až do určité mezní hodnoty vnější velikosti svaru P_1 , množství vytaveného drátu L_D a při určité mezní rychlosti svařování v_s . Potom bude závar klesat a plocha svaru vlivem toho a vlivem rostoucí hodnoty převýšení bude stoupat (Obr. 37).



Obr. 34

b) Způsob řešení

Úkolem této druhé skupiny zkoušek bylo pokusit se nalézt limitní hodnoty proudu a rychlosti svařování, při kterých se dosáhne minimální plochy svaru P_1 a max. rychlosti svařování při zachování nosné velikosti svaru $v = 5 \text{ mm}$. Vzhledem k předpokládanému velkému množství potřebných zkoušek dosažení tohoto výsledku jsme si stanovili alespoň za cíl nalézt a přibližně ověřit metodiku, kterou by se tyto cíle dosáhli.

V tomto případě je rychlost svařování závislá nejen na rychlosti drátu, ale také na hloubce závaru. Pro stanovení závislosti rychlosti svařování v_s na rychlosti posuvu drátu v_D , je proto nutno vycházet z teoretické závislosti plochy svaru $P_1 = f(z)$, $L_D = f(z)$ a dále ze závislosti $v_D = f(z)$. Tuto závislost by bylo možno odvodit velmi obtížně metodou konečných prvků. Pro náš účel je praktičtější použít skutečných hodnot závislosti maximálního závaru z' na proudu a tedy i na v_D (Graf. 16). Grafická závislost svařování v_s na rychlosti posuvu drátu v_D , která je funkcí hloubky závaru z je uvedena v grafu 17.

V závislosti na parametrech získaných pro pulzní přenos v první metodice jsem se snažila tyto parametry optimalizovat následujícím způsobem:

1. zvětšit rychlost svařování a zmenšit délku použitého drátu, tak aby hodnota $\underline{v}$ neklesla pod stanovenou nosnou velikost ($v = 5$).

Přepočítaná rychlost svařování v_{Sp} :

$$v_{Sp} = v_s \cdot \frac{L_D}{L_{DP}} \quad (7)$$

Kde: V_sskutečná rychlost svařování

L_Dskutečná délka drátu

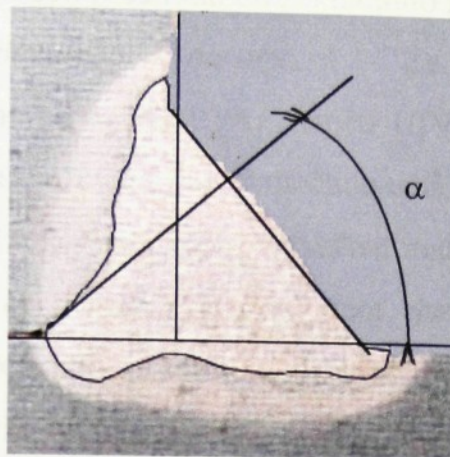
L_{DP} ...přepočítaná délka drátu

Přepočítaná délka svaru:

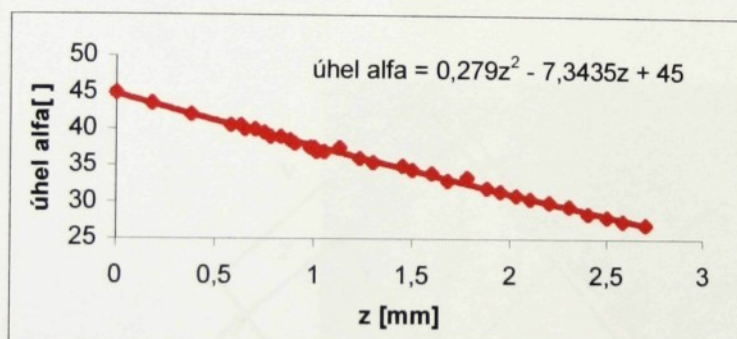
$$L_P = \frac{P_1 \cdot L_s}{p_s \cdot k_1 \cdot k_2} \quad (8)$$

Kde: P_1efektivní plocha svaru vez uvažování podílu závaru na nosné velikosti svaru (viz. kapitola 3.4).

2. změnit úhel polohování svarku α tak, aby maximální závar byl v pásnici (Obr.34). Úhel α jsem vypočítala dle vzorce získaného z grafické závislosti (Obr. 35).



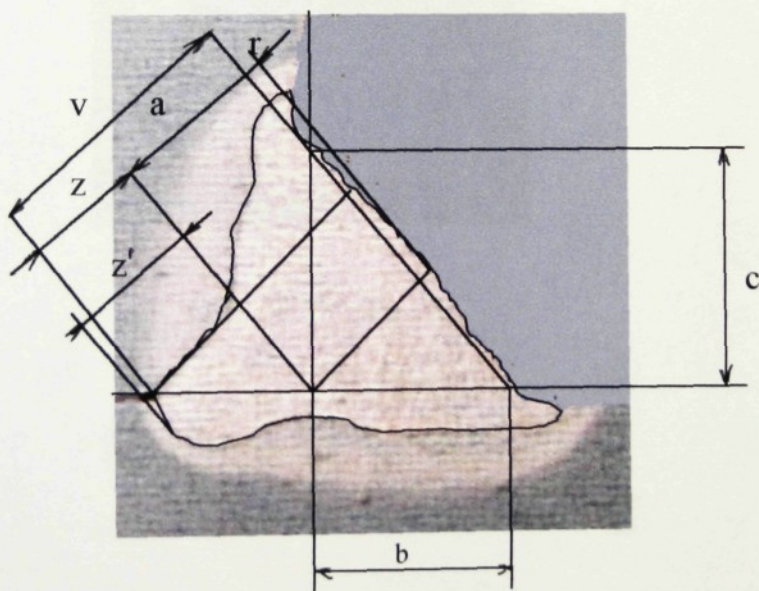
Obr. 34



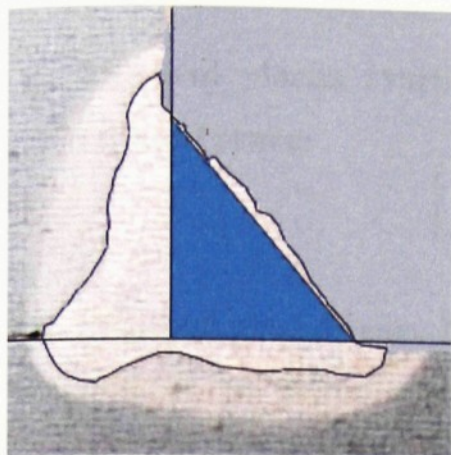
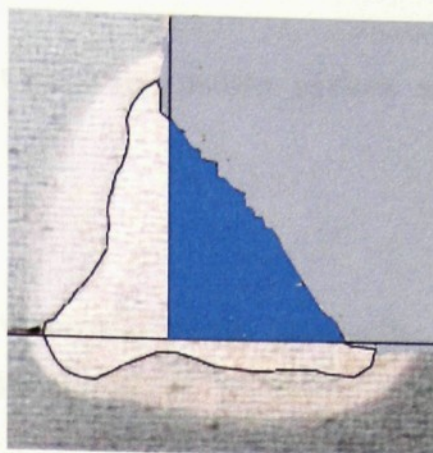
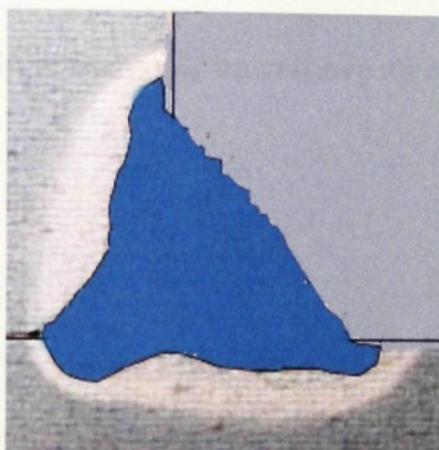
Obr. 35 Teoretická závislost rychlosti svařování na velikosti závaru

3.4 Postup vyhodnocení svaru

- a) *vizuálně* – Nejprve byl svar vyhodnocen vizuálně, přičemž jsem si všímala především kvality a tvaru svarové housenky, kresby a rovnoměrnosti po celé délce svaru, rozstřiku v okolí svaru, povrchových vad svaru a plynulosti přechodu do základního materiálu.
- b) *monitorováním parametrů* – Ze záznamu monitorování jsem získala hodnoty proudu I [A], napětí U [V], rychlost posuvu drátu v_D [cm/min], dobu svařování t [s], skutečnou délku drátu L_D [m],
- c) *z makrovýbrusu* – Pro vytvoření makrovýbrusu jsem vyřízla vzorek typický pro celý svar. Vytvořila jsem makrovýbrus, jehož obraz jsem pomocí mikroskopu nasnímala do počítače a pomocí programu Lucia jsem si zjistila rozměry svaru a , b , c , v , z , r , z' (Obr. 32). Dále jsem získala velikosti ploch svaru P_l , P_s , P_p , (viz. Obr. 33, 34, 35).



Obr. 32 Rozměry svaru získané pomocí programu Lucia

Obr.33 Plocha P_1 Obr.34 Plocha P_s Obr.35 Plocha P_p

Vyhodnocením rozměrů svaru pomocí programu Lucia jsem si vypočítala následující hodnoty pro 1. metodiku:

1. Efektivní plocha svaru P_I bez uvažování podílu závaru na nosné velikosti svaru:

$$P_I = a^2$$

2. Efektivní plocha svaru P_E jako ekvivalentní plocha koutového svaru se započítáním průvaru do nové velikosti svaru:

$$P_E = v^2$$

3. Koeficient podílu průvaru k_1 na celkové efektivitě:

$$k_1 = \frac{P_E}{P_I}$$

4. Koeficient podílu vyplnění tvaru k_2 na celkové efektivitě:

$$k_2 = \frac{P_I}{P_S}$$

5. Efektivita svařování:

$$E = k_1 * k_2$$

Vzhledem k nepatrným odchylkám objemu vytaveného kovu (L_D) od stanovené hodnoty pro $P_S = 25\text{mm}^2$ (cca do 8%), byly hodnoty v_S , $P_S(a)$ přepočítány v poměru skutečného a teoreticky spotřebovaného drátu.

4. VÝSLEDKY

4.1 1.Metodika – sprchový a zkratový režim

4.1.1 Tabulky naměřených hodnot

Tab. č. 1 Sprcha (svar č. 222-235), zkrat (svar č. 251-259)

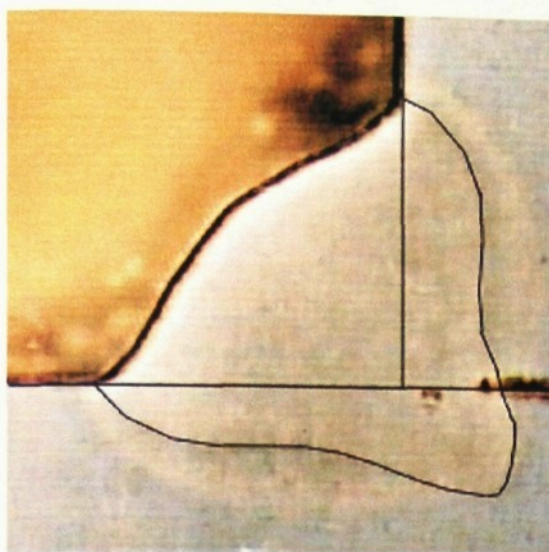
Svar č.	I	U	L	V _D	V _S	t	K ₁	K ₂	E
	[A]	[V]	[m]	[m/min]	[cm/min]	[s]			
222	280	30,4	4,56	9,6	44,0	28,5	1,79	0,84	1,50
223	280	30,2	5,22	9,6	43,8	32,3	1,41	0,91	1,28
224	280	30,0	4,88	9,6	44,0	30,2	1,59	0,94	1,50
225	300	31,4	4,94	10,4	47,7	28,2	1,37	0,96	1,32
226	294	31,0	5,19	10,4	46,8	30,0	1,48	0,91	1,35
227	305	31,4	4,60	10,4	46,3	26,5	1,93	0,92	1,78
228	314	32,2	4,98	10,4	52,2	26,2	1,55	0,96	1,49
229	328	32,4	5,02	11,4	52,6	26,4	1,6	0,87	1,39
232	330	32,4	5,04	11,4	52,8	26,5	1,74	0,83	1,44
233	338	32,2	5,05	11,4	53,0	26,6	1,86	0,81	1,51
234	340	32,8	5,13	11,7	53,8	26,3	1,87	0,83	1,55
235	344	32,8	5,12	12,2	55,8	25,2	1,83	0,77	1,41
251	208	22,0	5,19	5,4	23,0	57,7	1,28	0,83	1,12
252	226	22,8	5,03	6,0	25,3	51,1	1,26	0,90	1,10
253	240	23,4	5,24	6,6	28,5	47,6	1,14	0,83	1,29
254	250	23,4	5,23	6,9	29,5	15,5	1,54	0,74	1,26
255	250	23,6	4,96	6,9	29,9	43,1	1,38	0,91	1,56

