

1. Návod

Svařování elektrickým obloukem svorníků s hrotovým zážehem je využíváno kvůli vysoké úspornosti a hospodárnosti pro upevňování ocelových součástí. Velmi krátký svařovací čas, tzn. velmi málo milisekund, vyplývá z rychlého vybití kondenzátorů, čímž vzniká svařovací proud až 10.000 A .

Elektrický oblouk, dále jen EO, nataví geometricky přesně definovaný zážehový hrot a tento odtaví. Zároveň dojde k pohybu svorníku směrem k podkladnímu plechu, čímž je svorník přivařen a dojde ke spojení s podkladním plechem.

Z toho vyplývá dynamika celého procesu, která může být provázena různými, svar negativně ovlivňujícími, faktory. Dohromady tvoří tyto komplexní souhrn ovlivňujících parametrů a při změnách na hraničních nastavení může dojít ke zhoršení kvality svarů, nepravidelnosti provedených spojů. Tyto jsou známy a z velké části popsány normou ČSN EN ISO 14555.

Tato zpráva popisuje vliv pohybu svorníku vedoucího ke spojení s podkladním plechem.

K provedení zkoušek byly použity nová svařovací zařízení pro přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem, s různými možnostmi nastavení s ohledem na průběh a kvalitu svařovacího procesu.

Svařováno bylo na legovanou i nelegovanou ocel a hliník, přičemž byla provedena optimalizace svařovacího procesu.

V okruhu dalšího zájmu byl rozstřík taveniny a jeho vzhled. Toto bylo zkoušeno se známým a doporučeným nastavením dobíjecího napětí. Také byl posuzován posun/ chod svorníku s ohledem na rozstřík a optimalizace procesu.

Nedostatek rozstříku ve svařovací oblasti a ovlivněné zóně má vliv na kvalitu svaru, proto byly posuzovány možnosti předcházení chybám.

Na základě zjištění budou naznačeny kroky, vedoucí k omezení snížené kvality svarů po stránce jak vizuální, tak pevnostní. Zkoušeny přitom budou různá dobíjecí napětí, rychlost pohybu svorníků, velikosti přitlaků a zdvihu svařovací pistole s ohledem na svařovací čas.

Dále bude posuzována geometrie svorníků, kvalita podkladního plechu, materiál svorníků a průměry, a jejich vliv na proces.

Pohyb svorníků, jenž má vliv na svařovací čas, musí být takový, aby bylo dosaženo svařovacího času mezi 0,5 – 3 msec tak, aby došlo ke spojení svorníku s podkladním plechem.

Použitelnost této technologie v různých oborech a různých druzích průmyslu má především vliv poměrně nízká investice, vysoká kadence a při správném použití i vysoká pevnost takto vzniklých svarů.

Přivařování svorníků je díky ručním a přenosným zařízením použitelné i v malých a středních provozech pro upevňování skleněných elemntů na fasády, na podkladní konstrukce, přičemž ani u tenkých plechů nedojde k jejich viditelnému poškození z pohledové strany. Takového výsledku může být dosaženo pouze s použitím technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem, kdy dochází k minimálnímu tepelnému ovlivnění plechu.

Monitorování kvality svarů kontrolou procesu (velikost svařovacího proudu a napětí) je nutné s ohledem na zajištění kvality svarů.

Také nesmí zůstat bez povšimnutí i pohyb svorníků a jeho vliv na svařovací proces, přičemž je důležitá především rychlost pohybu.

Praktické nasazení této technologie bude posuzováno na základě těchto témat:

- průběh procesu
- kvalita spojů
- vyvarování se chyb
- vliv materiálu svorníku i podkladního
- reprodukovatelnost, opakovatelnost, procesu

Předmětem těchto zkoušek je řízení procesu s ohledem na různé požadavky ovlivňující celý průběh svaru.

Posuzovány budou také kvalitativní požadavky a chyby, jako póry, sklon ke vzniku trhlin, apod.

2. Postup

2.1 Stanovení úkolů

Podle simulací různých podmínek, bude měněn a nastavován různý zdvih/ přítlak s ohledem na rozstřík taveniny.

Předmětem zájmu a otázek jsou hlavně tvar a geometrie zážehového hrotu, povrch materiálu a přítlak nebo síla přítlaku při kontaktu svorníku s plechem.

Mimo reprodukovatelnost bude posuzováno také chování svorníku při zatěžování statickým zatížením. S ohledem na tuto skutečnost bude zjišťován vliv rozdílnosti mechanismů zajišťujících tento pohyb.

Tyto pracovní body budou prošetřovány:

- odzkoušením a posouzením mechanismů zajišťujících pohyb ve svařovacích pistolích a hlavách
- variace pohybu svorníku při zabezpečení procesu a optimalizace postupů zajišťujících pohyb
- zjišťování vlivu materiálu na vady jako póry, makro rozbor rozstříku taveniny u legované i nelegované oceli

- hodnocení vylepšení a opakovatelnosti svarů pomocí metalografických i mechanických zkoušek

Cílem je řízení svařovacího procesu na základě znalosti chování taveniny, rozstříku materiálu během procesu, jako i vnoření svorníku a tuhnutí tavné lázně. Také budou posuzovány a navrženy vylepšení s ohledem na výsledek.

2.2 Program

Pracovní bod	Téma	Body zkoumání
1	Zjišťování pohybových mechanismů a určení parametrů	Pohybová mechanika, síla přítlaku, rychlost pohybu, impuls síly při kontaktu
2	Druhy postupů, základní zjišťování průběhu svaru na nelegovanou ocel	Vliv rychlosti na čas hoření EO, svařovací energii, kvalita svarů při statickém zatížení, svorníky, povrch materiálu
3	Druhy postupů a optimalizace průběhu svaru na legovanou ocel	Geometrie taveniny, forma a tvar oblasti svaru, vyobrazení pórů a rozstříku, svařovací energie, ochranná atmosféra
4	Viz. bod 3 při použití na hliník	Tvar a geometrie svaru, polarita, póry a rozstřík taveniny, svařovací energie, chování při zatížení, ochranná atmosféra
5	Vliv materiálu na svařovací proces	Zjišťování lomů, trhlin, oxidace povrchu materiálu, hloubka vnoření (kořen svaru)
6	Zjišťování opakovatelnosti pro různé mechanismy zajišťující pohyb, ocelový materiál	Pevnostní vlastnosti (statické), tahový a ohybový moment, ostatní zkoušky
7	Opatření vedoucí k zajištění jistoty kvality, analýza procesu, kontrola zabavení plechu	Zařízení (mobilní i stacionární), hlídání procesu

3. Stav techniky/ teorie

Svařování elektrickým obloukem hrotovým zážehem je určeno pro svorníky s i bez závitů jako i jiné části na železné i neželezné kovy. Řadí se mezi tlakové svařování elektrickým obloukem a má následující výhody:

- * vysokou hospodárnost díky krátkému svařovacímu času a relativně cenově dostupnému vybavení
- * možnost vysoké mechanizace a automatizace procesu
- * není nutné vrtání pro upevnění věcí na plech
- * nízké nároky na zručnost obsluhy
- * svařování možné i na tenké plechy
- * potřeba přístupnosti pouze z jedné strany plechu
- * dobrá statická pevnost spojů

Přivařování svorníků hrotovým zážehem je specifikováno tím, že dojde k zapálení malého, přesně definovaného hrotu. K dosažení potřebného vysokého svařovacího proudu je využito kondenzátorových baterií, které se předtím dobíjí. Svařovací lázeň je rozšířena na svorník i plech vlivem pohybu svorníku, čímž dojde k jejich spojení.

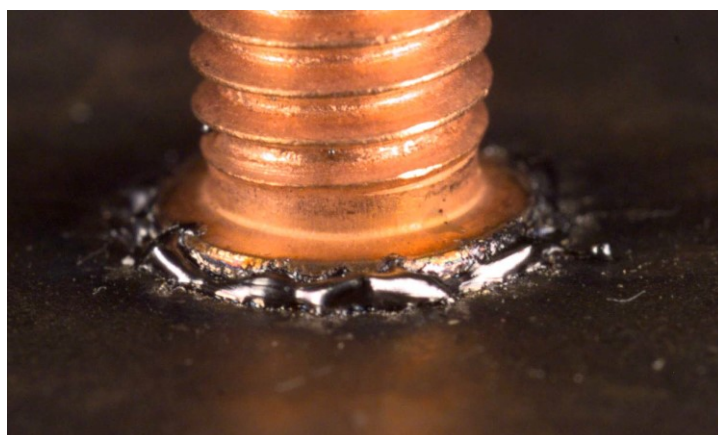
Přivařování hrotovým zážehem se rozlišuje v závislosti na druhu pohybu svorníku při hoření EO a je rozděleno na dvě varianty, a to kontaktní svařování a svařování zdvihové. Pro rozdílné užití jsou k dispozici různé typy svorníků. Spojení svorníku s plechem je zajištěno pohybem svorníku ve směru k plechu.

Obr. 1 zobrazuje volbu různým svorníků ve standardním provedení, které se liší materiálovým provedením, tvarem a průměrem. Rozdílné rozměrově jsou rovněž zážehové hroty v závislosti na průměru svorníku.



Standardně používané svorníky

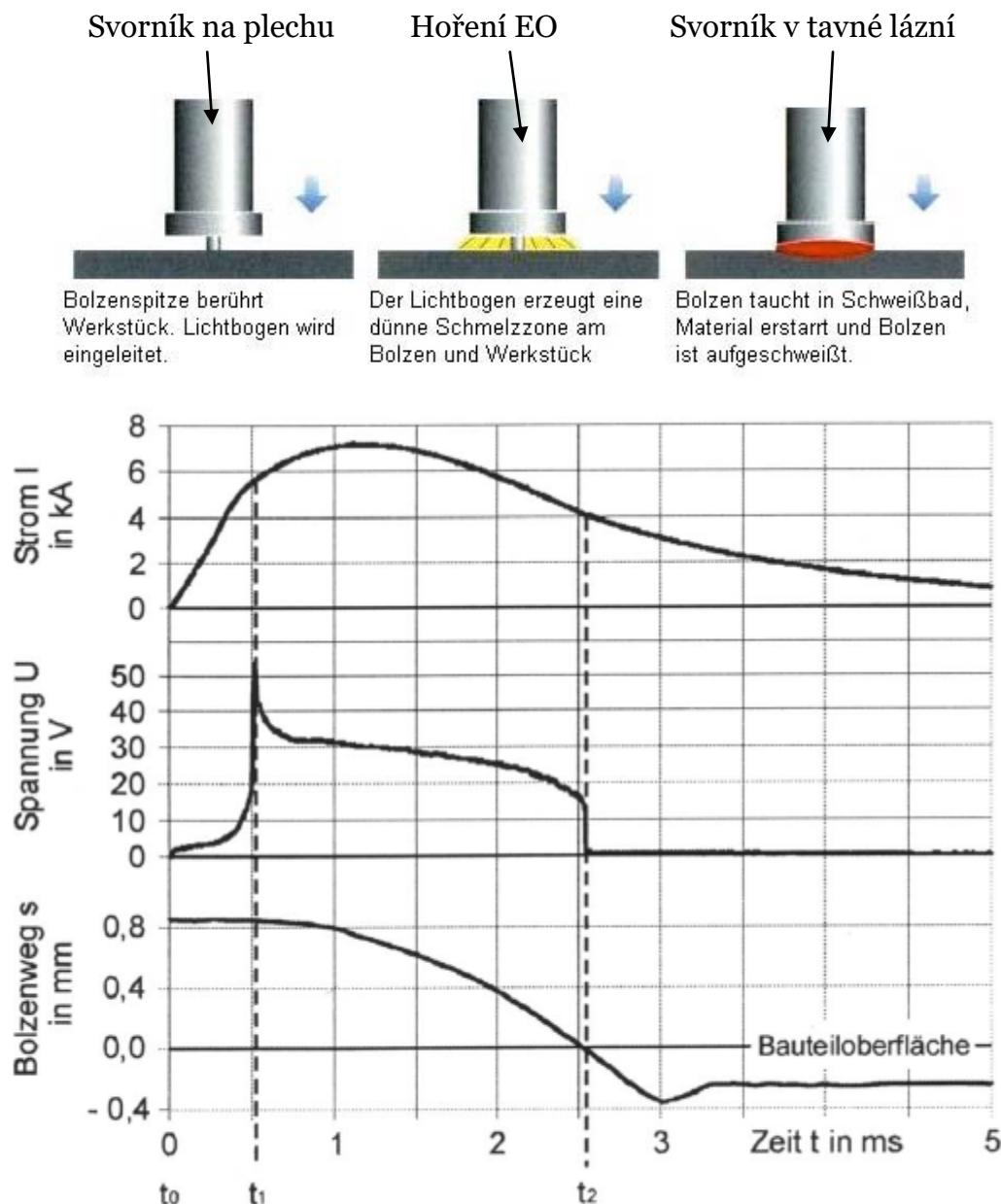
Obr. 2 zobrazuje přivařený svorník z nelegované oceli. Povrch svorníku je pomědění (ochrana proti korozi). Svar kolem svorníku je dobrý a vyhovující.



3.1 Postup kontaktního svařování

Při této variantě je mechanicky pomocí tlaku přítlačné pružiny svorník tlačěn proti základnímu materiálu. Svorník je osazen na plech v pistoli a má minusový pól, zemnicí kabelace se upne k plechu a má pól plusový. Po elektrickém kontaktu svorníku na plechu vznikne zkrat a dojde vybití kondenzátorů. K tomuto vybití dojde ve velmi krátkém čase, přičemž vzniká velký svařovací proud. Výsledkem je odporové zahřátí zážehového hrotu, který se ohřeje a následně dojde k hoření EO, přičemž vzniká vysoký svařovací proud až 10.000 A. Svařovací čas je podle velikosti kondenzátorových baterií 3 – 5 msec.

Na obr. 3 jsou vyobrazeny jednotlivé fáze kontaktního svařování.



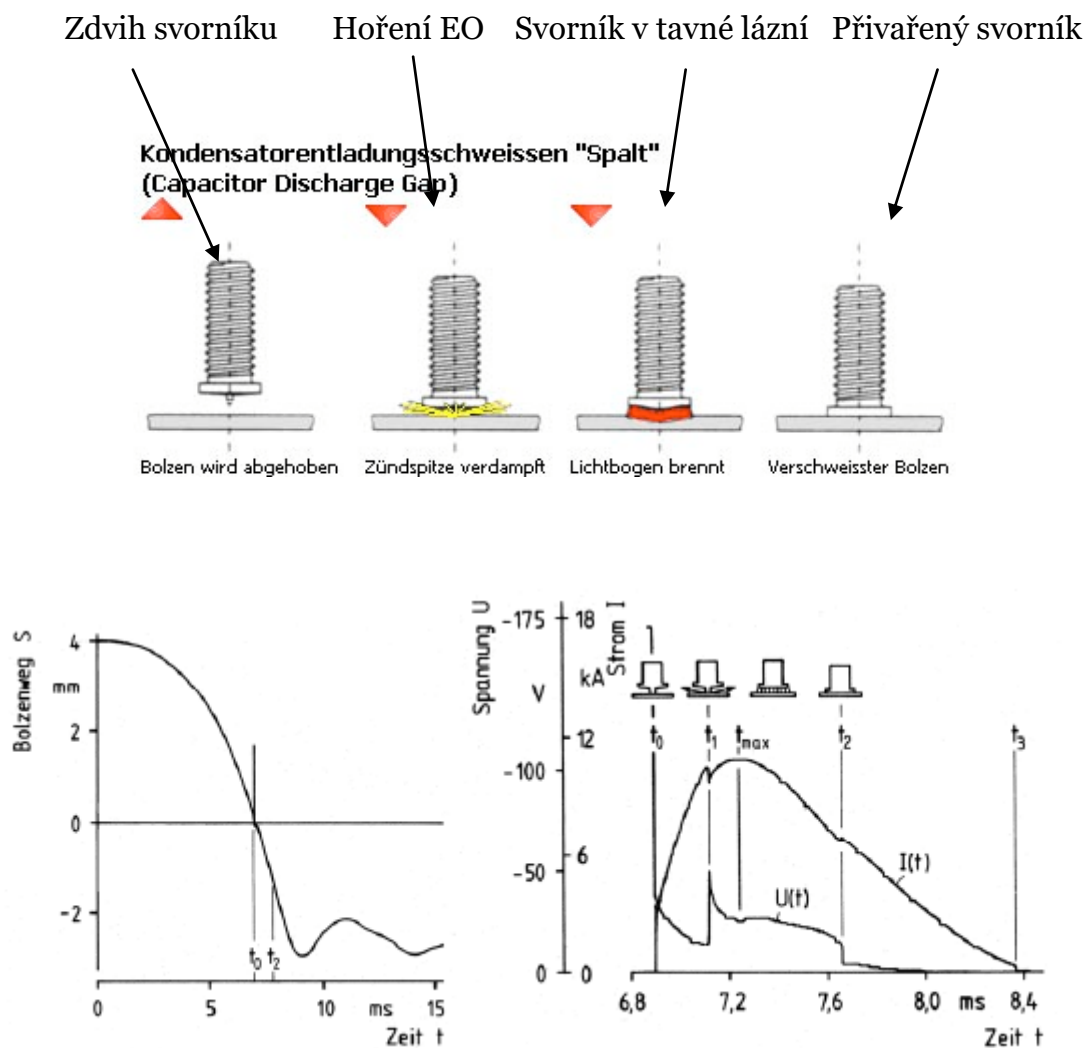
Časový bod t_0 znázorňuje osazení svorníku na plech. Dojde ke zvyšování proudu a napětí. Mezi časy t_0 a t_1 se zážehový hrot zčásti taví a exploduje. Elektrický oblouk pak hoří až do doby t_2 .

Se začátkem tavení zážehové špičky začíná pracovat přítlak pružiny, který tlačí svorník proti plechu. Délka pohybu svorníku je limitována výškou zážehového hrotu. Rychlost pohybu svorníku je určena velikostí nastaveného přítlaku na svařovací pistoli nebo svařovací hlavě.

3.2 Postup svařování se zdvihem

Při svařování se zdvihem je před začátkem svařování usazena špička svorníku na plech a dojde, po

stisku spouště svařovací pistole k nadzdvihnutí na velikost nastaveného zdvihu. Po dosažení horní úvratě nastaveného zdvihu, se vypne elektromagnet a díky přednastavenému tlaku pružiny v pistoli je svorník uvolněn a zrychlen proti plechu. Při kontaktu s plechem teče na základě zkratu, podobně jako u kontaktního svařování, vysoký proud a vytvoří stejným postupem elektrický oblouk. Obr. 4 zobrazuje průběh svařování se zdvihem.



Proces se rozděluje na zážehovou fázi, fázi hoření EO a fázi tuhnutí.

Svařovací čas je cca 1 -2,5 msec podle nastaveného zdvihu. Díky krátkému svařovacímu času je možné navařovat i hliníkové svorníky na hliníkový plech bez ochranné atmosféry.

3.3 Srovnání variant

Při obou variantách dochází k zapálení EO při kontaktu svorníku, jeho zážehové špičky s plechem v následujících pracovních krocích:

1. Natavení zážehové špičky a hoření EO
2. Pohyb svorníku proti plechu
3. Tavení spodní části svorníku a podkladního plechu
4. Spojení tavné lázně svorníku a plechu
5. Tuhnutí svařovací lázně

Svařování se zdvihem se liší od kontaktního svařování rychlostí pohybu svorníku směrem do tavné lázně. Ke kontaktu svorníku s plechem při svařování se zdvihem dochází ve větší rychlosti. Hoření EO probíhá po kontaktu dopadajícího svorníku na plech. Z toho vyplývá, že svařovací čas u této varianty bude vždy kratší než u kontaktního svařování.

Z krátkého svařovacího času vyplývá i nižší svařovací energie.

Při kontaktním svařování je svorník jednoduše usazen na plech a, podle druhu zařízení, tlačěn silou cca 130 N proti plechu. Tato vyšší síla přtlaku než u zdvihového svařování (< 60 N) je dostačujícím k dosažení potřebné rychlosti vtlačení svorníku do tavné lázně. Svařovací čas je kolem 3 msec a je delší než u svařování se zdvihem.

Proto je svařovací energie vyšší s možností čistícího efektu na mírně zaolejovaném, ale také pozinkovaném plechu.

3.4 Nastavovací parametry

3.4.1 Svařovací proud

Zdrojem svařovacího proudu u svařování hrotovým zážehem jsou kondenzátorové baterie, které jsou dobity stejnosměrným proudem v čase cca 2 – 5 sec. Pro připojení do sítě je nutné napětí 230 V. Podle typu svařovacího zdroje je dobíjecí napětí 50 – 200 V, a je většinou plynule nastavitelné.

Energie vnesená do svaru se počítá podle vztahu

$$E = 0,5C \times U^2$$

C je kapacita (mikroF), **U** je napětí na kondenzátorech (V) a **E** je velikost energie (J).

Energie vnesená do svaru má vliv na průběh proudu a jeho velikost v definovaném místě průtoku proudu. Určitě ale nemá vliv na EO přeměněný na energii tavení. Toto je velikost energie kondenzátorů, která se mění délkou hoření EO.

Nastavovací parametry svařovacího stroje jsou:

1. Dobíjecí napětí
2. Kapacita kondenzátorových baterií

Dobíjecí napětí je možné nastavovat pomocí otočného potenciometru.

Nastavení kapacity je nabízeno pouze u některých svařovacích strojů.

3.4.2 Svařovací pistole/ svařovací hlava

U svařovací pistole, resp. svařovací hlavy jsou nastavitelné tyto parametry:

- * Předpětí pružiny
- * Přtlak pružiny
- * Zdvih (jenom u zdvihového způsobu přivařování)
- * Pohybující se pohybové ústrojí v pistolí/ hlavě
- * Tření pístu ve vedení

Všechny tyto parametry mají vliv na rychlost svorníku, kterou je vtlačěn do tavné lázně.

Ruční svařovací pistole většinou není možné vybavit tak, aby rychlost pružiny byla vyšší, a tím i vyšší rychlost svorníku. Tyto jsou určeny pouze pro kontaktní nebo zdvihové svařování (samostatně). Předpětí pružiny je možné nastavovat většinou jen u svařovacích hlav, případně u pistolí, mechanicky, pomocí stavěcího šroubu.

Změna vedení svařovacích pistolí (pouzdrové/ložiskové uložení) má vliv na použití, nasazení. Toto ovlivňuje jednak rozstřík, jednak opotřebení pistolí, a to především pístu.

3.4.3 Oblast proudu

Koncepce vedení a průběhu svařovacího proudu má bezprostřední vliv na výsledky svařování.

Důležité jsou:

- * Odpor spojovacích míst
- * Vedení kabelace
- * Připojení zemnicí kabelace
- * Indukce (odpor) svařovací kabelace
- * Geometrie zážehové špičky (délka a průměr)
- * Stav povrchu podkladního materiálu

Nastavení a specifikace těchto faktorů má zásadní vliv na průběh svařování elektrickým obloukem

s hrotovým zážehem (kondenzátorovým výbojem). Přestože dodržением některých, relativně jednoduchých, pravidel je svařování tímto způsobem stabilní, není vždy využíváno k sériové výrobě.

3.5 Stav vývoje (přehled literatury s krátkým popisem)

Přivařování svorníků hrotovým zážehem (kondenzátorovým výboje) bylo započato panem Grahamem v roce 1950 /6,7/.

Od této doby bylo provedeno nespočet zkoušek a byly vydány různé publikace /8-38/. /2-5/ platná německé a evropské normy pro svařování kondenzátorovým výbojem. V /8-22/ jsou popsány různé metody zkoumání a vývoje techniky pro tuto technologii. V/23-26/ jsou uvedeny popisy technologie a příklady použití. Anglické publikace jsou uvedeny /27-36/. Téma kvalita a jistota kvality přivařování svorníků (37,38).

V /8/ bude popsáno oscilografické vyobrazení (velikost proudu, napětí na EO a pohyb svorníku). Toto bylo provedeno s využitím znalostí geometrie zážehové špičky, která se taví při svařování a zahajuje hoření. Tato špička však má kontakt pouze minimální plochou. Byly posuzovány pevnostní hodnoty při použití nelegované oceli, která má omezené pevnostní charakteristiky.

/9/ řeší výkyvy v pevnosti u svarů hliníkových svorníků s ohledem na nastavené hodnoty a foukání EO. Tyto vlivy byly eliminovány a omezeny s ohledem na umístění zemnicí kabelace a polohu svorníku. Provedeny byly svary svorníků z materiálu Al99,5 a AlSi12.

V /10/ budou vytvořeny svarové spoje hliníkových svorníků na povlakované i nepovlakované ocelové plechy. K porušení dochází při zatížení na 90 % plochy svorníku. Svorníky jsou mimo to vystaveny teplotním podmínkám. Budou konstatovány vlivy velikosti zážehového hrotu, jako i nepravidelnost procesu při různých postavení svorníků na plech.

/11/ bude provádět zkoušky svarů na povlakovaný i nepovlakovaný AlMg3 plech. Svorníky z materiálu AlMg3 mohli ale být připevněny pouze tak, že porušení zatížením nastane v tavné zóně. Budou posuzovány všechny zjevné chyby svaru v tavné zón, jako póry a podobné vady.

Toto sníží pevnost tavné zóny. V přehledu v /9/ stanoveném pro Al99,5 a AlSi12 svorníků, budou uvedeny hodnoty porušení při tahových zkouškách.

V /12/ budou popsány výsledky výzkumu pro přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem. Budou specifikovány důsledky nastavených elektrických parametrů dobíjecího napětí i kapacity kondenzátorů na stav tavné zóny při přivařování ocelových svorníků St37-3 na plech St14.

Rovněž bude popsána závislost maximálního dobíjecího proudu na kapacitě a dobíjecím napětí, zatímco dobíjecí čas, doba hoření EO a doba stoupání proudu jsou ovlivněny pouze kapacitou.

Kontaktní svařování, při tomto je zahájeno svařování přes zážehový hrot a také je zajištěn kontakt s plechem, podobně jako u svařování se zdvihem.

Vyšší rozptyl při svařování se zdvihem je zapříčiněna pravděpodobně odchylkami při pohybu směrem zpět, zdvih, a toto může být příčinou vad ve svaru.

V /13/ budou stanoveny spojení svorníků na hliníkový pás. V návaznosti na vysokou tepelnou vodivost hliníku, bude posuzováno pohledová strana plechu tl. 1 mm. Svařování na ochranné nátěry přináší problémy se zážehem EO. Pokud k zážehu dojde, je tavná zóna silně porézní více než u svařování na čisté plechy.

V /14/ budou specifikovány rozdíly mezi svařování se zdvihem a kontaktním.

V /15/ jsou uvedeny nejdůležitější přípravné práce při svařování kondenzátorovým výbojem. Zveřejnění /16 a 17/ obsahují některé výsledky /15/.

V této práci budou uvedeny výskyty problémů mající vliv na průběh svařování kondenzátorovým výbojem s ohledem na použitou techniku. Analýza pohybu svorníku ukazuje, že užitý systém svařovací pistole má vliv na průběh pohybu svorníku i na konečnou pevnost svaru a jeho průběh. Pro pravidelné a stejné natavení a rozstříku taveniny má vliv okamžik dopadu svorníku na plech a tuhnutí tavné lázně. Toto časové rozpětí by mělo na základě výpočtu být většinou 1 msec.

Vedle různých teoretických úvah o průběhu svaru při kondenzátorovém přivařování svorníků, budou provedeny taky různá měření průběhu tavení.

Žádoucí je korektní zapálení EO přes ohřátí zážehového hrotu, až k jejímu explozivnímu hoření.

Odpaření zážehového hrotu bude primárně určováno a ovlivněno pomocí nastavených elektrických parametrů. Dochází ke zvyšování proudu vzniklého vybitím kondenzátorů v průběhu hoření EO až k jeho maximální hodnotě.

U svařování se zdvihem rozdělujeme náběh EO jako korektní zapálení EO a předzážeh. Jedná-li se o předzážeh, dojde k zapálení EO ještě před kontaktem zážehového hrotu s plechem. Tento způsob díky vodivým částicím, jako ionizujícím. Toto nastává např. u plechů pokrytých olejem, hliníkových plechů, apod.

/15/ vede k nevhodným vlivům na průběh a výsledek tavné lázně, což ovlivňují výkyvy kvality zážehového hrotu, rozptyly impedance svařovacího proudu a pohyb svorníku (zdvih/přítlak). Důležitými parametry vlivu jsou: Povrch plechu v místě tavné lázně, atmosférické podmínky v místě tavné zóny, foukání EO, kolmost polohy svorníku vůči plechu, úkos příruby svorníku a materiálové kombinace.

Pro volbu mechanických parametrů nastavení je nutné provést kombinaci různých úkonů, jako nastavení přítlaku, systém zemnění a geometrie zážehového hrotu. Fáze hoření EO by měla být ukončena dopadem příruby svorníku, její spodní plochy na podkladní plech.

V /19/ je patentován pneumatický systém přípravku, zajišťující pohyb svorníku tak, že rychlost vtlačení svorníku do tavné lázně je bezchybně se stoprocentní opakovatelností.

V /20/ jsou popsány časté příčiny toho, že svorníky z legovaných ocelí (1.4301 a 1.4303 (A2-50))s i bez závitů nejsou správně přivařeny. Na základě chemické analýzy, analýzy nastavovacích parametrů a metalografických zkoumání jsou stanoveny hraniční hodnoty uhlíku (C) a mědi (Cu). Na základě těchto stanovení jsou stanoveny mezní hodnoty obsahu uhlíku v analýze taveniny max. 0,03 %, obsah mědi 0,2 % a minimální teplota tváření za studena 10°.

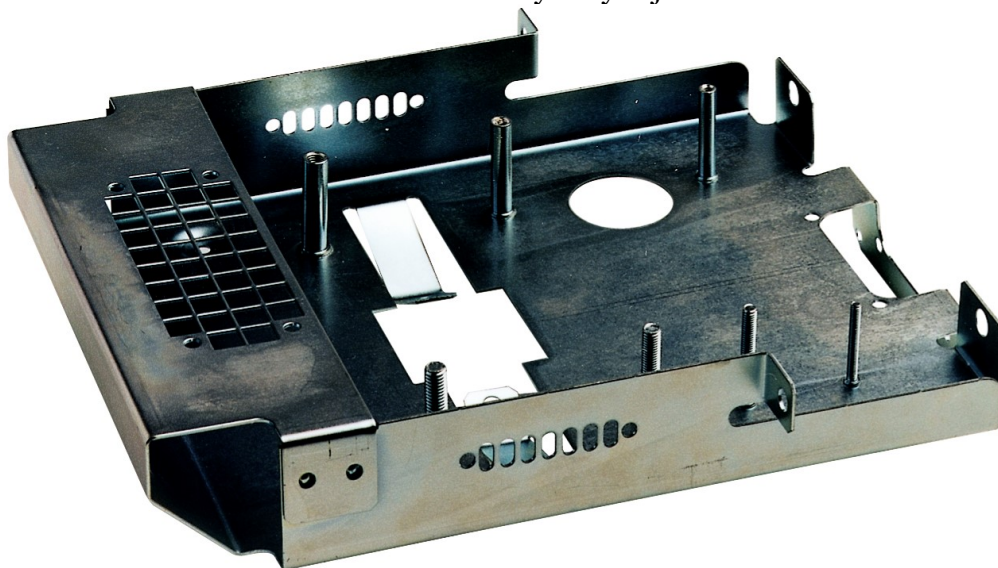
V /21,22/ je popsán teoretický průběh zážehu při hrotovém zážehu kondenzátorovým výbojem. Zkoumány byly mimo jiné úbytky materiálu s ohledem na rozstřík taveniny. Tato práce osvětluje, že zážehový hrot je při zapálení EO odstraněn pouze z části a další díl je odstraněn, odvařen, při hoření EO.

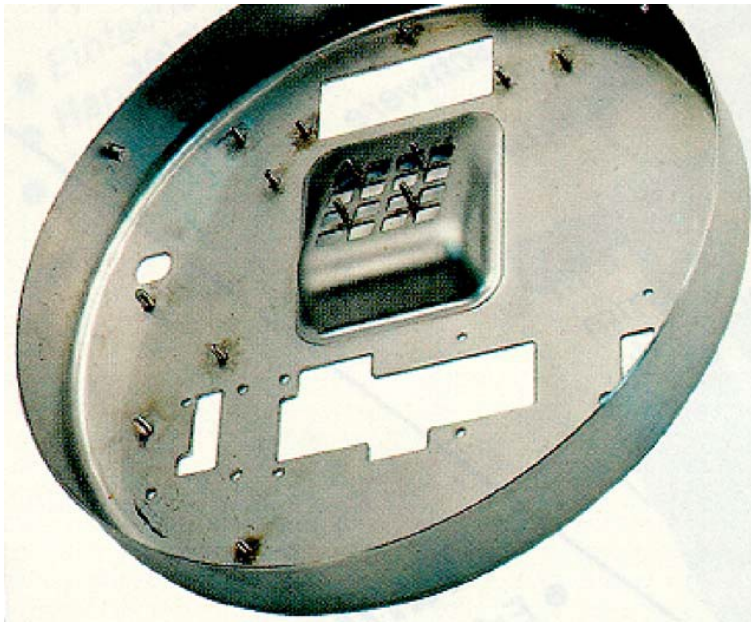
3.6 Užití

Typická možnost použití se nabízí tam, kde se přivařuje na plechy do 5 mm tloušťky, jako například výroba domácích spotřebičů, výroba rozvaděčů, výroba aut, výroba a izolování klimatizace a větracích zařízení, apod. U většiny materiálů nezpůsobí svar tímto způsobem žádné poškození opačné strany plechu, tedy zbarvení případně deformace. Rovněž je možné přivaření svorníků v případech barveného plechu, nebo galvanicky upraveného povrchu plechu.

Obzvláště výhodná se jeví tato metoda při přivařování svorníků na plechy do 0,8 mm.

Na obrázcích jsou typické příklady použití přivařování svorníků hrotovým zážehem kondenzátorovým výbojem.

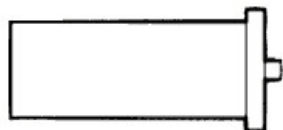




Přivařování tímto způsobem je určeno pro části v průměrovém rozsahu 2 – 8 mm. Podle potřeby mohou být přivařovány svorníky s i bez závitu, izolační trny, svorníky s vnitřním závitem, elektrokontakty jednoduché i dvojité. Obrázek ukazuje formy svorníku podle ČSN EN ISO 13918.



