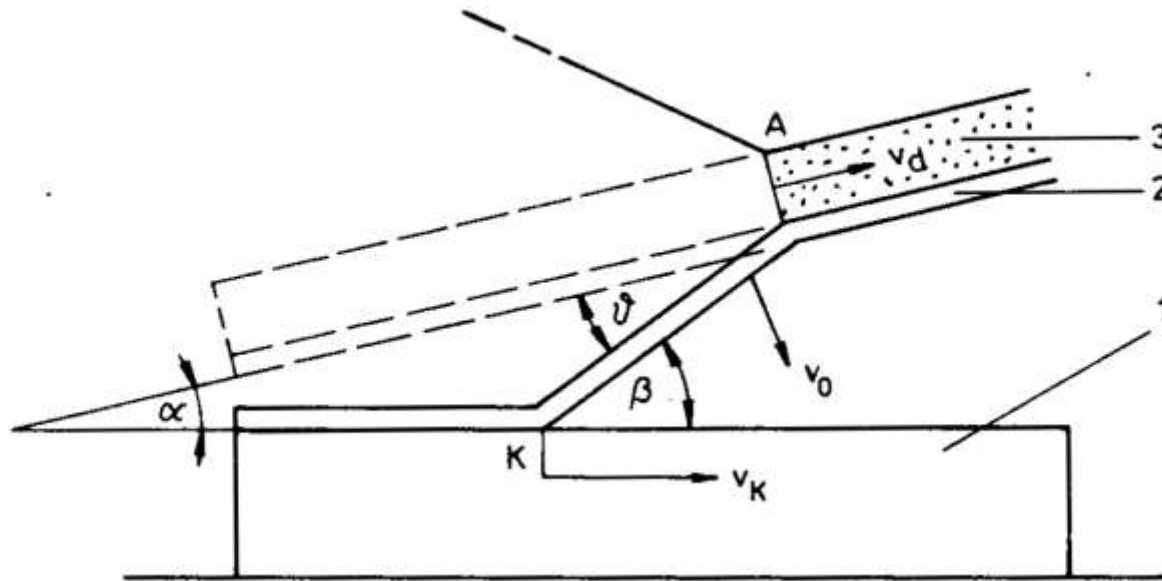


# Svařování výbuchem

RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

- Princip metody
- Rozdělení výbušnin
- Druhy výbuchů
- Mechanismus tvorby spoje
- Svařitelnost materiálů
- Příklady
- Fakta o metodě

# Princip metody



1,2 – svařované materiály

3 – trhavina

$\alpha$  – úhel nastavení

$\beta$  – úhle srážky materiálů

A – čelo detonační vlny

K – místo srážky obou materiálů

$v_0$  – rychlost výbuchem urychleného materiálu

$v_d$  – detonační rychlost

$v_k$  – svařovací rychlost

# Výbušniny

- Výbušniny jsou látky, které po iniciaci vykazují extrémní rychlost chemické reakce – hoření.
- V místě reakce vzniká vysoký tlak z reakčních spalin v malém prostoru. Přeměna tepelné energie na mechanickou je realizována expanzí plynů do okolí. Výbuch není charakterizován velkým množstvím uvolněné energie ale vysokým výkonem.
- Běžné výbušniny mají spalné teplo okolo  $4000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . Reakční čas je  $10^{-3}$  až  $10^{-4}$  s. Z toho plyne výkon  $10^7$ - $10^8 \text{ kW.kg}^{-1}$ .

# Druhy výbuchu

- **Výbuchové hoření.** Reakce probíhá pomalu – proto nedochází k zvýšení tlaku. Rychlost hoření nepřekročí  $1 \text{ m.s}^{-1}$ . V uzavřeném prostoru dk nárůstu tlaku a rychlost hoření se zvyšuje
- **Výbuch.** Tlak v reakční zóně se zvyšuje. Rychlost hoření dosahuje až  $10^3 \text{ m.s}^{-1}$ .
- **Detonace.** Rychlost hoření je vyšší než rychlost zvuku v dané látce. Detonační rychlost je nezávislá na teplotě a tlaku okolí. Pohybuje se v rozmezí  $10^3 - 9 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ . Detonační spaliny mají rychlost nižší než detonační vlna.

# Rozdělení výbušnin

- Trhaviny
- Střeliviny
- Třaskaviny

U *trhavin* je hlavním druhem výbuchové reakce *detonace*. Pro svařování kovů mají největší význam. Pro inicializaci je potřeba rozbušky.