Svar č.	I	U	L	V _D	V _S	t	K ₁	K ₂	E
	[A]	[V]	[m]	[m/min]	[cm/min]	[s]			
256	250	24,2	4,64	7,1	30,8	39,2	1,46	0,87	1,50
257	264	25,8	4,93	7,8	33,7	37,9	1,50	0,97	1,25
258	202	21,4	4,97	4,9	21,0	60,8	1,39	0,76	1,42
259	260	24,6	4,86	7,2	31,3	40,5	1,39	0,92	1,41

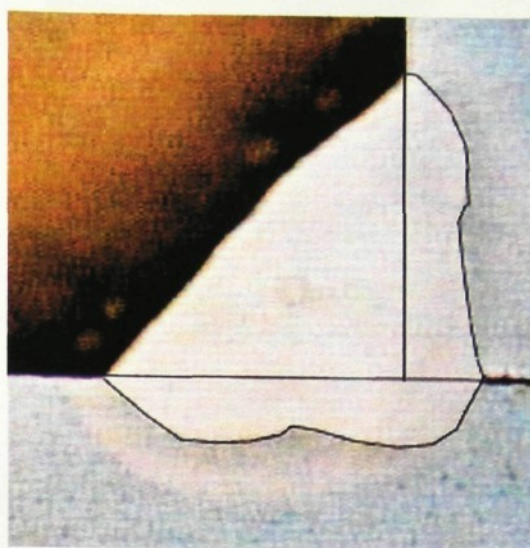
Tab. č.2 Sprcha (svar č. 222-235), zkrat (svar č. 251-259)

Svar č.	b [mm]	c [mm]	v [mm]	z [mm]	z' [mm]	r [mm]	a [mm]	P _I [mm ²]	P _P [mm ²]	P [mm ²]	P _E [mm ²]
222	6,02	6,66	6,02	1,51	3,47	0,98	4,51	20,8	52,1	24,8	36,2
223	5,96	6,54	5,60	1,33	1,48	0,43	4,27	22,2	41,6	24,5	31,4
224	5,54	6,58	5,47	1,17	1,49	0,48	4,30	20,1	37,6	21,4	31,9
225	6,00	6,76	5,56	0,95	1,35	0,38	4,61	22,6	39,8	23,6	30,9
226	5,51	6,33	5,44	1,4	2,08	0,95	4,04	20,0	40,7	21,9	29,6
227	5,44	7,15	6,31	1,96	2,57	0,30	4,35	20,6	46,1	22,3	39,8
228	5,37	7,17	5,82	1,34	1,63	0,23	4,48	21,9	39,6	22,8	33,9
229	5,90	6,08	5,73	1,45	3,53	0,72	4,28	20,5	46,0	23,6	32,8
232	5,60	6,48	5,91	1,74	3,62	0,83	4,17	20,1	44,3	24,2	34,9
233	5,39	6,61	6,20	1,96	3,98	0,83	4,24	20,7	51,0	25,5	38,4
234	5,44	6,56	6,26	1,96	3,73	0,83	4,30	21,0	46,7	25,4	39,2
235	5,22	6,17	5,82	1,85	2,90	1,17	3,97	18,5	44,5	24,1	33,9
251	5,65	6,94	5,36	0,90	1,02	0,81	4,46	22,4	34,5	27,1	28,7
252	5,73	7,15	5,37	0,73	0,78	0,56	4,64	22,9	34,5	25,6	28,8
253	5,30	7,07	5,0	0,51	0,52	0,87	4,49	22,0	36,1	26,6	25,0
254	4,75	6,99	5,47	1,35	1,64	1,34	4,12	19,4	38,0	26,4	29,9
255	6,05	6,84	5,61	0,9	1,3	0,43	4,71	22,9	37,2	25,1	31,5
256	6,16	7,48	5,82	0,95	1,1	0,66	4,87	23,3	37,9	26,8	33,9
257	6,20	7,58	6,18	1,23	1,34	0,24	4,95	25,5	40,3	26,2	38,2
258	5,35	6,76	5,27	0,89	1,62	1,75	4,38	20,0	37,1	26,5	27,8
259	6,44	6,98	5,77	0,89	1,06	0,46	4,38	23,9	39,3	25,9	33,3