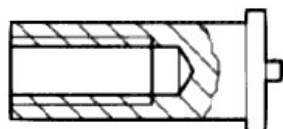
Kondensator - Schweißbolzen mit Gewinde PT
Werkstoff: St 37-3 verk., 1.4301, AlMg3, Ms63
Abmessungsbereich: von M3 x 6 bis M8 x 60



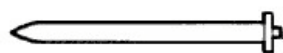
Kondensator - Schweißstifte ohne Gewinde UT
Werkstoff: St 37-3 verk., 1.4301, AlMg3, Ms63
Abmessungsbereich: von Ø 3 x 6 bis Ø 7,1 x 55



Kondensator - Schweißbolzen mit Grobgewinde
Werkstoff: St 37-3 verk.
Abmessungsbereich: von Ø 5 x 9 bis Ø 5 x 25



Innengewindebuchsen IT
Werkstoff: St 37-3 verk., 1.4301, AlMg3, Ms63
Abmessungsbereich: von Ø 5 x 7/M3 bis Ø 7,1 x 30/M5



Isoliernägel mit Zündspitze
Werkstoff: St 37-3 verk., 1.4301, AlMg3
Abmessungsbereich: von Ø 2 x 30 bis Ø 3 x 150

3.7 Vyskytující se problémy při přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem

V následující tabulce jsou uvedeny vlivy, které se mohou projevit při kondenzátorovém přivařování svorníků. Podle podkladního materiálu se mohou tyto vlivy více, či méně projevit a mít vliv na pevnost. Svaru.

Průběh	Možné projevy
Rychlé chladnutí	Vtlačení svorníku do příliš studené lázně Neprovaření
Nesymetricky hořící EO, nesymetrický rozstřík taveniny, fokání EO	Jednostranné natavení, nepříznivý rozstřík taveniny, svařovací chyba
Povrch materiálu s ochranou (pozink,..)	Vliv na průběh EO, doba trvání hoření EO, porezita
Vznik plynu při reakci s H ₂ a O ₂	Výskyt pórů, snížení pevnosti, oxidy v tavenině

U ocelových materiálů se projevují 1. – 3. Bod této tabulky a mají vliv na kvalitu svaru.

Tabulka obsahuje stávající stav svařitelných materiálů pro přivařování svorníků. Pro přivařování svorníků se nabízí oceli legované i nelegované, ale také hliník a mosaz. Také jiné materiálové kombinace jsou možné, je však vždy nutné provést svařovací zkoušky.

V praxi jsou často ve velkém měřítku vyskytující se zřetelné nedovarky, vedoucí k snížení pevnosti a následnému zkoušení přivařených svarů. Příčinou je hlavně předčasné tuhnutí tavné lázně spojovaných materiálů. Ale také mnohačetné póry ve svaru vedou součtem k snížení nosného průměru. Rovněž silné natavení spodní části svorníku vede právě tak k nepříznivému jednostrannému natavení. Elektrický oblouk je potom uzavřený ve vlastním elektromagnetickém poli. Naproti tomu může být pomocí vnějšího radiálně k ose svorníku vedeného magnetického pole vychýlen, když kolmo k ose EO jsou orientovány části vnějšího magnetického pole. Možné vady projevující se ve svaru budou sníženy, když bude odstraněn potenciální mechanický odpor proti

Lorencově síle.

Při použití této technologie na povlakované plechy, jako např. pozink, jsou tyto povlaky roztaveny a odpařeny, a tím je redukován jejich vliv na tavnou lázeň. U hliníkových materiálů může reakce plynu snižovat rovněž pevnost (ochranná atmosféra). Zatímco při svařování bez ochrany dochází k reakci svaru s hliníkovými plyny, což může vést ke snížené pevnosti. Roztavené oxidy zůstanou ve ztuhlé tavenině.

Černý povlak, oxid hliníku, naznačuje silný výskyt oxidů v plazmatu.

Hlavní problém při výskytu pórů při svařování hliníku je vodík, který zůstává v tuhnuící tavné lázni. Vodík je v tekutém hliníku dobře rozpustný, v tuhém ale nerozpustný. Tato rozpustnost vodíku v hliníku je příčinou většiny problémů při výskytu poretivity svaru.

Při svařování svorníků kondenzátorovým výbojem je však výhodnější nechat plech oxidovaný bez čištění, kdy bude výsledek lepší než u plechů čištěných.

3.8 Mechanika zajišťující pohyb svorníků v pistolí

Při přivařování hrotovým zážehem kondenzátorovým výbojem je pohyb pístu ve svařovací pistolí, a tedy i svorníku, vyvolán silou pružiny.

V závislosti na velikosti nastaveného zdvihu a konstanty přitlačné pružiny c je po spuštění, s vlivem odporu vedení pístu (pouzdro, ložiska), zajištěn pružinou pohyb svorníku směrem na podkladní plech. Čím větší je nastavený zdvih, tím větší rychlostí se pohybuje svorník směrem na plech (pružina).

Kontaktní svařování znamená svařování se zdvihem nula. Zážehový hrot je v kontaktu s plechem a je tlačén na podkladní plech silou pružiny. Při tomto způsobu je vzdálenost mezi svorníkem a plechem definovaná pouze výškou zážehového hrotu. Tato varianta pracuje však s větším přitlakem pružiny, tedy pružinová konstanta c je větší.

Na konec procesu dopadne svorník na podkladní plech. Při tomto rychlém dopadu svorníku na plech a hoření EO, dojde k promísení tavicího se materiálu svorníku i plechu a po zchlazení vznikne pevný spoj mezi nimi.

Zároveň předá svorník dopadající na plech svou energii plechu a rychlost další pohybu je nulová.

Kinetická energie je vždy plně předána na plech.

Při přivařování svorníků jsou určující následující části:

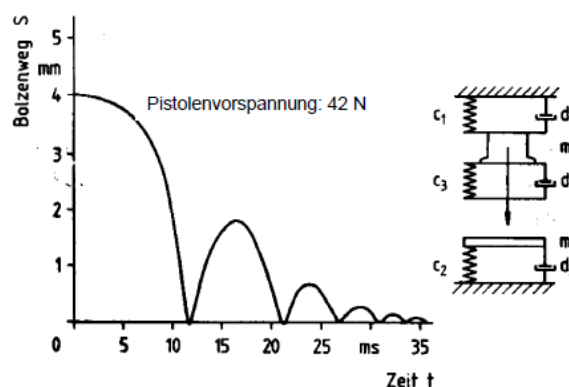
- * Elastický podíl odchylky plechů v tavné oblasti v závislosti na tuhosti upnutí plechu, stejně jako podepření materiálu
- * Elastický podíl deformace materiálu svorníku a plechu
- * Plastický podíl deformace materiálu pevné části
- * Podíl tlumení, např. na základě tření

Plastické tváření svorníku a plechu odeberou právě tak jako tlumení pouze malý díl kinetické energie.

Elastická deformace předává energii podobně jako pružina.

Po dopadu pístu se svorníkem na plech bude elastická síla materiálu vyšší než síla přitlačné pružiny. Toto vede k vibraci a pohybům zemnicí kabelace.

S dopadem svorníku na plech otáčí se směr pohybu pístu a vyvíjí vyšší sílu, než je přitlak pružiny v pistolí. V této fázi se pohybuje píst pistole opačným směrem nahoru. Toto může být pro přivařování svorníků kritické, protože v tuto dobu dochází k chlazení a tuhnutí tavné lázně.



Obrázek ukazuje grafické znázornění pohybu svařovací pistole po dopadu svorníku na plech. Toto jedno- nebo vícenásobné oddálení pistole od plechu může být zapříčiněno pohybujícím se pístem pistole nebo rychlostí dopadu svorníku na plech. Tomu může samozřejmě být předejito především redukcí rychlosti pohybu svorníku proti plechu.

Zvýšení rychlosti pohybu svorníku, tedy zvýšení zdvihu nebo přitlaku, svařovací pistole, proti plechu mimo zkrácení doby hoření EO způsobuje vznik většího rozstříku taveniny. Tím se snižuje množství tekuté taveniny k zaplnění prostoru mezi svorníkem a plechem. To může způsobit vznik svařovacích vad jako pórů a bublin, což potencionálně snižuje pevnost. Rovněž průvar je nižší. V praxi jsou tyto znalosti rychlosti pohybu svorníku proti plechu přizpůsobeny jednotlivým svařovacím pistolím (většinou principem pružiny).

4. Experimentální podmínky

V následujícím textu jsou popsány stroje, měřicí zařízení, užití podkladní materiály a zkušební metody, které byly použity při zkoumání. Doporučené změny a seřízení vedoucí k optimalizaci svařování kondenzátorovým výbojem budou uvedeny jako výsledky zkoumání.

4.1 Provedení pokusu

4.1.1 Svařovací stroje

Zkoušky jsou provedeny nejnovějšími svařovacími zařízeními na trhu pro tento druh svařování. Nejedná se o jednoho výrobce a stejné stroje, ale byly vybráni různí výrobci, s ohledem na různorodost zařízení.

Užity budou komplety, tedy svařovací stroje s pistollemi, resp. svařovacími hlavami.

Použité svařovací hlavy mohou být jednoduchou operací přestavěny na kontaktní. Pro docílení tohoto svaru je nutné deaktivovat zdvihový magnet a vyměnit přitlačnou pružinu. Zvýšení odporu a svařovacího času pro kontaktní svařování je docíleno prodloužením kabelace.

Mimo to bude zpracován diagram pro stanovení pohybu svorníku. Díky tomu bude možné relativně přesné nastavení pro zaručenou opakovatelnost a reprodukovatelnost.

4.1.2 Provádění zkoumání

Průběh zkoumání bude protokolován a přesně definován.

Podkladní plech je se strojem propojen pomocí zemnicí kabelace o průměru 25 mm².

Délka tohoto zemnicího vedení je 2,5 m.

Kabelace pistolí leží mezi 2-3 m. Svařovací hlavy potom jsou vybaveny kabelace 3 m o průměru 25 mm², toto platí pro přivařování se zdvihem.

Pro kontaktní svařování je z důvodu prodloužení svařovacího času, prodloužena svařovací kabelace na 5-6,5 m. S ohledem na pravidelnost rozstříku taveniny okolo svorníku je zemnicí kabelace upevněna převážně pomocí zemnicích kleští symetricky na podkladní plech (uhlopříčně).

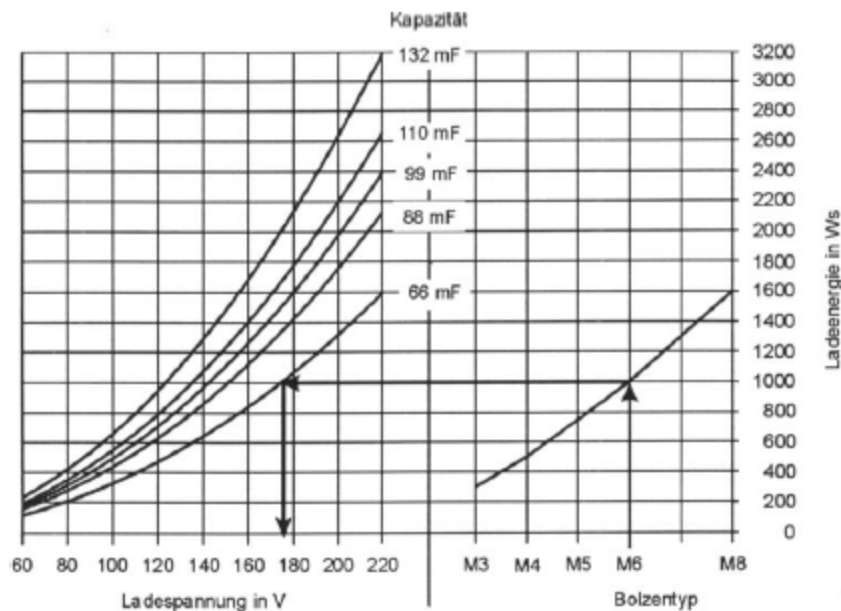
Při použití svařovacích hlav je kontakt zemnicí kabelace s plechem veden přes pneumatický upínací přípravek, u ručních svařovacích pistolí pomocí zemnicích kleští.

Místa upnutí zemnicích kleští, v případě ocelového plechu budou obroušena, v případě hliníkového plechu budou očištěny alkoholem.

Kleština bude pravidelně čistěna a kontrolována jejich svorností s ohledem na zamezení problémů spojených s opotřebovanou kleštinou. Opotřebované kleštiny mají vliv na průběh svaru, opalují svorníky a jsou příčinou nedefinovatelné energie vnesené do svaru. Také usazení kleštiny ve svařovací pistolí, resp. svařovací hlevě bude pravidelně kontrolováno.

4.1.3 Svařovací podmínky

Hrubé hodnoty nastavení dobíjecího napětí kondenzátorů s ohledem na kapacitu jsou uvedeny na obrázku.



Při těchto zkouškách a zkoumání budou variovány následující možnosti:

Kapacita kondenzátorových baterií	66.000-132.000 μ F
Dobíjecí napětí	60 – 220 V
Velikost zdvihu	2-6 mm
Síla přítlačné pružiny	20-160 N
Povrch plechu	čistý, odmaštěný, kartáčovaný, obroušený
Ochrana tavné lázně	ochranné plyny Ar+18%CO ₂ , Ar+25%He
Svařovací kabelace	měděná, průřez 25 mm ² , délka 2,5 m, pro kontaktní svařování 5 m
Svařovací polohy	PA svisle směrem dolů, PC horizontálně kolmo na zeď, PE nad hlavou

4.2 Měřicí zařízení

Pro potřeby tohoto zkoumání budou použity měřicí zařízení mechanické i elektrické. Těmito budou měřeny následující parametry, mající vliv na průběh svaru: velikost svařovacího proudu, napětí na EO, délka posunu svorníku, síla vzniklá při dopadu svorníku na plech a svařovací čas. Pro statistické hodnocení křivek průběhu svaru bude užitý vyhodnocovací systém STUD-DI firmy Josef Gödde hlídání svařovacích parametrů.

Měření systémem Josef Gödde probíhá bezprostředně v místě svaru (napětí), resp. na svařovací kabelaci (svařovací proud).

4.3 Materiály pro zkoumání

Pro zkoumání budou užity materiály z legované i nelegované oceli, stejně tak i hliníkový plech. Tyto jsou uvedeny v tabulce 2.

Materiály svorníků:

1. Nelegovaná ocel - S235J2G3, průměry M4, M6 a M8
2. Legovaná ocel - X5CrNi18-10, průměry M4, M6 a M8
3. Hliník Al99,5, průměr M6
 - AlMg₃, průměry M4, M6 a M8
 - AlSi₁₂, průměr M6

Tabulka 5 obsahuje standardní rozměry užitých svorníků. Délka svorníků do 30 mm.

Materiály podkladních plechů:

1. Nelegovaná ocel - St 12 tl. 0,75, 1,0 a 2,0 mm
 - St 14, pozinkovaný tl. 20 μ m, tl. 0,7, 1,0 a 2,0 mm
 - S355 s okují, tl. 2 a 4 mm

Bez okují, tl. 1,5 mm

2. Legovaná ocel - X6CrNiTi18-10, tl. 2,0, 3,0 a 4,0 mm

3. Hliník-ALMg₃ - netvrzený materiál, tl. 2,0 a 4,0 mm

AlSi₁ - tvrzený materiál, t. 2,0 mm

Ocelový plech		Chemické složení, váha (%)										
Tloušťka (mm)	Materiál	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Ni	Mo	Ti
0,75	DC 01	0,021	0,006	0,269	0,007	0,007	0,012	0,035	0,1	0,025	0,002	0,001
1	DC 01	0,038	0,025	0,192	0,008	0,007	0,1	0,034	0,016	0,017	0,004	0,002
2	DC 01	0,05	0,019	0,223	0,007	0,005	0,014	0,062	0,007	0,015	0,002	0,001
0,7	DC 04+Z	0,054	0,001	0,273	0,1	0,009	0,013	0,037	0,017	0,021	0,002	0,001
1	DC 04+Z	0,029	0,001	0,178	0,008	0,007	0,022	0,049	0,014	0,012	0,003	0,001
2	DC 04+Z	0,039	0,008	0,225	0,008	0,005	0,005	0,032	0,015	0,017	0,002	0,001
3	S235J2	0,062	0,014	0,22	0,007	0,015	0,013	0,049	0,011	0,013	0,004	0,002
4	S235J2	0,027	0,068	0,411	0,006	0,01	0,009	0,012	0,018	0,008	0,003	0,018
2	1.41	0,029	0,428	1,523	0,025	0,003	0,266	/	18,89	8,32	0,429	0,021
4	1.41	0,03	0,385	1,169	0,022	0,004	0,241	0,034	17,64	9,59	1,748	0,026

4.4 Zkušební metody

K posouzení budou použity různé zkušební metody. Podle cíle zkoušení budou přivařené svorníky zkoušeny následujícími metodami:

* Vizuální zkouška

Při přivařování svorníků je jako jedna z hlavních nedestruktivních metod aplikována vizuální kontrola rozstříku taveniny. Toto dává především informaci o velikosti energie.

* Makro a mikro řez

Pro makro výbrus budou svorníky řezány přes tavnou zónu, převážně středem s orientací příčně podélnou. Následně budou na rotujícím stole broušeny a pomocí leptadla naleptány.

* Zkouška ohýbáním

Zkouška ohýbání je nejjednodušší destruktivní zkouška provedených svarů. U špatně přivařeného svorníku dojde k vylomení v tavné zone. U správně přivařeného svorníku dojde k vylomení přivařené svorníku z plechu (tenké plechy) nebo ke zlomení svorníku v jeho dříku.

* Zkouška tahem

Ke zkoušce tahem bude použito zařízení pro tento účel určené UPM 400. Zjišťována bude tahová síla a místo přetržení při zatížení (přetržení ve svorníku, ve svaru nebo vytržení z plechu).

* Zkoušky ohybovým momentem

Tyto zkoušky budou provedeny pomocí ohybového klíče. Zjišťován bude ohybový moment, při kterém dojde k přetržení.

*REM-zkoumání plochy přetržení

Předmětem zkoumání bude informace o příčinách přetržení.

4.5 Vysokorychlostní kamera

K dalšímu zjištění svařovacího procesu a vizualizace bude používána vysokorychlostní kamera KODAK, typ Motion Corder Analyzer, SR série se možností zachycení až 10.000 snímků za sec. Snímky jsou ukládány elektronicky a mohou být kopírovány na VHS video kazetu. Jako komplikace se jeví síla EO, ale toto je řešeno různými clonami a filtry. Obrázek 15 ukazuje řazení kamerového systému.



5. Výsledky

Rozhodující význam na průběh svaru a kvalitu svpojení má pohyb svorníku, které jsou charakteristické veličiny a budou tímto zkoušením zkoumány a optimalizovány.

5.1 Zkoumání ústrojí zajišťujícím pohyb svorníku

5.1.1 Mechanické charakteristické veličiny běžných svařovacích ústrojí

Evidence pohybu svorníku je prováděna pomocí snímače pohybu, stejně tak síla pomocí DMS-sensoru.

Obrázek viz. níže (kapitola 5.1.1.2) ukazuje oscilogram pohybového a silového průběhu při svařování se zdvihem a kontaktním.

Z tohoto vyplývají následující údaje:

Průběh pohybu: rychlost při kontaktu s plechem, nárazový, resp. zpětný pohyb

Průběh přítláčné síly: kontakt zážehového hrotu, doba zážehu hrotu, maximální tlak při kontaktu svorníku s plechem

5.1.1.1 Přítláčná síla

U svařovacích zařízení užívaných v praxi jsou aplikovány různé přítláčné systémy. Tyto jsou rozdílné v návaznosti na různé varianty přivařování svorníků.

U přivařování svorníků se zdvihem je pravidlem použití slabší pružiny, a to jak u svařovacích hlav, tak u svařovacích ručních pistolí. U přivařování svorníků kontaktním přivařování se užívá silnější pružina.

Svařovací hlavy:

* cca 5 N/mm Svařovací hlava KHA 200 (KKA 200) se silnější pružinou a SK 5AP

* cca 3 N/mm Svařovací hlava KAH 312

* cca 2,5 N/mm Svařovací hlava KHA 200

Rozdílnost síly pružiny jsou definovány jejich průměrem. U nízkého přítlaku kolem 2,5 N/mm je průměr drátu 1,8 mm. Silnější pružina cca 5 N/mm má průměr drátu 2 mm. Nastavení předpětí pružiny se u svařovacích hlav provádí pomocí stavěcího šroubu nebo matice v různých rozsazích.

Svařovací pistole:

* cca 15 N/mm kontaktní pistole PS-1K a PS-3K

* cca 10 N/mm kontaktní pistole PMK C 08 a PKM-1B

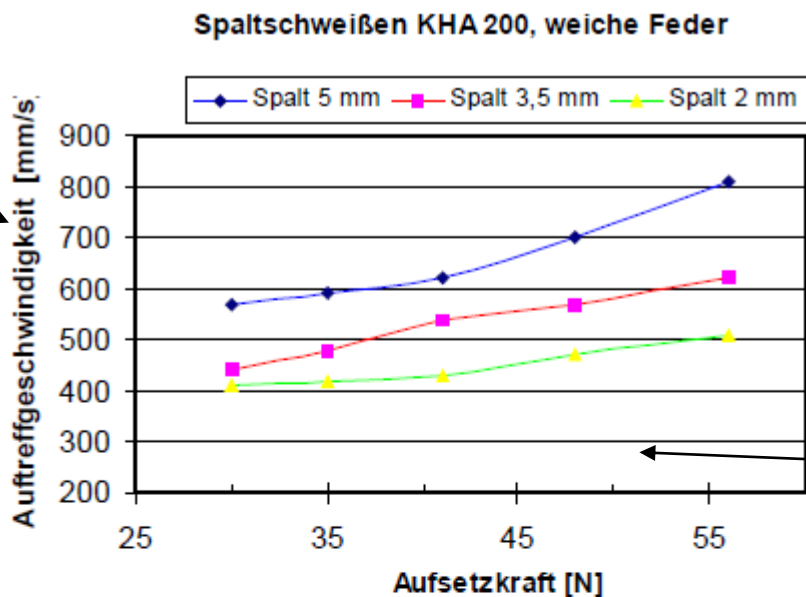
* cca 5 N/mm zdvihová pistole PS-1 a PHM-1A

U některých zařízení je předpětí pružin vbudováno. Potom je možné další ovlivnění přitlaku změnou přesahu svorníku. Síla F_a , kterou je pak svorník tlačěn proti plechu, je závislá na komponentech, které zajišťují předpětí (přítlak).

Při ruční obsluze pak tento přítlak musí být nastaven obsluhou. Při stejně nastaveném přesahu svorníku je potom možné ovlivnit přítlak pomocí stavěcího šroubu pistole v omezeném rozsahu.

Přivařování se zdvihem

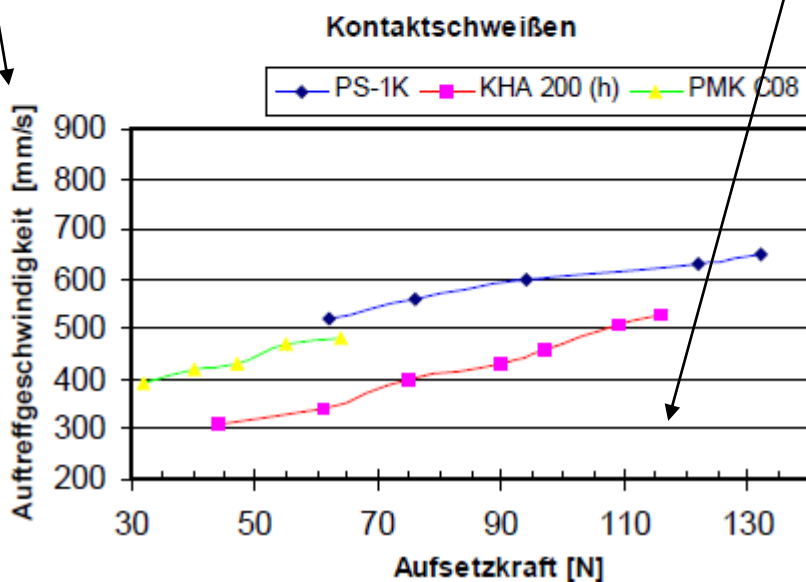
Rychlost svorníku



dopadu (mm/s)

Dosedací síla

Kontaktní přivařování



Obrázek znázorňuje diagram staticky zjištěných dosedacích sil v závislosti na předpětí pro polohu **PA** svařovacích hlav s rozdílnými přitlačnými pružinami.

Ve druhém diagramu jsou pak znázorněny dosedací síly různých svařovacích pistolí pro kontaktní i zdvihové svařování. Tyto hodnoty platí pro přesah svorníku 2 mm.

U svařovacích hlav je možné velmi přesné nastavování přitlaku .

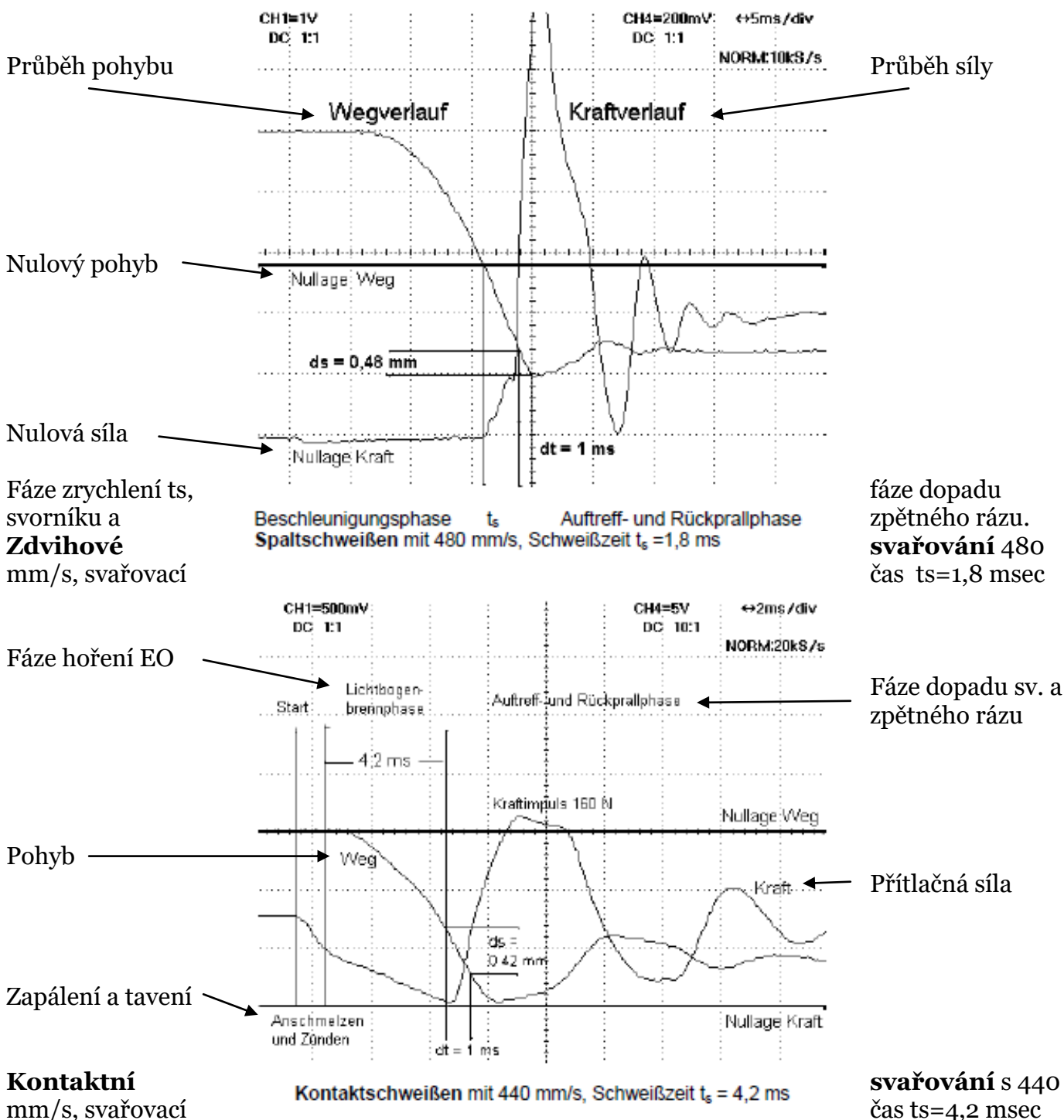
U svařovacích pistolí nastavování přitlaku není při opakovaně zadané hodnotě stejné, neboť nastavování není úplně přesné a odhaduje se odečtem na škále pistole.

Přítlak u obou dvou variant vychází ze stejné metody. Píst pistole (hlavy) se svorníkem je ihned po uvolnění transportován. Pružina se uvolňuje v elastickém rozsahu. V závislosti na pístu a jeho hmotnosti m a síle přítlaku F se svorník pohybuje v matematicky vyjádřené závislosti $F = m \times a$ a narazí do podkladního plechu rychlostí v . S rostoucí drahou pohybu se snižuje hnačí síla přítlačné pružiny a tím se snižuje i rychlost pohybu svorníku. Snižování rychlosti svorníku je zapříčiněno třením pístu a vedení. V poloze **PA** je rovněž podporována síla pružiny gravitací. Při svařování v pozici **PE**, nad hlavou, snižuje rychlost pohybu váha pístu, ovlivněná gravitací.

5.1.1.2 Rychlost dopadu svorníku

Z rychlosti pohybu svorníku po startu vyplývá rychlost jeho dopadu na plech. Hlavní vliv má rychlost zážehového hrotu v době dopadu svorníku na plech, s ohledem na vnoření svorníku do tavné lázně.

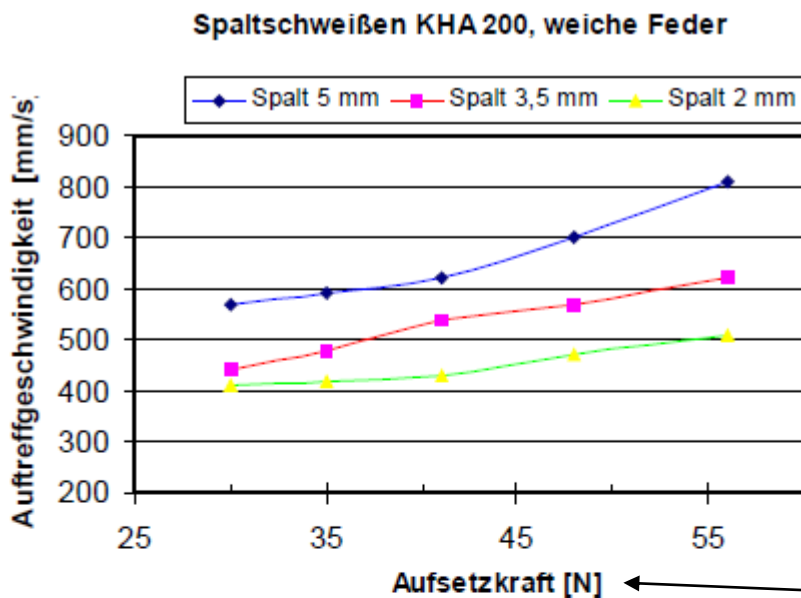
Zkoumání rychlosti svorníku při dopadu na plech podle délky pohybu je znázorněno pomocí sensorů pohybu.



- a. 4 rozdílné svařovací pistole k ručnímu svařování
- b. 3 rozdílné svařovací hlavy k automatickému svařování

U svařování se zdvihem je průměrná rychlost zážehového hrotu vyšší, než rychlost při střetu svorníku s plechem na konci svařovacího procesu. Dopad zážehového hrotu způsobí snížení rychlosti pohybu svorníku až o 5 %. Při průměrné rychlosti pohybu např. 600 mm/s může být snížení rychlosti až 30 mm/s.

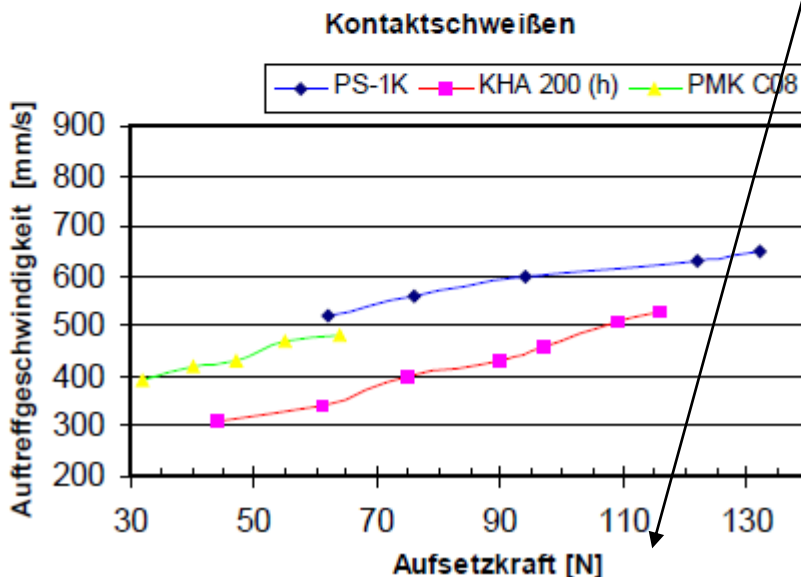
Přivařování se zdvihem



Rychlost dopadu svorníku (mm/s)

Dosedací síla

Kontaktní přivařování



Obrázek znázorňuje diagram, který ukazuje rychlost střetu svorníku s plechem u rozdílných strojů v závislosti na síle pružiny a hodnotě zdvihu. Hodnota zdvihu 0 znamená kontaktní svařování.

Mimo síly pružiny má rovněž vliv na zrychlení a rychlost při dopadu svorníku na plech také hmotnost pístu. Váhy různých pístu se liší zcela zásadně. U svařovacích hlav jsou váhy mezi 500 – 700 g, nejedná-li se o hliníkový píst, u svařovacích pistolí potom mezi 150 – 250 g.

Při stejné přítlačné síle je potom výrazně ovlivněná i rychlost dopadu svorníku. Tyto rozdíly jsou přičítány mimo váhy pístu také způsobu jeho vedení (pouzdrové nebo ložiskové).

Kontrola rychlosti dopadu svorníku není v praxi zjistitelná. Změna vedení pístu pistole (hlavy) má vliv na pohyb a jeho rychlost. V publikaci /5/ jsou uvedeny pokyny pro údržbu ve vztahu na opotřebenosti jak svařovacích pistolí, tak i hlav.

5.1.1.3 Pohledová strana plechu po přivaření svorníku

Po dopadu svorníku na plech následuje šokový proces dvou hmot s kinetickou energií ($1/2 m v^2$). Náraz svorníku působí sílu F na plech a deformuje tento v závislosti na jeho druhu, tzn. je elastický nebo plastický. Rychlost pístu je prudká a trvá až do klidového stavu svorníku. Takto je předána kinetická energie plně na plech.

Znamená to, že kinetická energie je plně převedena na energii elastické nebo plastické deformace plechu.

Plech zajistí impuls síly $m \times v$ pohybujícího se pístu a tím dojde k jeho zastavení. Zachování hybnosti nemá proto v tomto případě žádný význam. Cílem je udržet deformaci plechu v omezené míře co nejmenší. Proto je nejlepší v místě nárazu svorníku podepřít plech tvrdou podložkou.

Elastická i plastická deformace plechu ovlivňují následující:

1. Elastická deformace plechu ukládá energii jako potenciální energii pružiny. Tato energie je vratná a po dopadu svorníku a způsobeném úderu předává náraz zpět část energie do systému pístu svařovací pistole (hlavy).
2. Plastická deformace plechu není vratná. Tento díl energie je předán formou tření plechu.

Tato elastická deformace plechu vytváří konstantu pružiny c_2 , která působí proti konstantě c_1 , síle pružiny pístu. Impuls síly na plech způsobí jen omezenou deformaci plechu a naopak. Po dopadu svorníku na plech panuje mezi oběma stranami, tzn. pístem pistole (hlavy) silová rovnováha.