# Druhy trhavin

Název	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Detonační rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	Výbuchové teplo [kJ.kg <sup>-1</sup> ]	Objem spalin [dm.kg <sup>-1</sup> ]
Nitroglycerin	1,60	7600	6300	715
Nitroglykol	1,48	7300	6830	740
Pentrit	1,72	8200	6120	780
Hexogen-RDX	1,80	8750	5460	910
Oktogen	1,90	9000	5460	910
Tetryl	1,63	7300	4550	710
Nitroguanidin	1,60	7600	3200	1070
Tritol – TNT	1,65	6950	4100	690
Ekrazit	1,80	7300	4400	675
Nitrometan	1,13	6300	6400	720

# Druhy trhavin pro svařování

- Typ DAP – detonační rychlost nesmí překročit  $3500 \text{ m.s}^{-1}$ . Detonační rychlost závisí na tloušťce vrstvy trhaviny.
- Krystalické s flegmatizátory (např TNT+NaCl, SEMTEX)

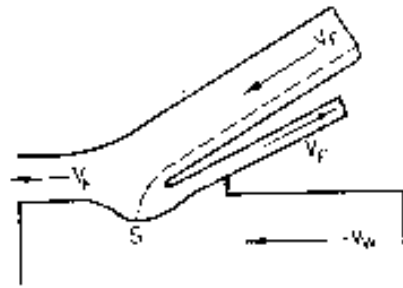


# Fyzikální efekty

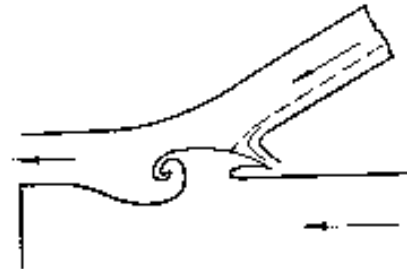
- Sraz desek se vzhledem k extrémním tlakům řeší pomocí hydrodynamické teorie – chová se jako ideální kapalina.
- Kovem postupuje rázová vlna s amplitudou 10 – 100 Gpa
- Mez kluzu i mez pevnosti materiálu jsou tedy zanedbatelné.
- Dochází k plastické deformaci materiálu.
- Vytváří se dva kovové proudy
- **Tlouk** je hmotnější a zůstává na linii srazu
- **Trysk** se pohybuje před linií srazu rychlostí převyšující detonační rychlost trhaviny. Je tvořen materiálem povrchových vrstev spojovaných materiálů (oxidy a dalšími nečistotami)



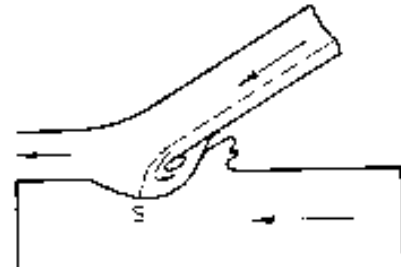
# Fáze svařování výbuchem



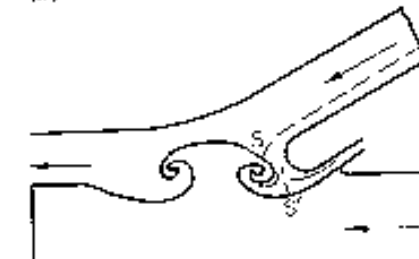
(a)



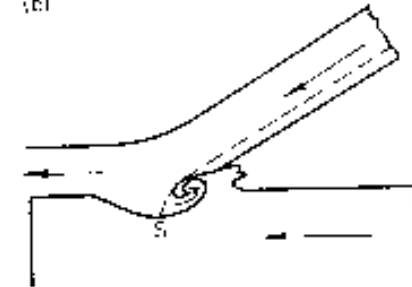
(b)



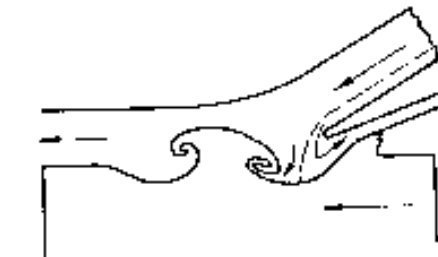
(c)



(d)



(e)