4.1.2 Obrázky makrovýbrusů

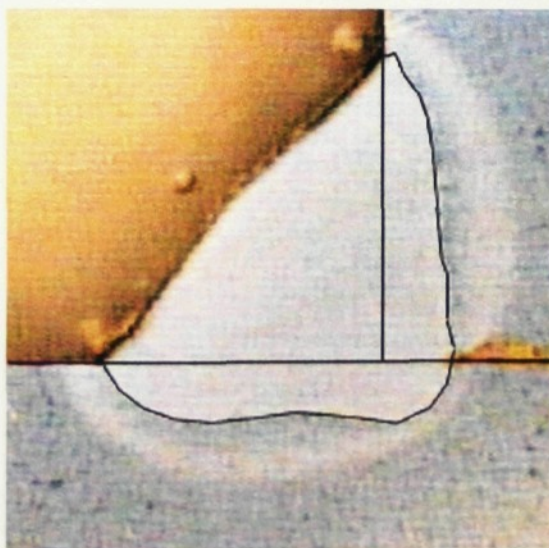


Obr. 36

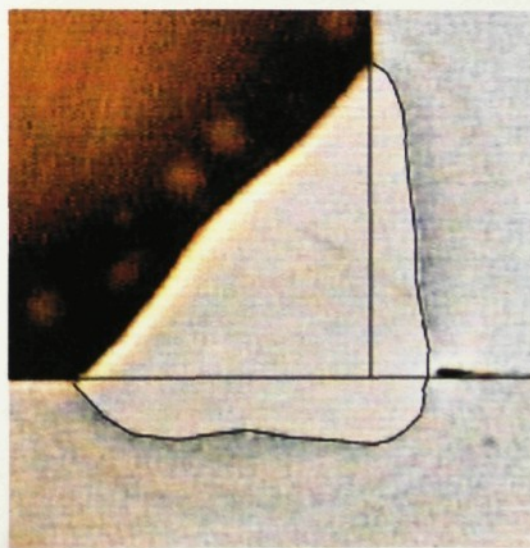


Obr. 37

Svar	222	223
I [A]	280	280
v _s	44,0	43,8
z	1,51	1,33

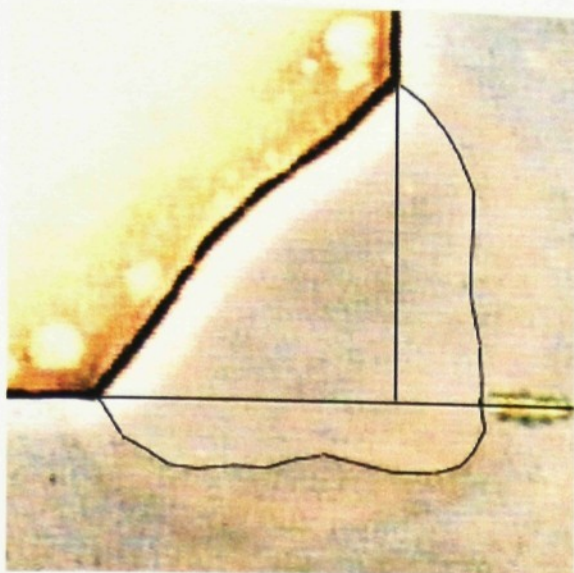


Obr. 38

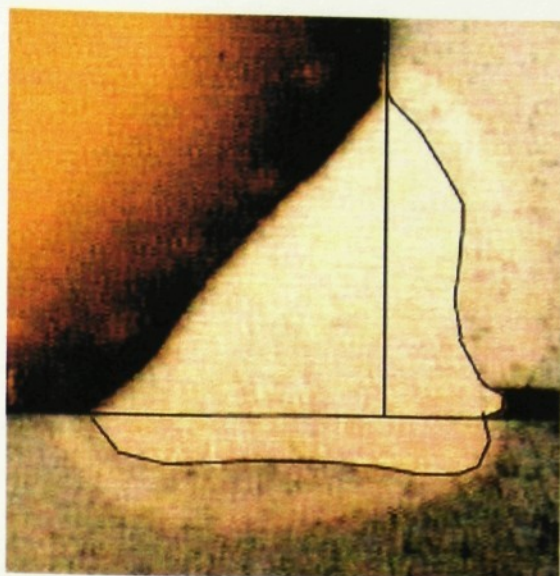


Obr. 39

Svar	224	225
I[A]	280	300
v _s	44,0	47,7
z	1,17	0,95

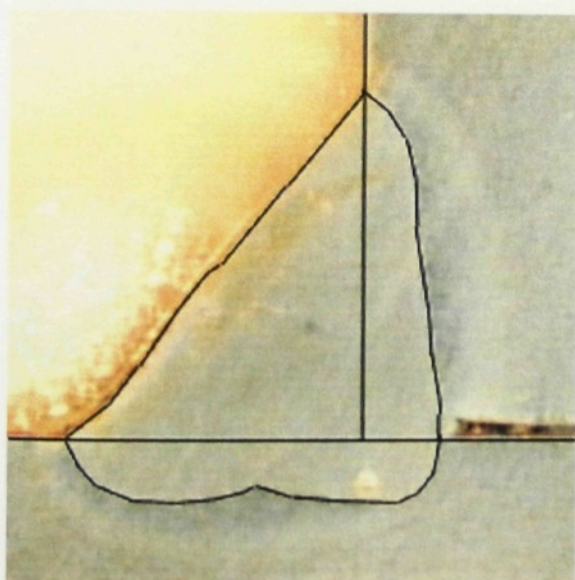


Obr. 40

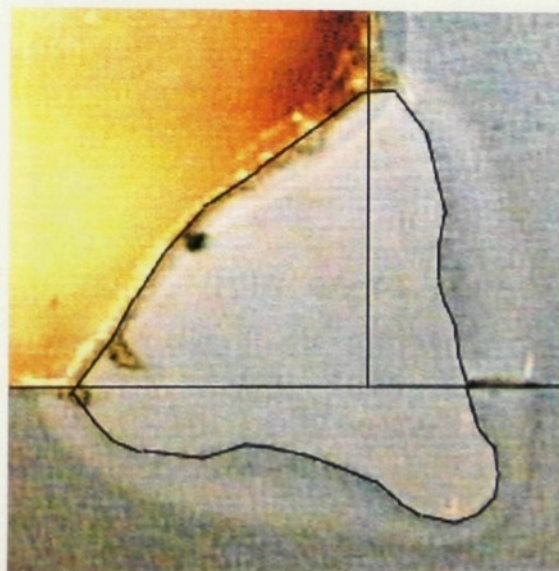


Obr. 41

Svar	226	227
I[A]	294	305
v_s	46,8	46,3
z	1,4	1,96

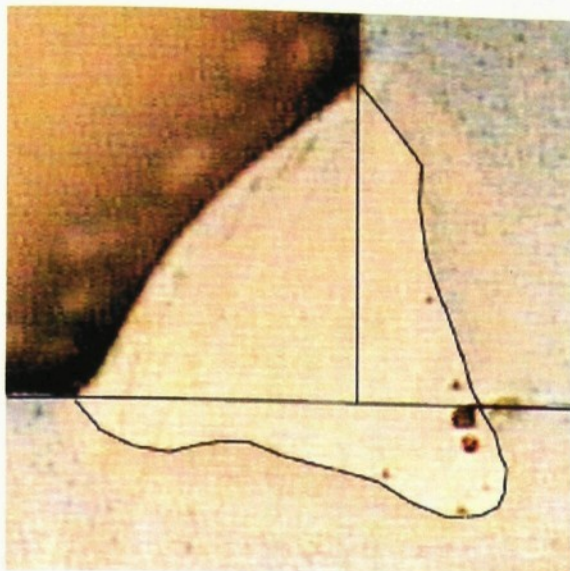


Obr. 42

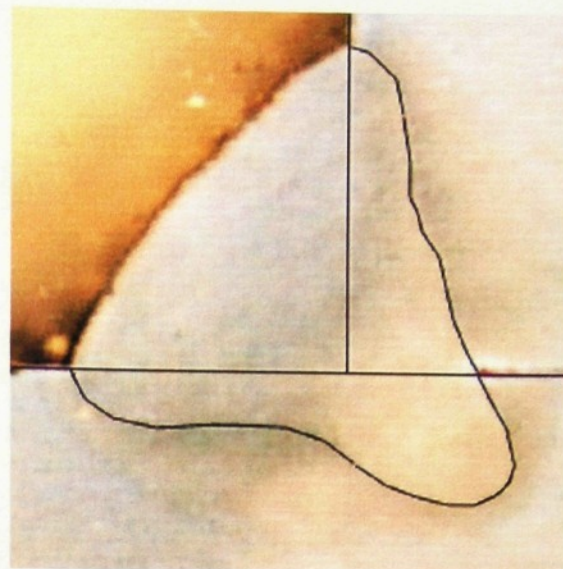


Obr. 43

Svar	228	229
I[A]	314	328
v_s	52,2	52,6
z	1,34	1,45

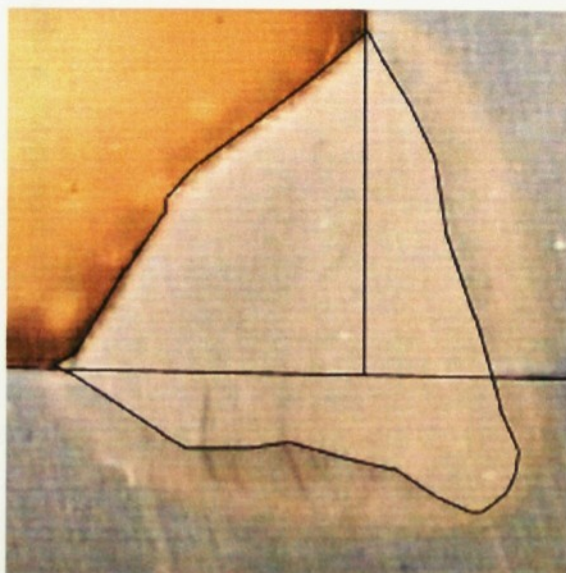


Obr. 44

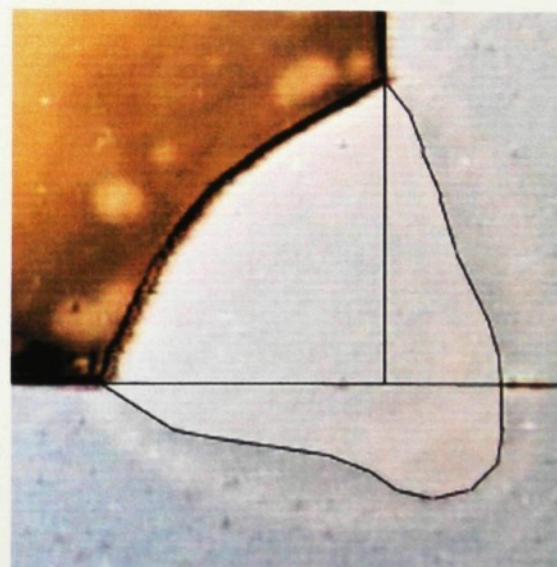


Obr. 45

Svar	232	233
I[A]	330	338
v_s	52,8	53,0
z	1,74	1,96



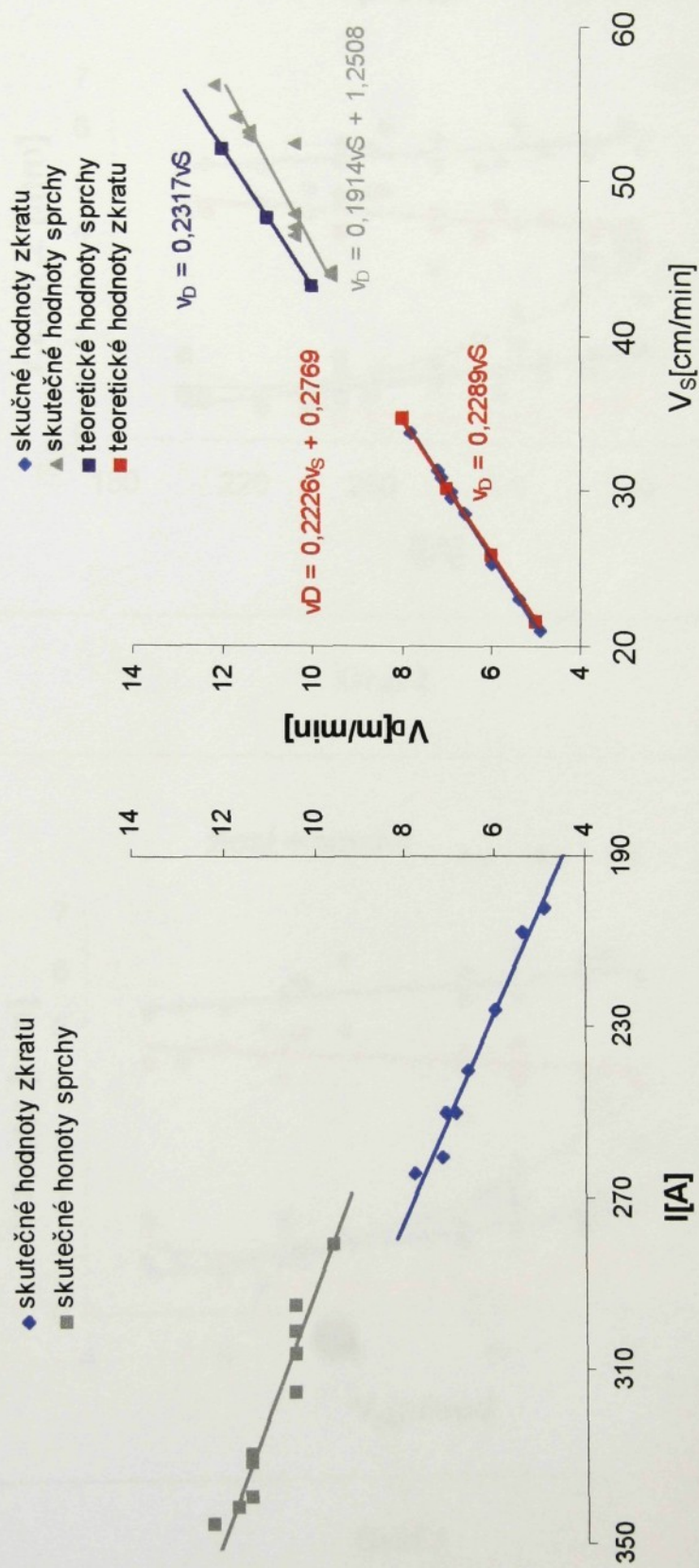
Obr. 46



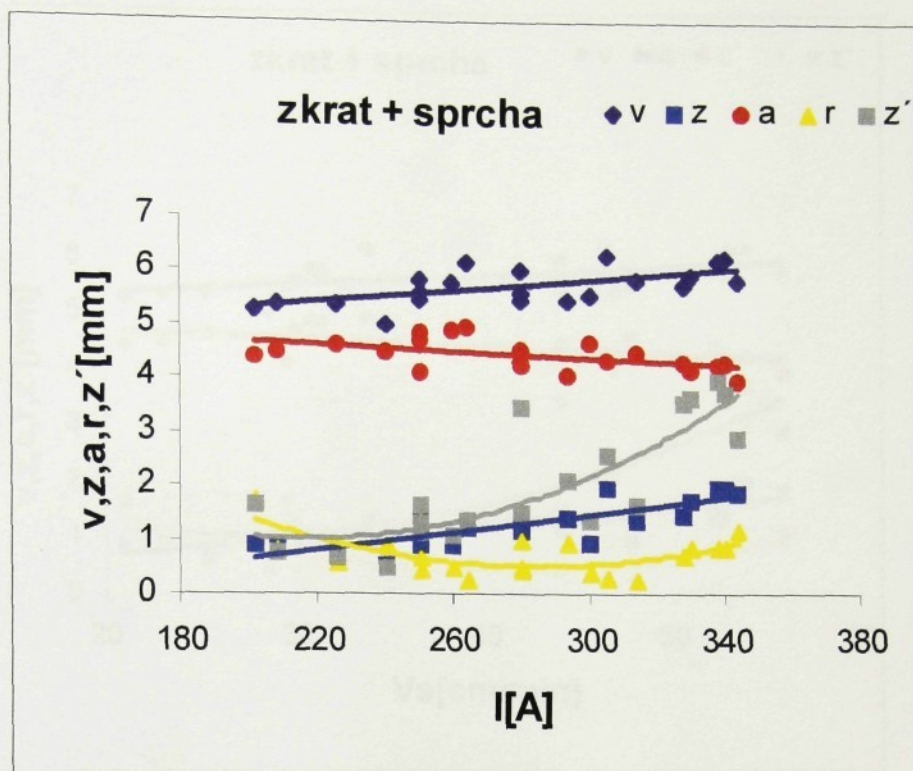
Obr. 47

Svar	234	235
I[A]	340	344
v_s	53,8	55,8
z	1,96	1,85

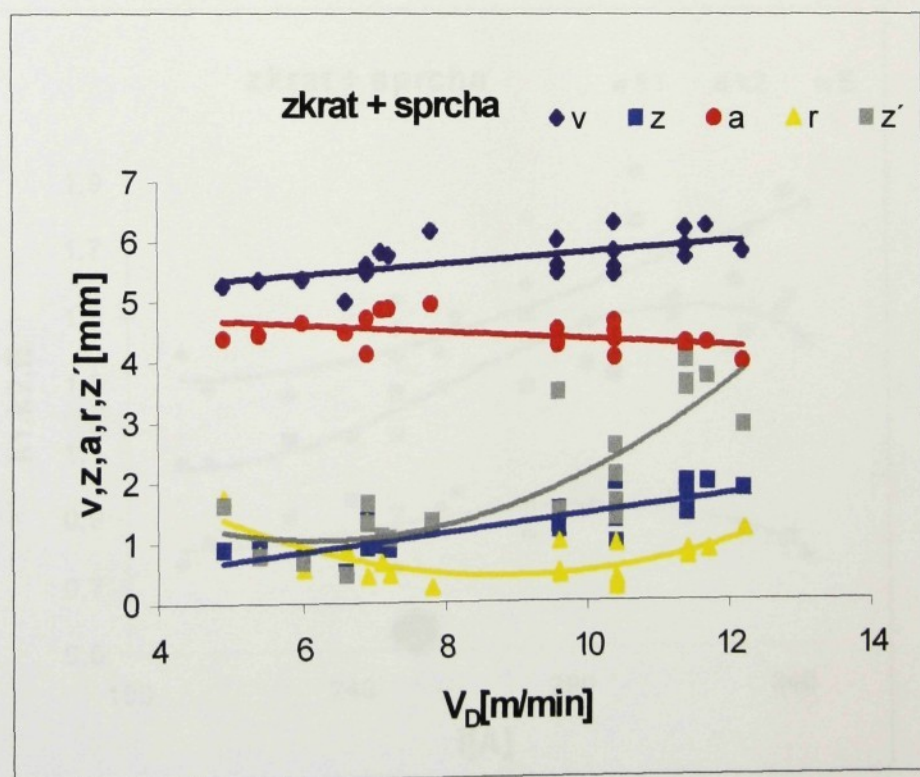
4.1.3 Grafické výsledky pro zkrat a sprchu