Dostane-li se píst pistole (hlavy) do klidovém stavu otáčí se směr pohybu síly. Znamená to tedy, že plech převede uloženou elastickou energii zpět na kinetickou směrem na svorník a působí nahoru. Oscilogram jednoznačně znázorňuje tento bod obratu.

Svorník, stejně tak píst pistole (hlavy) je vymrštěn zpět. Tato zpětná rychlost je ale redukována oproti původní rychlosti dopadu svorníku na plech.

Zpětné vymrštění svorníku je dobře znatelné na obrázku, kapitola 5.1.1.2. Dobře znatelný je dopad svorníku na plech díky axiálně působící síly. Začátek pohybu svorníku zpět je zahájen při maximálním impulsu síly.

Zkoušky dopadu pohybující se svařovací pistole i hlavy ukazují zpětné odražení svorníku od plechu jako doznívající amplituda pohybové aktivity. Spuštění oscilačního pohybu znázorňuje obrázek 10.

Na obrázku je pomocí vysokorychlostní kamery vyobrazena rychlost dopadu svorníku .





Z toho rezultují další kmity, které však nemají vliv na kvalitu svařování. Shodně jsou tato fakta popsána v publikaci /15/.

Potřebné mechanické upevnění potenciometrických měřicích hlav s pohyblivými písty mohou vést vlivem nedostatečné tuhosti ramene k jejich kmitání. Toto mohlo vést k nedostatečně přesnému měření pohybu svorníku. Tomuto chybovému měření bylo zamezeno použitím upevňovacích objímek.

V této souvislosti bude použito i měření laserovým systémem. Přesnost takového měření je potom vyšší než při měření potenciometrickým měřicím systémem. Ve srovnání obou systémů ukazuje laserový sensor po elektronickém zpracování dat rozdíl až 0,6 msec. Jako problematické se jeví při tomto měření i znečištění komponentů rozstříkem taveniny.

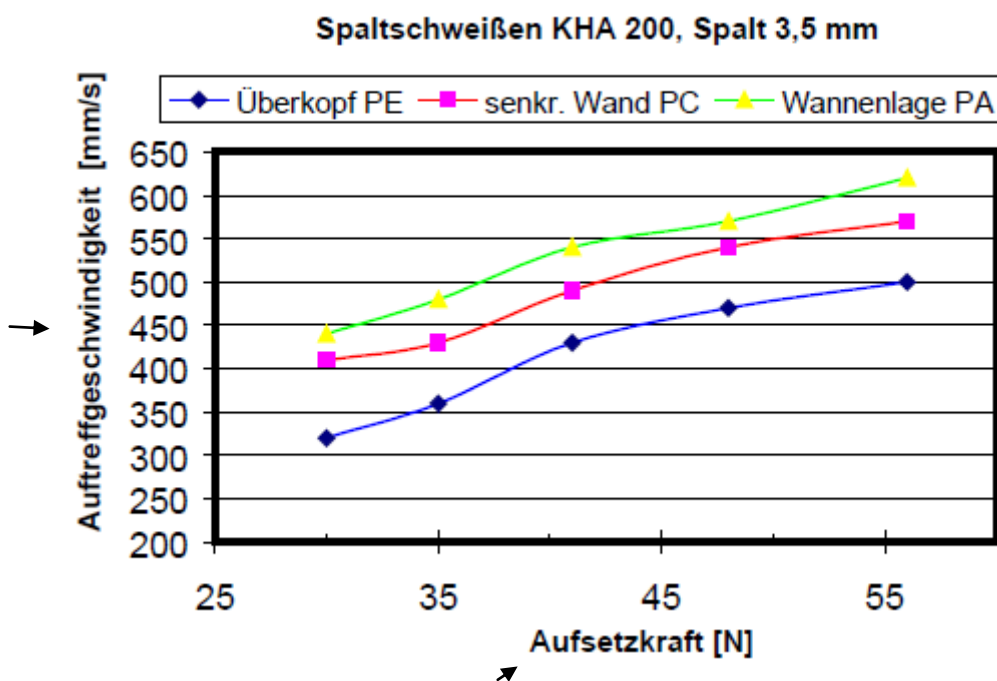
5.1.1.4 Svařovací pozice

Pro ruční svařovací pistoli s omezenou hmotností pístu i u svařovací hlavy s vyšší hmotností bude zjišťován vliv polohy, obzvláště PC a nad hlavou PE.

Obrázek ukazuje rychlost dopadu svorníku v závislosti na svařovací poloze PA, PC a PE pro svařovací hlavu KHA-200.

Zdvihové
sv. hlavou
zdvih 3,5

Rychlost
dopadu sv.
(mm/s)



svařování se
KHA-200,
mm

Dosedací síla

Zatímco se rychlost dopadu svorníku na svislou stěnu (PC) a poloze PA mění, při svařování nad hlavou PE je změna rychlosti zřetelnější. Rozdíl činí až 100 mm/sec při nastavení stejného přitlaku jak u svařovací hlavy, tak u svařovací pistole. Doporučeno je nastavování vyššího přitlaku svařovací pistole nebo většího zdvihu.

5.1.2 Jiné mechanismy pohybu

Pro zajištění reprodukovatelnosti pohybu svorníku budou zjišťovány také další systémy mechaniky pohybu svorníku. K dispozici jsou krokové motory, podobně jako lineární pohybové systémy.

5.1.2.1 Krokový motor

Použitý krokový motor je koncipovaný pro přivařování zdvihovým zážehem a je integrovaný na stacionární zařízení. Počítačové poziční řízení zajišťuje exaktní řízení pohybu. Rychlost pohybu je možné rovněž nastavit individuálně podle použití. Opakovatelnost znázorněná křivkami pohybu je velmi dobrá a dostačující. Nastavovaná rychlost pohybu svorníku bude realizována do 300 mm/sec. Zařízení je popsáno v publikaci /40/.

Nové, vylepšené, motorické zařízení umožňuje nastavení rychlosti pohybu až 400 mm/sec. Tato rychlost je požadovaná při svařování na ocelový plech. Ke svařování kontaktním způsobem je toto zařízení a systém motorů příliš pomalý.

5.1.2.2 Ostatní zařízení

Lineární motor

Krokový motor má nevýhodu vysokých pořizovacích nákladů. Jednodušší na zakomponování do nějaké sestavy zařízení je lineární motor. Pohybující se zařízení je řízeno magnetickým polem. Lineární motor firmy Tucker s maximální rychlostí 250 mm/sec se jeví jako nedostatečný.

Nové lineární motory mají potom vyšší dynamiku. Toto je použitelné většinou pro malé zdvihy s tlakem do 30 N pomocí různých magnetů.

Zkoušen bude lineární servomotor typ MM80-12 s řízením DSA-1. U tohoto zařízení je magnet rameno uloženo v ložisku z důvodu nízkého odporu tření. Podle údaje výrobce by mělo být možné nastavení rychlosti až 500 mm/sec. Přesné postavení magnetů je zajišťováno lineárně transformátorem.

Dodaný systém dosáhla rychlosti 400 mm/sec při zatížení kleštinou a svorníkem. Proto nenabízí žádnou výhodu proti krokovému motoru. V tuto chvíli je výrobce ověřována možnost zvýšení rychlosti až na 1 msec.

Pneumatické pohony

S pneumatickými pohonnými systémy může být dosaženo vyšších rychlostí. Pohyb stávající a používané svařovací hlavy průmyslového automatu je zajišťován pomocí dvojitého pneumatického válce. Zařízení je popsáno v /40/.

Dosažená rychlost pohybu je až 900 mm/sec. Tyto hodnoty jsou užívány pouze u svařování se zdvihem. Hmotnost pohybovaného ústrojí je 1,3 kg. V závislosti na nastaveném přitlaku jsou dosahovány vysoké síly při dopadu svorníku na plech. Píst tlačí při vnořování svorník do tavné lázně silou až 1,4 kN na plech.

Exaktní nastavení a řízení pohybového systému není možné. Při rychlostech pohybu menších než 600 mm/sec. je zařízení nepřesné. Pro svařování kontaktní je tento systém nevhodný.

U tenkých plechů použití možné taky není, neboť dojde k deformaci plechu.

Při zkoumání budou používány rychlosti 600 až 900 mm/sec pro přivařování se zdvihem-

5.2 Technické varianty postupu na nelegovanou ocel

5.2.1 Optimalizace svařovacích podmínek pro ocelový svorník M6

Budou prováděny zkoušky svorníků přivařených elektrickým obloukem s hrotovým zážehem. Zkoušky budou zaměřeny na redukování foukání EO:

- * použití nemagnetických materiálů v okolí svařování na stole, vedení a upínacích přípravků
- * symetrické připojení proudové kabelace
- * rovnoměrný kontakt na pracovním plechu pomocí pneumatických upínek

Další podmínky tohoto bodu jsou:

Svorník: materiál S235J2G3, průměr 6 mm; Podkladní plech: DCO1 tloušťka 2 mm

Svařovací stroj: LBS 090 a svařovací hlava KHA-200

Změny nastavení:

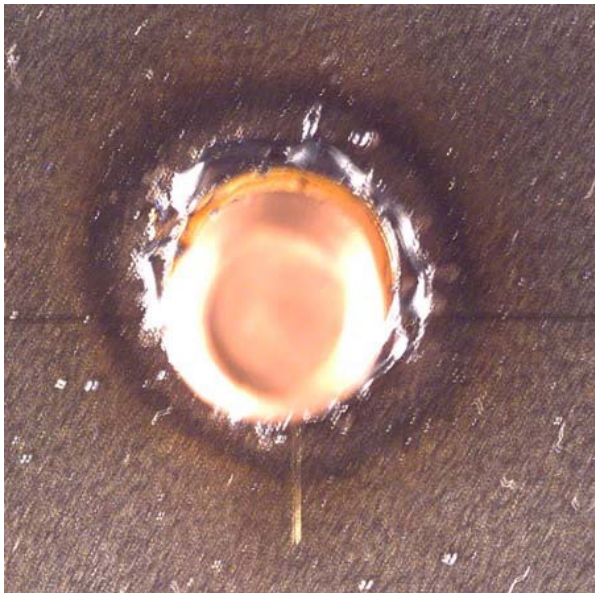
Zdroj svařovacího proudu: Dobíjecí napětí a kapacita kondenzátorových baterií

Svařovací způsob: Svařování se zdvihem a kontaktní

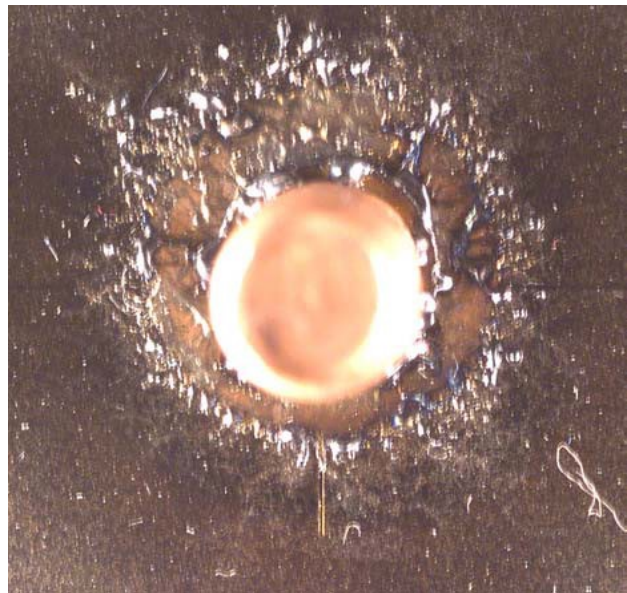
Nastavené parametry: předpětí pružiny, zdvih, přítlak

Provedené svary svorníků jsou provedeny bez znatelného rozstříku. Jen málo svarů vykazuje známky foukání EO.

Obrázek 23 ukazuje pohledy dvou svarů s normálním a větším rozstříkem.



Normální, správný, rozstřík



Velký rozstřík

Na základě vizuální zkoušky je jednoznačně definovatelné správné, resp. vysoké, množství energie vnesené do svaru. V obou dvou případech je nutné počítat s úbytkem části taveniny. Rozstřík taveniny je nutné považovat za důležitý parametr při posuzování množství tepla vneseného do svaru. Mimo to je možné vidět jednostranné vystříknutí taveniny vlivem foukání EO.

Další posouzení kvality svarů bude provedeno makro řezem materiálem. Obrázek ukazuje tavnou zónu správně provedeného svaru při svařování hrotovým zážehem se zdvihem.



5.2.1.1 Zdroj proudu

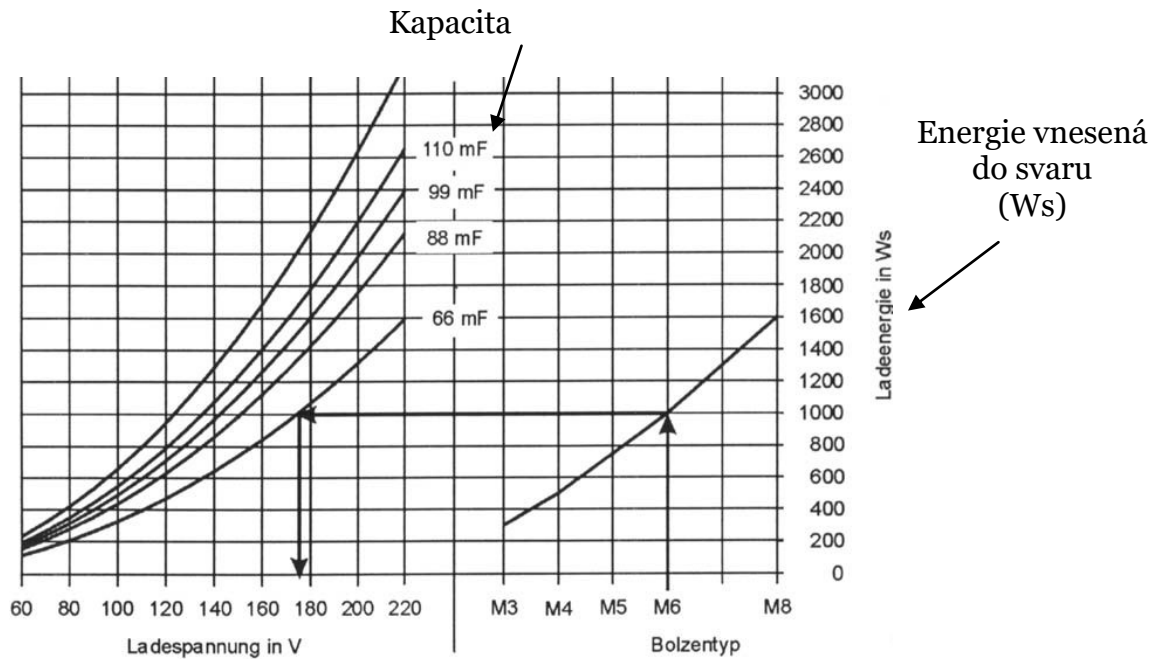
Kapacita o dobíjecí napětí jsou nejdůležitějšími faktory pro svařovací proces. Mnoho svařovacích zařízení umožňuje nastavování kapacity. Také ovládání dobíjecího napětí je možné pomocí potenciometru nebo mikroprocesorem a je zajišťováno svářečem nebo obsluhou k tomu určenou.

Pro přivařování hrotovým zážehem je využíváno stejnosměrného svařovacího proudu s vnějším dynamickým průběhem. Vliv na výsledek svaru však může mít polarita. Používaná byla standardní polarita, pro přivařování se zápornou polaritou na svorník.

Zkoušena byla i obrácená polarita. Takto je podkladní plech připojen na minusový pól- katodu, EO hoří od plechu na svorník.

Místo vzniku EO je na katodě výrazně užší. To se projevuje u přivařování svorníků nepravidelně rozstříknutou taveninou. Výsledky svarů takto provedených vykazují nižší pevnost při zatížení než ty, přivařené standardní polaritou (svorník katoda). Další zkoušky prováděny s původní polaritou (minus svorník)

Následující graf byl použit k nastavení svařovacího stroje parametry pro svorníky M6



Dobíjecí napětí (V)

Typ a velikost svorníky

Diagram nezohledňuje možný vliv materiálu, jako tloušťku, apod.

Pro svorníky M6 je odečtena z diagramu energie 1.000 Wsec. Z této energie a znalosti kapacity kondenzátorů je pomocí vzorce:

$$W = 1/2 \times C \times U^2$$

C...kapacita kondenzátorů

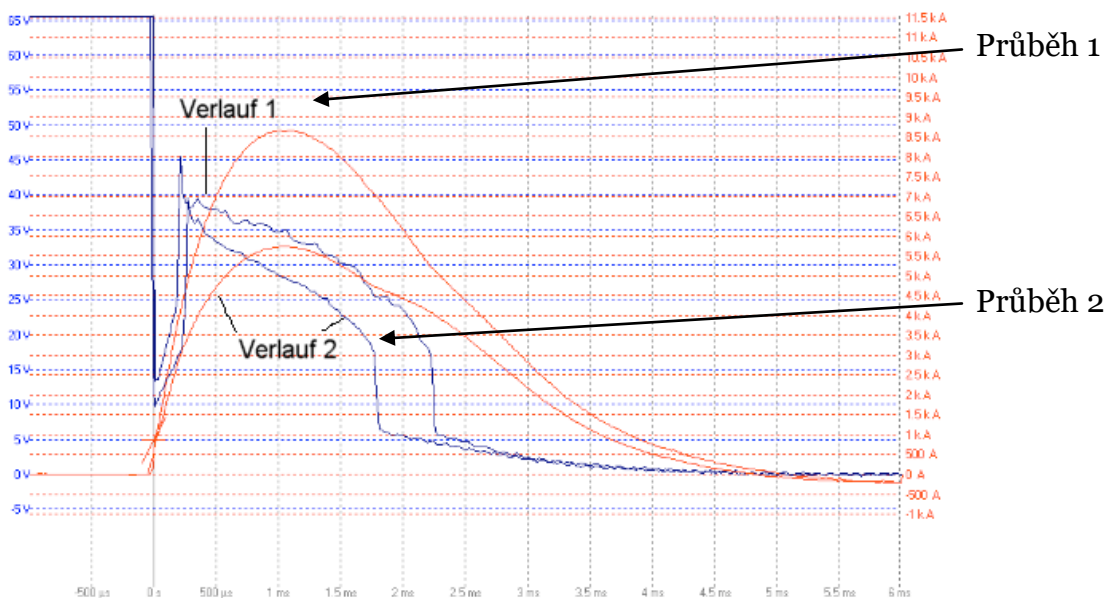
U...napětí na kondenzátorech

dopočteno napětí na kondenzátorech.

Pro svařovací stroj s kapacitou kondenzátorů 66.000 μF je odpovídající hodnota nastaveného napětí 175 V

Na používaném zařízení LBS 090 s kapacitou 90.000 a 120.000 μF je to pak podle zmiňovaného diagramu 150 V, resp. 130 V

Na obrázku jsou znázorněny průběhy svařovacího proudu a napětí v závislosti na svařovacím čase.



Průběh 1 $U=180\text{ V}$, $C=120.000\ \mu\text{F}$, svařovací čas/-energie: 2,0 msec/470 Ws
Průběh 2: $U=120\text{ V}$, $C=120.000\ \mu\text{F}$, svařovací čas/-energie: 1,5 ms/220 Ws

Na základě těchto křivek průběhů svařovacího proudu a napětí v závislosti na svařovacím čase je možné přesné stanovení doby hoření elektrického oblouku.

Svařovací energie je zřetelně nižší než dobíjecí energie a závisí na dalších podmínkách. Poměr svařovací energie a dobíjecí energie určuje první přiblížení, to znamená bez ohledu na zbytkový náboj, účinnosti svařování (platí pouze u průběhu 2).

Obrázek ukazuje hloubku a tvar zavaření při různých nastaveních napětí.



Vysoká energie v tomto případě vytlačí taveninu ze středu svorníku. $U=180\text{ V}$, $C=120.000\ \mu\text{F}$



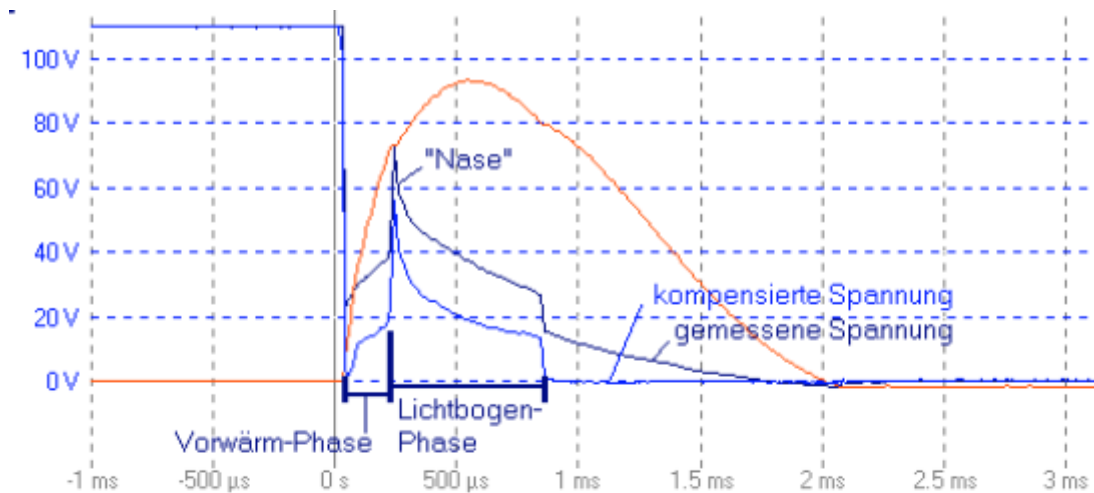
Nízká energie zajistila spojení pouze z části a to uprostřed svorníku, $U=120\text{ V}$, $C=90.000\ \mu\text{F}$

S energií od cca 1200 Wsec využít pouze díl energie mezi 100 – 350 Wsec pro přivařování se zdvihem průměru M6. Pro kontaktní svařování při stejné energii je využito cca 400 – 500 Wsec.

S narůstající energií se zvyšuje svařovací energie proporcionálně. To umožňuje nastavování svařovacích parametrů energie vnesené do svaru pomocí změny napětí na kondenzátorech.

5.2.1.2 Průběh svaru

Na obrázku jsou typické fáze průběhu svaru při svařování hrotovým zážehem, po kontaktu hrotu s plechem, průběh proudu a napětí.



Quelle: Anleitung zu Stud-Di

Bild 27: Phasen des Schweißablaufes beim Spaltschweißen. Spannungsverlauf mit und ohne Spannungskompensation

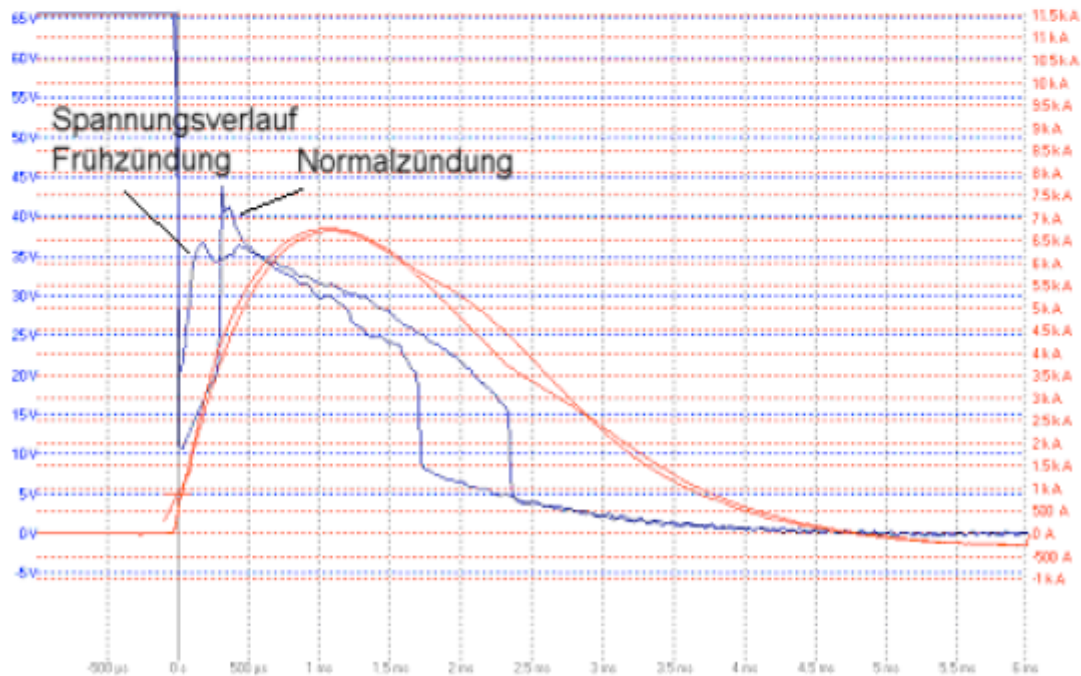


Bild 28: Analyse unterschiedlichen Zündverhaltens

Fáze přehřátí

V této fázi dojde k natavení a dílčímu odpaření zážehového hrotu. Tato fáze je ukončena zažehnutím EO. V této fázi nedochází k žádnému energetickému podílu, který by přehřátl část svorníku, ale má pozitivní vliv na průběh svaru.

Při elektrickém kontaktu a přitlačení hrotu svorníku na plech vznikne pouze omezený elektrický odpor (Ohm). Při zapojení potenciálu energie kondenzátorů vytvoří se vysoký svařovací proud dI/dt . Odpor svařovací kabelace však snižuje svařovací proud. Celkový zážeh EO zajišťuje energie mezi 8 – 20 wsec.

Fáze hoření EO

Zapálení EO nastává se zvýšením napětí (nos, obrázek 27). Toto je potřebné kvůli natavenému zkratovému mostu mezi svorníkem a plechem, který je přerušen začátkem emise elektronů na nosič nábojů. Následně nastává termická ionizace, která trvá až do konce hoření EO, přičemž dochází k přenosu elektronů v horkém plasmatu.

Tento skok napětí není vždy tak výrazný a závisí silně na povrchu materiálu.

Po zažehnutí EO dojde k uvolnění velké části energie. Je dosaženo po velmi krátký čas teploty až 10.000 K (9.757 °C). Svorník i podkladní plech jsou po celém průměru nataveny. Přitom se točí EO jako nehmotné elektrické vedení v nepřetržitém hledání energeticky výhodnějších podmínek hoření a pokryje přitom celý průměr svorníku.

Napětí na EO se řídí a omezuje při hrotovém zážehu pohybem svorníku ve směru plechu v závislosti na nastaveném svařovacím zdvihu. Toto má na začátku hodnotu výšky zážehového hrotu.

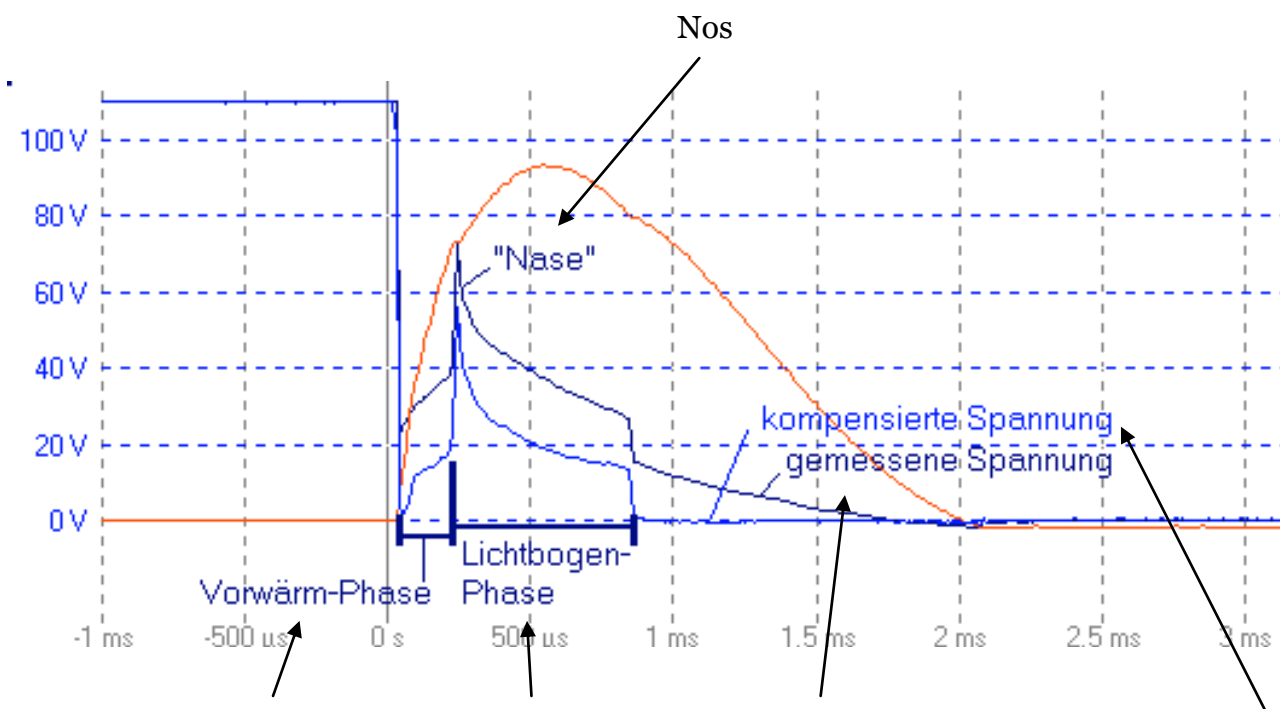
Tepelná část po přerušení EO je ukončena.

Fáze chlazení

Po fázi hoření EO jsou kondenzátory vybité vyzkratovaným proudem. Podíl napětí v místě svaru v této fázi je nula. Další energie více místem neprotéká. Tavenina díky nízkému tepelnému zatížení relativně rychle zchladne. Toto proběhne tak rychle, že ani u plechu tloušťky 0,5 mm nedojde k jeho poškození. Ani zbarvení vznikající po tepelném zatížení není u této technologie ve většině případů viditelné.

Spojení tavných lázní při spojovacím procesu se nachází právě podle nejnepříznivějších podmínek ve stavu tuhnutí, přičemž jeho rychlost je ovlivněna rychlostí dopadu svorníku na plech.

Obrázek znázorňuje dva rozdílné průběhy napětí



Fáze předehřátí, předzážeh Fáze hoření EO Naměřené napětí Kompenzované napětí

Měřený průběh napětí neodpovídá úrovni napětí EO, resp. ukončení zkratu při vtlačení svorníku do taveniny. Snímač napětí není přímo na svařovacím zdvihu, kde je napětí po ukončení fáze hoření EO při zkratu nulové . Při měření napětí je proto přihlíženo k poklesu napětí mezi body snímačů napětí a zdvihem.

Zapalovací mechanismus u svařování se zdvihem

Předcházející obrázek ukazuje dva typické průběhy při svařování se zdvihem. Liší při sledování průběhu napětí i proudu a dělí se na s normálním zážehem a s předzážehem.

Při normálním zážehu je zážehový hrot, jak již bylo popsáno, nataven a z části odpařen. Odpařením tavicího se spojení mezi svorníkem a plechem je zažehnut EO. Tento proces je u normálního zážehu podporován impulsy napětí.

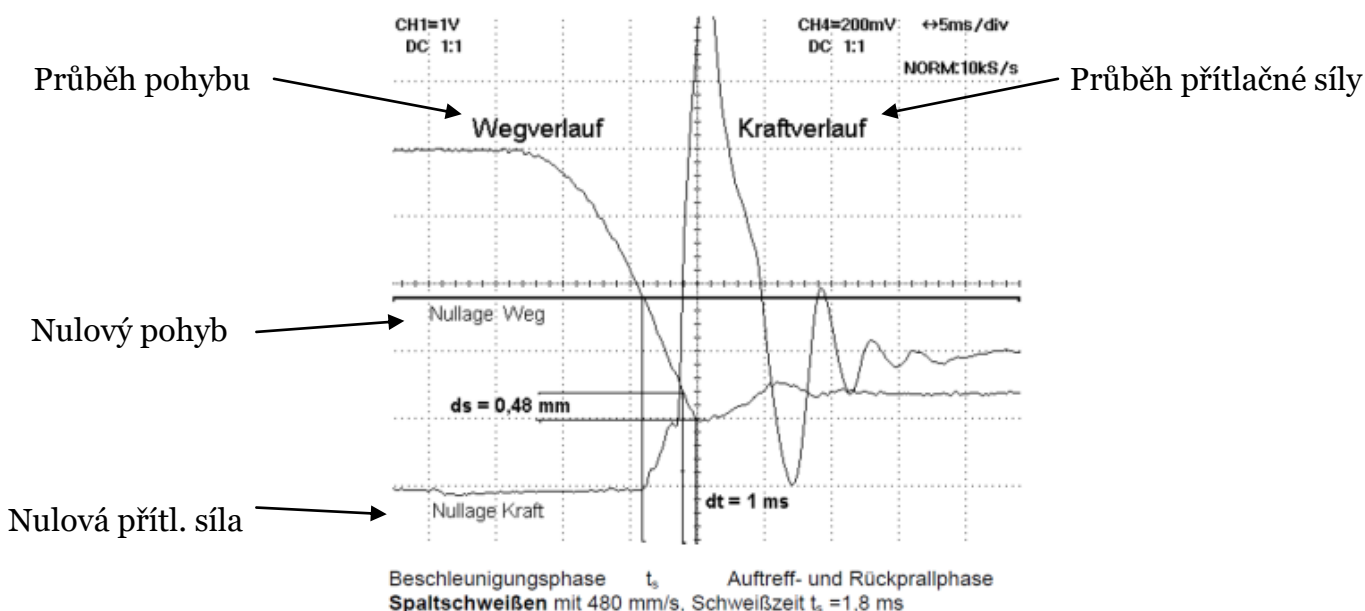
Při předzážehu vzniká EO již při přiblížení zážehového hrotu k plechu na základě přilehlého potenciálu napětí až 220 V. EO potom odpálí zážehový hrot. Dále jsou předzážehy doprovázeny a podporovány nižší rychlostí svorníků. Vliv mají také zbytky na zážehovém hrotu, podobně jako nižší přechodové odpory mezi podkladním materiálem a svorníkem (např. hliník). Proto jsou častěji u této materiálové skupiny k vidění předzážehy.

Předzážehy mohou vést, ale nemusí, k vadným svarům. Rozlišují se pak průběhem napětí. Zkušební svářeči mohou také rozdíly mezi předzážehem a normálním zážehem slyšet.