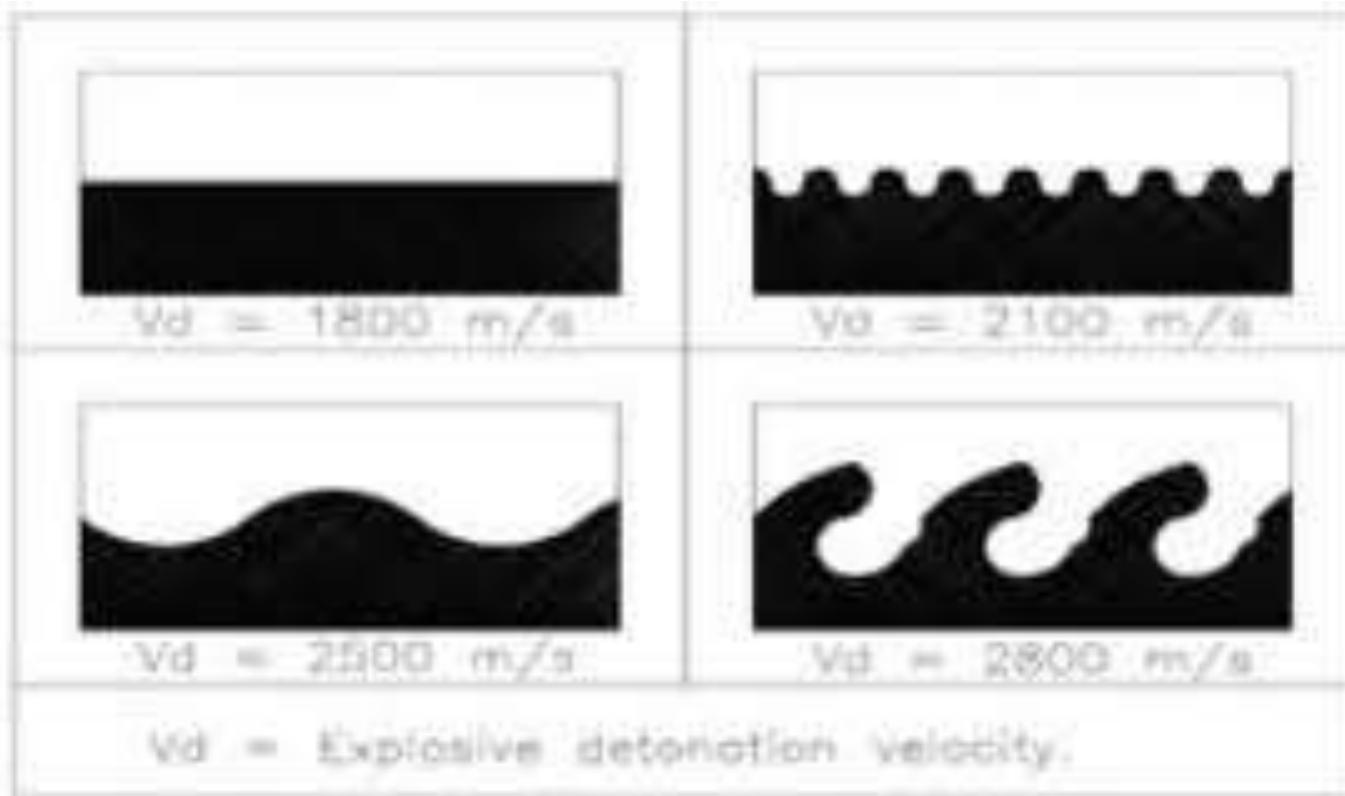


(f)