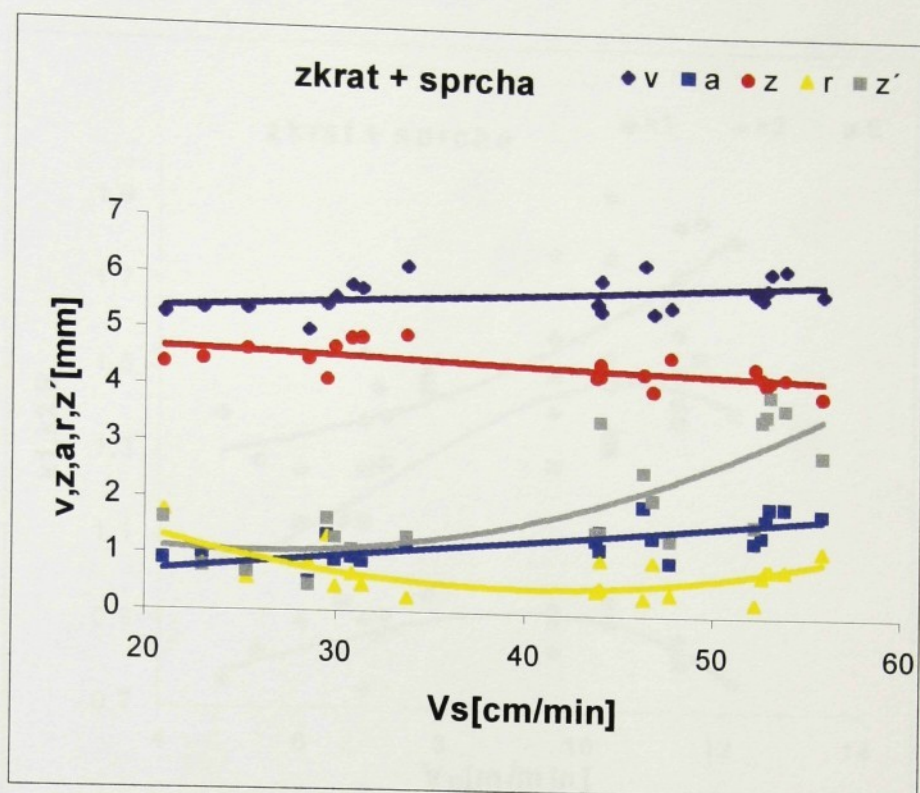
Graf 1



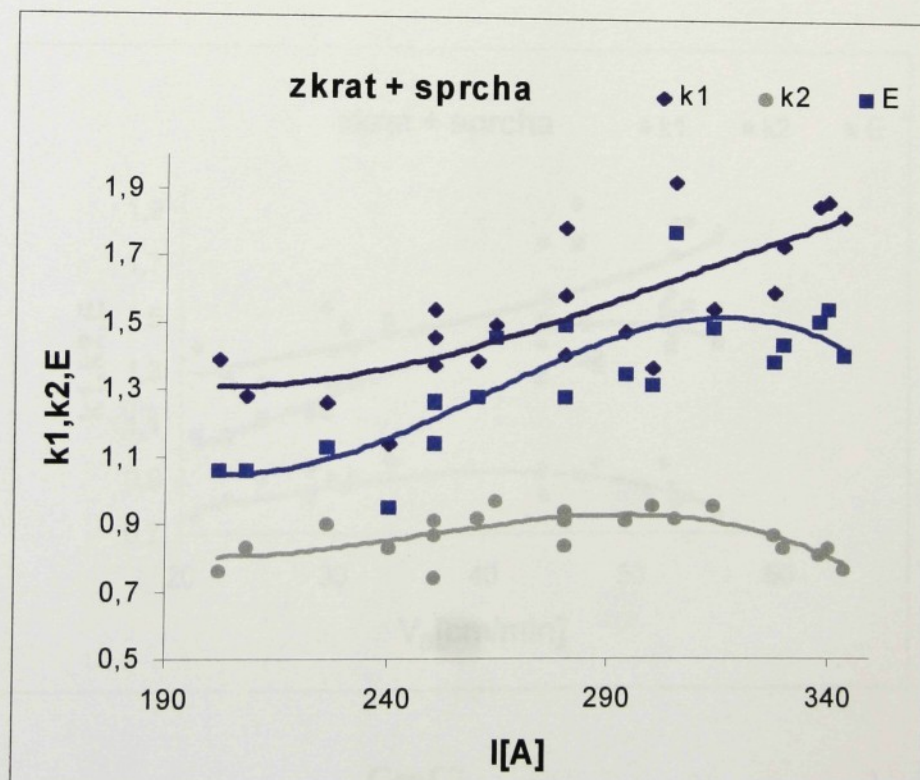
Graf 2



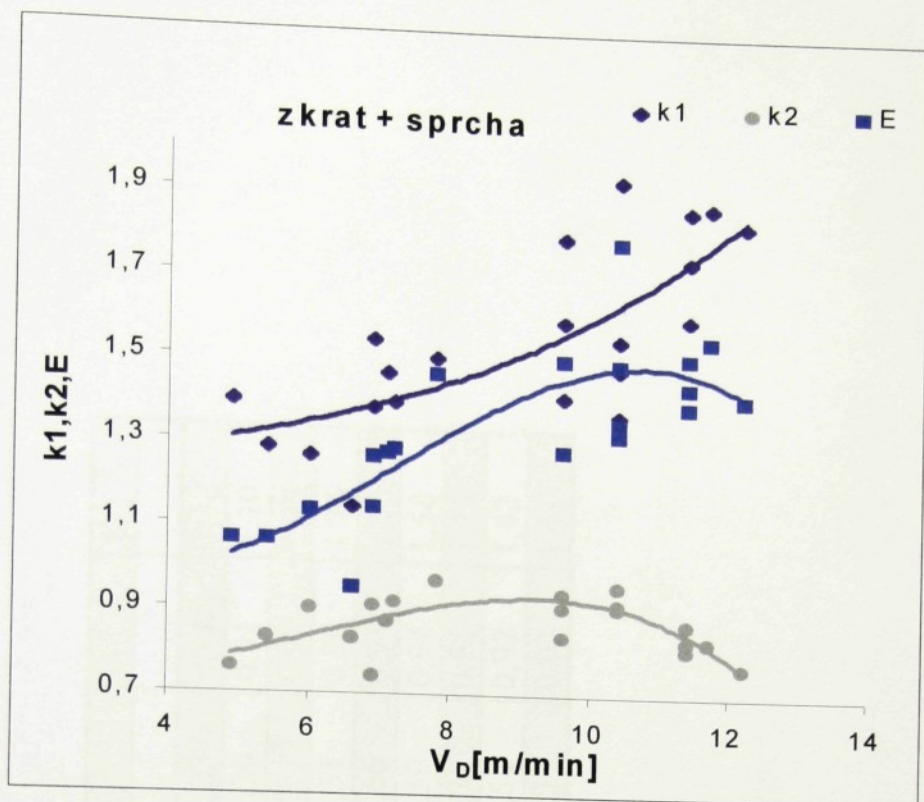
Graf 3



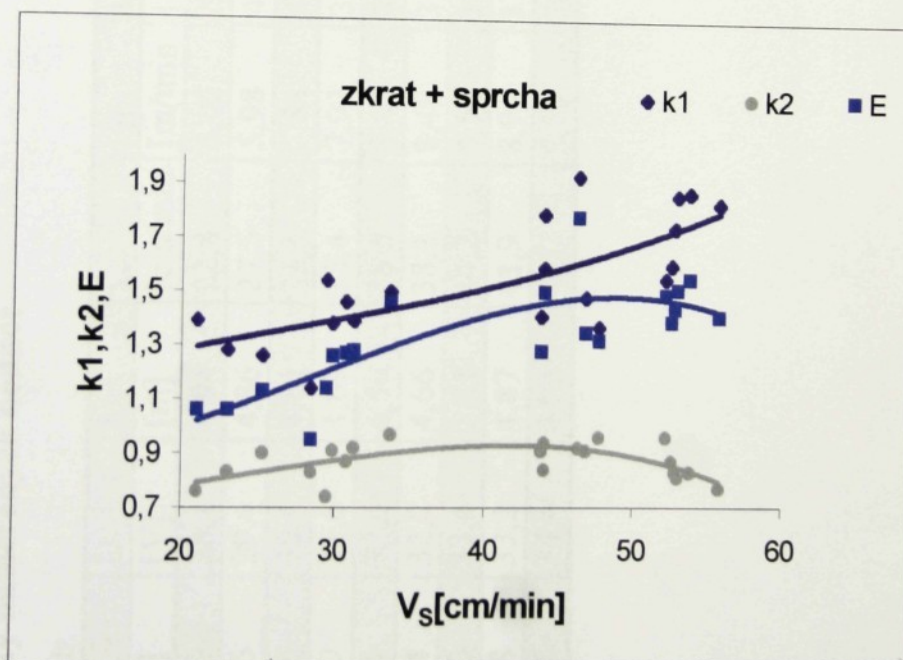
Graf 4



Graf 5



Graf 6



Graf 7

4.2. 1 metodika –pulzní přenos

4.2.1 Tabulky naměřených hodnot

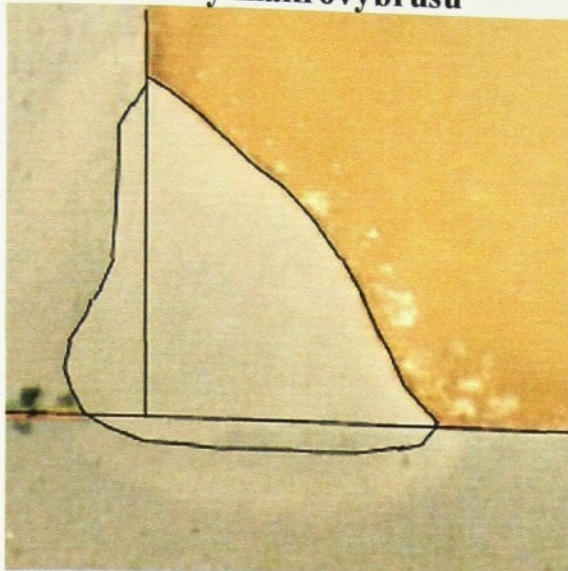
Tab. Č. 3 Pulz

Svar č.	I	U	L	v_s	v_D	t	k_1	k_2	E
	[A]	[V]	[m]	[cm/min]	[m/min]	[s]			
241	200	28,4	4,94	22,8	5,02	57,0	1,23	0,91	1,12
242	226	29,4	4,86	27,5	5,98	47,8	1,20	0,91	1,10
243	256	30,4	4,81	31,3	6,84	41,5	1,32	0,98	1,29
244	280	31,6	4,69	35,4	7,92	36,1	1,31	0,96	1,26
245	304	32,4	4,59	38,5	8,82	32,4	1,66	0,93	1,56
246	294	32,2	4,66	38,1	8,49	33,7	1,59	0,94	1,50
247	310	33,4	5,01	44,2	8,56	31,3	1,37	0,91	1,25
248	318	33,2	4,87	41,9	8,9	31,2	1,54	0,92	1,42
249	338	34,4	4,95	45,7	9,53	30,0	1,53	0,92	1,41

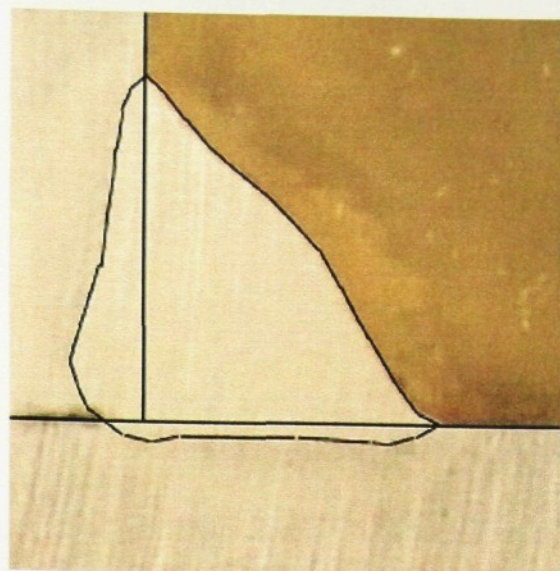
Tab.č. 4 Pulz

Svar č.	b [mm]	c [mm]	v [mm]	z [mm]	z' [mm]	r [mm]	a [mm]	P ₁ [mm ²]	P _p [mm ²]	P _s [mm ²]	P _E [mm ²]
241	6,46	7,47	5,72	0,67	0,67	0,4	5,05	26,6	43,7	29,3	32,7
242	8,07	5,20	5,22	0,67	0,68	0,43	4,55	22,8	41,6	25,1	27,3
243	8,26	5,94	5,87	0,89	0,96	0,25	4,98	26,1	43,5	26,7	34,5
244	6,55	7,85	5,86	0,72	1,76	0,26	5,14	26,2	48,5	27,4	34,3
245	7,58	6,63	6,43	1,34	1,40	0,55	5,09	25,0	49,6	27,0	41,4
246	8,31	6,53	6,69	1,29	1,25	0,50	5,40	28,2	48,7	29,9	44,8
247	7,1	6,31	5,85	0,96	1,23	0,19	4,89	24,9	46,3	27,3	34,2
248	5,44	8,65	6,28	1,45	1,83	0,28	4,83	25,6	50,1	27,9	39,4
249	4,96	9,3	6,24	1,66	1,78	0,28	4,58	25,5	53,6	27,8	38,9