5.2.1.3 Pohyb svorníku

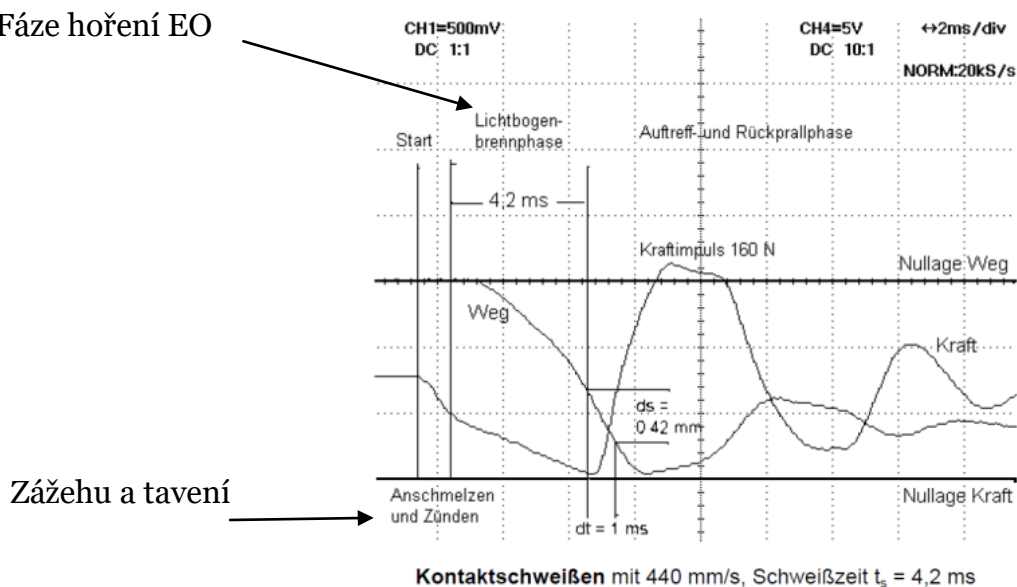
Spojení obou natavených materiálů, svorníku a podkladního plechu, musí probíhat v tavné fázi. Tuhnoucí tavenina vytváří pevnou krystalickou strukturu. Spojení natavených materiálů a vytvoření spoje na daných místech je možné na základě svorníku.

Obrázek ukazuje pohyb vnoření pro svařování se zdvihem a kontaktní. Síla, kterou dopadají svorníky na podkladní plech je znázorněna na druhé křivce.



Svařování se zdvihem, svařovací čas $t = 1,8$ msec,
pohyb 480 mm/s

Fáze hoření EO



Zážehu a tavení

Kontaktní svařování, svařovací čas $t = 4,2$ msec, pohyb 440 mm/s

Jak průběh pohybu svorníku, tak i průběh síly, vytváří při dopadu svorníku na plech doprovodný zpětný pohyb s odražením. Měření síly vzniklé dopadem svorníku bylo změřeno pomocí DMS měřiče firmy Burster přímo v místě svaru. Podepření plechu nezpůsobí velké snížení odrazu.

Kinetická energie pohybového ústrojí se svorníkem bude předána plechu. K vtlačení svorníku do taveniny není nutná velká síla a rovněž silový výdaj je nízký. Více rozhodující a důležitá je rychlost dopadu svorníku na podkladní plech, než hodnota rychlosti vtlačení svorníku do taveniny. Toto pulsní vtlačení v této fázi způsobí úbytek materiálu v tavenině, a tím i rozstřík taveniny v okolí přivařeného svorníku.

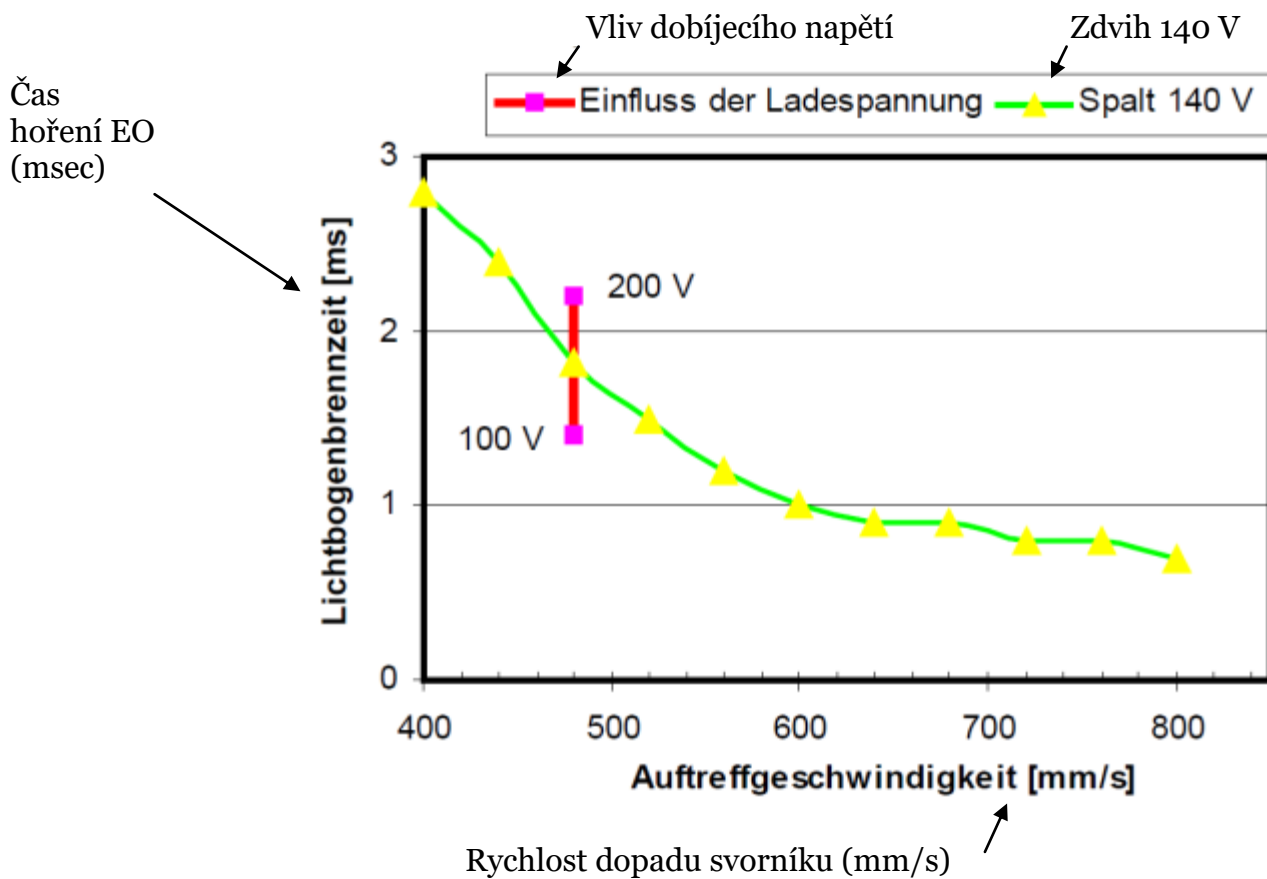
Rychlost dopadu svorníku při přivařování se zdvihem

Svařovací hlava KHA-200 je určena pro přivařování se zdvihem, přičemž je u ní přednastavena konstanta přitlaku 2 N/mm. Pro kontaktní svařování je používán přitlak s konstantou 5 N/mm. Svařovací hlava je vybavena lehce pracujícím ložiskovým vedením hliníkového pístu.

Jako variantní budou nastaveny mechanicky různé hodnoty konstant přitlaku (předpětí) a výšky zdvihu ve vztahu na nastavení různých rychlostí dopadu svorníku na plech. Toto bude nastaveno mezi 300 – 900 mm/sec změnou přitlaku a zdvihu.

Tento úkol bude posuzováno vysokorychlostním videem a snímky, měřeno zpětným rázem svařovací hlavy a délky hoření EO.

Obrázek ukazuje vliv rychlosti dopadu svorníku na plech při svařování se zdvihem na délku hoření EO u svorníku M6 ocel.



M 6 ocelové svorníky, svařovací zařízení LBS 090 dobíjecí napětí 120.000 μ F, sv. hlava KHA 200

Použito svařovací zařízení LBS 090 (120.000 μ F, dobíjecí napětí 140 V) se svařovací hlavou KHA-200. Provedeno bude 10 zkoušek. Užito bude předpětí pružiny s konstantou přítlaku 2,5 N/mm. V návaznosti na nasazení je ale možné provádět přenastavování předpětí pomocí stavěcího šroubu.

Vyšší rychlost dopadu svorníku na plech zapříčiní kratší svařovací čas. Svařovací časy jsou v závislosti na velikosti zdvihu při dobíjecím napětí 140 V pro svorníky M6 ocel v rozpětí 0,7 – 2,8 msec.

Zobrazovací křivka může být považována za všeobecnou a aplikovatelnou pro uvedené hodnoty pro jakoukoliv svařovací pistolí či hlavou. Na obrázku jsou uvedeny rozdíly při změnách na zkušebním svařovacím stroji rozdílnými dobíjecími napětími. Největší rozdíl je patrný v rozpětí rychlosti dopadu svorníku 460-540 mm/s.

Z toho rezultuje jednoznačný vliv nastavení hodnoty mechanického přítlaku svařovací pistole nebo svařovací hlavy na svařovací proces. Důležité hodnoty nastavení se nedají nadefinovat přesně a použití hodnot závisí na zkušenosti obsluhy. Tato skutečnost ztěžuje nastavování a tím i použití svařování se zdvihem.

Nejvhodnější nastavení se u používaného svařovacího zdroje pohybuje pro hodnoty mezi 450-650 mm/sec.

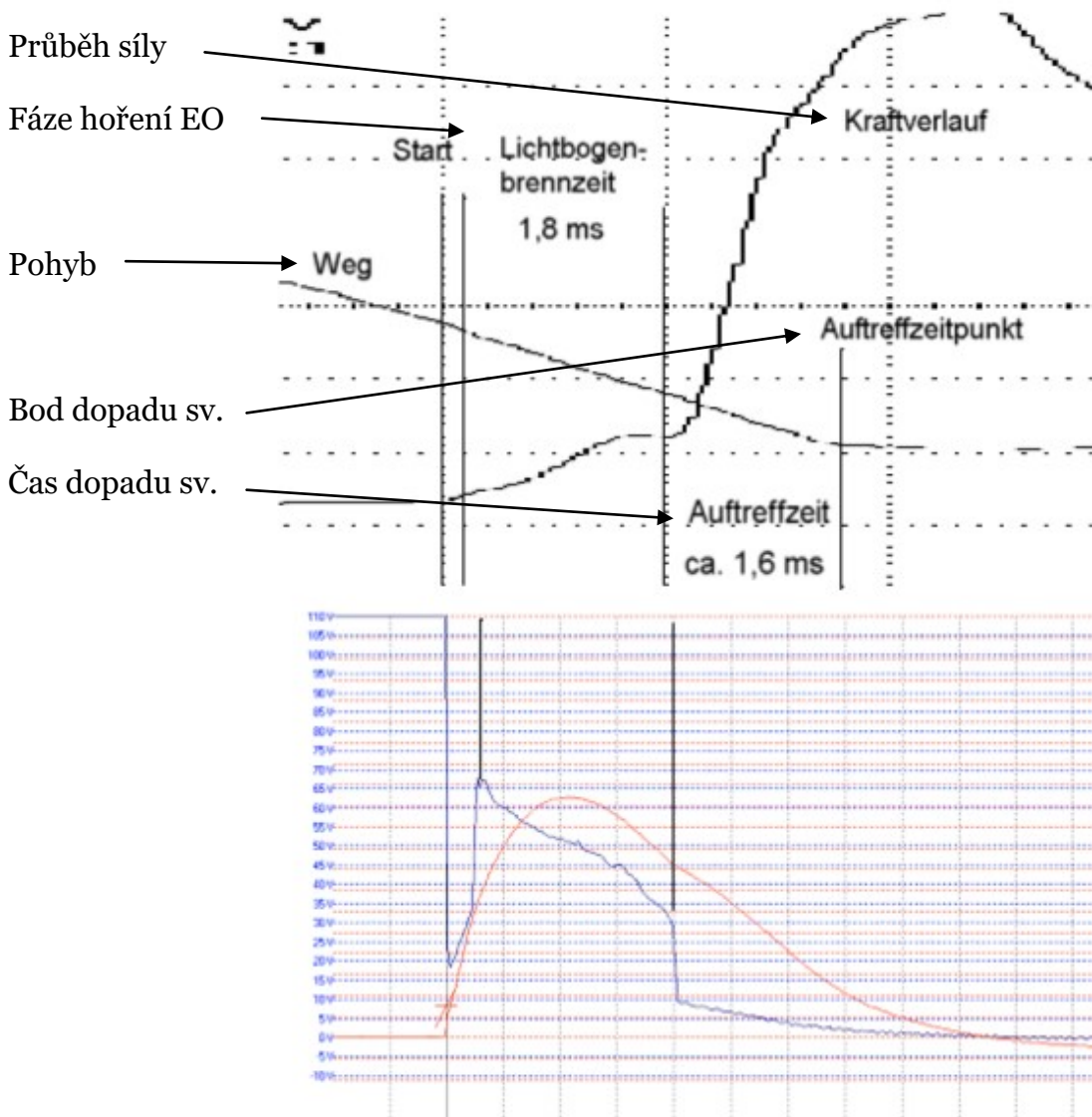
Obrázek znázorňuje příklad vadného svaru s velkými vadami vzniklými nízkou rychlostí dopadu svorníku na plech. Jak svorník, tak i podkladní plech jsou bez taveniny.



Svorník se pohybuje pomalu proti plechu. Při rychlosti dopadu svorníku na plech nižší než 400 mm/sec a výšce zážehového hrotu 0,8 mm potřebuje svorník k dopadu na plech 2 msec. V tomto čase spotřebuje EO více energie kondenzátorů než v ostatní době. Při rychlosti 600 mm/sec potřebuje svorník čas 1,4 msec pro stejnou vzdálenost tedy 0,8 mm. Ve skutečnosti jsou svařovací časy o něco delší, protože tam musí být připočítán i čas prvního tavení zážehového hrotu.

Podobné materiálové ztráty se projevují taky při vyšší rychlosti dopadu svorníku 800 mm/sec. Tavenina se rozstříkne při větším impulsu síly dopadem svorníku. Krátký svařovací čas kolem 0,7 msec, při stejném dobíjecím napětí a kapacitě, je příčinou malé svařovací energie. Svorník i plech při příliš prudké reakci převzetím kinetické energie prakticky oscilují.

Obrázek znázorňuje průběh svaru pro přivařování se zdvihem v závislosti na velikosti svařovacího proudu.



Znázorněny jsou pohyb a síla. Velikost svařovacího proudu a napětí jsou vykresleny pomocí systému STUD-DI, pohyb a síla jsou pomocí osciloskopu. Časová osa osciloskopu je zkorigovaná se vyhodnocovacím systémem STUD-DI.

Silový impuls je v tomto případě 190 N. Celkem budou pro přivařování se zdvihem měněny silové impulsy do 250 N v závislosti na rychlosti dopadu svorníku na plech.

Měření ukazují od doby 1,6 msec, kdy dojde k dopadu svorníku na plech, po konec svařovacího času pokles napětí, nebo zbytkové napětí. Tento díl svařovacího času je v grafu označen jako čas dopadu t_{AB} . S ohledem na průběh svaru odpovídá tato doba vtlačování svorníku do tavné lázně.

Při ukončení EO kapkovitým zkratem jsou již kapky taveniny svorníku a plechu spolu spojeny. Současně začíná tuhnutí taveniny kondukcí, převodem tepla do základního materiálu. Rozhodující vliv na snížení teploty taveniny má čas tuhnutí. Od tohoto momentu dojde k pevnému spojení svorníku s plechem a svar je ukončen.

Čas tuhnutí taveniny t_{ES} je možné na základě rozdělení teploty do tavné zóny během fáze tuhnutí vyjádřit i matematicky /16/. V závislosti na tloušťce tavné zóny a materiálu je čas tuhnutí v rozmezí 0,2 – 1 msec.

Doba tuhnutí t_{ES} taveniny a čas dopadu svorníku t_{AB} vzájemně souvisí. Mohou nastat následující případy:

1. čas t_{ES} je kratší než t_{AB} –

to znamená, že k předčasnému tuhnutí zřejmě dochází při nedokončeném svaru a pohybu svorníku směrem dolů

2. čas t_{ES} je přibližně stejný jako t_{AS} , což je ideální stav-

to znamená, že k tuhnutí taveniny dochází až v době, kdy svorník již ukončil pohyb a při zpětném rázu je již svorník pevně spojen s plechem

3. čas t_{ES} je větší než t_{AB} -

to znamená, že tuhnutí je zahájeno v době, kdy dochází ke zpětnému rázu, svorník i plech jsou od sebe vzdáleny, tavenina je mechanicky rozstříknuta mimo průměr svorníku

Čas dopadu svorníku t_{AB} závisí značně na rychlosti dopadu, ale také na délce zážehového hrotu a hloubce svaru.

Čas tuhnutí t_{ES} závisí značně na získané svařovací energii a na podmínkách odvodu tepla podkladním materiálem.

V provedených zkouškách byly zjištěny následující závislosti:

- * **Ideální stav:** Tavenina tuhne ještě před změnou pohybu svorníku (dolů/nahoru). Toto je ověřeno pro nelegovanou ocel při rychlosti dopadu svorníku mezi 450 – 650 mm/sec.
- * Při rychlosti dopadu svorníku menší než 400 mm/sec dochází k chybám svaru
- * Při rychlostech dopadu svorníku vyšších než 700 mm/sec je omezeno množství energie předané do svaru neboť je svar rychle ukončen.

Rychlost dopadu svorníku při kontaktním přivařování

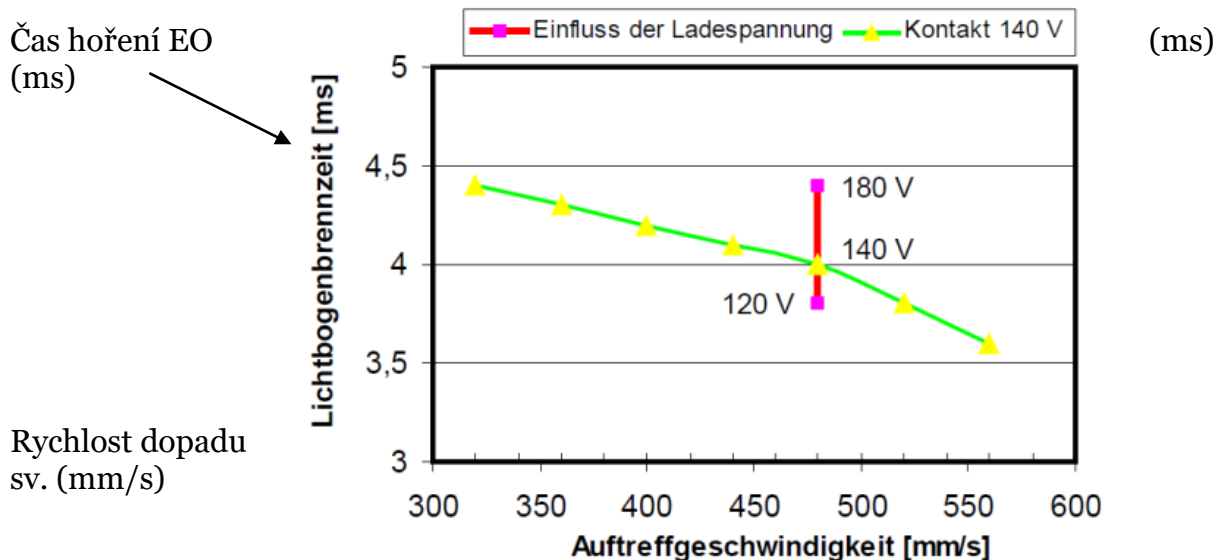
Při kontaktním přivařování se mění na základě delšího svařovacího času úroveň velikosti času tuhnutí T_{ES} a čas dopadu svorníku t_{AB} .

Další závislosti jsou obdobné jako u přivařování se zdvihem.

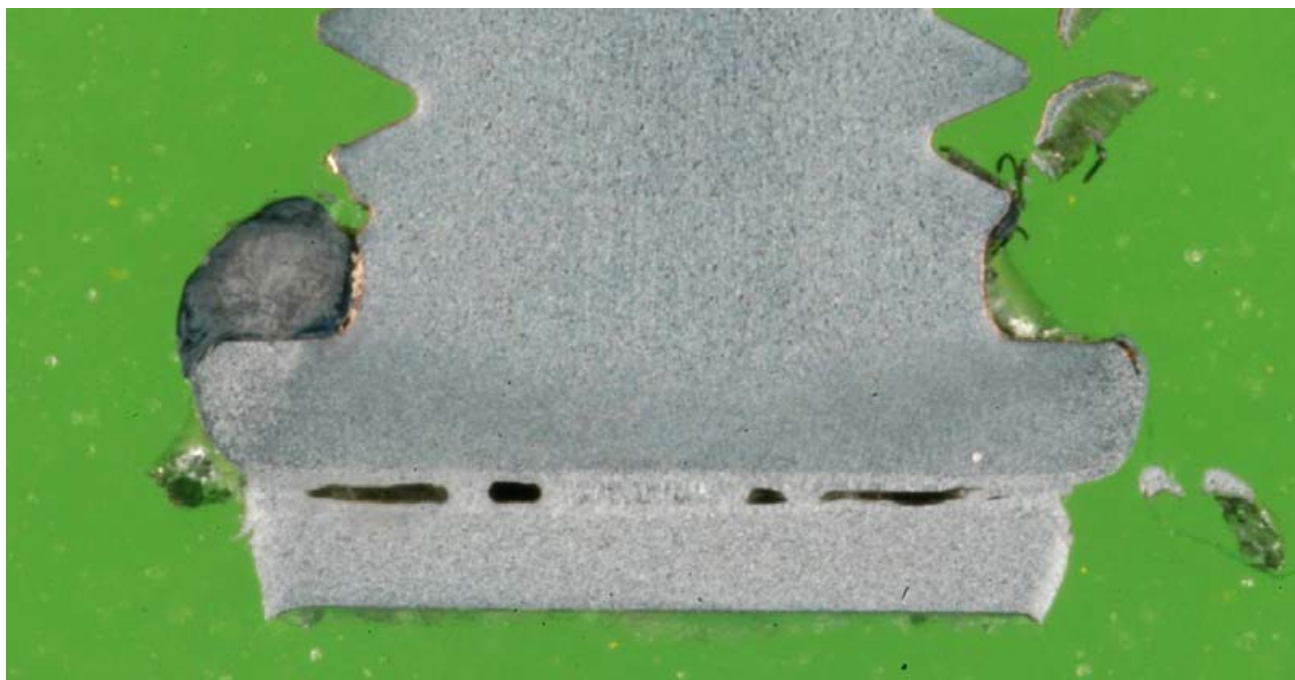
Rychlost dopadu svorníku při kontaktu s plechem je omezená, protože svorník zrychluje z klidové pozice.

Obrázek znázorňuje vliv rychlosti dopadu při kontaktním přivařování na času hoření EO u ocelových svorníků M6 při použití svařovacího zařízení LBS 090 (120.000 μ F a dobíjecího napětí 140 V) se svařovací hlavou KHA-200. Bylo provedeno 10 zkoušek.

Rozdílná rychlost dopadu svorníku vyplývá z vyššího tlaku pružiny, která vychází ze silové charakteristiky pružiny a jejího předpětí.



Obrázek ukazuje svarový spoj při kontaktním přivařování s rychlostí dopadu nižší než 300 mm/sec.

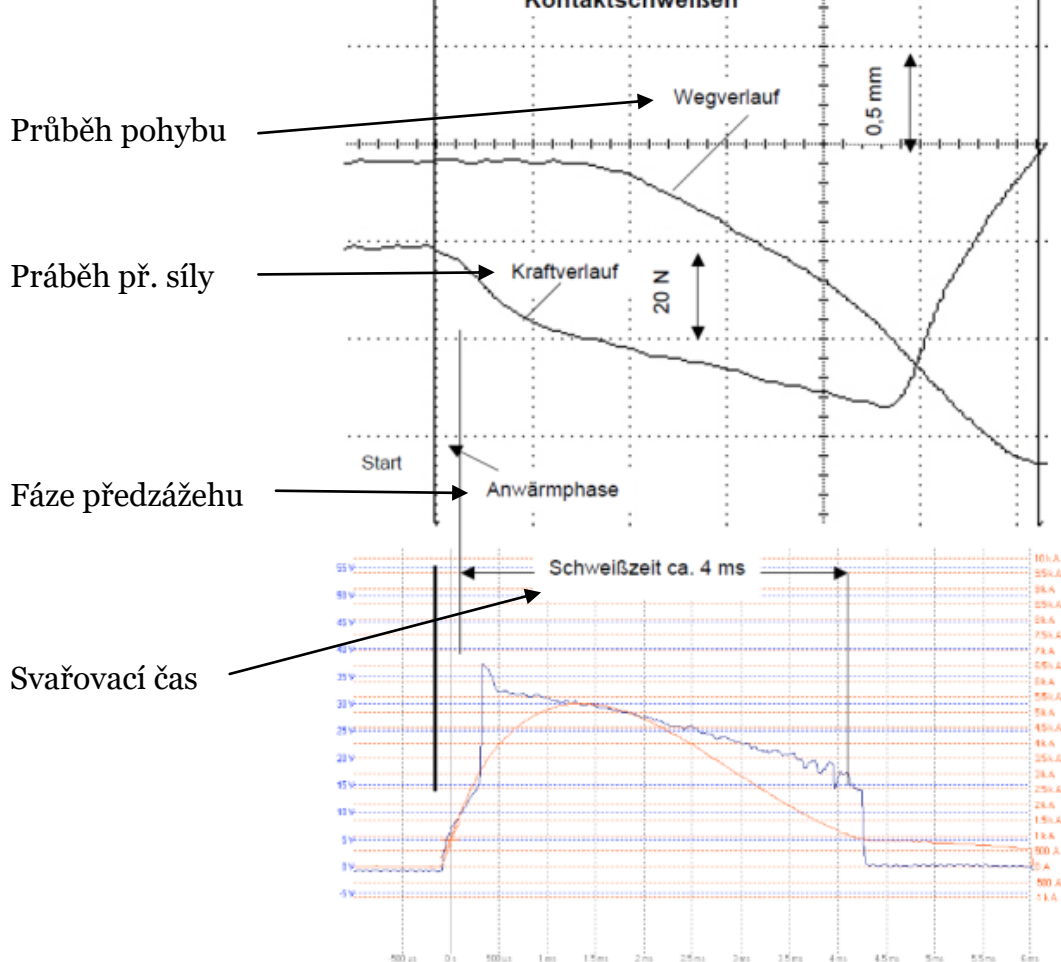


Tuhnutí tavné zóny, oproti přivařování se zdvihem, je delší a probíhá při dopadu svorníku na plech. Proto jsou více zřetelné vady svaru.

Rychlosti dopadu svorníku na plech jsou při kontaktním přivařování nižší než u přivařování se zdvihem. Toto zajišťuje snejnosměrnější a pravidelnější svařovací čas a stabilnější průtok svařovací energie.

Obrázek znázorňuje průběh svaru při kontaktním svařování a závislost velikosti proudu, napětí na EO, pohyb a sílu přtlaku.

Kontaktní svařování



Zážehový hrot svorníku je ve výchozí pozici v tomto případě tlačěn pružinou se silou 90 N na podkladní plech. Síla dopadu svorníku na plech je cca 180 N a je tedy rozdílná než u přivařování se zdvihem. Rovněž zpětný ráz předaný části kinetické energie do pistole je jiný než u zdvihového přivařování. Svařovací čas je delší kolem 4,2 msec.

Rychlost dopadu svorníku větší než 800 mm/sec

Vyšší rychlosti dopadu svorníku než 800 mm/sec jsou při použití konvenční svařovací techniky pro přivařování kondenzátorovým výbojem, jak již bylo popsáno, špatně řešitelné.

Kratší svařovací časy omezují svařovací energii při stejných nastaveních dobíjecího napětí. Tato energie potom chybí pro provedení kvalitních svarů a není možné toto změnit ani vyšším dobíjecím napětím. Mimo to dojde, na základě vyšší rychlosti, k většímu rozstříku taveniny a úbytek materiálu. Navíc dochází při těchto rychlostech k většímu a znatelnějšímu zpětnému rázu.

Svařovací pistole disponují oproti hlavám vyšším tlakem pružiny potřebnému k dosažení vyšší rychlosti. Zpětný ráz pístů pistolí je menší než u těžkých svařovacích hlav. Přitom je ale tvar a velikost rozstříku větší než u nižších rychlostí pohybu svorníku.

Tlumené vnoření

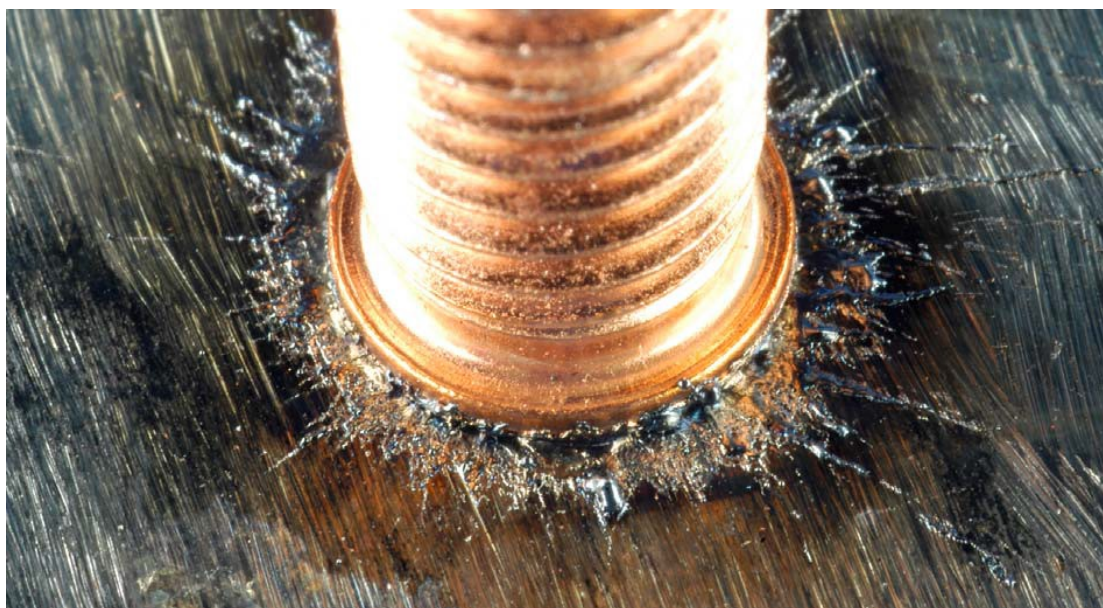
Cílem tlumeného vnořování svorníku je, aby nedocházelo k vyšším zpětným rázům. Toto by mělo vést k sníženému výskytu svarových vad a ztrátám taveniny při rozstříku.

U svařovacích pistolí, vybavených přítlačnou pružinou pohybuje se tato ve směru k plechu a může být tlumena. Zpětný ráz může být tlumen pomocí tlumení, čímž dochází k redukování kinetické energie, resp. dojde k cílenému vnořování. Další metoda vychází z toho, že jsou srovnávány různé pracovní tlaky a tyto jsou optimalizovány.

Obě dvě metody byly zkoušeny u stacionárních svařovacích zařízení. Ukazuje se, že cíleným nastavením vnořování je zamezeno zpětným rázům.

Definované vnořování v kombinaci s vyššími provozními tlaky jsou dosažitelné pomocí pneumatických zařízení. Zpětný ráz svorníku nebyl v tomto případě zjištěn. Statický tlak podle stlačeného vzduchu byl dosažen až 1,4 kN. Při tomto tlaku ale dochází k mechanickému zdeformování podkladního plechu.

Výsledek popisuje obrázek v řezu.



Svary vypadají při vyšší pojezdové rychlosti velmi dobře. Vysoká přítlačná síla vede k vytlačení taveniny z prostoru svaru. Dosaženo bylo dostatečně únosných spojů, ale charakter svařování více směřuje k tlakovému svařování než tavnému svařování.

Zkoušky pro přivařování se zdvihem prokázaly následující:

- * tlumením síly dopadu svorníku na plech pod 700 mm/sec je dosaženo redukování rozstříku taveniny
- * při rychlosti pohybu svorníku přes 700 mm/sec je dosaženo zmenšení rozstříku taveniny a vnoření svorníku do plechu je dostačující
 - * svary nevykazují velké svarové vady ve svařovací zóně
- * při zatěžování tahovou zkouškou dochází ve většině případů k vytržení svorníku ze základního materiálu

Výsledek:

Pohyb svorníku má rozhodující vliv na kvalitu svarového spoje při technologii přivařování svorníků hrotovým zážehem.

Rychlost dopadu svorníku na plech mění pro svařování se zdvihem velmi značně výsledky

svařování v závislosti na předpětí pružiny, použitém pístu svařovací hlavy/ svařovací pistole a užitém vedení (pouzdrové/ložiskové). **Vliv na svařovací čas a hoření EO je taky značný.** Při příliš nízké rychlosti dopadu svorníku na plech, méně než 400 mm/sec, dojde k tuhnutí ještě během pohybu svorníku směrem dolů. Při vysoké rychlosti dopadu svorníku (>700 mm/sec) dochází ke snížení svařovací energie. Při hodnotách pod 150 Ws svařovací energie (energie vnesená do svaru) nedojde k přivaření celé plochy svorníku M6 (nelegovaná ocel).

5.2.1.4 Výsledky zkoušek a srovnání pojezdu

V návaznosti na výsledky ukoušek svaru hrotovým zážehem M 6 svorníků se zdvihem a kontaktním způsobem budou v následujícím textu tyto porovnávány.

K tomu bude použito dobíjecího napětí mezi 100 – 180 V a kapacity kondenzátorových baterií 90.000 μF .

Rychlost dopadu svorníku na plech bude nastavena u svařování se zdvihem (konstanta pružiny $c=2$ N/mm) cca 520 mm/sec. Předpětí svařovací hlavy KHA-200 bude nastaveno na 6 mm. K tomu je ještě nutné připočíst 2 mm na základě představení svorníku před nátrubek a nastavení zdvihu svařovací hlavy na 3,5 mm.

Tabulky udávají údaje k nastavení svařovacích parametrů a podstatné výsledky optimalizace svařovacích parametrů pro ocelové svorníky M6.