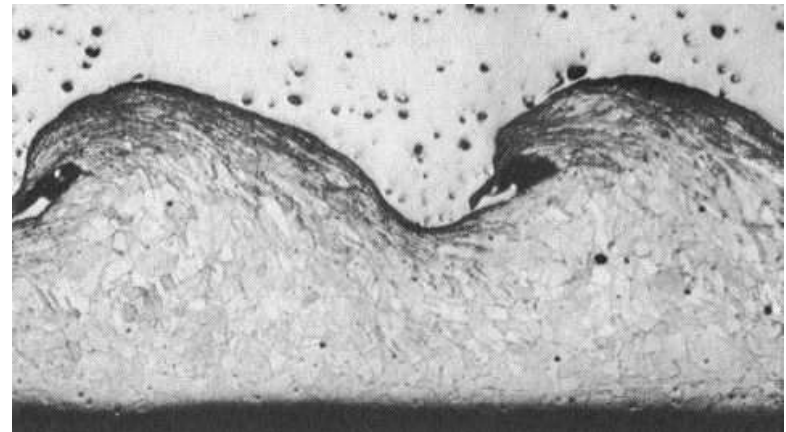
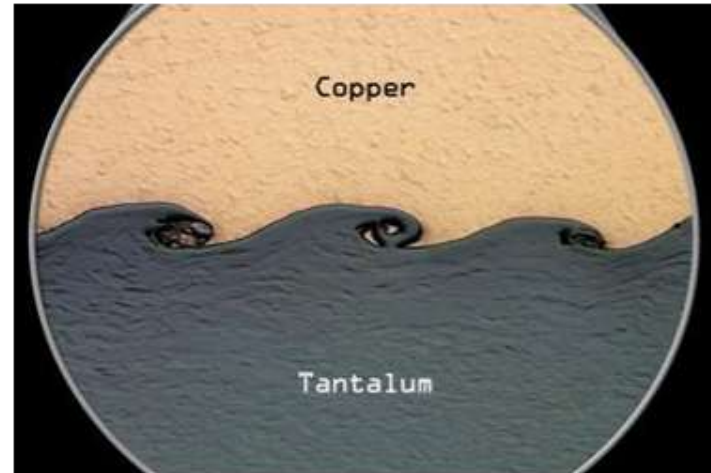
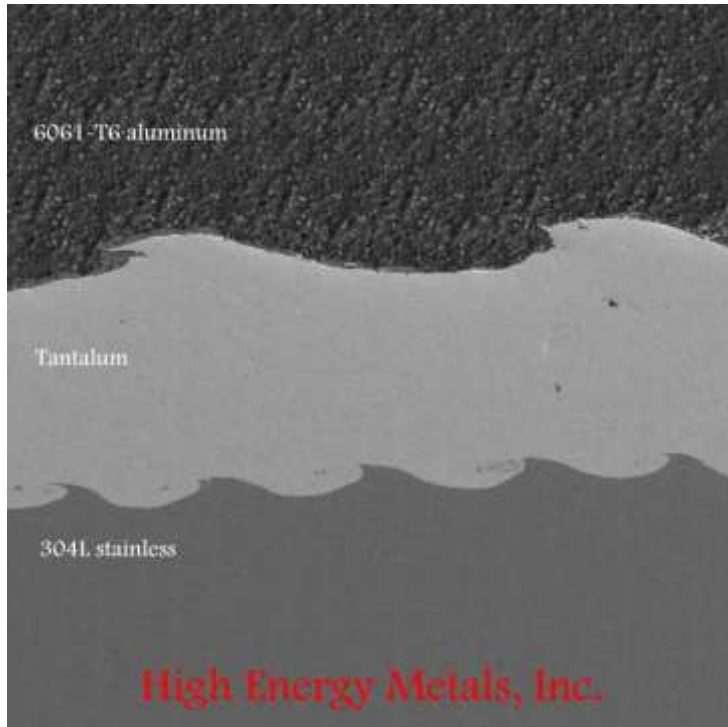
# Svařovací parametry

- Detonační rychlost
- Poměr trhaviny k hmotnosti urychlovaného kovu
- Počáteční vzdálenost mezi svařovanými materiály
- Vliv plastické deformace na kvalitu spoje
- Příprava svařovacích ploch

# Závislost tvaru spoje na detonační rychlosti



# Makro rozhraní



# Svařitelnost kovů výbuchem

	<i>Aluminium Alloys</i>	<i>Niobium</i>	<i>Titanium</i>	<i>Tantalum</i>	<i>Molybdenum</i>	<i>Zirconium</i>	<i>Fe-Ni Alloys</i>	<i>Nickel &amp; Alloys</i>	<i>Copper &amp; Alloys</i>	<i>Stainless Steel</i>
<b>Aluminium Alloys</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Fe-Ni Alloys</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Nickel &amp; Alloys</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Copper &amp; Alloys</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Stainless Steels</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Low Carbon Steels</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Has been done  
■ Has not yet been done, but is possible

This is only a partial listing.  
Many other combinations are possible.