4.2.2 Obrázky makrovýbrusů

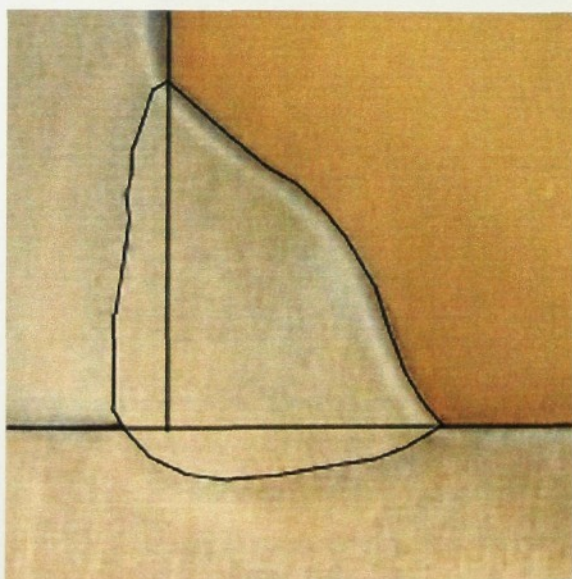


Obr. 48

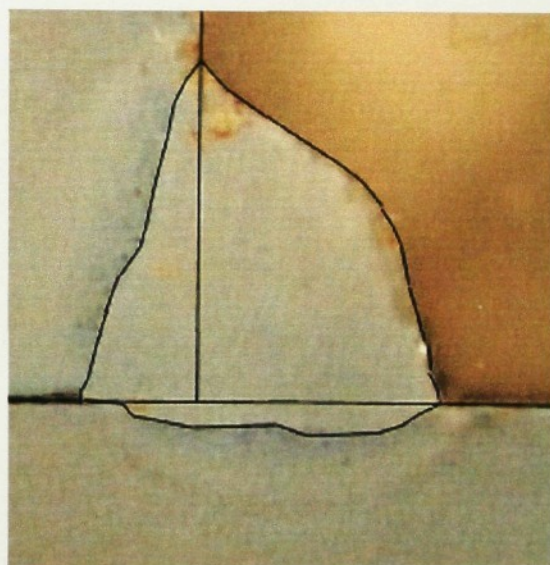


Obr. 49

Svar	251	252
I[A]	208	226
v_s	23,0	25,3
z	0,9	0,73

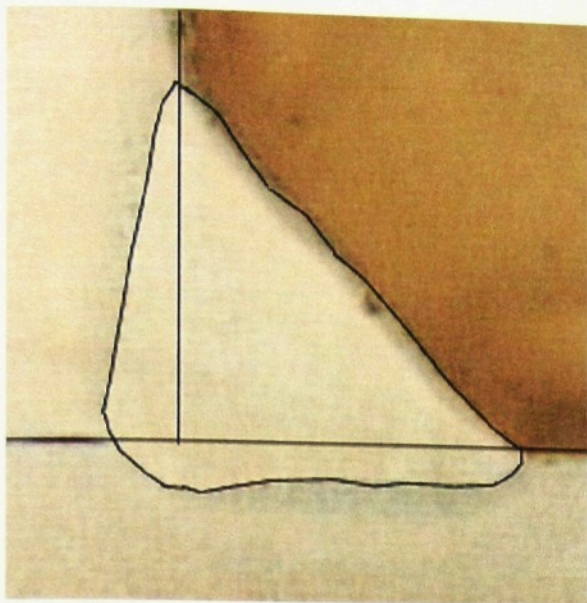


Obr. 50

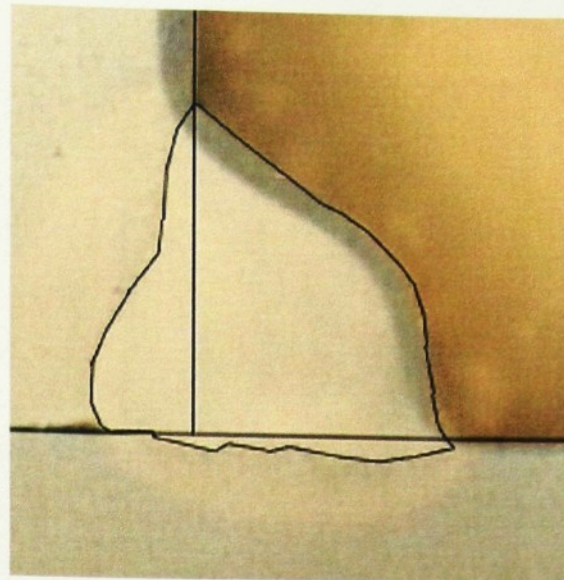


Obr. 51

Svar	253	254
I[A]	240	250
v_s	28,5	29,5
z	0,51	1,35

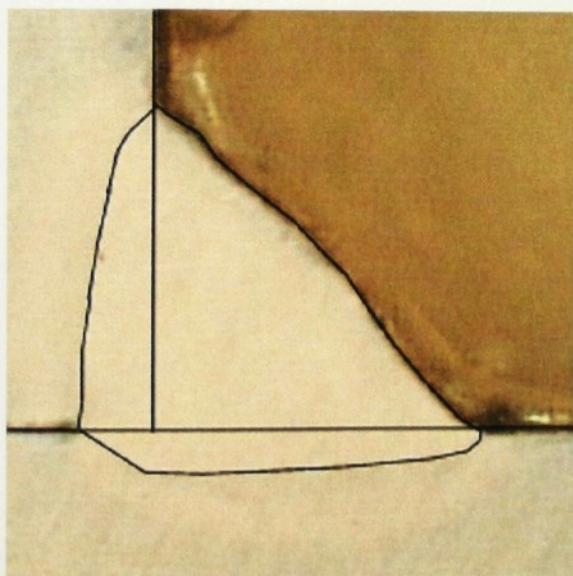


Obr. 52



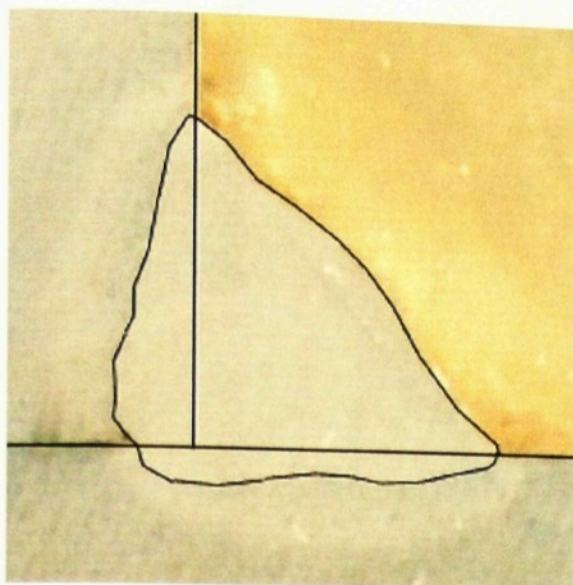
Obr. 53

Svar	257	258
I[A]	264	202
v_s	33,7	21,0
z	1,23	0,89

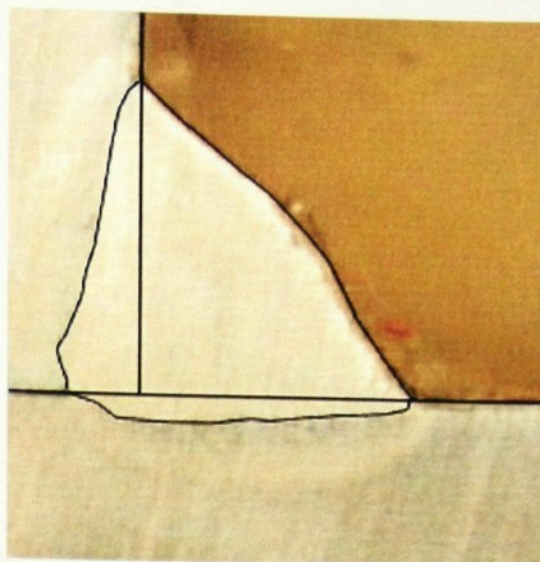


Obr. 54

Svar	259
I[A]	260
v_s	31,3
z	0,89



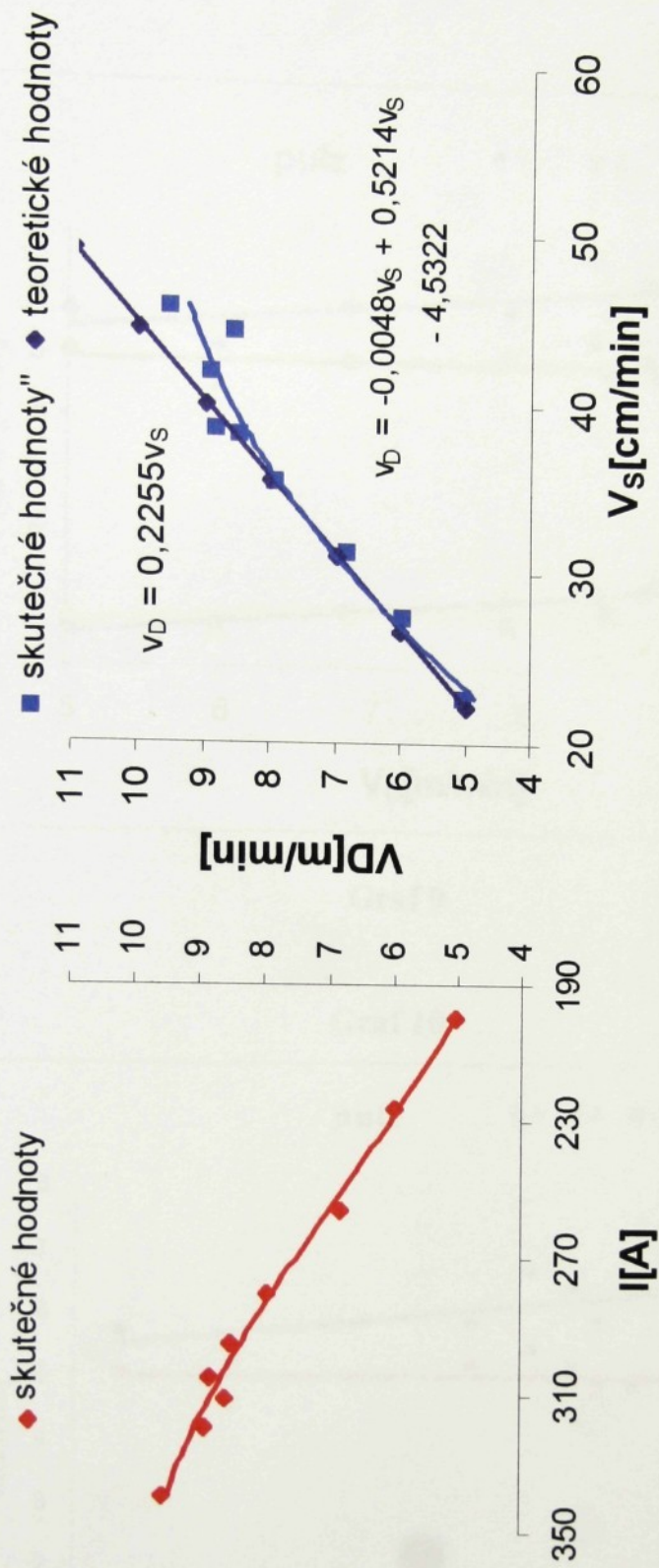
Obr. 55



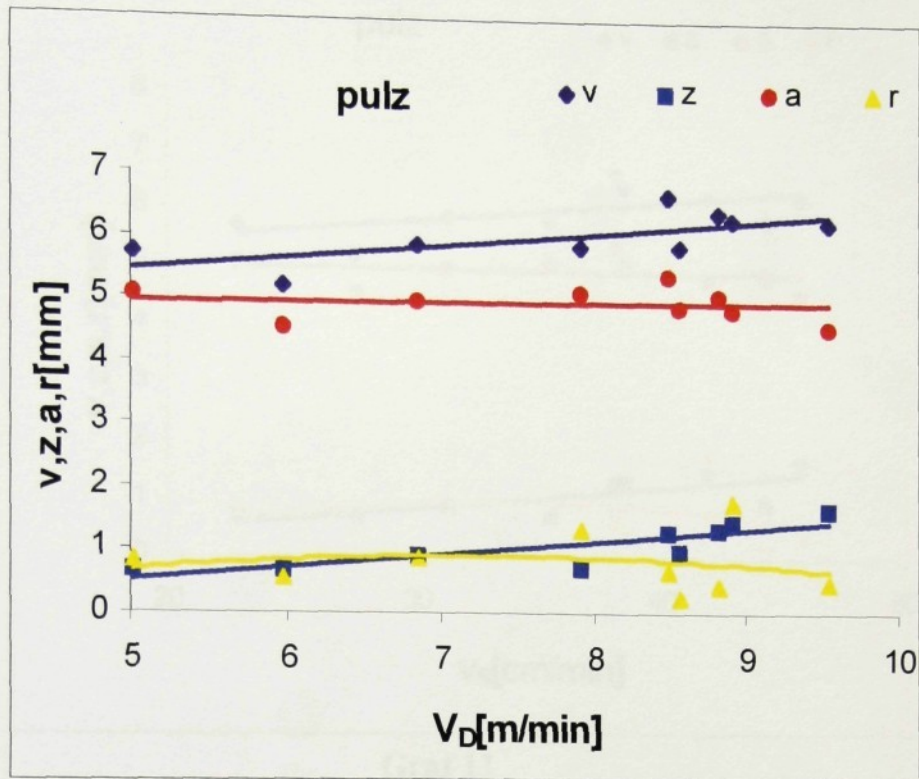
Obr. 56

Svar	255	256
I[A]	250	250
v_s	44,0	47,7
z	1,17	0,95

4.2.3 Grafické výsledky

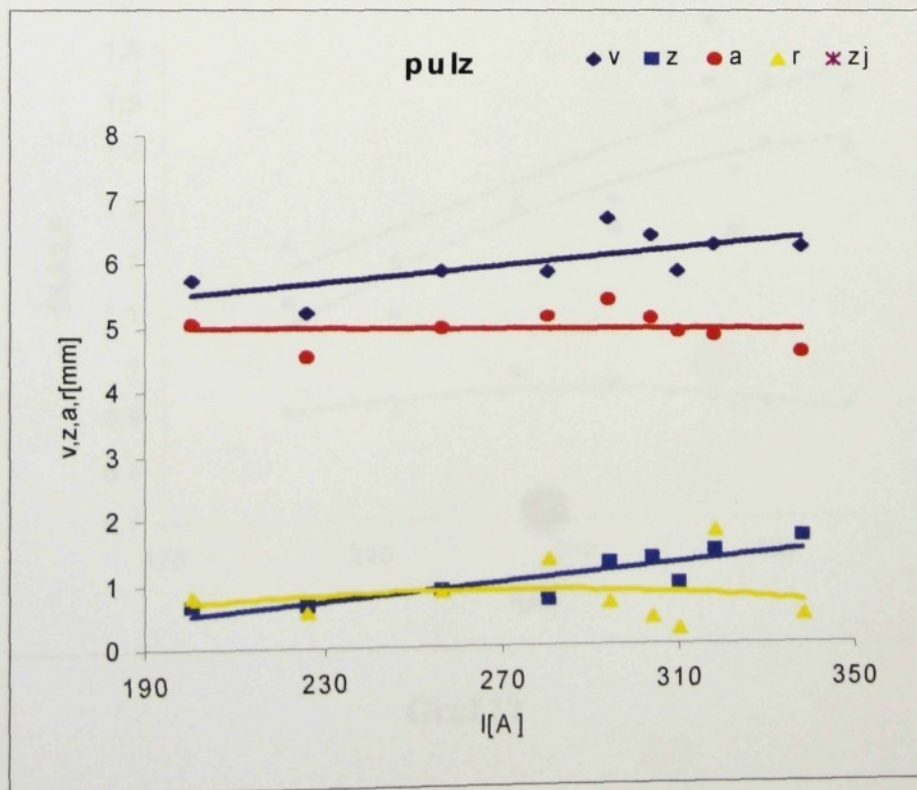


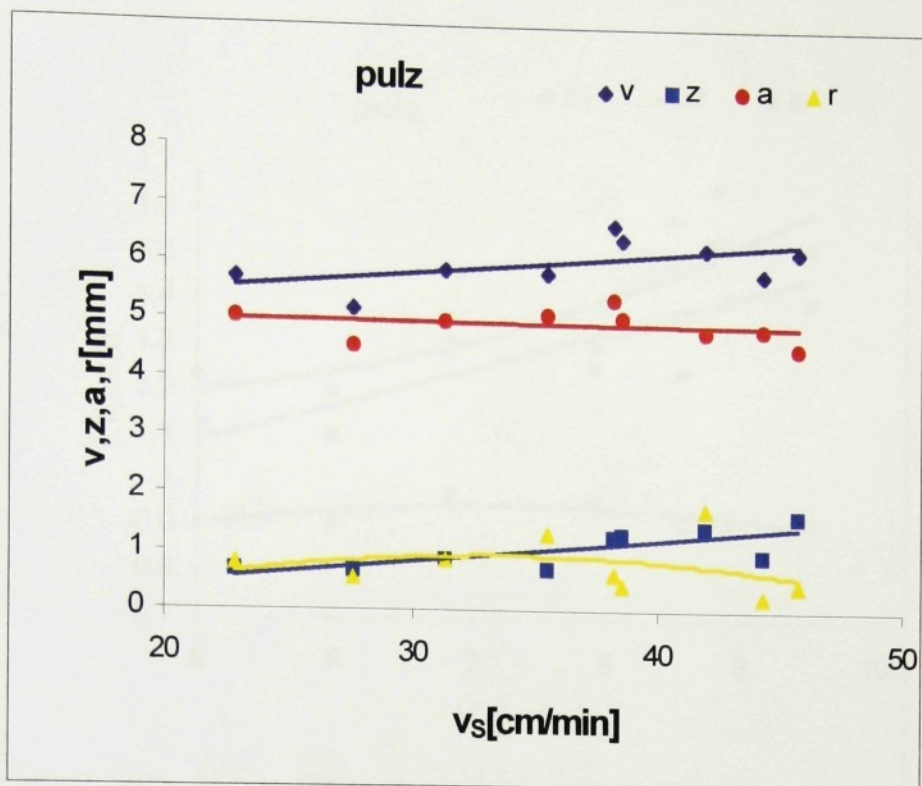
Graf 8



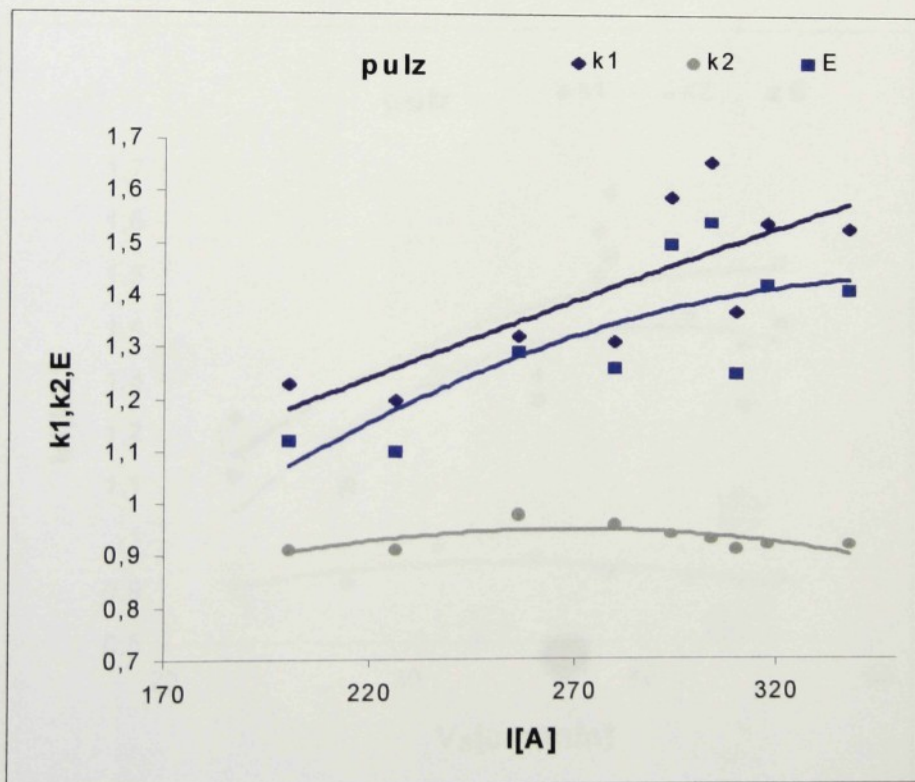
Graf 9

Graf 10

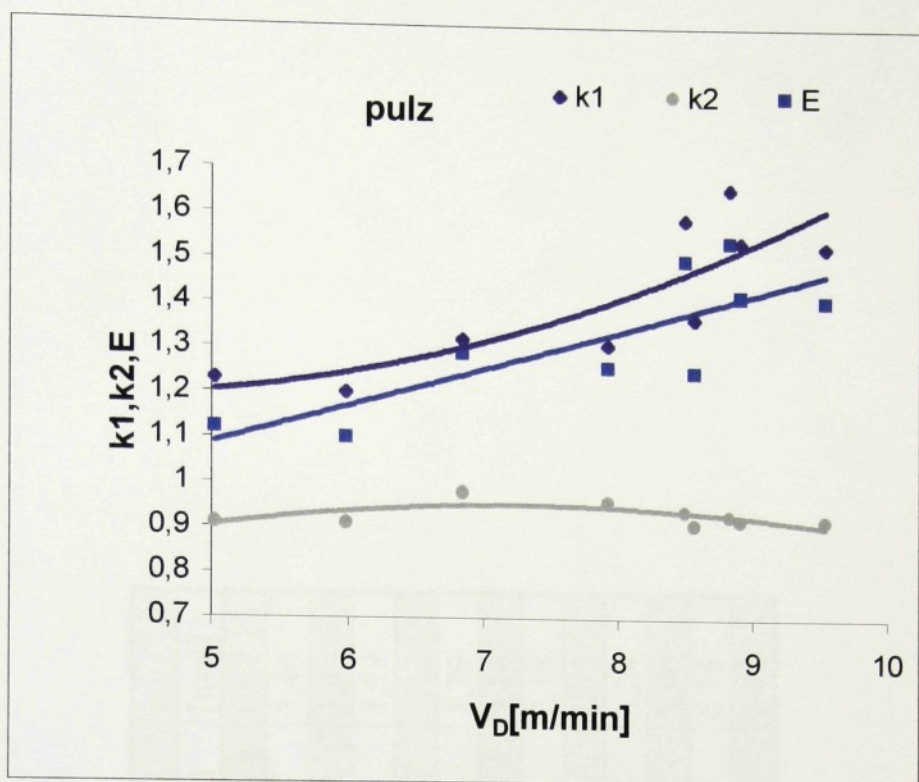




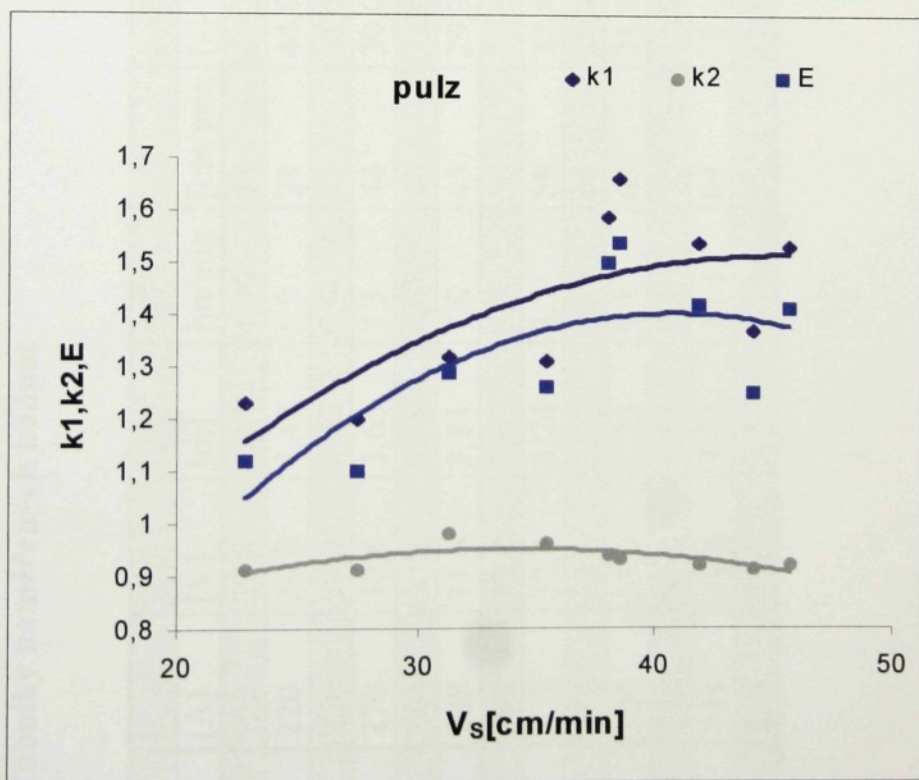
Graf 11



Graf 12



Graf 13



Graf 14

4.3 2.metodika – pulzní přenos

4.3.1 Tabulky naměřených hodnot

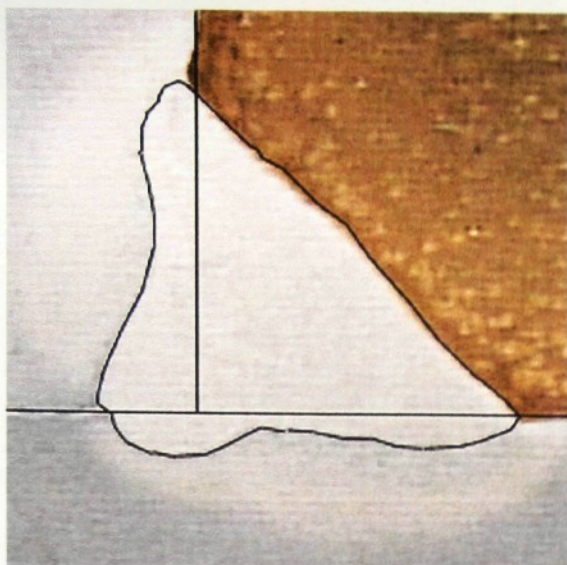
Tab. 5

Svar č..	I	U	L	v_D	v_s^{sk}	t	z	z'
	[A]	[V]	[m]	[m/min]	[cm/min]	[s]	[mm]	[mm]
261	192	27,8	3,37	4,90	31	41,3	0,57	0,67
262	220	29,0	4,42	5,9	29	44,9	1,35	1,40
263	226	29,0	4,08	5,9	31	41,5	1,35	1,40