Nastavení svařovacích parametrů				Výsledky zkoušek								
Předpětí (mm)	Zdvih (mm)	Kapacit a (μF)	Dobíjecí napětí (V)	Rychlost dopadu (mm/sec)	Čas hoření EO (msec)	Energie Vnesená do svaru (Ws)	Zkoušky ohnutím	Forma svaru		Tah		Klasifikace
								Nejčastější vady	Plocha sv. vad	/kN/	Stav lomu	
0	3,5	120000	130	440	2,7	280	50%	BF,US	30%	nevyhov.		nevyhov.
3	2	120000	130	410	2,5	350	50%	BF,US	40%	7,9	SZ	nevyhov.
6	2	90000	130	420	2,2	320	70%	BF,US	30%	nevyhov.		nevyhov.
9	5	120000	130	700	0,8	140	40%	BF	50%	7,2	SZ	nevyhov.
12	5	120000	130	810	0,7	120	30%	BF	60%	n.e.		nevyhov.
6	3,5	90000	140	540	1,3	230	100%	póry	<10%	10,5	Bo	e.
6	3,5	120000	140	540	1,4	260	100%	póry	<10%	10,8	Bo	e.
9	3,5	120000	140	570	1,2	180	100%	póry	<10%	10,7	Bo	e.
6	3,5	120000	100	540	1,3	170	30%	BF	40%	nevyhov.		nevyhov.
6	3,5	120000	120	540	1,5	250	80%	US	30%	9,8	Bo/SZ	e.
6	3,5	120000	160	540	1,9	380	80%	US	20%	9,2	Bo/Sz	e.
6	3,5	90000	160	540	2	420	80%	US,BF	25%	8,9	Bo/Sz	e.
Sv.hlava KHA-200, pružina $c=2,5$, Sv.stroj LBS 090				Svorník:M6, S235JR+TC, sv. pozice PA			Plech: DCO1, tloušťka 2 mm, povrchová úprava: odmaštěno				1)5 řezů, 2)10 zkoušek	
Přivařování se zdvihem				Nelegovaná ocel			Bo-svorník, SZ-svařovací zóna, BL:plech, BF:vady svaru, US-dutiny				M6	

Nastavení svařovacích parametrů				Výsledky zkoušek								
Předpětí (mm)	Síla přítlaku (kN)	Kapacita (μF)	Dobíjecí napětí (V)	Rychlost dopadu (mm/sec)	Čas hoření EO (msec)	Energie Vnesená do svaru (Ws)	Zkoušky ohnutím	Forma svaru		Tah		Klasifikace
								Nejčastější vady	Plocha sv. vad	/kN/	Stav lomu	
0	48	120000	140	320	4,6	430	50%	BF,US	30%	nevyhov.	SZ	nevyhov.
2	61	120000	140	3310	4,3	415	70%	BF	20%	7,9	Bo/SZ	vyhovující
4	75	90000	140	400	4,2	410	80%	BF	15%	nevyhov.	Bo	vyhovující
6	90	120000	140	420	4	405	90%	BF	10%	9,6	Bo	vyhovující
8	97	120000	140	460	3,9	400	100%	póry	< 5%	11,4	Bo	vyhovující
10	106	120000	140	520	3,7	390	100%	póry	< 5%	11,8	Bo	vyhovující
12	116	120000	140	530	3,5	385	100%	póry	< 5%	11,6	Bo	vyhovující
8	97	90000	140	460	3,6	360	90%	póry	15%	10,7	Bo	vyhovující
8	97	120000	100	460	3,4	220	50%	BF,US	40%	nevyhov.	SZ	nevyhov.
8	97	120000	120	460	3,8	310	70%	BF,US	30%	9,6	Bo/SZ	vyhovující
8	97	120000	160	460	4,2	490	70%	BF	20%	9,8	Bo/Sz	vyhovující
8	97	90000	180	460	4,4	590	60%	US,BF	30%	8,4	Bo/Sz	vyhovující
Sv.hlava KHA-200, pružina c=2,5, Sv.stroj LBS 090				Svorník:M6, S235JR+TC, sv. pozice PA			Plech: DCO1, tloušťka 2 mm, povrchová úprava: odmaštěno				1)5 řezů, 2)10 zkoušek	
Přivařování se zdvihem				Nelegovaná ocel			Bo-svorník, SZ-svařovací zóna, BL:plech, BF:vady svaru, US-dutiny				M6	

Vizuální zkoušky

Optické posouzení svarů dává informaci především o použitém dobíjecím napětí. Pouze při extrémně vysokém, nebo naopak nízkém dobíjecím napětí je patrné a jasné posouzení svarů. Provedené svary mají pravidelný rozstřík taveniny s rozdílnou velikostí.

Pouze při vysoké svařovací energii dochází k velkému rozstříku taveniny. Tento jev byl zachycen pomocí vysokorychlostní videokamery a poukazuje na přehřátí taveniny vlivem vysoké intenzity EO.

Rozstřík taveniny více svarů byl posuzován spektrální analýzou pomocí mřížkového elektronového mikroskopu. Toto bylo prováděno především kvůli zjištění oxidu železitého a jeho reakcí v plasmatu EO s částicemi vzduchu.

Zkoušky ohybem

Svorníky jsou zatěžovány ohybem pomocí trubkového ohýbacího přípravku na úhel ohnutí 60° bez znatelných prasklin nebo jiných závad ve svaru. U plechů do tloušťky 2 mm bylo z důvodu další optimalizace provedeno ohýbání systémem tam/ zpět s úhlem ohýbání 10-20°. Přitom docházelo k mechanickému poškození plechu.

Výsledky těchto zkoušek byly vyhovující pro dobíjecí napětí 120 – 170 V. Teprve při napětí 100 – 120 V nebo 180 - 200 V nebyly ohybové zkoušky vyhovující. K porušení ve svaru vlivem pórů dochází tehdy, překročí-li jejich objem 40 % plochy přivařeného svorníku. Obrázek ukazuje vyhovující svary kontaktním způsobem na plech DCO1 po zkoušce ohybem.



Svorník po ohybu přípravkem

Zkouška ohybovým momentem

Také použití pevnostní zkoušky ohybovým momentem nedává stoprocentní odpověď na otázku použité dobíjecí energie. Po zkoušce ohybovým momentem můžeme konstatovat, že kontaktní svařování je podle prokázané pevnosti svarů svorníků ve velkém rozsahu nastavení parametrů výhodnější než svařování se zdvihem.

Tahové zkoušky

Tahové zkoušky jsou průkaznější a více svar namáhající než zkoušky ohybovým momentem nebo ohybem na 60° . Neznamená, že svary, které prošly při zkouškách ohybem nebo ohybovým momentem vyhoví tahovým zkouškám. Naopak to ale většinou platí. Rozhodující pro tahovou pevnost je rozložení svarových vad po průměru svorníku. Při tomto druhu zkoušky byly vyhovující svorníky s menším objemem vad než 15 % průměru svorníku. V jednotlivých případech tedy ovlivňuje místo lomu také rozložení a koncentrace vad.

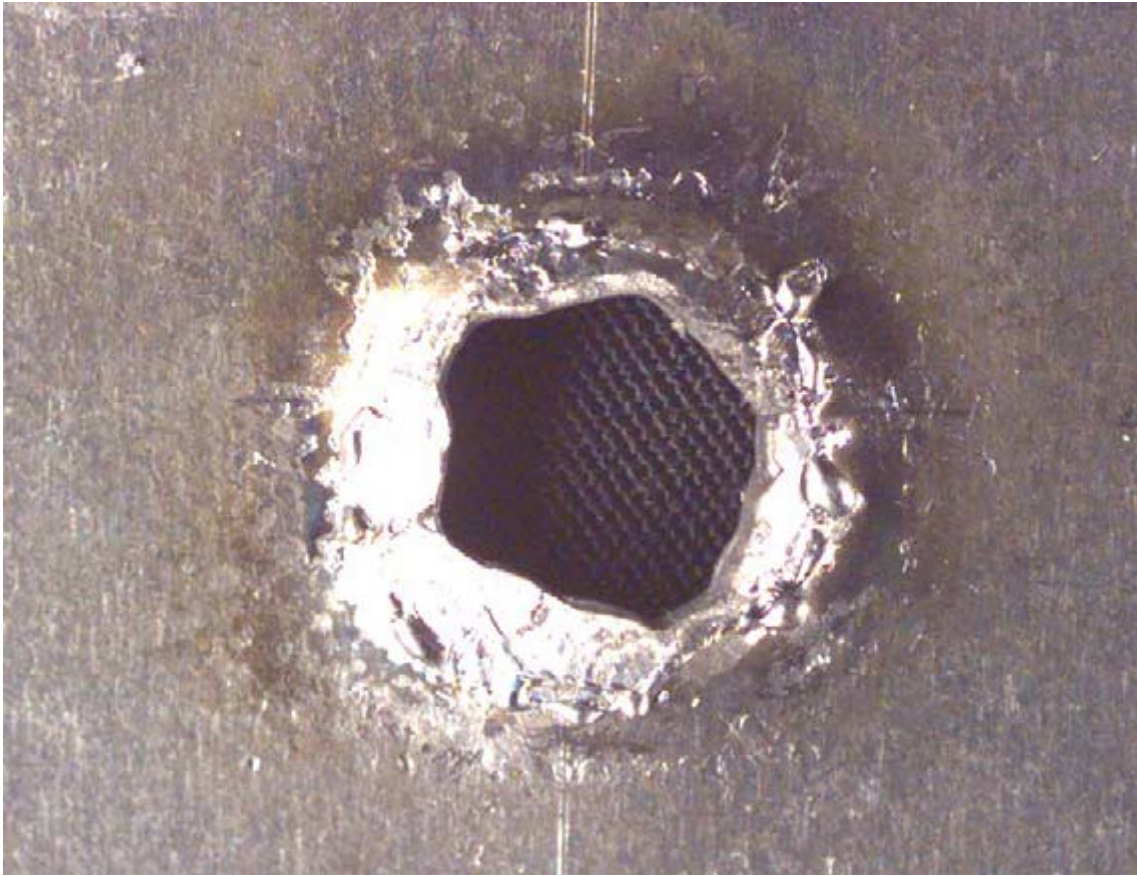
Například vyskytuje-li se koncentrace chyb (svarových vad) uprostřed svorníku na únosnost při ohybu svorníku nebo torzním zatěžování, zatímco při zatěžování tahem se neprojeví.

Podle polohy lomu je možné v závislosti na průměru svorníku zpočítat pevnost svaru. Pro lom jsou možné tři možnosti:

- lom svorníku v jeho dříku
- lom podkladního materiálu
- lom ve svarové oblasti

Kombinace těchto možností je možná samozřejmě také. Dojde-li k lomu ve svarové oblasti u nelegované oceli to ukazuje na velké množství svarových vad.

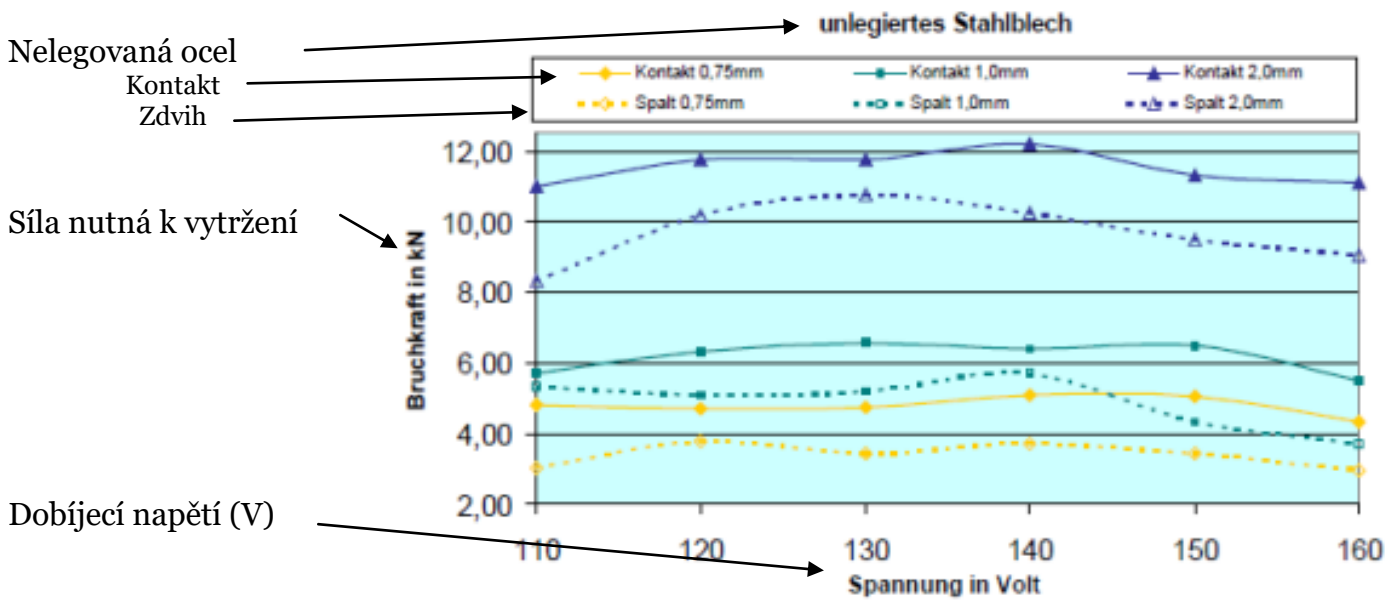
Obrázek ukazuje výsledek po zkoušce tahem svorníku M6.



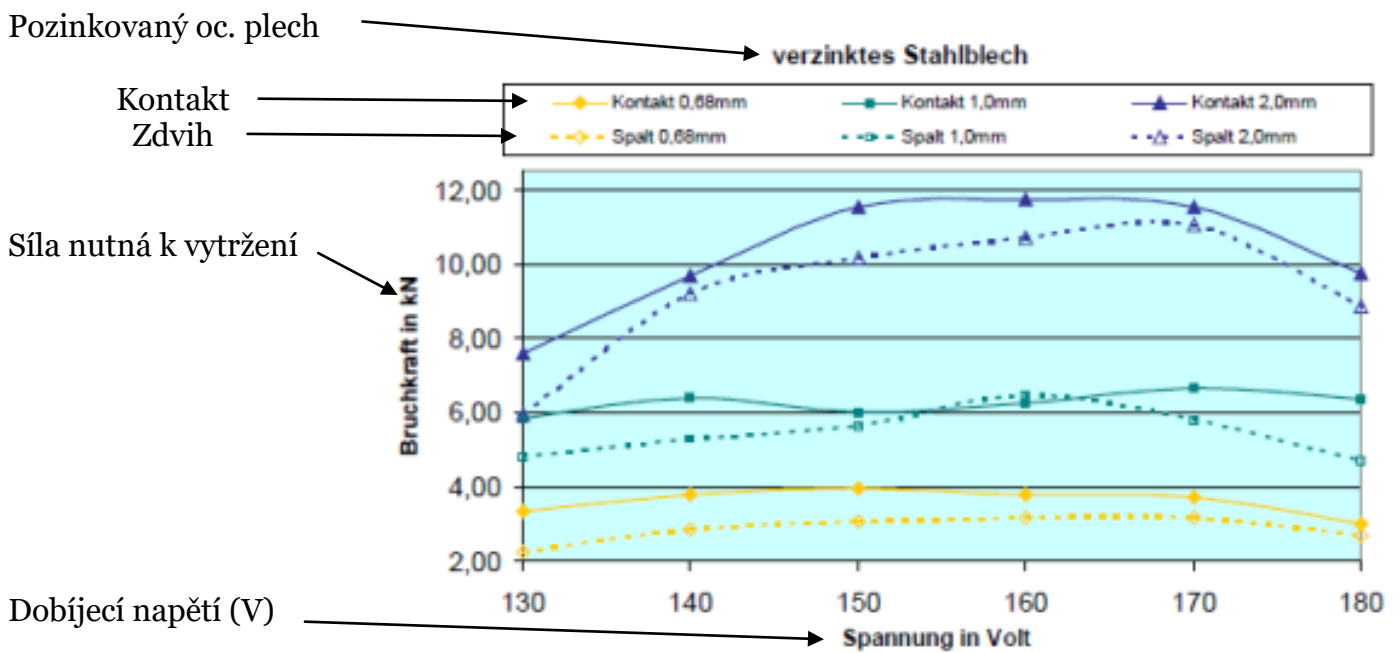
U tloušťky podkladního plechu 2 mm dochází při tahové zkoušce k lomu v dřívku svorníku. Hodnota zatížení je mezi 11 – 12 kN. Rozptyl jednotlivých hodnot je menší než u tenkých plechů (1,0 a 0,75 mm).

Podle tahových zkoušek je patrný rovněž vliv nastavení dobíjecího napětí vykazující vyhovující hodnoty mezi 130 – 140 V.

Obrázek znázorňuje výsledky tahových zkoušek pro přivařování se zdvihem i kontaktní.



a)



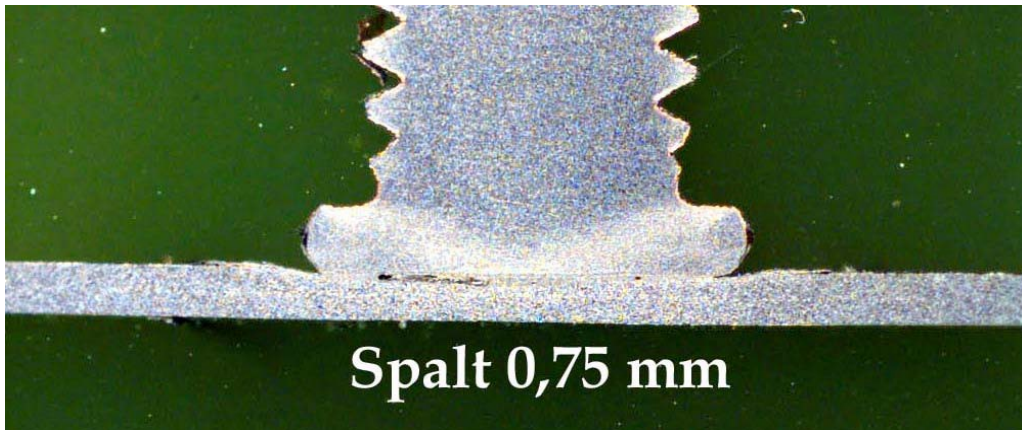
b)

Svařování se zdvihem vede k nižší pevnosti při tahovém zatížení než přivařování svorníků kontaktní.

Zkoumání řezu svarem

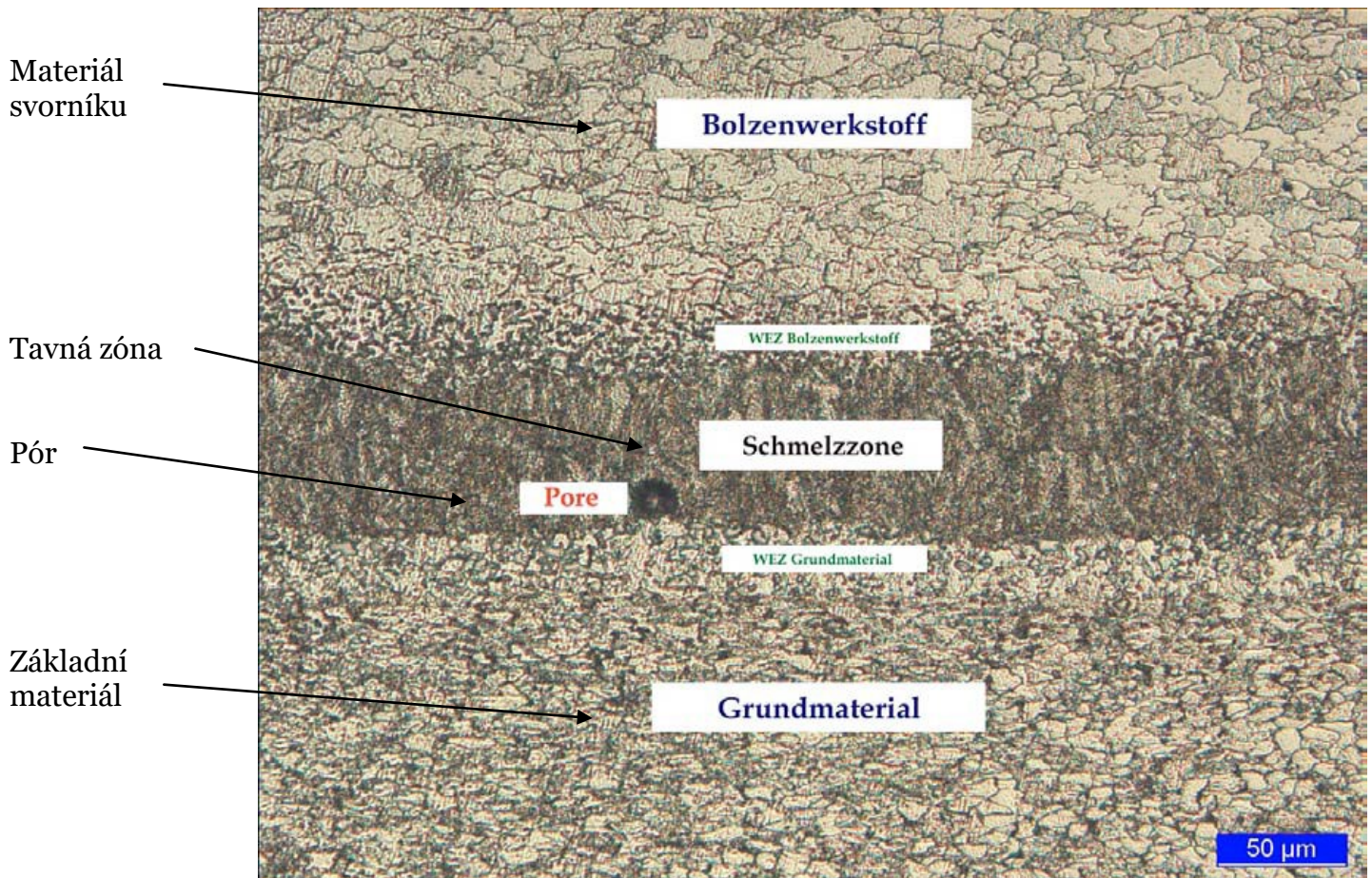
Obrázek ukazuje typický tvar svarové oblasti pro svařování se zdvihem i kontaktní.

Zdvih



Kontakt





První obrázek je svorník přivařený se zdvihem, druhý kontaktním způsobem. Třetí z obrázků detailně znázorňuje vyhovující svar kontaktním způsobem, přičemž je vidět v posloupnosti – Materiál svorníku, - Tepelně ovlivněná oblast svorníku, - Tavná oblast, - Tepelně ovlivněná oblast základního materiálu, - Základní materiál.

Na obrázku tohoto řezu je patrný i pór, který však nemá vliv na únosnost.

Rozhodující pro potencionální nosnost svaru svorníku je možnost a četnost výskytu dalších míst těchto vad jako pórů, dutin a dalších vad svarů, příp. jejich koncentrace. Podle tvaru a průběhu tavné zóny svaru mohou být přijata rozdílná hodnocení.

U kontaktního svařování se vyskytují svarové vady spíše uprostřed. Příruba svorníku bývá ale většinou přivařená. I přes vyskytující se vady svaru bylo odzkoušeno, že pevnost přivařených svorníků se pohybuje mezi 11 – 12 kN do přetržení dřívku.

U přivařování svorníků se zdvihem bývá horší přivaření v oblasti u příruby. Toto je vyhodnocováno jako výskyt dutin nebo nazýváno podříznutí a je možné sledovat vizuálně dutiny pod svorníkem. Protlačení plechu je méně zřetelnější než u přivařování kontaktního. Proto jsou taky hodnoty zatížení tahem nižší.

Srovnání přivařování se zdvihem – přivařování kontaktní

Zkoumání a provedené zkoušky ukazují, pro přivařování ocelových svorníků M6 kontaktním způsobem, nesporné výhody oproti přivařování se zdvihem. Průměrné hodnoty zatížení tahem u kontaktního svařování jsou vyšší. Zřetelné a zjevné to je u plechu tloušťky 2 mm. Pro kontaktní cca 12 kN, oproti zdvihovému 11 kN. Při zatěžování tahem byl výskyt přetržení svorníků přivařených kontaktně cca 80 %, zatímco 50 % přivařených zdvihem.

U svařování se zdvihem byl pozorován zvýšený výskyt nevyhovujících částí svaru v oblasti příruby svorníku, vady vyskytující se uprostřed jsou ekvivalentní u obou variant.

5.2.2 Vliv mezních podmínek

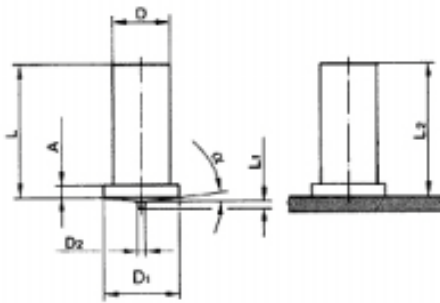
Zlepšení rozstříku taveniny změnou mezních podmínek může ovlivnit a mít vliv na svařovací proces. Mimo zážehový hrot má také zásadní vliv na výsledek svaru stav a druh povrchu nebo povrchové úpravy plechu.

5.2.2.1 Zážehový hrot svorníku

Geometrie a kontaktní plocha

Zkoumány jsou mimo standardní svorníky s čelem s úhlem α 3° (rozměry v tabulce), také soustružené svorníky srovným čelem a úhlem 5°.

Standardmaße:



Gewindebolzen PT
Spitzenzündung
DIN EN ISO 13918

D	L +0,8	D ₁ ±0,2	D ₂ ±0,08	L ₁ ±0,05	A	B max.	L ₂	alpha x1°
M3	Gewinde länge	4,5	0,65	0,55	0,7 bis 1,4	1,5	~L - 0,3	3°
M4		5,5						
M5		6,5	0,75	0,80	0,8 bis 1,4	2		
M6		7,5						
M8		9,0	0,9					

Pro kontaktní svařování jsou nejvýhodněji použitelné standardní svorníky s 3°. Při použití svorníků s úkosem čela 5°, svařování rychlejšími kontaktními svařovacími pistole a omezeném výkonu svařovacího stroje se výsledky zhoršují. Plošší tvar zvyšuje naproti tomu výskyt chyb kolem osy svorníku.

Pro zdvihové svařování byl pozorován výskyt chyb v okolí okraje přivařovaného svorníku. Ploché čelo svorníku zlepšuje výsledky svaru po okrajích svorníku, obzvláště při použití velmi krátkých svařovacích časů, menších než 1,3 msec.

Změnou úkosu čela svorníku se ale výsledky svarů téměř nemění.

Povrchová úprava svorníků

Přivařování svorníků nevyžaduje žádnou speciální povrchovou úpravu. Odmaštění svorníků nijak zásadně nemění nebo nezlepšuje výsledky svarů.

Geometrie zážehového hrotu

Pro zkoušky budou měněny a zkoušeny následující rozměry:

Výška: 0,8; 1,2 a 1,6 mm

Průměr: 0,8; 1,1 a 1,4 mm

Standardní délka zážehového hrotu je 0,8 mm a výška rovněž 0,8 mm. Zkoušky budou prováděny se stacionární zařízení s hlavou určenou pro svařování se zdvihem s rychlostí dopadu svorníku 700 mm/sec.

Byl prošetřen a zjištěn následující dopad rozdílnosti zážehového hratu na svařování: Při větším průměru i délce zážehového hrotu se projevují nepravidelnosti v průběhu svařování. Rovněž se u jedné série zkoušených svorníků projevovaly velmi silně rozdílné svařovací časy i energie. S tím souvisí také rozdílné zážehové reakce.

Při svarech s předzážehem, se svařovací čas pohyboval mezi 2-3 msec. Při normálním zážehu a stejných nastavených parametrech a tedy i svařovací energii byl naměřen svařovací čas 1-2 msec. Natavení příliš velkého objemu zážehového hrotu spotřebovává velké množství energie na fázi předehtání.

Nebyl tedy zjištěn žádný pozitivní dopad na přivařování při větším zážehovém hrotu. Při menším průměru zážehového hrotu proběhne rychleji zážeh, zapálení EO. Bezsporu je zážehový hrot vystaven také mechanickému zatížení. Zmenšení průměru povede k rychlejší deformaci hrotu.

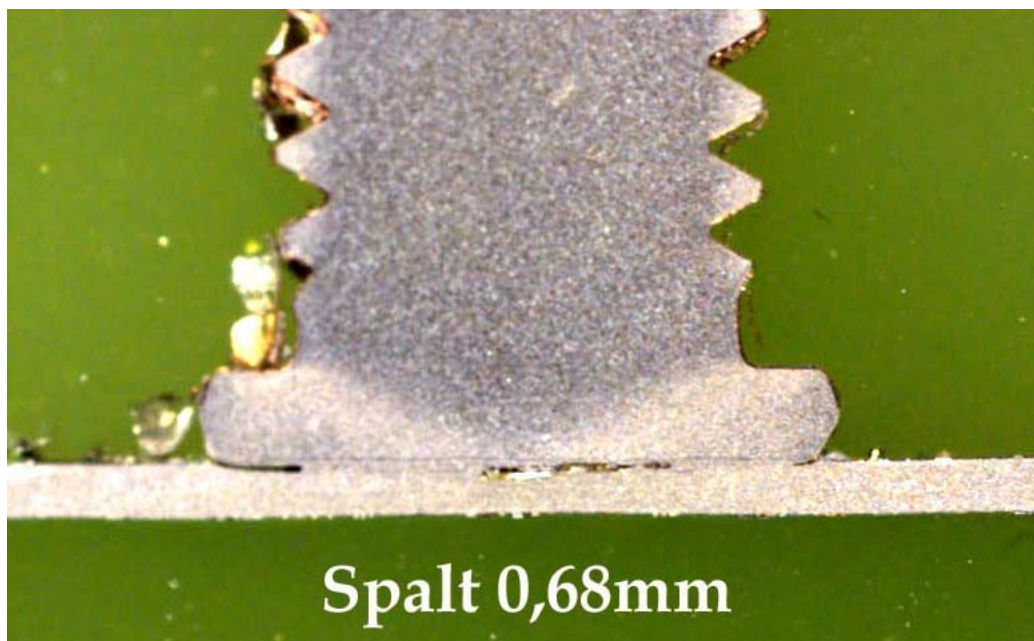
Ve srovnání s rychlostí dopadu svorníku na plech je také vliv geometrie zážehového hrotu nevelký. Jistějšího a rychlejšího zážehu, cca 10 μ sec, bylo dosaženo s použitím svorníků se standardními rozměry špičky.

Jenom v případech menšího hrotu, kdy dojde k jeho deformaci, bude rozdílný čas hoření EO.

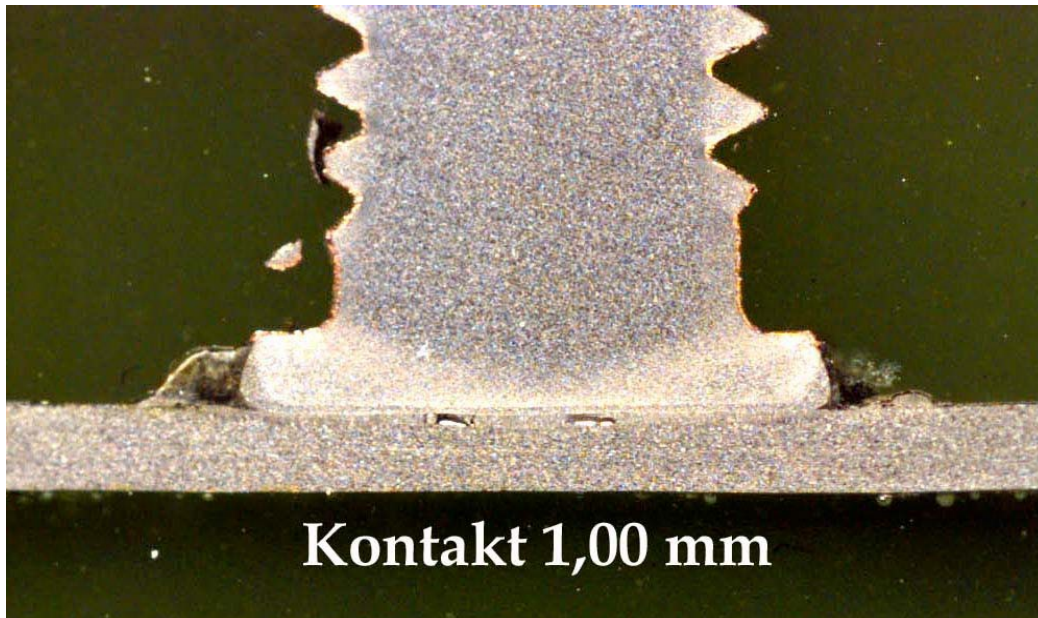
5.2.2.2 Tloušťka plechu

Vliv tloušťky plechu, na který se přivařuje, nemá v případě tenkých plechů vliv na průběh a výsledky svaru. Naopak při tloušťkách plechů pod 1 mm je nutné ještě snižovat nastavované dobíjecí napětí o cca 10 V a více v závislosti na konkrétní tloušťce.

Následující obrázky ukazují tvar taveniny pro svorníky M6 při kontaktním i zdvihovém svařování na plechy tloušťky 0,7, 1,0 a 2,0 mm.



Zdvih



Kontakt



Při tloušťkách plechů větších než 2,0 mm je odvod tepla vyšší, ale výsledky svarů a hloubka závaru v plechu jsou obdobné.

5.2.2.3 Povrchová úprava plechu

Příprava

Zkoumáno bylo svařování se zdvihem na ocelový plech bez povrchové úpravy s poolejovaným povrchem a na odmaštěný plech.

Výsledky provedených spojů nevykazují žádné markantní, v makrořezích zřetelné, rozdíly. Průběh EO na definovatelně zaolejovaný plech (olejový film) je stabilnější a rovněž EO hoří stabilněji a pravidelněji. Pro pevnost svorníků důležité prostory svaru u okrajů jsou lépe nataveny a taky pevnost v tahu je vyšší.

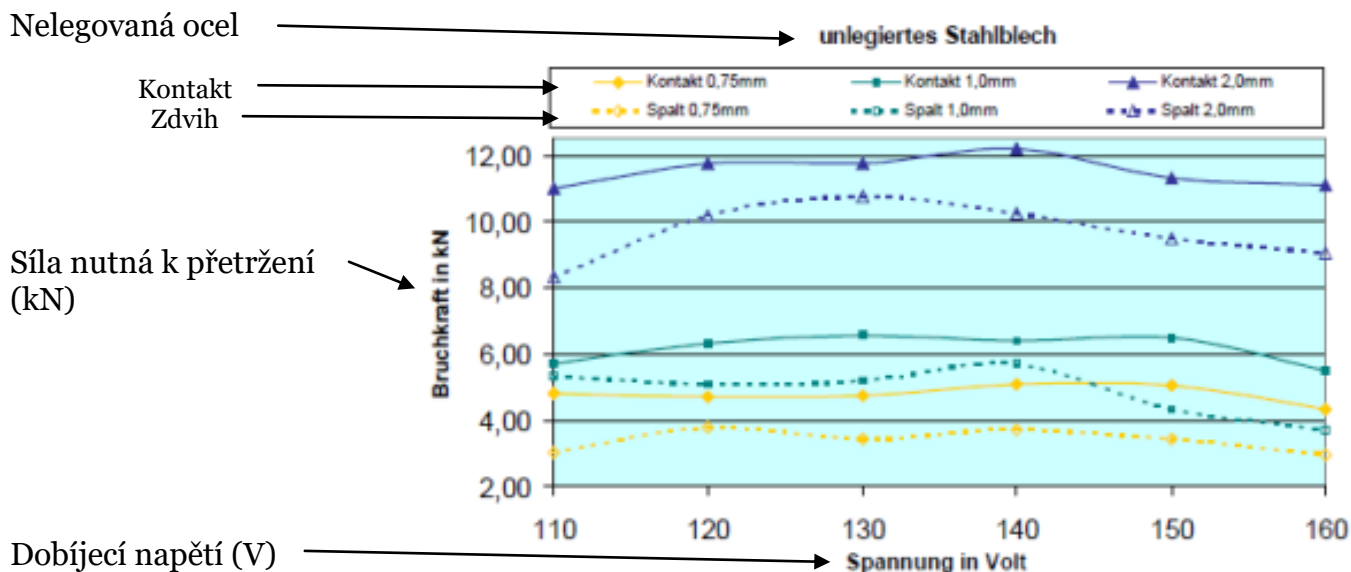
Potřebný je ale tenký rovnoměrný film oleje. Je nutno se vyhnout kapkám nebo jiným kupovitým tvarům oleje. Potom je svařovací proces velmi nestabilní.