264	270	30,8	3,65	7,3	44	30,0	1,74	1,79
265	244	30,2	3,58	6,6	40	32,5	1,12	1,12
266	288	31,6	3,81	7,8	45	29,3	1,4	1,79
267	292	32,2	3,67	8,3	50	26,5	2,02	2,10
269	302	32,4	3,24	8,5	58	22,9	1,57	2,18
271	310	32,8	3,07	8,8	65	20,9	2,41	2,47
272	320	33,0	3,23	9,1	63	21,3	1,57	2,24
273	328	33,0	3,55	9,1	57	23,4	2,69	2,80
275	344	34,4	3,54	10,1	64	21,0	1,67	2,75
277	324	33,0	3,35	9,0	60	22,2	1,51	1,85

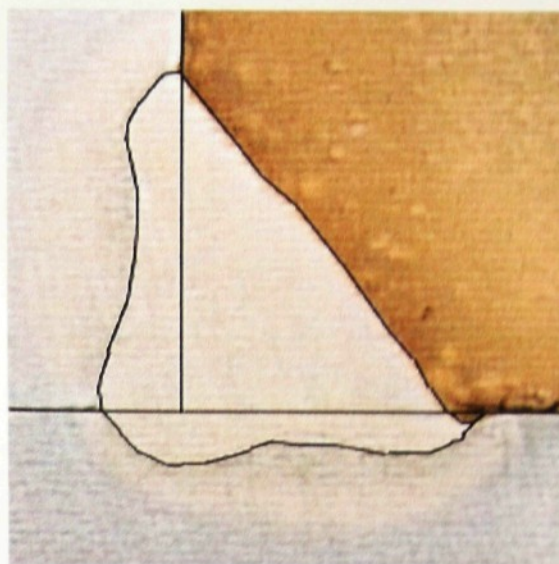
Tab. 6

Svar č.	b [mm]	c [mm]	v [mm]	z [mm]	z' [mm]	r [mm]	a [mm]	P _I [mm ²]	P _p [mm ²]	P _s [mm ²]	P _E [mm ²]
261	5,73	6,00	4,83	0,57	0,67	0,44	4,26	18,2	29,6	20,1	23,3
262	6,89	7,23	6,45	1,35	1,40	0,30	5,10	26,0	40,8	29,6	41,6
263	6,22	7,22	6,17	1,35	1,40	0,28	4,82	23,2	39,3	24,0	38,1
264	5,87	5,66	5,94	1,74	1,79	0,33	4,20	17,6	35,6	19,6	35,3
265	6,06	5,97	5,49	1,12	1,12	0,28	4,37	19,1	34,4	20,6	35,3
266	6,27	6,46	6,05	1,40	1,79	0,20	4,65	21,6	39,5	21,9	36,6
267	5,66	6,25	6,28	2,02	1,96	0,28	4,26	18,2	38,5	19,6	39,4
269	5,71	6,04	5,94	1,57	2,18	0,67	4,37	19,1	37,2	19,7	35,3
271	4,43	6,70	6,28	2,41	2,47	0,56	3,87	15,0	33,6	17,6	39,4
272	6,44	5,49	5,49	1,57	2,24	0,61	3,92	15,4	37,1	18,6	30,1
273	5,66	6,60	7,12	2,69	2,80	0,33	4,43	19,6	40,4	20,4	50,7
275	5,68	5,28	5,66	1,67	2,75	0,56	3,99	15,9	40,2	18,1	32,0
277	5,99	5,66	5,77	1,51	1,85	0,28	4,26	18,2	38,9	18,9	33,3

4.3.2 Obrázky makrovýbrusů

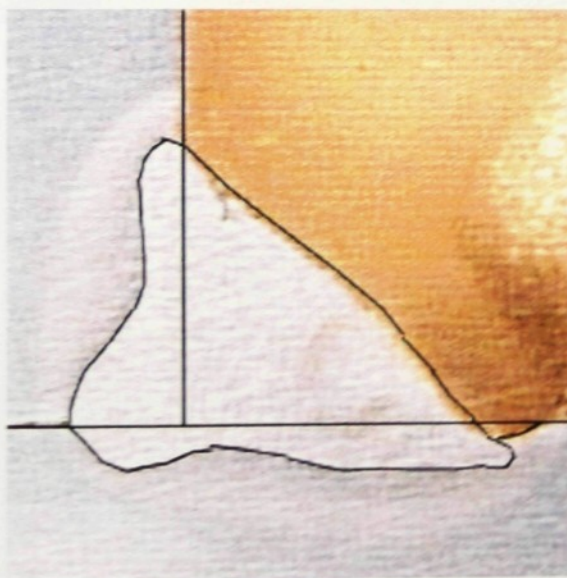


Obr. 57

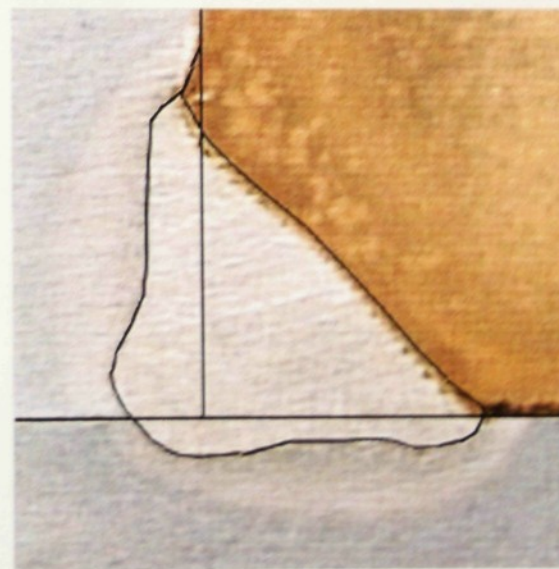


Obr. 58

Svar	262	263
I[A]	220	226
v_s	29	31,0
z	1,35	1,35

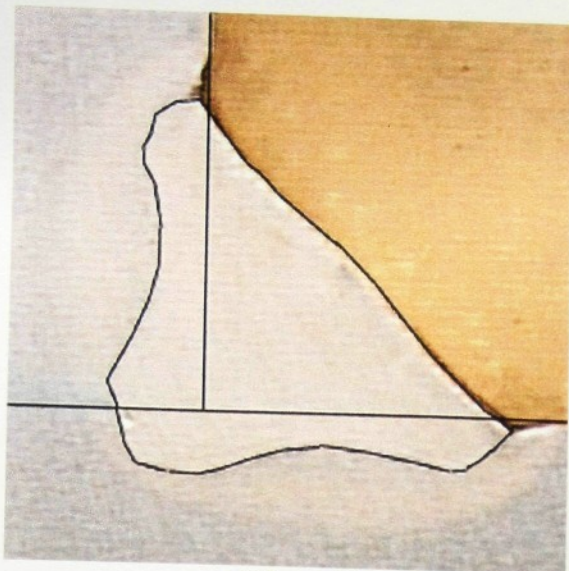


Obr. 59.