Zkoušky na povlakované plechy ukazují, že povlaky ochranných laků jsou překážkou hoření EO a tedy je nutné je odstranit.

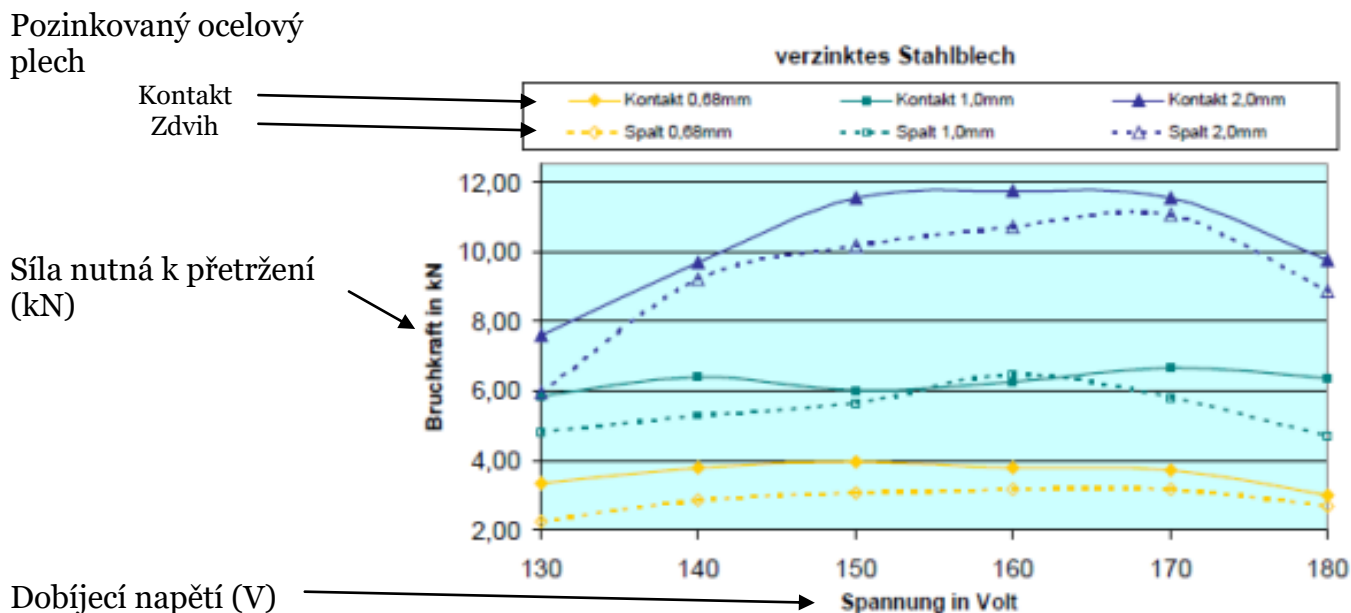
Pozinkované plechy kladou na svařovací proces vyšší nároky, především na svařovací parametry, neboť neodtavený zinek může zůstat v tavenině.

Mechanické odstraňování a předpříprava způsobí drsnou plochu.

Pozinkování



a)



b)

Druhý obrázek znázorňuje závislost mezního zatížení vedoucího k přetržení a nastaveného dobíjecího napětí pro pozinkované plechy DCO4 s cca 18 μm povlaku, pro rozdílné tloušťky plechu a varianty přivařování kontaktní a zdvihové. Střední hodnota jednotlivých bodů vychází ze šesti naměřených hodnot.

Svařování pro vyhodnocení druhého obrázku bylo prováděno s nastaveným dobíjecím napětí 150-170 V. Pro svorníky přivařené variantou kontaktního svařování byly potřebné při zatěžování vyšší síly než pro svorníky přivařené se zdvihem. Úroveň je podobná jako při svařování na nelegovanou ocel.

Na základě provedených zkoušek je možné konstatovat, že pro svařování svorníků na pozinkovaný

plech je výhodnější varianta přivařování kontaktním způsobem.

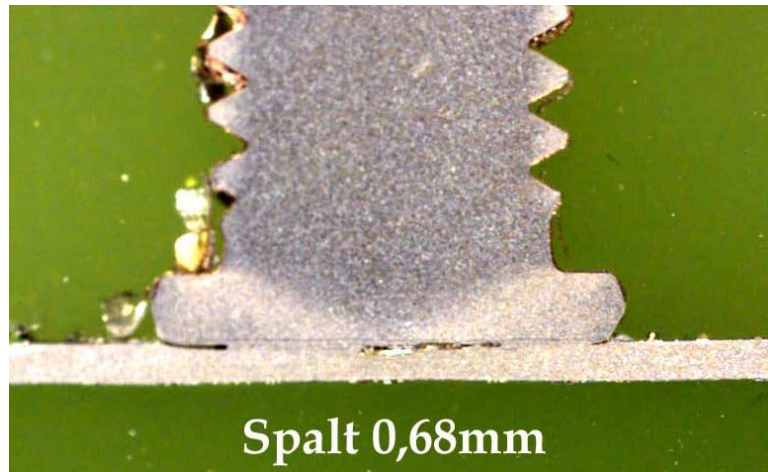
Nastavení svařovacích parametrů				Výsledky zkoušek								
Předpětí (mm)	Síla přitlaku (kN)	Kapacita (μF)	Dobíjecí napětí (V)	Rychlost dopadu (mm/sec)	Čas hoření EO (msec)	Energie Vnesená do svaru (Ws)	Zkoušky ohnutím	Forma svaru		Tah		Klasifikace
								Nejčastější vady	Plocha sv. vad	/kN/	Stav lomu	
0	48	120000	140	320	4,6	430	50%	BF,US	30%	nevyhov.	SZ	nevyhov.
2	61	120000	140	3310	4,3	415	70%	BF	20%	7,9	Bo/SZ	vyhovující
4	75	90000	140	400	4,2	410	80%	BF	15%	nevyhov.	Bo	vyhovující
6	90	120000	140	420	4	405	90%	BF	10%	9,6	Bo	vyhovující
8	97	120000	140	460	3,9	400	100%	póry	< 5%	11,4	Bo	vyhovující
10	106	120000	140	520	3,7	390	100%	póry	<5%	11,8	Bo	vyhovující
12	116	120000	140	530	3,5	385	100%	póry	<5%	11,6	Bo	vyhovující
8	97	90000	140	460	3,6	360	90%	póry	15%	10,7	Bo	vyhovující
8	97	120000	100	460	3,4	220	50%	BF,US	40%	nevyhov.	SZ	nevyhov.
8	97	120000	120	460	3,8	310	70%	BF,US	30%	9,6	Bo/SZ	vyhovující
8	97	120000	160	460	4,2	490	70%	BF	20%	9,8	Bo/Sz	vyhovující
8	97	90000	180	460	4,4	590	60%	US,BF	30%	8,4	Bo/Sz	vyhovující
Sv.hlava KHA-200, pružina c=2,5, Sv.stroj LBS 090				Svorník:M6, S235JR+TC, sv. pozice PA			Plech: DCo1, tloušťka 2 mm, povrchová úprava: odmaštěno				1)5 řezů, 2)10 zkoušek	
Přivařování se zdvihem				Nelegovaná ocel			Bo-svorník, SZ-svařovací zóna, BL:plech, BF:vady svaru, US-dutiny				M6	

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty nastavení dobíjecího napětí pro optimalizaci svařování na pozinkovaný plech.

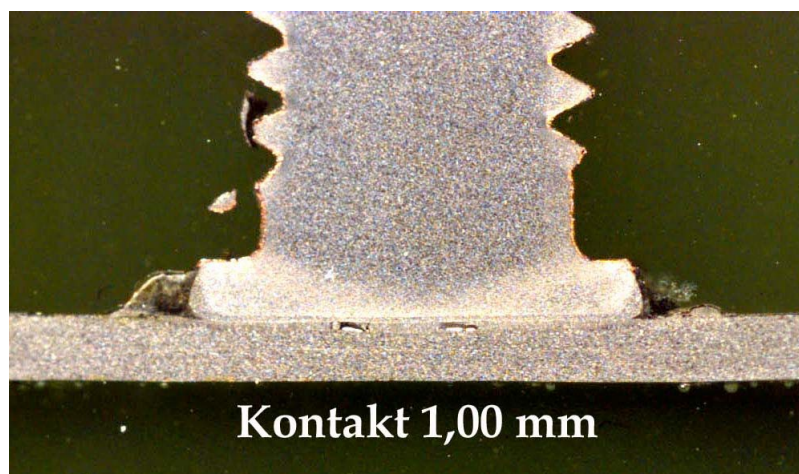
Pro hoření EO na ocelový plech při svařování na pozinkovaný plech s vrstvou menší než 20 μm je nutné použití vyšší svařovací energie než na nelegovaný plech. Pro kontaktní svařování je pouze podmíněčně nutné prodloužení svařovacího času. Vyšší křivka svařovacího proudu je proto zapříčiněna nastaveným vyšším dobíjecím napětím. Při stejných výchozích podmínkách (tloušťka plechu, parametry proudu, průměr svorníku) je nutné použít dobíjecí napětí vyšší o cca 20-30 V. Vlivem většího výboje je svar provázen zvýšeným rozstříkem. Toto je provázeno rovněž vyšším hlukem při svařování.

Rozstřík taveniny spolu s vzniklým povlakem v okolí svaru jsou charakteristické a větší než u svařování na nelegovanou ocel. Povlak vzniklý na plechu odpařením zinku je ale možné po ukončení svařování relativně jednoduše odstranit. K zamezení škodlivin v ovzduší na pracovišti je nutné provést bezpečnostní opatření, např. odtažením splodin pomocí odsávacího zařízení, nebo použitím kukly s filtrací vzduchu.

Na těchto třech obrázcích jsou svarové výsledky v řezu na rozdílné tloušťky plechů. Přivařování svorníků na pozinkované plechy se zdvihem vede ke svařovacím vadám ve středu svorníku a také po okrajích, což znázorňuje následující obrázek. Přesto v mnoha případech i takto přivařené svorníky splňují pevnostní požadavky.



Následující dva obrázky, svorníky přivařené kontaktním způsobem, vedou k dobrým svarům s akceptovatelným nebo žádným množstvím svarových vad, což ukazují následující obrázky.



Svary v makrořezích odpovídají a mají stejný vzhled jako ty, provedené na ocelový nelegovaný plech. Není na nich patrné, že svařování probíhalo na pozinkovaný plech. Svarová zóna odpovídá a je stejná jako v případech svařování na nelegovanou ocel.

Při dodržení parametrů daných a specifických hodnot nastavení pro pozinkovaný plech a při použití pozinkovaného plechu s označením DCO4 je možné konstatovat, že výsledky svarů jsou obdobné a splňující kritéria na shodu, či schválení.

Při tloušťkách plechů menších než 1 mm dochází k mírnému protlačení plechu, při tloušťce plechu nad 2 mm dochází při zatěžování k zlomení svorníku v jeho dříku.

Kontaktní svařování, které pracuje s delším časem vedoucím k větším očištění a odstranění zinkové vrstvy, je pro přivařování svorníků na pozinkovaný plech výhodnější.

5.2.3 Svařovací a zkušební výsledky na nelegovanou ocel M4 a M8

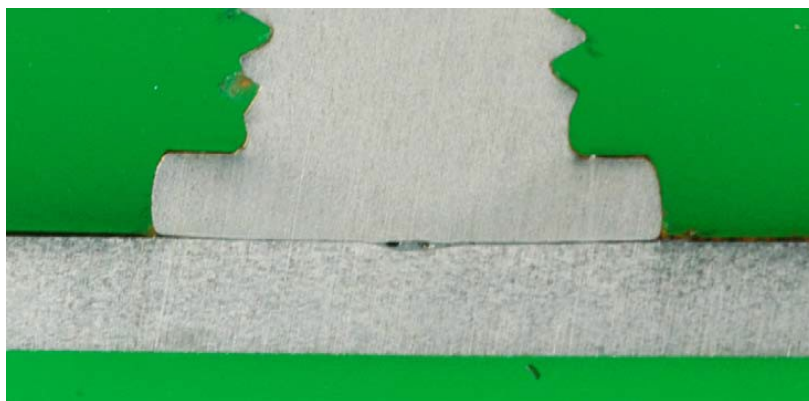
Na základě provedených zkoušek se svorníky s průměrem M6, byly tyto využity k následující zkouškám na průměr menší i větší.

Následující tabulka popisuje nastavení pro kontaktní svařování svorníků M8 a M4. Mimo dobíjecí napětí se mění taky kapacita kondenzátorových baterií.

Nastavení svařovacích parametrů				Měření			Výsledky zkoušek					
Průměr (mm)	Předpětí (mm)	Kapacita (μF)	Dobíjecí napětí (V)	Rychlost dopadu (mm/sec)	Čas hoření EO (msec)	Energie Vnesená do svaru (Ws)	Zkoušky ohnutím	Forma svaru		Tah		Klasifikace
								Nejčastější vady	Plocha sv. vad	/kN/	Stav lomu	
M 4	8	90000	80	460	3,8	150	60%	BF,US	30%	3,7	Bo/SZ	nevyhov.
	8	90000	100	460	4	190	90%	póry	15%	5,2	Bo	vyhov.
	8	90000	120	460	4,2	280	80%	póry	20%	4,7	Bo	vyhov.
	12	90000	80	530	3,6	140	80%	póry	20%	4,4	Bo	vyhov.
	12	90000	100	530	3,8	180	100%	póry	<10%	5,6	Bo	vyhov.
	12	90000	120	530	4	250	90%	póry	15%	4,9	Bo	vyhov.
M 8	8	120000	160	460	3,9	470	100%	BF	20%	15,8	Bo	vyhov.
	8	120000	180	460	4,1	560	100%	póry	15%	17,6	Bo	vyhov.
	8	120000	200	460	4,4	630	30%	póry,BF	30%	15	SZ	vyhov.
	12	120000	160	530	3,7	420	80%	póry	25%	15,3	Bo/SZ	vyhov.
	12	120000	180	530	3,9	510	80%	póry	10%	18,6	Bo/Sz	vyhov.
	12	90000	200	530	4,2	570	80%	póry,BF	20%	16,7	Bo/Sz	vyhov.
Sv.hlava KHA-200, pružina c=5, Sv.stroj LBS 090				Svorník:M4 a M8, S235JR+TC, sv. pozice PA			Plech: DCO1, tloušťka 2 mm, povrchová úprava: odmaštěno				1)5 řezů, 2)10 zkoušek	
Kontaktní svařování				Nelegovaná ocel			Bo-svorník, SZ-svařovací zóna, BL:plech, BF:vady svaru, US-dutiny				M4 a M8	

Pro svorníky M8 bude dobíjecí napětí nastaveno na 160-200 V, pro svorníky M4 potom 80-120 V.

Následující obrázky znázorňují makrořezy přivařenými svorníky M4 a M8.



M4



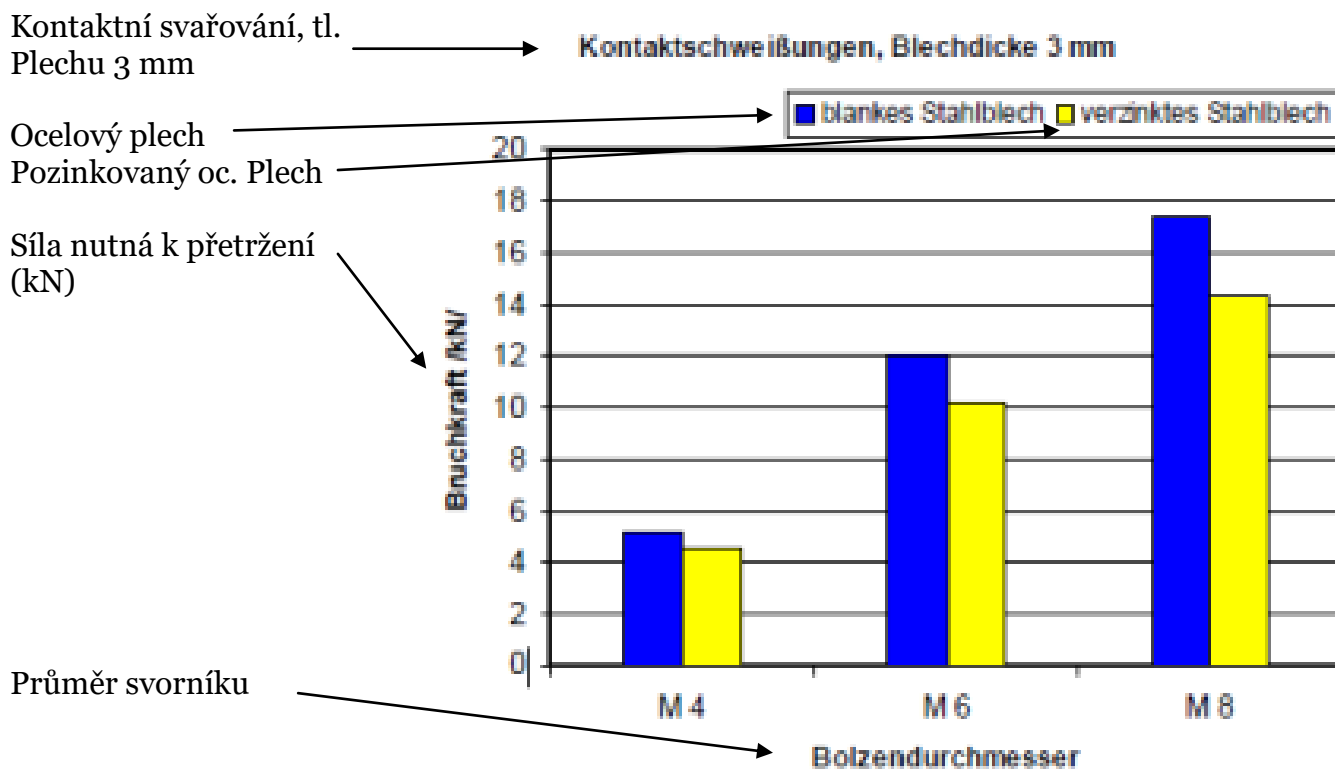
M8



M8

Oba dva provedené svary, znázorněné makrořezy, jsou optimalizovány a procento chyb vztaheno na plochu je nízké. Na prostředním obrázku je svorník M8, a je patrný relativně velký rozstřík taveniny. Při snížení kapacity kondenzátorových baterií je rozstřík taveniny sice nižší, avšak při zatěžování dochází k porušení také ve svarové zóně.

Následující obrázek znázorňuje zatížení svorníku vedoucí k jejich porušení v závislosti na průměru a čistý nelegovaný plech a pozinkovaný materiál.



U svorníků M4 a M6 rozdíl pevností na nelegovaný ocelový plech a úpozinkovaný plech není až tak výrazný. Větší rozdíl se projevuje až pro svorníky M8. U těchto svorníků nedocházelo k porušení pouze v dřívku, ale také vytržením ze svaru případně plechu.

5.2.4 Vysokopevnostní ocel

Odkoušeno bylo rovněž svařování na vysokopevnostní základový plech, ZStE420, tloušťky 1,5 mm. Nastavení svařovacích parametrů odpovídalo nastavení na nelegovaný ocelový plech.

Rovněž tvar svarů a výskyt chyb odpovídají řezům provedených svarů na nelegovaný ocelový plech.

Na plechu tl. 1,5 mm byly provedeny pro svorníky M6 (S235J2G3) zkoušky ohybem i tahové. Rovněž ve svarové zóně bylo provedeno měření tvrdosti HV2, s výsledkem 460. Toto zkrhnutí působí na statickou zatěžitelnost v místě svarů velmi málo a neprojevuje se nijak negativně.

5.3 Technické metody variant na legovanou ocel

5.3.1 Nastavení svařovacích parametrů a podmínky 20.02.2017

Za účelem zjištění optimálních hodnot nastavení dobíjecího napětí, rychlosti dopadu svorníku na plech a ostatních parametrů jak pro zdvihové přivařování, tak pro přivařování kontaktní, byly přivařovány svorníky M4, M6 a M8 na legovanou ocel X5CrNi18 10.

V zásadě byly nastaveny stejné hodnoty jako pro přivařování na nelegovaný ocelový plech. Provedení byla stejná jako pro nelegovanou ocel, jak je uvedeno v části 5.2 této zprávy.

Pro přivařování svorníků zdvihovým zážehem na legovanou ocel, vlivem horší tepelné vodivosti svařovací energie, je nutné snížení cca o 10% oproti nelegované oceli.

Takovéto snižování energie nastavením parametrů u přivařování svorníků hrotovým zážehem nebylo pozorováno. Tato skutečnost zásadně zlehčuje nastavování parametrů. Velikost

svařovacího proudu se nedá nastavovat přímo. Tato je nepřímo nastavována velikostí dobíjecího napětí, kapacitou kondenzátorů a v neposlední řadě elektrickým odporem svařovací a zemnicí kabelace. Jak základní plech, tak svorníky byly použity z nelegované oceli, a jak je uvedeno výše, mají tyto horší vodivost než materiály nelegované. To je příčinou většího odporu ve svařovacím okruhu.

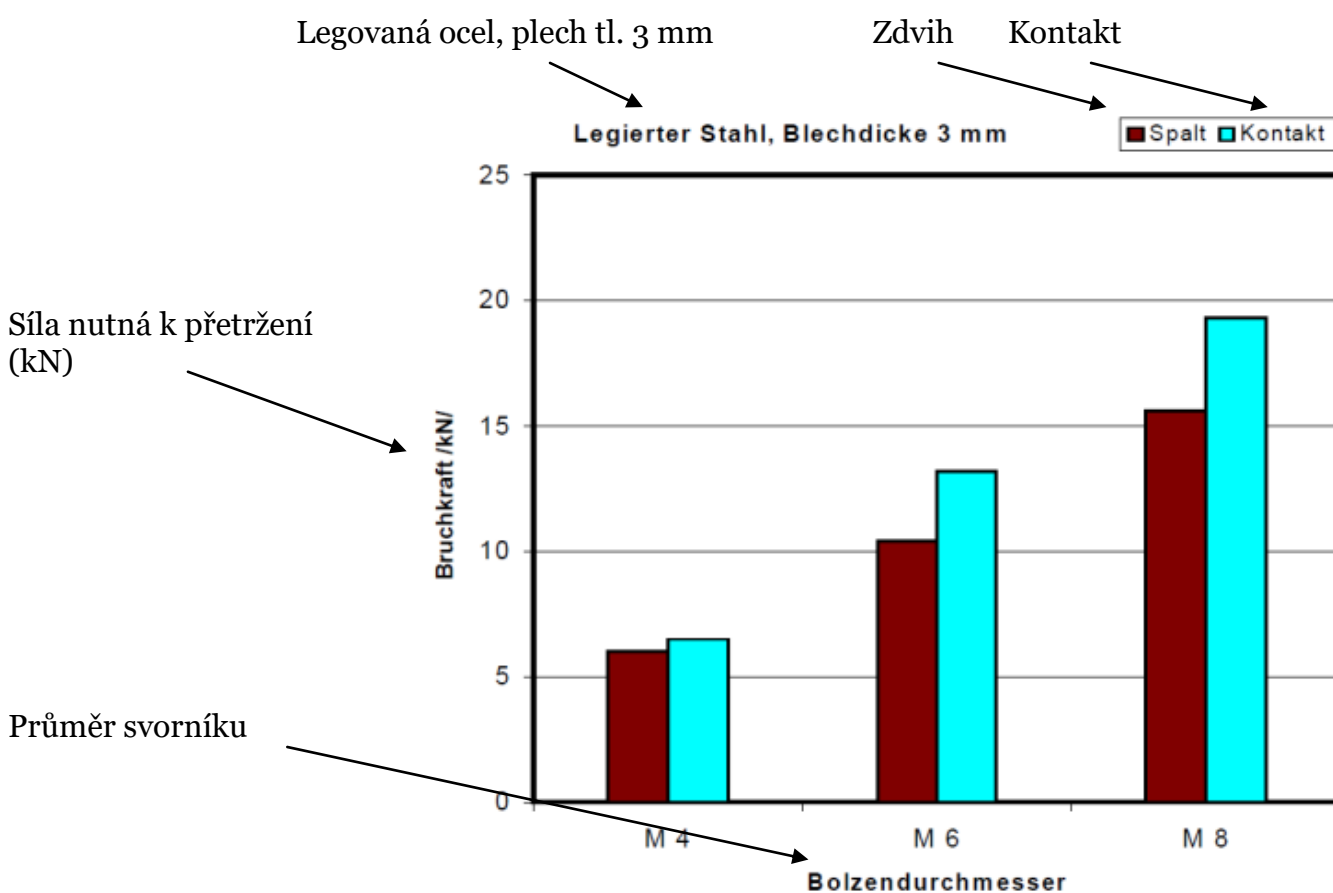
Provedené zkoušky nevykazovaly v oblasti průběhu svařovacího proudu, napětí ani času nijaké rozdíly oproti přivařování nelegovaných ocelových svorníků na plech stejného materiálového provedení.

V rámci provedených svarů byly pozorovány minimální náznaky foukání EO. Materiál X5CrNi18 10 se jeví v případě plechů stěných jako velice vhodný pro přivařování. Rovněž byly provedeny zkoušky svarů na základní materiály jiných šarží materiálů 1.4741 a 1.4771. Rovněž u těchto byly zjištěny žádné rozdíly jak v nastavení, tak ve výsledcích svarů.

5.3.2 Výsledky zkoušek optimalizace kontaktního svařování na legovanou ocel

Rozstřík taveniny, podobně jako zvuk doprovázející svařování, je stejný jako u nelegované oceli.

Obrázek znázorňuje rozdíly tahového zatížení nutného k odzkoušení svorníků přivařených hrotovým zážehem na legovanou a nelegovanou ocel.



Hodnoty vedoucí k přetržení legovaných svorníků jsou o něco vyšší než u nelegované oceli. Svorníky M6 vykazovaly pevnost v lomu větší než 13 kN. Pevnost v tahu pak byla 620 N/mm². Byly zkoušeny také svorníky jiné šarže s pevností v lomu 16 kN, pevnost v tahu pak byla 720 N/mm². Vliv různých Cr-Ni ocelí s vyšší pevností na chování při svařování nebyly zjišťovány.

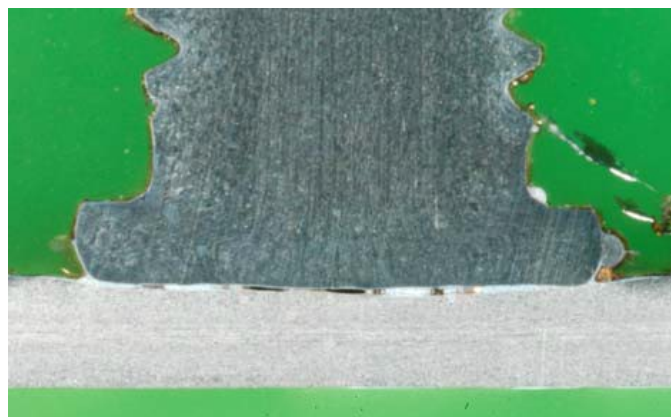
Rovněž u legovaných ocelí při obdobných nastaveních jako pro přivařování na nelegovanou ocel s kontaktním svařováním bylo dosaženo lepších výsledků. Následující text popisuje pouze kontaktní přivařování svorníků.

Stav vylomení svorníků z plechu, případně jejich zlomení v dřívku je podobně jako u nelegované oceli závislé na tloušťce základního materiálu. U tloušťky plechů větší než 2,5 mm dojde buď k přetržení svorníku nebo jejich vylomení ze svarové oblasti. Plné vytržení svorníků i s plechem je patrné a možné pouze u plechů s menší tloušťkou než 2 mm.

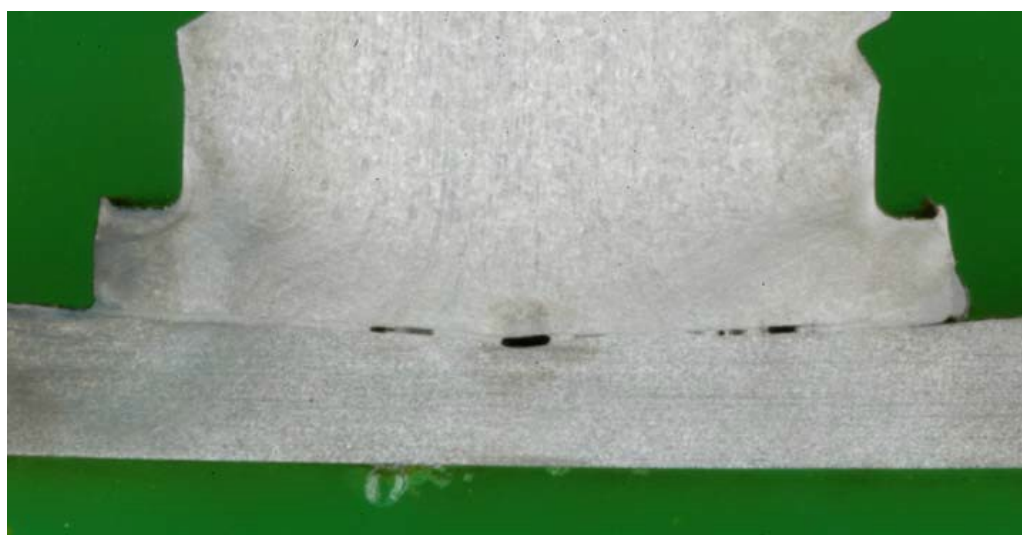
Následující obrázek znázorňuje tavnou zónu svorníků z legované oceli průměrů M4 až M8 přivařených kontaktním způsobem.



M4



M6



M8

Všechny svary byly prováděny v podmínkách, které byly optimální a jak bylo již popsáno jsou velmi

důležité pro průběh a výsledek svaru.

Svarové vady v ose svorníku, které jsou viditelné, nejsou pro výslednou pevnost důležité. Rozstřík taveniny je obdobný jako u svaru svorníku M8 na nelegované ocel.

Použité svorníky z materiálů X5CrNi18 10 nebo X5CrNi18 12 jsou pro přivařování hrotovým zážehem problematické. Při dodržení optimalizovaného nastavení svařovacího stroje jsou ale výsledkem spolehlivé spojení svorníků s podkladním materiálem.

5.4 Redukování rozstříku taveniny v okolí svaru

Při přivařování svorníků hrotovým zážehem, kondenzátorovým výbojem, je svařovací proces doprovázen rozstříkem taveniny. Kapky taveniny mohou, v extrémních případech, letět vzduchem několik metrů. Tyto kuličky nezůstávají přilepeny pouze na plechu, ale stává se taky, že část vystříkne až na závit. Tím je také ovlivněna životnost kleštiny.

S dosavadními poznatky a znalostmi svařovacího procesu můžeme pozitivně tento nevyžadovaný rozstřík ovlivnit a především snížit.

Byly odzkoušeny následující možnosti snížení rozstříku. Jednou z možností ovlivnění procesu je použití ochranné atmosféry. Z praxe je známo použití vody se saponátem.

5.4.1 Ochranná atmosféra

Rozstřík od svařování je většinou oxid železnatý. Ke snížení těchto rozstříků se všeobecně používají různé druhy ochranné atmosféry. Při přivařování svorníků hrotovým zážehem, kondenzátorovým výbojem se počítá s tím, že díky krátkému svařovacímu času nedochází k žádným, eventuálně minimálním, reakcím nebo výronům taveniny.

Následující obrázky ukazují vliv nebo rozdíl, je-li atmosféra jako ochrana použita. Druh je směšená argon a 18% CO₂.



Na tomto obrázku je nátrubek pro přívod ochranné atmosféry. Tento obrázek znázorňuje svorník přivařený na nelegovanou ocel pod ochrannou atmosférou. Rozstřík se jeví menší, než při přivařování bez ochrany nejenom co se týká průměru, ale také

množství. Mimo to, že je menší, nedrží na základním plechu tolik a je možné ji relativně jednoduše odstranit.



Vliv ochranného plynu na pevnost v tahu nebyly předmětem těchto zkoušek. Co se týká zkoušky pevnosti vylomením, nebyly zjištěné hodnoty výrazně rozdílné od svorníků přivařených bez ochrany. Rovněž tak otlak plechu na druhé straně.

Při svařování na pozinkovaný plech měl použitý ochranný plyn velmi malý pozitivní dopad na velikost rozstříku. Pouze v době staru a zahájení hoření EO nedochází k tak masivnímu uvolnění zinku. I přes vyřčené je možné konstatovat, že svary jsou pod plynem čistší a pravidelnější

Při nasazení pro přivařování na pozinkovaný plech je rovněž redukován zvukový efekt při svařování. Velký a hlasitý třesk je vystřídán snesitelnou zvukovou emisí. Svařování s ochrannou atmosférou je možné provádět bez ochrany sluchu.

Toto téma bude nově diskutováno a rozvíjeno jak výrobcí, tak uživateli. Hlavním bodem ale bylo, pro svařování hrotovým zážehem, zlepšení výsledků a zajištění opakovatelnosti.

5.4.2 Smáčení kapalinou

5.4.2.1 Saponátová voda

K dosažení lepšího vzhledu svaru bez nebo s minimálním rozstříkem užívají praktici saponátovou vodu, kterou nanášejí před svarem na plech. Je nutno ale přiznat, že vniknutím vody do svarového kovu, může dojít ke zkrěhnutí svaru.

Pro provedené zkoušky byl užíván saponát Prill, který byl nanášen na plech ve filmu cca 0,5 mm silném, přičemž poměr saponát/ voda je 1 ml/0,1l. Svařování bylo prováděno s nastaveným dobíjecím napětím 135 V.

První obrázek před



svařováním fáze přehřátí

Druhý obrázek 0,5
v délce trvání 0,8



msec později hoří EO
msec.

Třetí obrázek zhasnutí
plech, přičemž nedojde

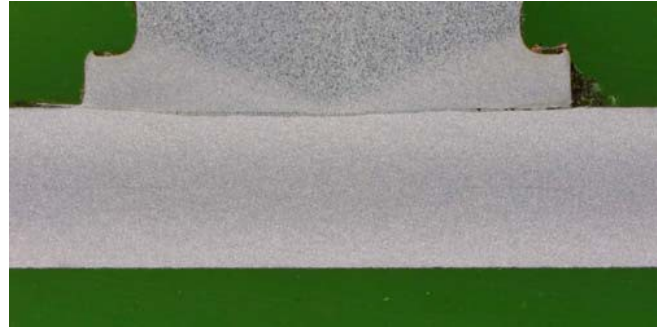
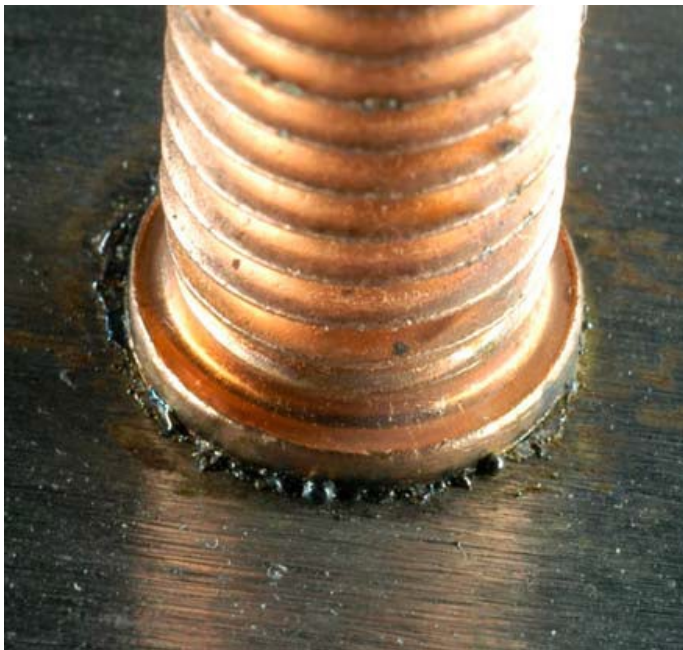


EO a dopad svorníku na
k žádnému tozstříku.

Čtvrtý obrázek
ráz sil do pistole.



ukazuje chladnutí a zpětný



Pohled na svar a mikrostrukturální řez ocelovým svorníkem M6 po přivaření na nelegovanou ocel. Přivařeno hrotovým zážehem se zdvihem, použit film ze saponátové vody.



Pohled na svar a makrostrukturální řez nerezovým svorníkem M 8 po přivaření na legovanou ocel. Přivařeno hrotovým zážehem kontaktním způsobem, použit fil ze saponátové vody.

Svary se vyznažují velmo pozitivním vzhledem s minimálním rozstříkem a znečištěním okolí svorníku.

Závar se ukazuje jako lepší, oproti svařování bez saponátové vody, taky v případě přivaření svorníku hrotovým zážehem se zdvihem. Přednosti pro tuto variantu jsou zřejmé i přes výchozí horší situaci ovlivněnou saponátovou vodou. EO hoří stabilněji a lépe se roztáhne na celý průměr svorníku. Toto je zřejmě způsobeno lepší ionizací plasmatu EO.

Bylo provedeno cca 30 zkoušek ohybem pomocí ohýbacího přípravku, a to na 90°, a výsledky těchto zkoušek byly v pořádku a nedávají důvod k zamítnutí s ohledem na pevnost svarů. Při tahové zkoušce došlo u všech svorníku k vylomení ze základního materiálu se silou 12 kN. Tyto hodnoty byly dosaženy přibližně stejné jak u nelegované, tak u legované oceli.

Upozornění

Použití saponátového filmu pro svařování na nelegovanou ocel jsou známy. I pře provedené zkoušky a získané dobré výsledky je nutné použití saponátové vody hodnotit zdrženlivě. Při použití tohoto je nutné posuzovat také možné zkřehnutí materiálu, např. dlouhodobý test používání.

5.4.2.2 Lisovací olej

Podobného efektu jako s použitím saponátové vody bylo dosaženo při nánosu lisovacího oleje. Nános takového materiálu je možné vidět u většiny výrobků, při kterých dochází k lisování tvarů z tabule plechu, apod. Hlavním cílem je vyhnout se nebo odbourání rozstříku, např. při použití na nelegovanou ocel, apod.



Na těchto obrázcích je ocelový svorník M8 přivařený na zolejovaný nelegovaný plech s použitím kontaktního svařování.



Zdvihové svařování na plech s lisovacím olejem svorníků M6 nerezových na legovaný materiál.

Viditelný je jednoznačně ohraničený rozstřík taveniny, podobně tak v makrořezu. K rozpoznání jsou zřetelně vidět obdobné svařovací vady, jako při svařování na saponátovou vodu. Rovněž na těchto vzorcích byly provedeny zkoušky pevnosti svarů ohybem.

5.5 Technické podmínky varianty přivařování na EN AW-AlMg3

5.5.1 Nastavení stroje a podmínky

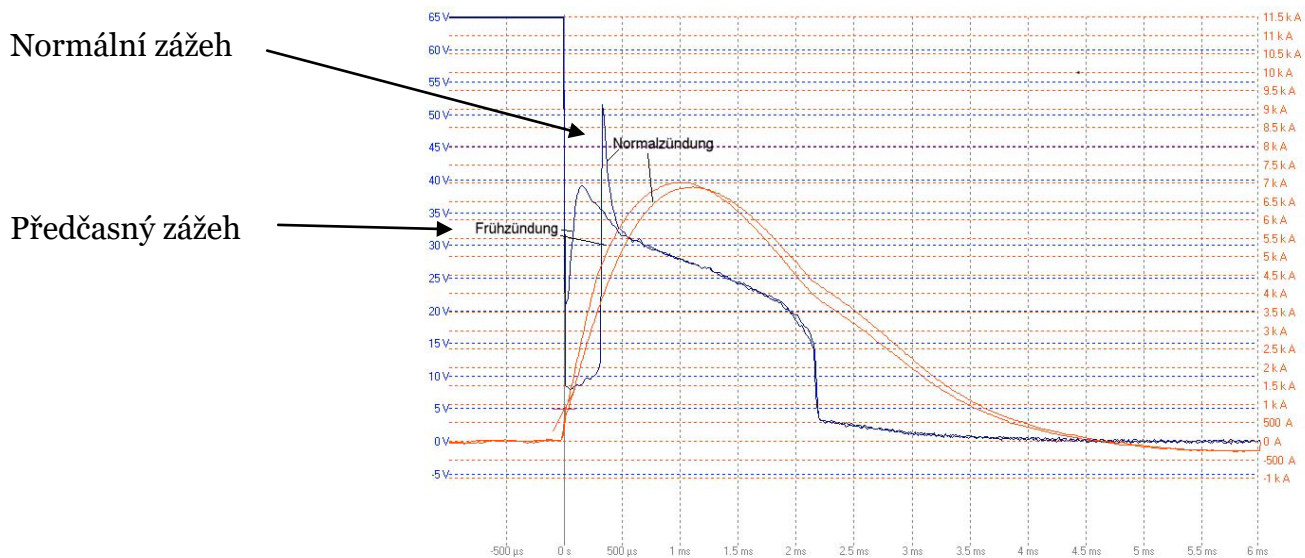
K určení svařovacích podmínek budou provedeny následující svařovací zkoušky s různými nastaveními, tedy i energetickým přínosem, a rychlostí dopadu svorníku na plech ve variantách zdvihové pro hliníkové svorníky AlMg3 průměrů M3, M6 a M8.

S ohledem na vyšší tepelnou vodivost hliníku musí být svařovací proces prováděn s vyšší rychlostí dopadu svorníku na plech než 500 mm/sec. Vzhledem k této rychlosti mohou vznikat vady svaru, neboť dochází k předčasnému zapálení EO.

Vyšší rychlost dopadu svorníku na plech je možné dosáhnout pouze se zdvihovou svařovací pistolí, eventuálně s možností nastavení přtlaku pružiny. U kontaktních svařovacích pistolí jsou užití přtláčné pružiny, jako u pistole u pistole PS-1K, velmi silné umožňující vysokou rychlost dopadu.

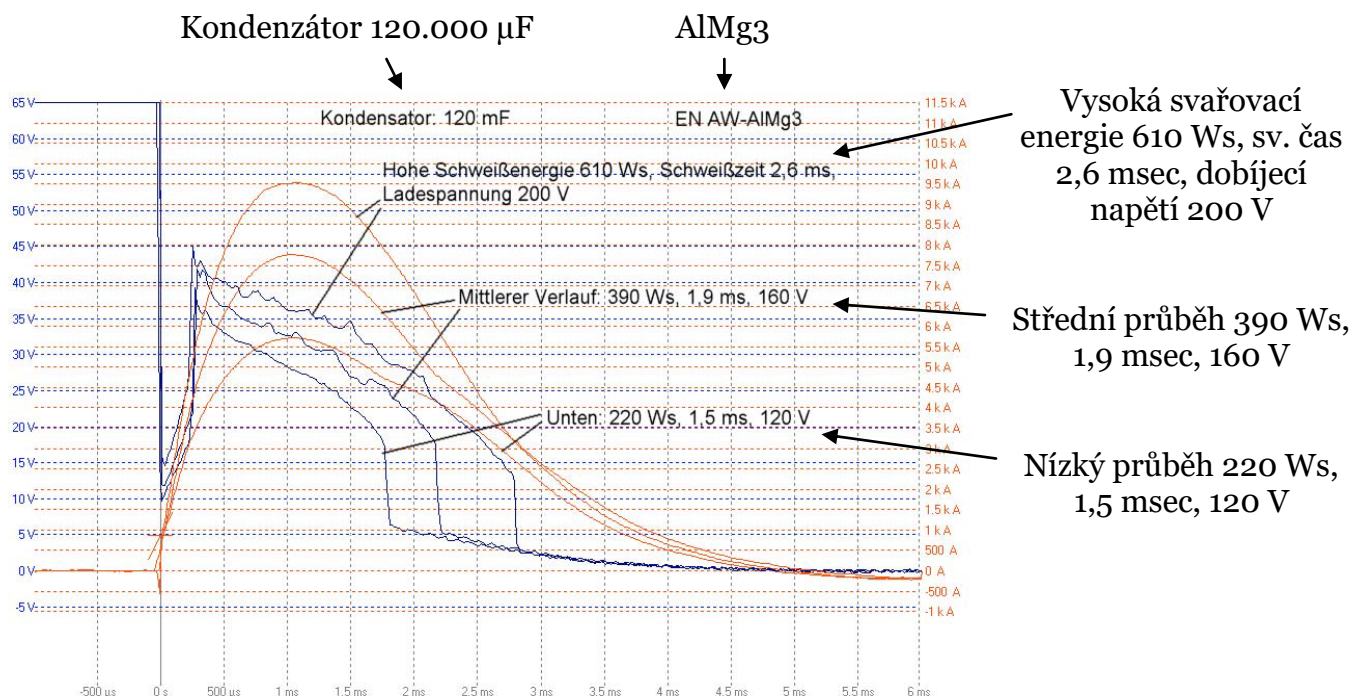
Toto je principiálně možné, ale dochází vlivem vysokého přtlaku k jednoduché deformaci zážehového hrotu, což má negativní vliv na průběh svaru.

Následující grafy ukazují průběh svařovacího proudu a napětí různých svarů prováděných s hliníkovými svorníky na hliníkový plech a byly pozorovány jak normální, tak svary s předzážehem.



V rámci provedených zkoušek bylo těchto cca 25 %. Přesnou příčinu předčasného zážehu, jako např. deformovaný zážehový hrot, zvláštní podmínky povrchu materiálu nebo jiné, nebyly dále zjišťovány.

Až na start zážehu vedoucí ke zvýšení svařovací energie o více než 5 %, jsou průběhy svařovacího proudu i napětí identické.



Tento graf zobrazuje svary s rozdílným napětím na kondenzátorech při svařování s nezmeněnou, stejnou, technikou. Rozdíly ve svařovací energii, právě tak jako výsledky zobrazení svařovacího času kopírují změny dobíjecího napětí. I přes konstantní rychlost dopadu svorníku na plech se různil svařovací čas mezi 1,5 msec při 120 V dobíjecího napětí, až na 2,6 msec při 200 V.

V tabulce jsou popsány data k nastaveným svařovacím podmínkám pro svařování se zdvihem svorníků materiálového provedení AlMg3 průměrů M6 a M8.

Nastavení svařovacích parametrů				Měření			Výsledky zkoušek					
Průměr (mm)	Povrch plechu	Předpětí pružiny (mm)	Dobíjecí napětí (V)	Rychlost dopadu mm/s	Čas hoření EO (msec)	Energie Vnesená do svař. (Ws)	Zkoušky ohnutím	Forma svař.		Tah		Klasifikace
								Nejčastější vady	Plocha sv. vad	/kN/	Stav lomu	
M 6	bez	12	140	780	0,7	130	60%	BF,póry	50%	3	SZ	nevyhov.
	odm.	12	140	780	0,7	130	80%	póry	30%	4,7	Bo/SZ	nevyhov.
	m ořeno	12	140	780	0,7	130	90%	póry	20%	5,2	Bo	vyhov.
	bez	6	140	600	1,2	180	60%	póry	50%	3,7	SZ	nevyhov.
	odm.	6	140	600	1,2	180	90%	póry	20%	5,2	Bo	vyhov.
	m ořeno	6	140	600	1,2	180	90%	póry	15%	5,6	Bo	vyhov.
M 8	bez	12	180	780	0,8	170	50%	BF,póry	50%	6,2	SZ	nevyhov.
	odm.	12	180	780	0,8	170	80%	póry	30%	7,7	Bo/SZ	nevyhov.
	m ořeno	12	180	780	0,8	170	80%	póry	30%	7,6	Bo/SZ	vyhov.
	bez	6	180	600	1,3	240	60%	póry	50%	6,4	SZ	nevyhov.
	odm.	6	180	600	1,3	240	80%	póry	20%	8,2	SZ	vyhov.
	m ořeno	6	180	600	1,3	240	90%	póry	15%	8,8	SZ	vyhov.
Sv. hlava KHA-200, pružina c=2,5, Sv. stroj LBS 090, 120.000 µF				Svorník: AlMg3 sv. pozice PA			Plech: AlMg3, tloušťka 2,5 mm Zdvih: 5,0 mm				1)5 řezů, 2)10 zkoušek	
Svařování se zdvihem				Hliník			Bo-svorník, SZ-svařovací zóna, BL:plech, BF:vady svař. US-dutiny				M6 a M8	

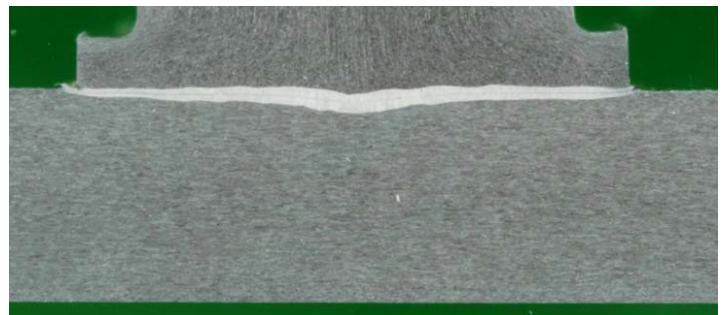
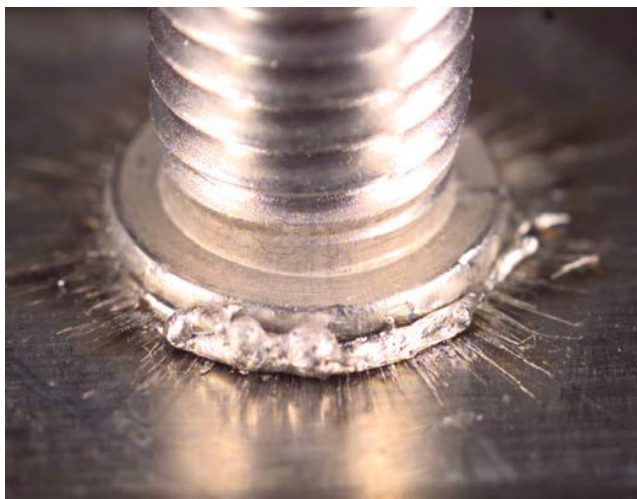
5.5.2 Výsledky zkoušek svarů na hliníkový plech

Zkoušky byly provedeny na hliníkový plech bez povrchové úpravy, odmaštěný a odmořený pplech.

Na následujícím obrázku jsou přivařené svorníky zdvihovým svařováním na hliníkový plech průměru M6 a M8.



M 6



M 8

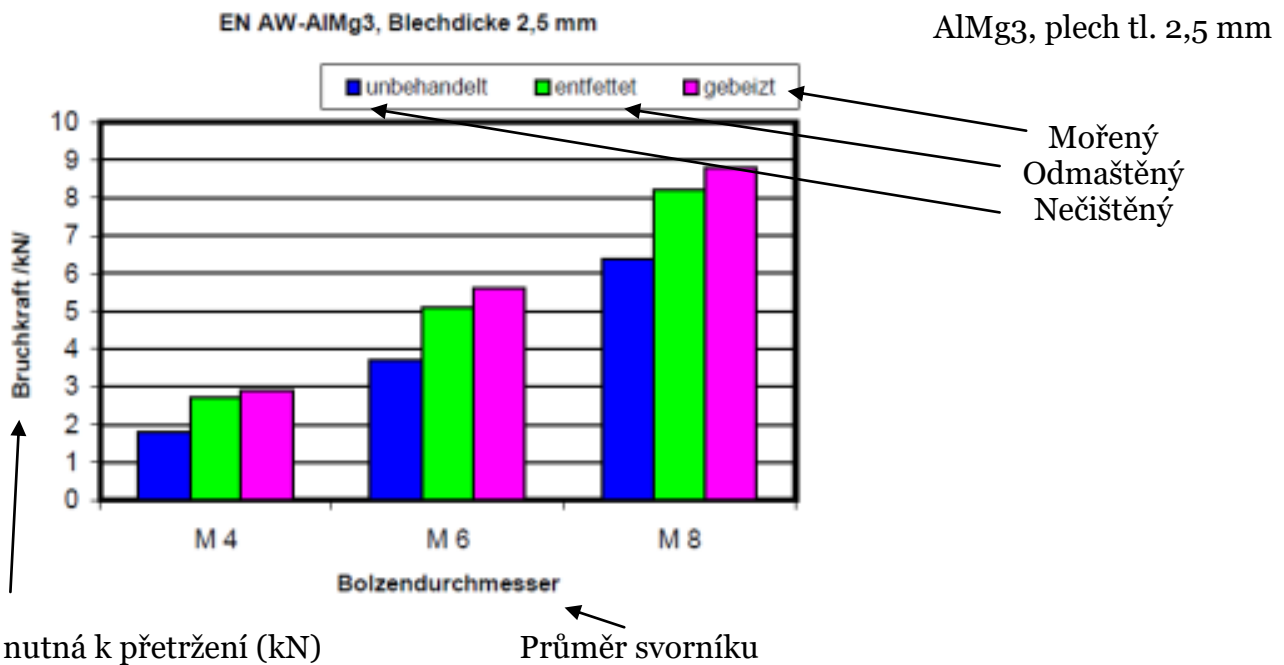
Tmavé znečištění v okolí svaru jsou oxidy hořčíku. Při svařování je teplota odpařování hořčíku cca 1.120 °C. Tím nedojde k úplnému odstranění tohoto prvku.

Při správné svařovací energii vzniká poměrně definovatelný kruh rozstříku taveniny. Se zvyšování svařovací energie se zvyšuje množství neodpařeného hořčíku, a tím vzniká i vyšší tmavé znečištění plechu a rozstřík taveniny.

Zkoušky tahem

U přivařování svorníků na hliníkový plech se projevuje závislost zatížení nutného k destruktivnímu porušení svorníku a čistotě povrchu plechu.

Tato závislost je vyobrazená na následujícím grafu.



Svary na neodmaštěný plech ALMg3 pro svorník M6 mají únosnost do lomu 4 – 5,5 kN. K lomu u těchto zkoušek většinou docházelo v základovém materiálu svorníku. Při cca 20 % případů však docházelo k vytržení ze svařovací oblasti. Potom bylo možné sledovat v místě takovýchto porušení póry a vady svaru.

Svary na mořený plech vykazují vyšší pevnost do lomu, 5 – 6 kN. K lomu dochází potom ve dřívku svorníku. Jednotlivé, nevýznamné, množství svarů mělo ale lom i ve svařovací oblasti. V takovýchto případech ale byl výskyt vad svarů cca do 15 % průměru plochy svorníku. Mimo lepší průběhy času hoření EO se jeví jako výhodné rovněž vyšší pevnosti při zatížení vedoucího k lomu. Toto však bylo podporováno vyšší svařovací energií vedoucí k většímu rozstříku taveniny.

Na základě provedených zkoušek svarů svorníků ALMg3 M6 a M8 je možné konstatovat následující:

1. Čas hoření EO mezi 1 – 2 msec je pro zkoušené materiály vyhovující. Odchylky z kvality svarů jsou menší. Rychlost dopadu svorníku na plech by měla být vyšší než 500 mm/sec.
2. Při přivařování svorníků na plech ALMg3 je zjištěn výskyt vad svaru ve svařovací oblasti.
3. K uskutečnění elektrických parametrů není nutné nijaké speciální nastavování. Hodnoty nastavených parametrů odpovídají přibližně hodnotám použitým pro ocelové svorníky.
4. Na rozdíl od oceli se projevuje závislost kvality svarů na úpravě povrchu (odmaštění, odmoření). Odmaštění plechu ještě samo o sobě nestačí ke snížení úrovně svarových vad. Porezita se vyskytuje mezi 30 až 50 % svarové plochy.
5. Optimalizace pevnosti pro svary hliníkových svorníků se zvyšuje mořením povrchu plechu. Podíl pórů se potom snižuje a pohybuje se mezi 15 – 30 % plochy.

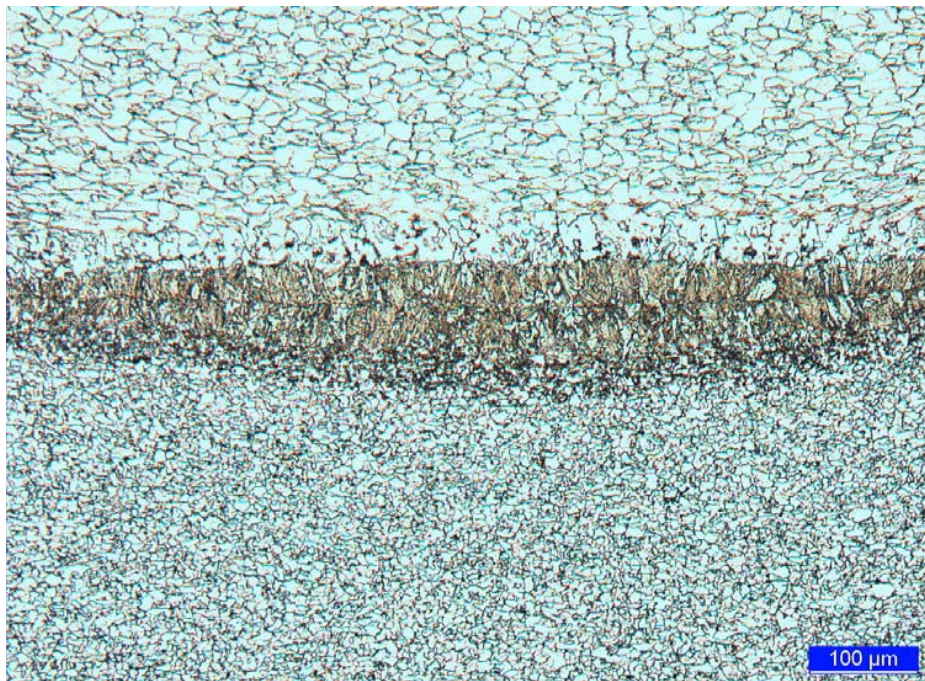
5.6 Technické zkoušky materiálu

Provedenými zkouškami byly rozpoznány nejvýznačněji se vyskytující svarové vady při přivařování svorníků hrotovým zážehem. Následující zkoušky byly provedeny s cílem zjištění vzniku lomů ve svarové oblasti díky např. pórům, trhlinám podobně jako nevhodným složením svarových spojení. Především není ale známý vliv tekutina jiných tekutých složek na svarový kov a taveninu.

5.6.1 Nelegovaná ocel

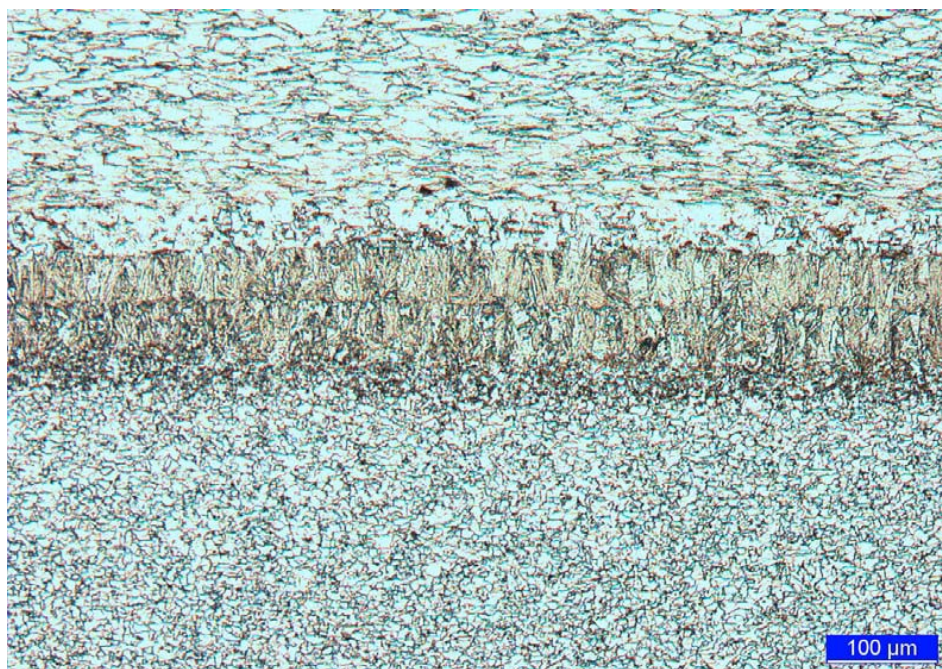
5.6.1.1 Struktura materiálu

Obrázek zobrazuje typickou strukturu dobrého svaru se zdvihem na nelegované oceli.



Tento svar byl proveden na odmaštěný plech svorníkem M8 materiálu S235J2G3. Řez materiálem svarového kovu je proveden 100 násobným zvětšením. Nad svarovou zónou se nachází materiál svorníku, po ní podkladní plech. Dobře patrný je přechod svarová zóna/podkladní materiál. Potrné jsou hrubší zrna, vzniklá rekrystalizací materiálu. Tepelně ovlivněná zóna je ale úzká, méně než 50 μm na základě velmi malé tepelně ovlivněné oblasti.

V přechodu svorníku do tavné zóny se nachází rovněž úzká svarová oblast cca 0,15 mm. Struktura materiálu je bainitická s podílem 15 % feritické a 15 % martenzitické složky. Nad středem taveniny se nachází krystalická struktura jako výsledek tuhnutí materiálu. V tomto případě se ve svaru nenachází žádné vady. Tavenina tuhla bez trhlin.

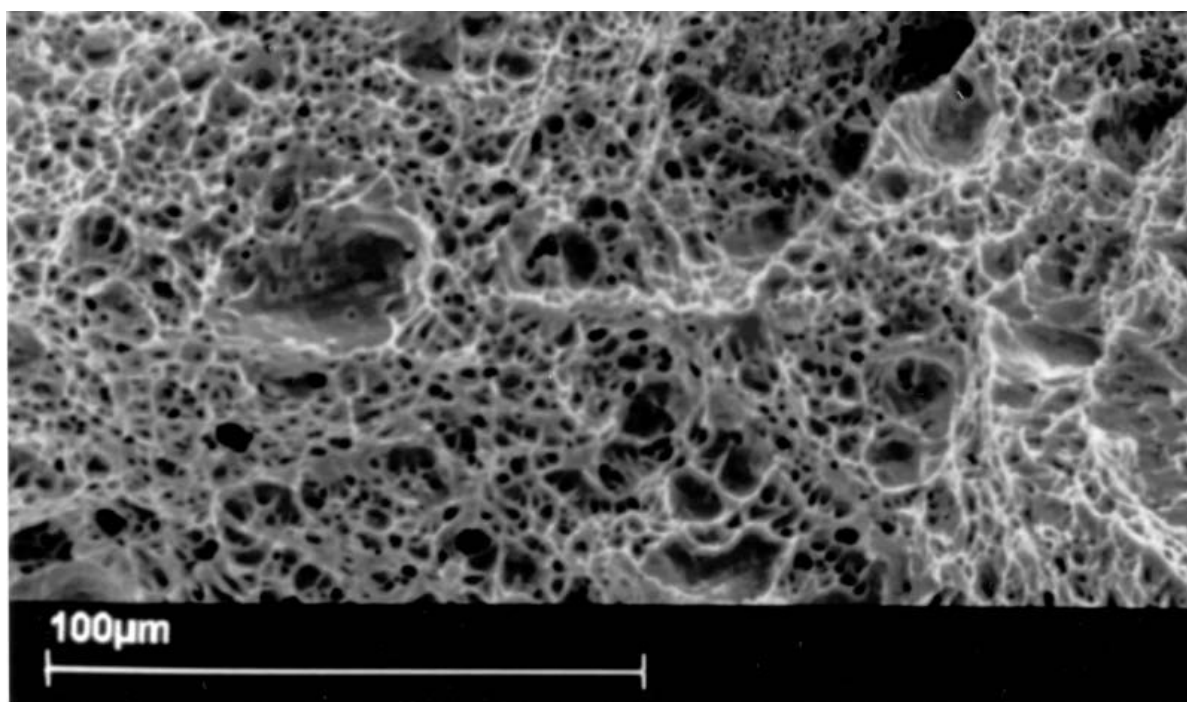


Tento obrázek ukazuje řez strukturou materiálu se stejným nastavením pro svařování se zdvihem, ale povrch materiálu byl smáčen saponátovou vodou (filmem). Oba dva řezy byly vzájemně porovnány. Vliv tekutiny užitá pro smáčení povrchu není na řezu prokazatelný a je tvořen strukturálně stejnými složkami jako bez ní. Svar se saponátovou vodou je rovněž bez svarových vad. Okrajové zóny jsou taky velmi dobře přivařeny. Toto vede také k vysokým možnostem zatížení svarů.

Tento svar, s použitím smáčení saponátovou vodou, nevykazuje žádné mikroskopické vady jako mikropóry, mikrotrhliny a mikrodutiny.

5.6.1.2 Analýza lomové plochy

Analýza lomové plochy ve svarové oblasti může být prováděna pouze tehdy, dojde-li po pevnostním zatížení k lomu ve svarové zóně. Tyto svary obsahují větší množství svarových vad. V podstatě byly prověřovány takové svary, u nichž došlo k lomu, resp. vylomení svorníku při 80 % jmenovité hodnoty zatížení (oproti maximu).

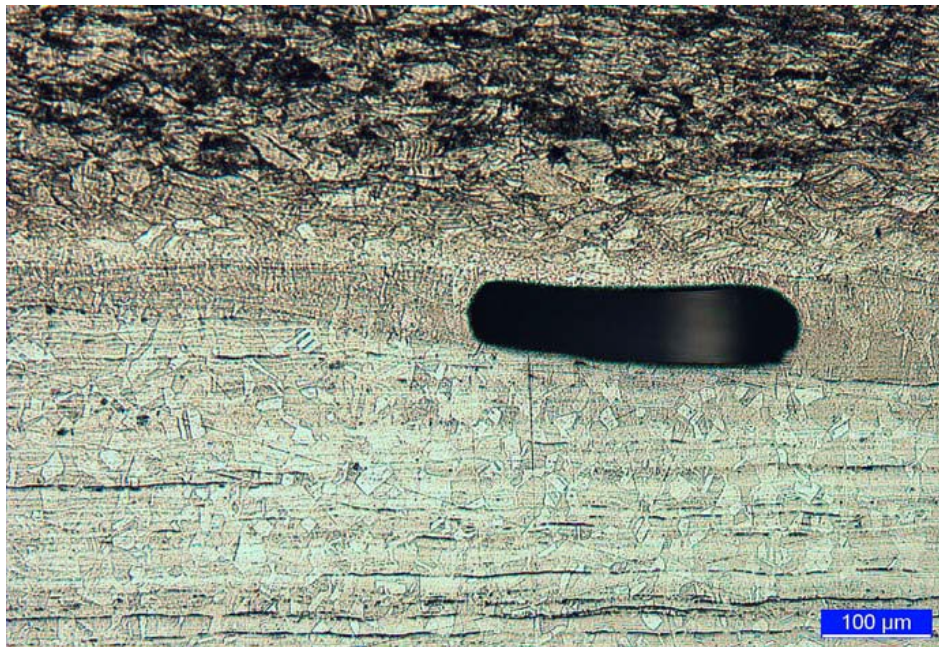


Typický řez plochou lomu u nelegované oceli.

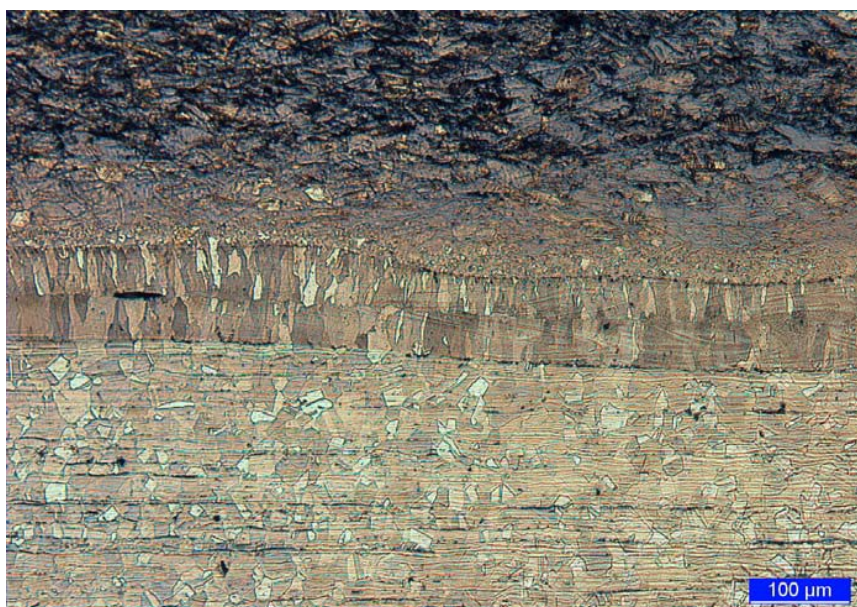
5.6.2 Legovaná ocel



Obrázek ukazuje typický řez taveninou materiálu X5CrNi18 10, průměr svorníku M 8, povrch podkladního plechu odmaštěný. Následuje detail svarové vady předcházejícího svaru.