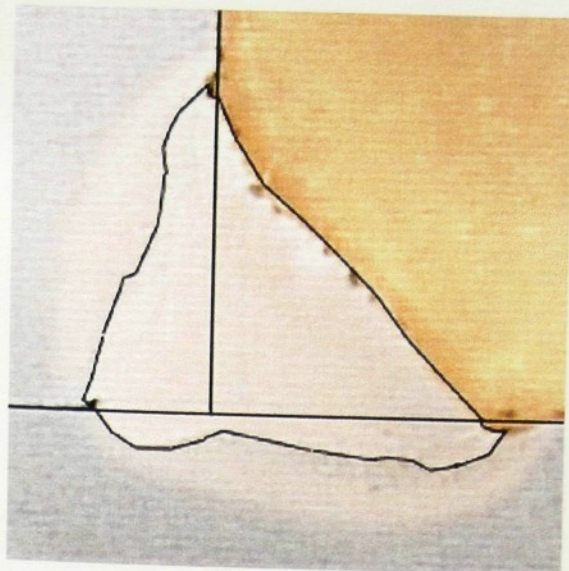


Obr. 60

Svar	264	265
I[A]	270	244
v_s	44,0	40,0
z	1,74	1,12

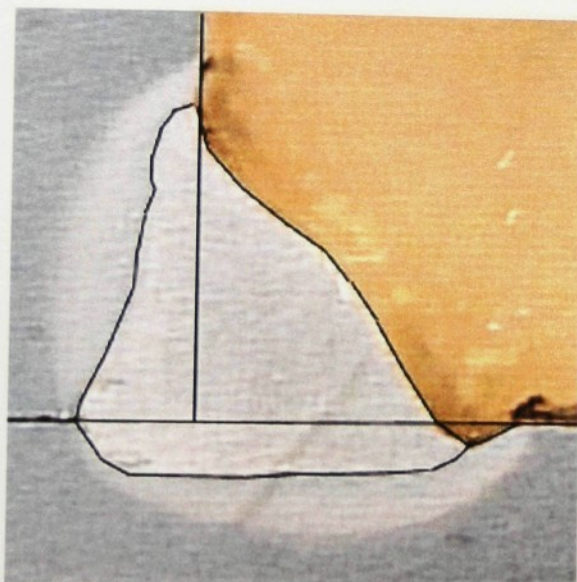


Obr. 61

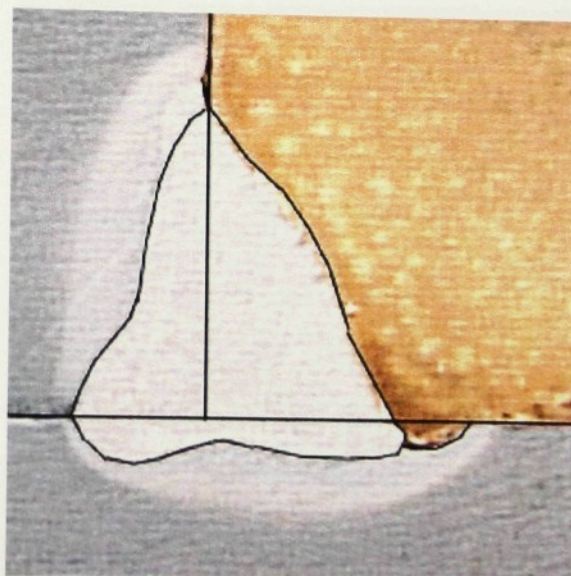


Obr. 62

Svar	266	267
I[A]	288	292
v_s	45	50
z	1,4	2,02

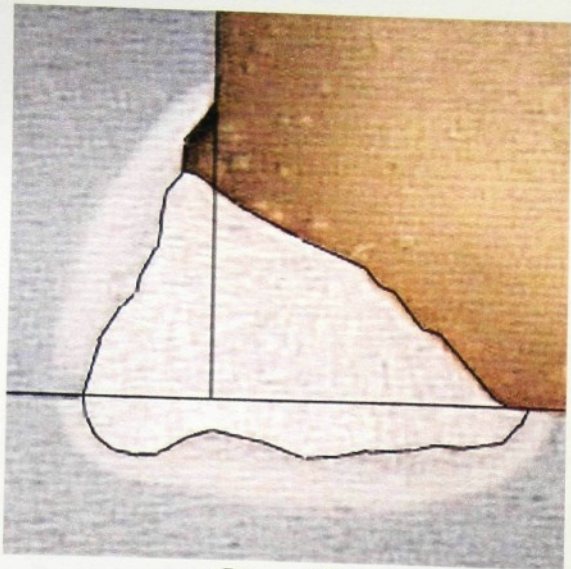


Obr. 63

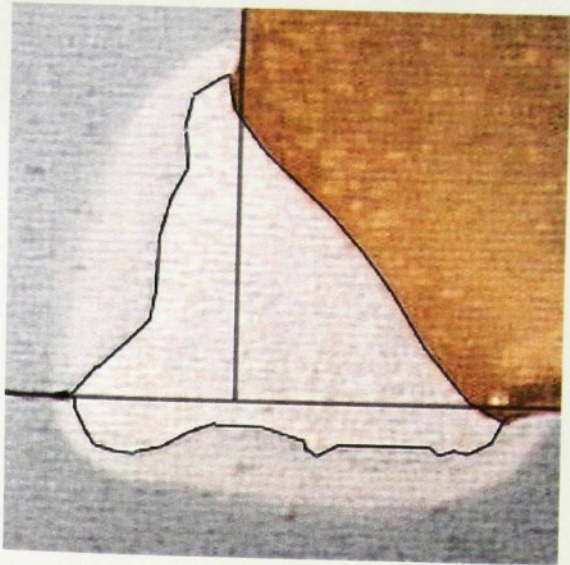


Obr. 64

Svar	269	271
I[A]	292	302
v_s	58	65
z	1,57	2,41

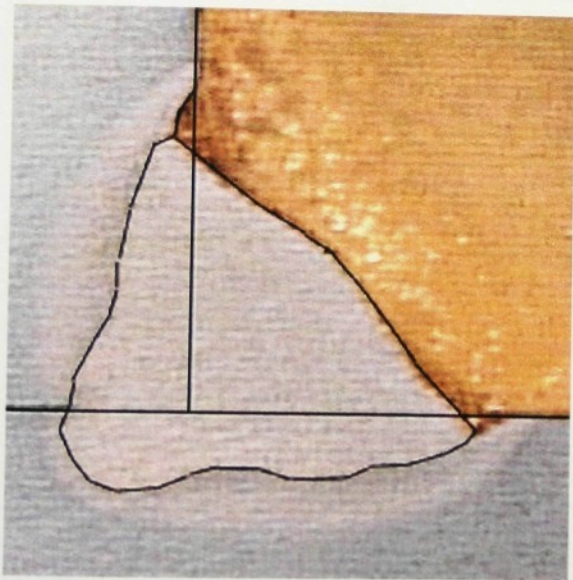


Obr. 65

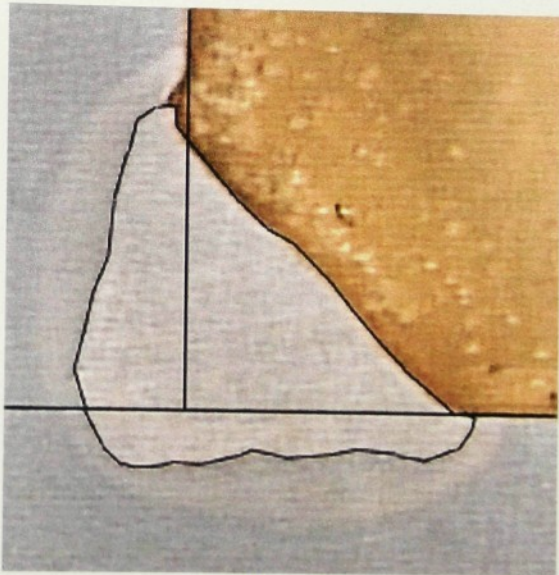


Obr. 66

Svar	272	273
I[A]	320	328
v _s	63	57,0
z	1,57	2,69

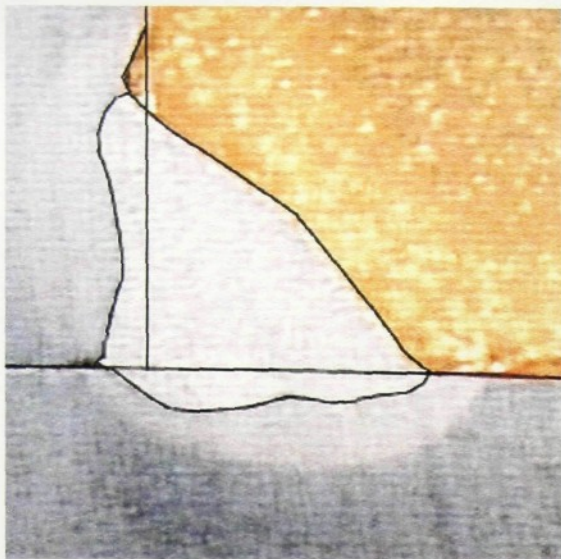


Obr. 67



Obr. 68

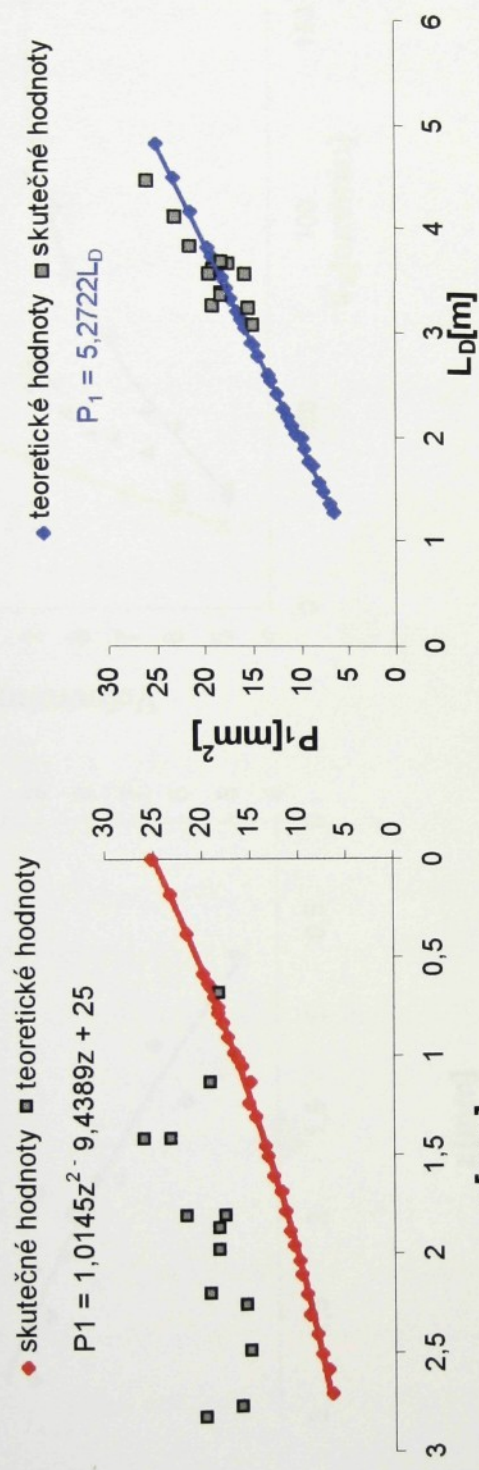
Svar	275	277
I[A]	344	324
v _s	64,0	60,0
z	1.67	1,51



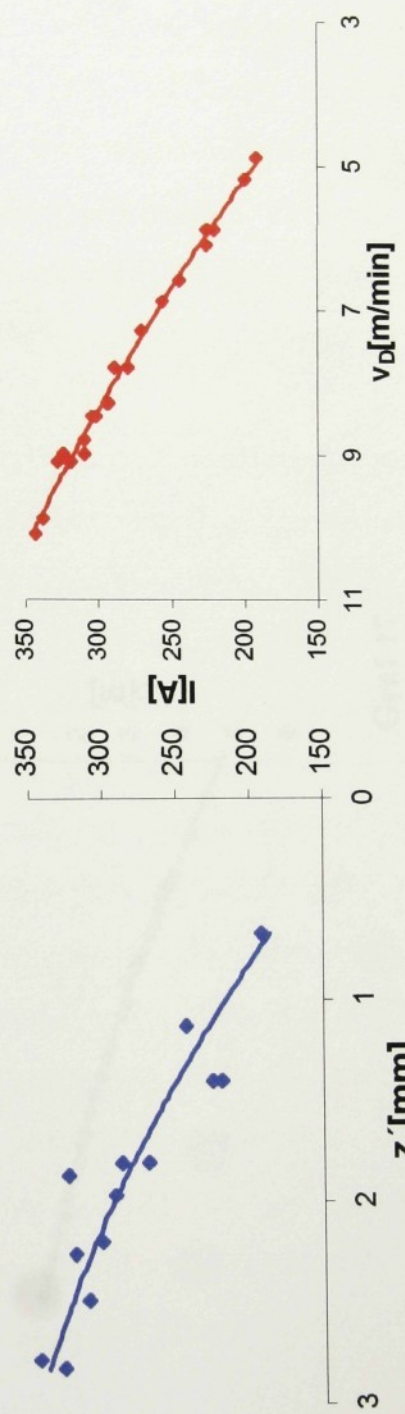
Obr. 69

Svar	261
I[A]	192
v_s	31
z	0,57

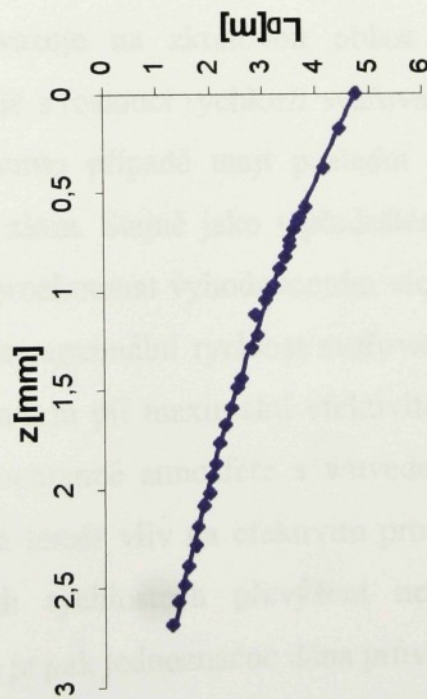
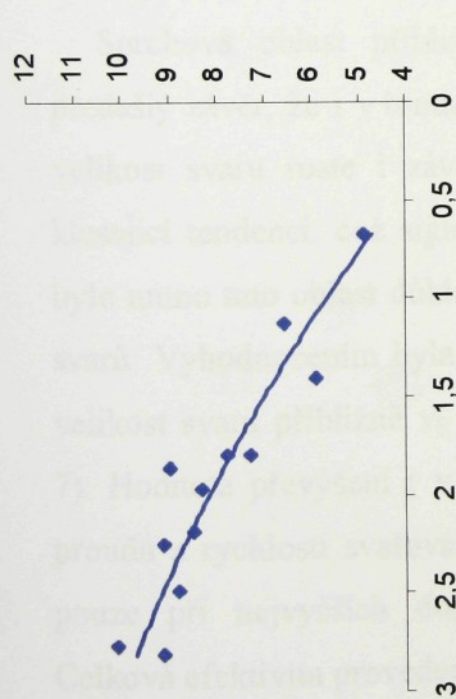
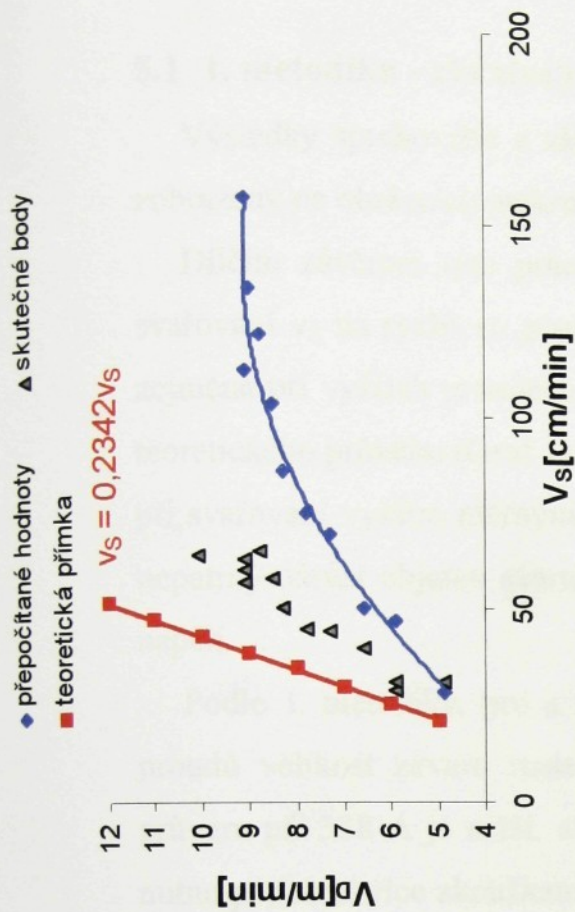
4.3.3 Grafické výsledky



Graf 15



Graf 16



Graf 17

5. ZÁVĚR

5.1 1. metodika - zkratový a sprchový přenos

Výsledky sprchového a zkratového režimu jsou shrnuty v tabulkách 1,2, zobrazeny na obrázcích makrovybřusů 36 - 47a v grafech 1 - 7.

Dílicím závěrem této práce bylo stanovení skutečné závislosti rychlosti svařování v_s na rychlosti posuvu drátu v_D pro danou velikost svaru, které se zejména při vyšších proudcích a tím i vyšším vneseném teple nepatrně liší od teoretického průběhu (Graf 1). Důvodem je vyšší osové tahové napětí ve svaru při svařování vyšším měrným teplem a vyšší rychlosti svařování. Tím vzniká nepatrný nárůst objemu svaru po jeho rozřiznutí, v důsledku uvolnění tohoto napětí.

Podle 1. metodiky, pro $a = 5\text{ mm}$, jsem zjistila, že v použitelném rozsahu proudů velikost záváru roste s velikostí rychlosti, teprve poslední hodnota průvaru při 338 A je nižší, ale jestli v tomto bodě už nastává zlom, by bylo nutno prokázat více zkouškami v této oblasti a při vyšších proudcích.

Sprchová oblast přibližně navazuje na zkratovou oblast a potvrzuje předešlý závěr, že i v tomto případě s rostoucí rychlosti svařování pro danou velikost svaru roste i závár. V tomto případě mají poslední dvě hodnoty klesající tendenci, což signalizuje zlom. Stejně jako v předešlém případě bylo nutno tuto oblast důkladněji prozkoumat vyhodnocením více zkušebních svarů. Vyhodnocením byla zjištěna maximální rychlost svařování pro danou velikost svaru přibližně $v_s = 50\text{ cm/min}$ při maximální efektivitě svaru (Graf 7). Hodnota převýšení $\bar{r}$ v dané ochranné atmosféře a v uvedeném rozsahu proudů a rychlosti svařování nemá téměř vliv na efektivitu provedení svaru, pouze při nejvyšších dosažených rychlostech převýšení nepatrně roste. Celková efektivita provedení svaru je pak jednoznačně dana průvarem.

5.2. 1 Metodika - pulzní přenos

Výsledky pulzního přenosu jsou uvedeny v tabulkách 3, 4, zobrazeny na obrázcích makrovýbrusů 48 - 56 a v grafech 8 – 14.

Podobně jako ve vyhodnocení sprchového a zkratového přenosu se ukázalo, že pro danou velikost svaru roste závar téměř v celém využitelném rozsahu parametrů nastavených na použitých zdrojích. Převýšení svaru v celém rozsahu proudů je téměř konstantní.

Pro pulzní režim se nám jednoznačně nepotvrdil předpoklad dosažení limitní rychlosti efektivního svařování, pro danou velikost svaru. Pouze k mírnému poklesu efektivity dochází za hodnotou rychlosti svařování $v_s = 42$ cm/min (graf 14), což by se muselo potvrdit větším počtem zkoušek.

5.3. 2. metodika – pulzní přenos

Výsledky 2. metodiky pro pulzní přenos jsou uvedeny v tabulkách 5,6, zobrazeny na obrázcích makrovýbrusů 57 - 68 a v grafech 15 - 17.

Skutečné výsledky jsou zaznamenány ve formě jednotlivých bodů zanesených do teoretických grafů. Z grafu 15 vyplývá, že pouze dva body se blíží teoretické křivce optimální velikosti svaru pro daný závar. Graf 17 uvádí závislosti rychlosti svařování v_s na rychlosti posuvu drátu v_D v závislosti na skutečném závaru z a teoretické délce drátu L_D . Pro potvrzení těchto závislostí by bylo nutno provést velké množství zkoušek, tzn. pro určitý proud volit různé rychlosti svařování. Při potvrzení těchto závislostí by bylo možno určit maximální rychlost svařování pro danou velikost svaru a určit velikost závaru a potřebné délky drátu. Tyto grafy budou použity jako výchozí pro provedení další série zkoušek.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Radek Uřík – Porovnání efektivit metod svařování MAG s využitím monitorování, Technická Univerzita, Liberec, 1997
- [2] Martin Kovalina – Porovnání efektivit MAG svařování trubčkových a plynými dráty, Technická univerzita
- [3] Jaroslav Tměj, H. Neumann, S. Jenší – Teorie svařování, Liberec, 1990
- [4] Firemní materiály firmy AGA – Facts about: MIG/MAG Welding
- [5] Róbert Koptíva – Technológia zvarania v ochranných plynoch metódou MIG, Bratislava 1984
- [6] Kuncipal – Nové technologie ve svařování, SNTL 1984
- [7] Propagační materiály firmy Linde – Ochranné plyny pro svařování
- [8] Schweissen and Schneiden, Heft 12
- [9] Zdeněk Hudec – (referát) Efektivita obloukového svařování
- [10] ČSN 050120