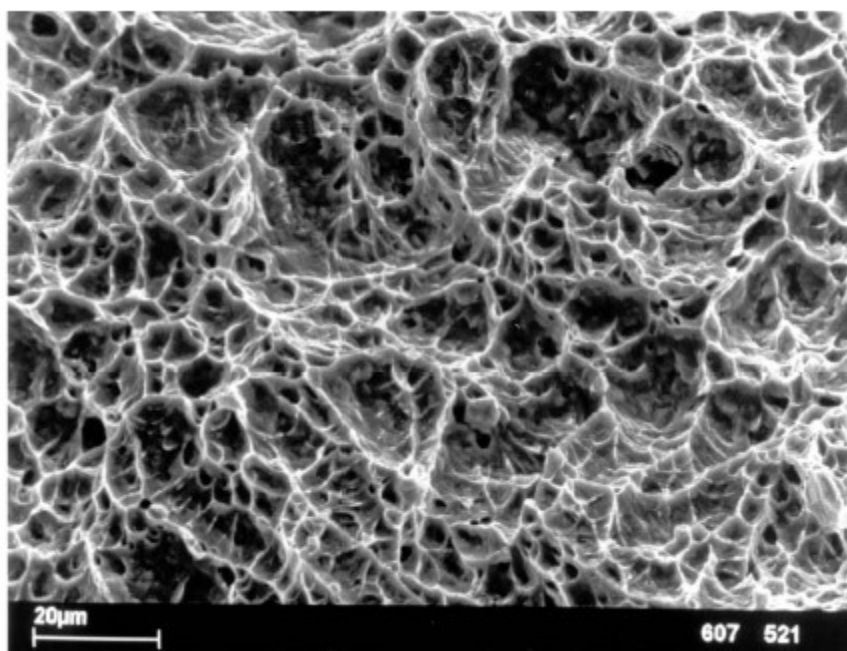
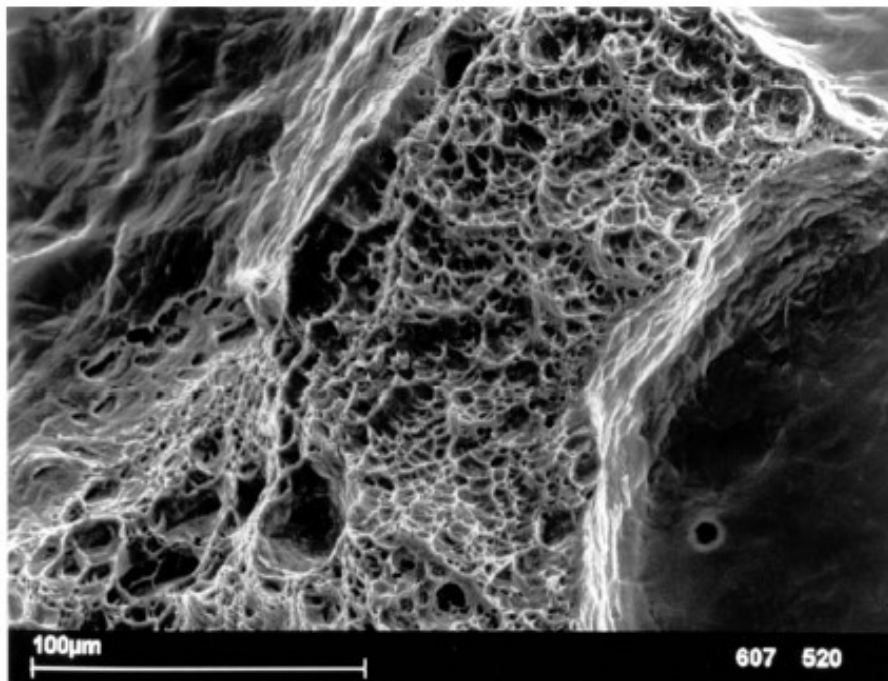
Toto je řez svarem na legovanou ocel s použitím předstříku saponátové vody, následuje detail svarové oblasti.



Oba dva svra obsahují svarové vady, které nesnižují jejich pevnost tak, aby došlo k porušení ve svarové oblasti.

Na rozdíl od nelegované oceli obsahuje svarový kov stejnorodou austenitickou strukturu s malým podílem martenzitu a feritu. V tomto spoji je patrný sklon k trhlinám. Svarový kov má maximální tvrdost 220 HV. Tato hodnota odpovídá základním tvrdostem základního materiálu.

Lomové plochy ve svarové oblasti přivařených svorníků, viz. obrázek, ukazují náhlý lom mezi dvěma póry.

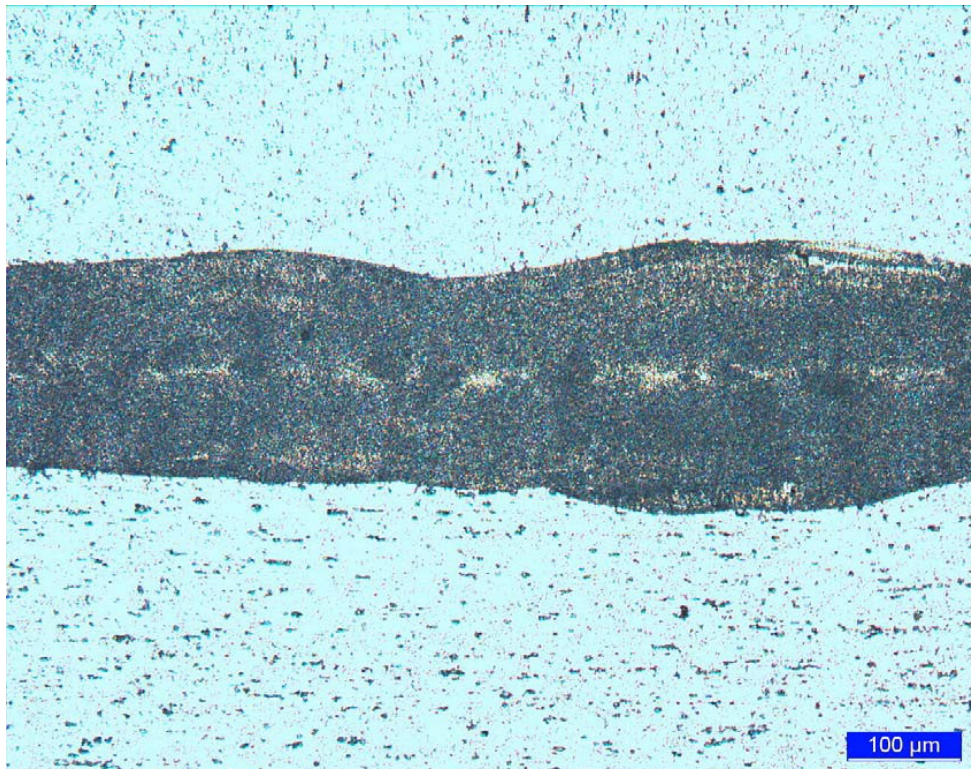
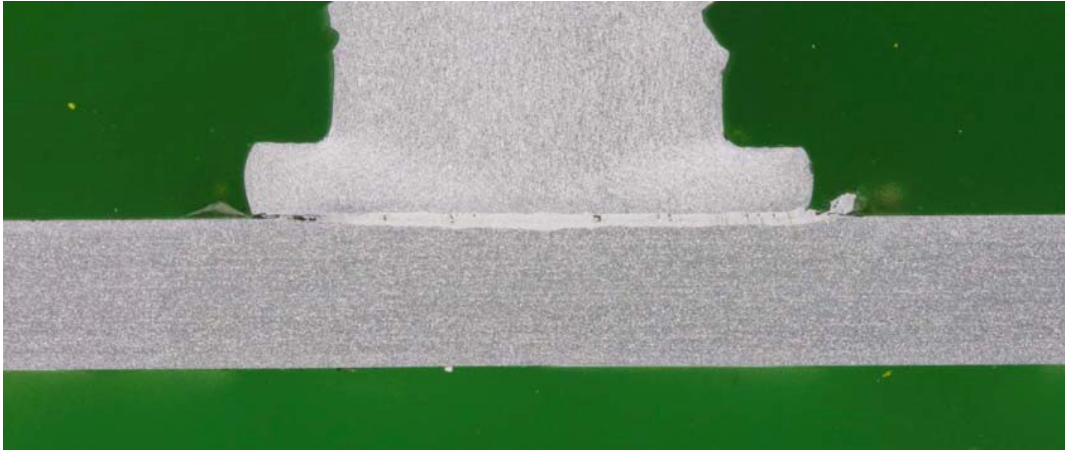


Tento obrázek znázorňuje detail předcházejícího obrázku, resp. oblasti mezi póry. Vliv vlhkosti (předstřík saponátové vody) na průběh lomu není patrný. Hlavní příčinou lomu jsou makroskopické, rozeznatelné póry a jiné svarové vady.

5.6.3 Hliníkové materiály

Při následujících zkouškách byly zkoumány podmíněné zvláštnosti a jiné chyby jako trhliny, oxidy a změny svarového spojení při přivařování hliníkových svorníků na hliníkový plech AlMg3 a AlMgSi1.

5.6.3.1 Posouzení spojení



Tyto fotografie ukazují typické vzhledy svarů provedených pomocí přivařování svorníků hrotovým zážehem se zdvihem. Na druhém obrázku je svarový kov, který se vyznačuje jemnou dendritickou strukturou. Dendrity, na základě rychlého ochlazení, se vyznačují směrovým růstem. Díky rychlému ochlazení vzniká jemnozrnná struktura svarového kovu. V makroskopickém řezu je patrný na přechodu tavenina podkladní materiál úzký pás tloušťky cca 0,1 mm s obsahem globulárních zrn.

Takovýto spoj je označen jako vyhovující. Při posuzování pevnosti svarového spojení toto dosahuje pevnosti podkladního materiálu. Toto spojení, s výsledkem vyhovující, bylo zkoušeno na ohyb.

Zásadní vliv na pevnost při zatížení mají mimo makroskopickým, především mikroskopické vady svaru, jako mikropóry a mikrotrhliny.



Tyto dva obrázky ukazují typické svary hrotovým zážehem se zdvihem na hliníkový plech. První z obrázků ukazuje v podstatě řez svarem s možností makroskopického hodnocení. Mimo levé krajní části je možné konstatovat jeho provedení jako vyhovující.

V ose svorníku je viditelná silnější tavná zóna.

Druhý obrázek ukazuje toto místo, kolem osy svorníku, v mikroskopickém detailu. Ve svarovém kovu jsou patrné mimo pórů také trhliny. Trhliny probíhají napříč svarem ke krystalické struktuře.

Póry se shromažďují při tuhnutí v ose svorníku, kde není dostatečný prostor pro odvod vznikajících plynů.

Ostatní svarová zóna tohoto svaru nevykazuje další póry.

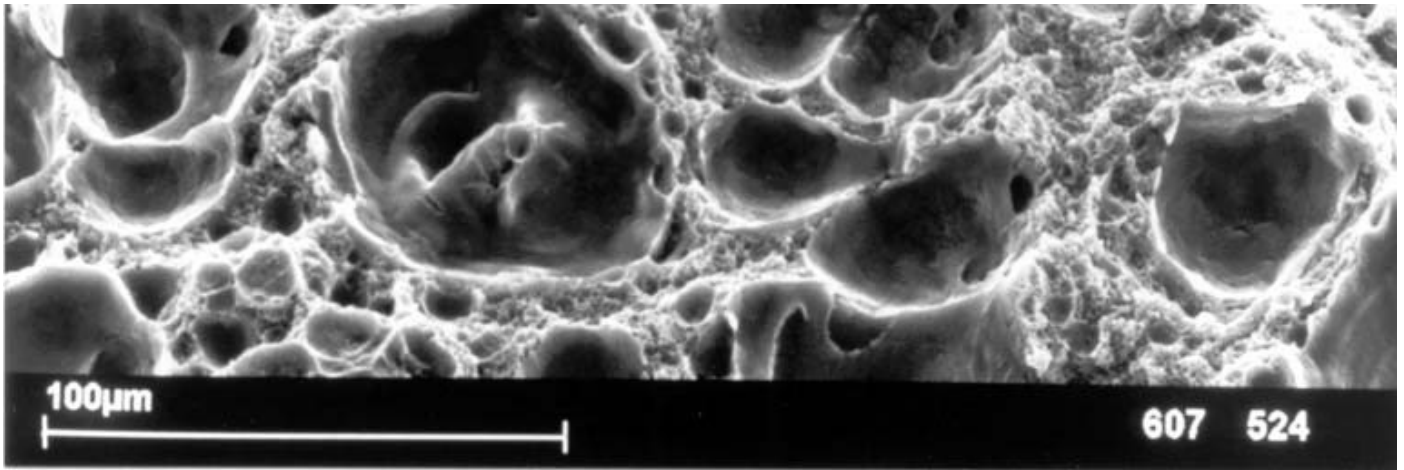
Mikro póry se vyskytují v případě slitiny AlMg3 jen ojediněle při nezpůsobilých podmínkách svaru nebo ostatních podmínkách. Potom má zásadní vliv tvar zavaření svorníku do základního materiálu. K nahromadění taveniny a zvětšení její tloušťky dochází v případech vysoké rychlosti ochlazení a je možno označit za nevyhovující.

V materiálu AlMgSi1 se objevují více než u materiálu AlMg3 nevhodné trhliny také u pevnostně vyhovujících svarů. Jednotlivé trhliny vedoucí až k svarovému švu nejsou kritické a nemají vliv na snížení statického zatížení. Jinak se přivařování svorníků na materiál almgSi1 nevyznačuje žádnými rozdíly oproti materiálu AlMg3.

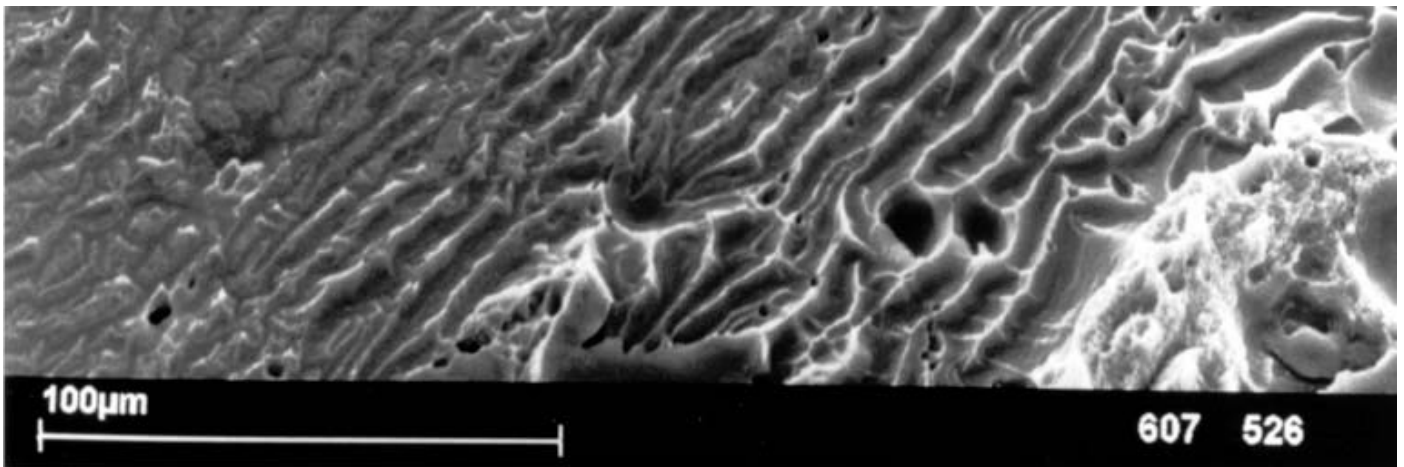
5.6.3.2 Analýza lomové plochy

Analýza lomové plochy pomocí síťového elektronického mikroskopu potvrzuje výskyt svarových vad v celém průřezu svaru.

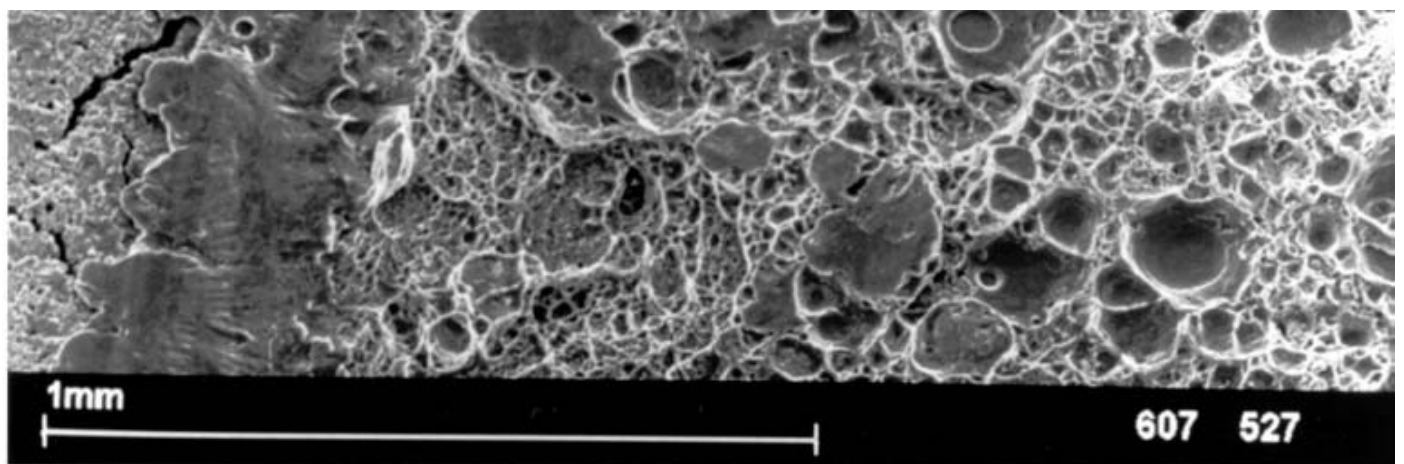
U všech zkoumaných vzorků, u kterých došlo k lomu ve svaru, byl zjištěn plošný lom. Při posuzování lomu bylo konstatováno, že dochází ke kumulaci pórů, spolu s dendritickou orientací.



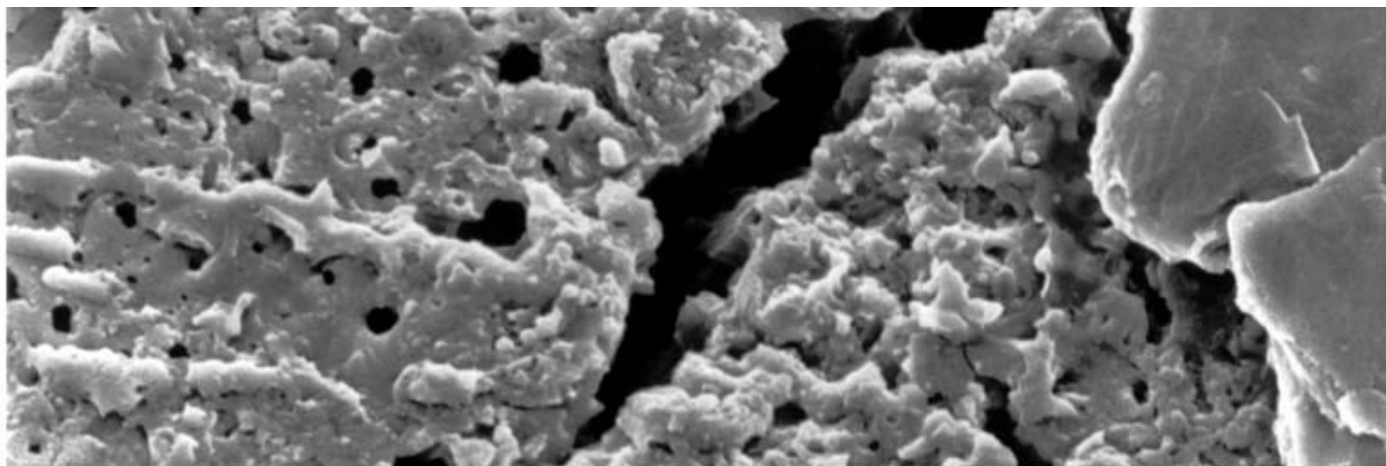
Detail plošného lomu ukazuje mikrodutiny a kruhové Al₂O₃.



Tento řez ukazuje velké svarové vady. K rozpoznání jsou koncentrující se nespojené taveniny vlivem nevhodného, rachlého, chladnutí taveniny.



Na tomto obrázku je svar provedený se zdvihem na materiál AlMgSi s velkým množstvím trhlin za tepla a taky projevem nevhodného foukání EO.



Detail trhliny za tepla spolu s velkým množstvím pórů.

Svařování svorníků se zdvihem na materiál AlMg3 vykazuje dobré výsledky spojení. Trhliny jsou ale téměř vždy viditelné ve svarovém kovu. Tomu se ale můžeme vyvarovat vhodným tvarem a průběhem závaru. Také u trhlinotvorného materiálu, jako je AlMgSi1, se vyskytují tyto jen v kombinaci s dalšími svarovými vadami. Při správném tvary svarového kovu s rovnoměrně silnou vrstvou taveniny jsou složitě identifikovatelné.

5.7 Opakovatelnost

Opakovatelnost svarů je velmi hodně závislá na použité technice (svařovací stroje a pistole) a manipulaci obsluhy a její zručnosti. Stacionární zařízení (svařovací hlavy) prokazují lepší výsledky, neboť mají exaktní vedení a polohování svorníků, než manuální polohování a ovládání. Mimo to má také vliv použitá technologie (se zdvihem, kontaktní) a její výhody při přivařování na daný materiál. Dále je nutné posouzení druhu použití a nasazení technologie. Výsledky vycházejí z provedené optimalizace provedení svarů v počtu 30:

- > Vhodná opakovatelnost je zaručena při koeficientu tolerance mezi 6-10 %. Tato hodnota byla konstatována pro kontaktní svařování se stacionárním vybavením s odzkoušením ohybovým momentem a lámáním svorníků pro ocelový materiál a se zdvihovou variantou pro hliník
 - > Střední hodnota koeficientu tolerance mezi 10-15 % je zaručena pro přivařené svorníky po zkouškách pevnosti tahem a ohybem pro kontaktní svařování oceli se stacionárním zařízením podobně jako pro svařování se zdvihem se stejným vybavením. Pro kontaktní svařování pomocí ručního vybavení vede rovněž k vyhovujícím výsledkům
 - > Horší výsledek koeficientu tolerance, více než 15 %. Pro sériovou výrobu se jeví tato hodnota jako špatná. Pro manuální svařování se zdvihem byly zjištěny hodnoty koeficientu vyšší nebo rovny 20 %.
- Přivařování hrotovým zážehem nabízí i přes vysoce dynamický svařovací proces možnost reprodukovatelnosti svařovací kvality. Důležitý vliv má vedení pístu zajišťující pohyb svorníku, které se projevilo také v laboratorních podmínkách a mimo jiné vede, při změně tření v pístu, k zvýšení rozstřiku a vyšší emisi splodin po svařování. Rovněž důležitý je pravičelný chod svařovacího stroje.

5.8 Jistota kvality

Provedené zkoušky ukazují, že vliv na svařovací proces má mnoho faktorů, především pak průběh svařovacího proudu a napětí. Toto tvrzení potvrzuje zjištěná kvalita svařovacího procesu. Příčiny svařovacích vad se ale nemusí ve všech případech projevit.

Zásadní vliv na svařovací kvalitu má rychlost dopadu svorníku na plech. Při tomto zkoušení byly pozorovány různé rychlosti dopadu u různých, pro zkoušky používaných, svařovacích pistolí a hlav.

Ukázalo se, že ruční svařovací pistole umožňují vyšší rychlosti než svařovací hlavy.

Z manipulačních důvodů byly ale použity měkčí pružina. Proto provedené svary byly pomalejší, s odpovídajícím dopadem na svařovací kvalitu. Obsluha přitom nemá možnost tuto kvalitu zásadně ovlivnit.

Při provedených testech byl také odzkoušen profesionální systém měření kvality svaru. Při zapojení tohoto systému je možné rozpoznat mnoho faktorů, které mohou mít vliv na svařovací proces a jeho kvalitu. Tento systém byl vyvíjen pro sériovou výrobu již 10 let. Od té doby byl systém dále vyvíjen a v dnešní verzi může být použit také pro svařování ruční svařovací pistolí. Měření tímto systémem vykazují velmi dobře vypovídající výsledky. Při provedených testech se měřicí systém osvědčil.

V následujícím provádění a požadavcích je možné tento systém sledování kvality používat také pro malé a střední výroby se zajímavými a vypovídajícími výsledky. Dříve požadované namátkové kontroly pak mohou být, na základě výsledků systému hlídání kvality, sníženy. Rovněž eventuální vady a poruchy svařovacího stroje a pistole jsou tímto systémem rychleji definovatelné a nedochází potom k výrobě vadných produktů vlivem špatně přivařených svorníků.

6. Hospodářský význam

Hospodářské výhody obloukového přivařování svorníků hrotovým zážehem jsou:

- > Nasazení cenově výhodné mobilní techniky
- > Vysoká kadence svarů s ohledem na krátký svařovací čas
- > Možnost jednostranného připevnění svorníku na plech
 - > Vysoká výkonnost
- > Zvyšování hospodárnosti díky vysoké kadenci
 - > Úspory výrobních nákladů
- > jednoduchá a rychlá aplikovatelnost

Přivařování svorníků hrotovým zážehem je využitelné v mnoha podnicích a firmách jak velkých, středních i malých, a to díky akceptovatelným nákladům na pořízení, vysoké využitelnosti. Svářeč nemusí mít žádné potvrzení o kvalifikaci. Zacházení se zařízením může být principiálně definováno a ulehčeno pro obsluhu systémem řízení a měření kvality svarů, případně návštěvou pracovníků s možností ověření kvality tímto způsobem. Mnoho malých zámečnictví již používá tento způsob navařování a zlepšuje tím svoji pozici na trhu. Rovněž ale v sériových a jiných velkovýrobách nachází tento systém využití jako například při výrobě bílého zboží apod. V Německu je ročně použito více než 100 miliónů svorníků a dílů k přivaření.

Přivařování svorníků hrotovým zážehem kondenzátorovým výbojem nabízí široké možnosti a výhody pro přivařování na tenké plechy od 0,4 mm. Tepelná zátěž je díky krátkému svařovacímu času minimální a ve většině případů dojde k minimálnímu nebo žádnému poškození opačné strany plechu. Hloubka závaru je o něco více než 0,1 mm (max. cca 0,25 mm).

Zvýšení kvality přivařování díky zjištěným vlivům je použitelné pro malé a střední průmyslové výroby. Toto může být zkvaklitněno oproti použití tak, jak doposud. Díky výsledkům je možné nyní lépe definovat svarové spoje a využít tím lépe tento způsob přivařování. Rovněž tímto poznáním je možné rozdělit vyhovující a nevyhovující svary svorníků, a tím redukovat a snížit nekalkulované škody vzniklé vadnými spoji. To může nabídnout nové možnosti nasazení této technologie především díky zajištění vyšší reprodukovatelnosti a zajištění vyšší kvality svarů.

Nové impulsy výroby, spolu s možností redukovat náklady na konstrukci mohou zvýšit využitelnost technologie. Poznatky jsou poskytnuty bavorským firmám k dobru, stejně tak jako pro různé druhy průmyslu a výroby se zpracováním plechu. Zkoušení probíhalo taky ve spolupráci s potencionálními uživateli.

7. Shrnutí

Přivařování svorníků EO s hrotovým zážehem bylo provedeno na ocelový a hliníkový podkladní materiál průměry M4 a M8. Při těchto zkouškách svarových spojů byla ověřována svařovací kvalita např. sníženým rozstřikem. Přitom byly definovány kapky rozstřiku v okolí svarového spoje. Ve spoji potom chybí tento materiál k vyplnění svarové oblasti. Toto vede k vzniku svarových vad, což ovlivňuje kvalitu svarového spoje a ovlivňuje užití tohoto způsobu přivařování.

Rovněž také má zásadní vliv na průběh svaru pohyb svorníku, což vede ke spojení tavných lázní v tekutém stavu taveniny. Tento pohyb byl analyzován při použití různých zařízení a také rozdílných nastavení. Toto bylo provedeno vysokorychlostní vieokamerou v dostatečném rozsahu.

Přivařování svorníků hrotovým zážehem je možné dále rozdělit na:

- > se zdvihem
- > kontaktní

Pro obě dvě varianty byl zjišťován vliv různých mechanických vlivů na rychlost dopadu svorníku a tím i vliv na čas hoření EO.

Pro přivařování svorníků se zdvihem byli nastavovány na hodnoty pružiny pro tlak svorníku na plech před zahájením svaru 20 až 40 N u lehčích svařovacích pistolí s předpětím pružiny 20 až 80 N a u těžších svařovacích hlav s rychlostí dopadu svorníku na plech cca 400 až 800 mm/sec.

Pro kontaktní svařování jsou svorníky tlačeny z klidu směrem k plechu. Vybavení pro tento druh přivařování umožňuje tlak pružiny 40 až 140 N, podle druhu pistole. To odpovídá rychlostem dopadu svorníku na plech mezi 300 až 650 mm/sec, tedy nižší než u přivařování svorníků se zdvihem.

U obou dvou variant toto způsobuje dopad pístu pistole se svorníkem a vznik rozstřiku taveniny a také částečně více milimetrů pohybu v závislosti na kinetické energii pohybového ústrojí. Toto je možné velmi dobře pozorovat využitím vysokorychlostního videa. Vliv rozdílné rychlosti dopadu svorníku je u obou dvou variant značný.

U přivařování svorníků se zdvihem je možné definovat následující závislosti:

- > Ideální případ: při rychlosti dopadu svorníku mezi 450 až 650 mm/sec tuhne tavenina v závěru pohybu svorníku směrem dolů
- > Při rychlosti dopadu svorníku nižší než 400 mm/sec dochází k velkému vzniku svarových vad
- > Rychlost dopadu svorníku vyšší než 700 mm/sec snižuje značně energii přenesenou do svaru a čas tuhnutí taveniny. Při určité energii dochází k tuhnutí ve fázi zpětného pohybu pístu pistole (hlavy).

Pro přivařování svorníků kontaktním bylo používání rychlosti dopadu svorníku na plech cca 400 mm/sec. Svařovací čas při nasazení používané techniky byl 3,5 až 4,5 msec. Toto nastáva přibližně lineárně, v praxi většinou se určuje závislost délky hoření EO na přítlaku pružiny.

U svařování se zdvihem se určuje rychlost dopadu svorníku na plech v závislosti na svařovacím čase. Tato se pohybuje mezi 0,6 msec (rychlost vyšší než 800 mm/sec), při nižší rychlosti dopadu cca 450 až 600 mm/sec svařovací čas 2,8 msec. Pro praxi to znamená, že čas hoření EO u přivařování svorníků se zdvihem se mění nastavením nebo odporem pohybového ústrojí pistole/hlavy a má zásadní vliv na kvalitu.

Měření velikosti svařovacího proudu a napětí na EO ukazují, že tento se mění v závislosti na velikosti dobíjecího napětí při stejné kapacitě. Podstatný vliv na svařovací energii má svařovací čas.

Pro standardní svorníky M4 až M8 materiálůvých skupin nelegovaná ocel, legovaná ocel a hliník byly optimalizovány hodnoty nastavení pro stacionární svařovací hlavu. Vyhodnocení splňuje údaje uvedené v normě ČSN EN ISO 14555. Tvar a profil svarové lázně vykazují sice vady, ale

akceptovatelné, taky u průměru M8. Dále bylo provedeno, převedením výsledků, svařování ručními pistolemi v jinak nezměněných podmínkách. Provedeno bylo také nastavení správné rychlosti dopadu svorníku na plech.

Kontaktní svařování vedlo ve většině případů k zajištění svarového spoje s vyšší únosností. Rovněž bylo zjištěno, že jsou pomocí kontaktního přivařování zaručeny svarové spoje s lepší makro i mikrostrukturou zjišťovanou v řezu. Toto vyplývá z delšího svařovacího času a v souvislosti s tím vyplývající vyšší přenos svařovací energie. Také vzniklá svarová oblast je u kontaktního svařování optimálnější s méně vadami než u zdvihového přivařování. Hlavním faktorem tohoto jevu je rychlost dopadu svorníku na plech a zkratový proud, při kterém dochází k vnoření. To probíhá u kontaktního svařování při 500 až 1.000 A, u zdvihového pak při 4 kA.

Varianta kontaktního přivařování svorníků je výhodná taky pro přivařování na povrchově upravené plechy. Toto je možné díky delšímu svařovacímu času, čímž dojde k odpaření, u pozinkovaného plechu, této vrstvy. Následně dojde, podobně jako u povrchově nepokovených nebo jinak opatřených pleších, k lepšímu průběhu a podmínkám pro svar, přičemž tento je dostačující také u okraje svorníku.

Přivařování svorníků se zdvihem je naopak výhodné všude tam, kde je nutné vnést co nejmenší energii do svaru z důvodů zamezení poškození opačné strany plechu. Tento požadavek je nutný především u tenkých plechů pod 0,8 mm. Mimo to je rovněž omezená síla nutná k pohybu svorníku, což omezuje také deformaci plechu. Pro přivařování svorníků na hliníkový plech je také nutná varianta se zdvihem pro lepší výsledek svaru. Dobrá tepelná vodivost hliníku způsobí rychlejší ochlazení tavné lázně než u oceli. Při přivařování hliníkových svorníků kontaktní variantou vznikají větší svarové vady na základě pomalejší rychlosti vtlačování svorníků do tavné lázně. Také díky delší době hoření EO dochází k větším reakcím se vzduchem.

K zamezení většího rozstříku byly provedeny zkoušky svarů na ocelový plech pod ochrannou atmosférou, podobně jako na zvlhčený materiál. U obou dvou způsobů po provedených zkouškách bylo dosaženo opticky velmi dobrých svarů s minimálním rozstříkem taveniny a nízkou emisí povlaku (FeO) v okolí svorníku.

Působení ochranné atmosféry bude předmětem dalšího šetření. Průběh svaru se vyznačuje omezeným hlukem při svařování. Zvýšení únosnosti při použití ochranné atmosféry ale nebylo zjištěno. Nezjištěn byl taky vliv pro přivařování svorníků s neoptimalizovanými hodnotami nastavení. Účinnost ochranné atmosféry bude ještě dále zkoumána v závislosti na přípravku pro přívod atmosféry a druhu plynu.

Pro ochranu plechu byly také použity saponátová voda a lisovací olej. Pro nasazení stačí omezené pravidelné nanesení takového přípravku. Vznikající zvukový efekt formou rány je větší než u přivařování svorníků na odmaštěný jinak čistý plech. Užití oleje vede ke svarům s omezeným rozstříkem. Při posuzování svarové oblasti a svarových vad svarů na saponátovou vodu bylo konstatováno, že dochází k vzniku velmi pravidelného výronu taveniny a také svarová oblast nevykazuje větší množství vad než při svařování bez ní. Únosnost těchto spojů se jeví rovněž na vysoké úrovni.

Reprodukovatelnost při přivařování svorníků hrotovým zážehem s dobrou únosností je při použití stacionárních zařízení a provedených zkouškách stanovena a vyjádřena koeficientem 6 až 10 %. Kontaktní varianta přivařování je pro praxi, díky delšímu svařovacímu času a pravidelnějších pozitivních výsledcích, lépe použitelná především díky snadnější nastavitelnosti. Při variantě se zdvihem a ruční svařovací pistolí ovlivňují často výsledky svařování nepravidelnosti, např. rychlost dopadu svorníku na plech, manipulace a ovládání obsluhy, případně elektrický obvod, apod.

Cíl tohoto zkoumání a vývoje byly splněny.

Zkoušky byly provedeny stroji bavorských výrobců těchto zařízení firmy BTH-TECH GmbH, HBS

Bolzenschweissysteme GmbH a Heinz Soyer Bolzenschweisstechnik GmbH a taky tento výzkum jimi byl podporován a jsou dány na podporu bavorských uživatelů techniky pro přivařování svorníků.

Mnichov, červenec 2003

Prof. Dr. Ing. Prof. H.c. D Böhme