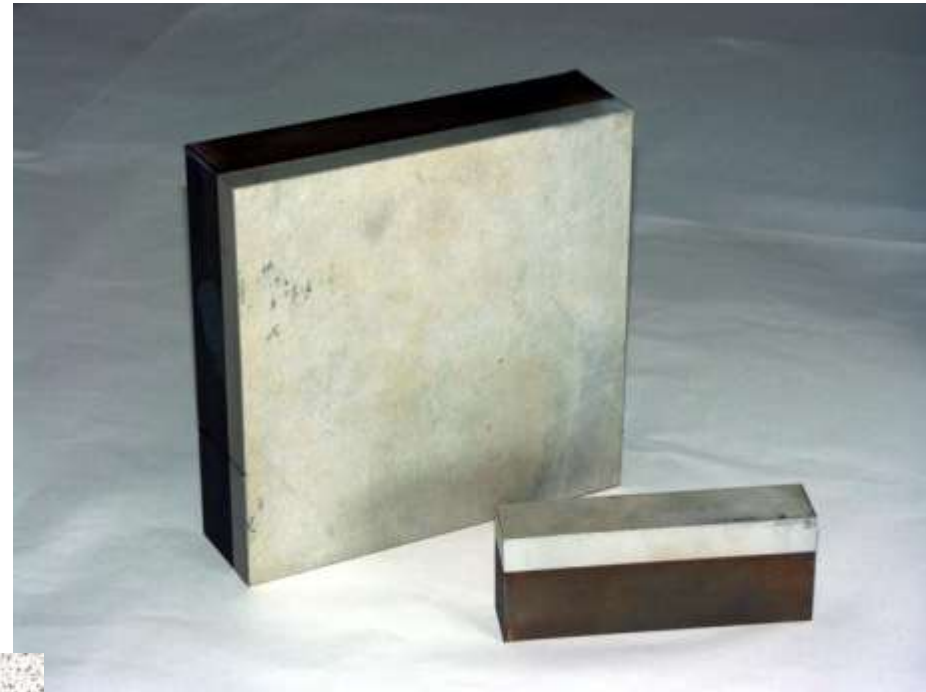
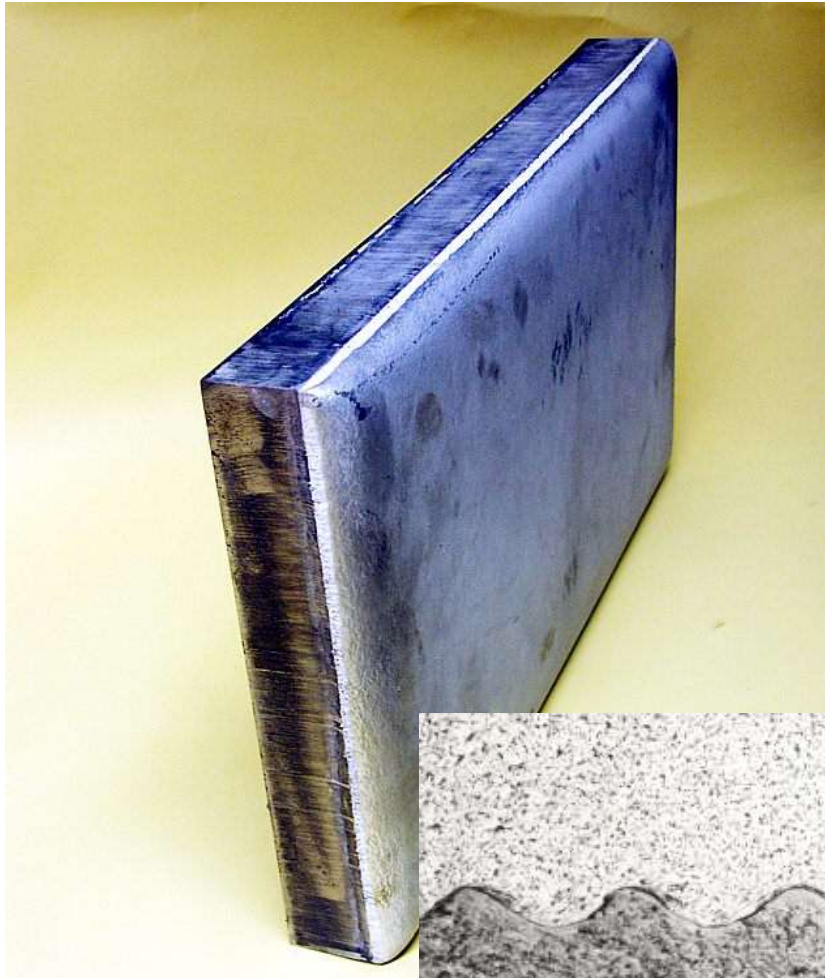
# Svařovací zařízení

- Svařovací komory do množství trhaviny 100 kg
- Skalní tunely
- Volná prostranství

# Příklady použití

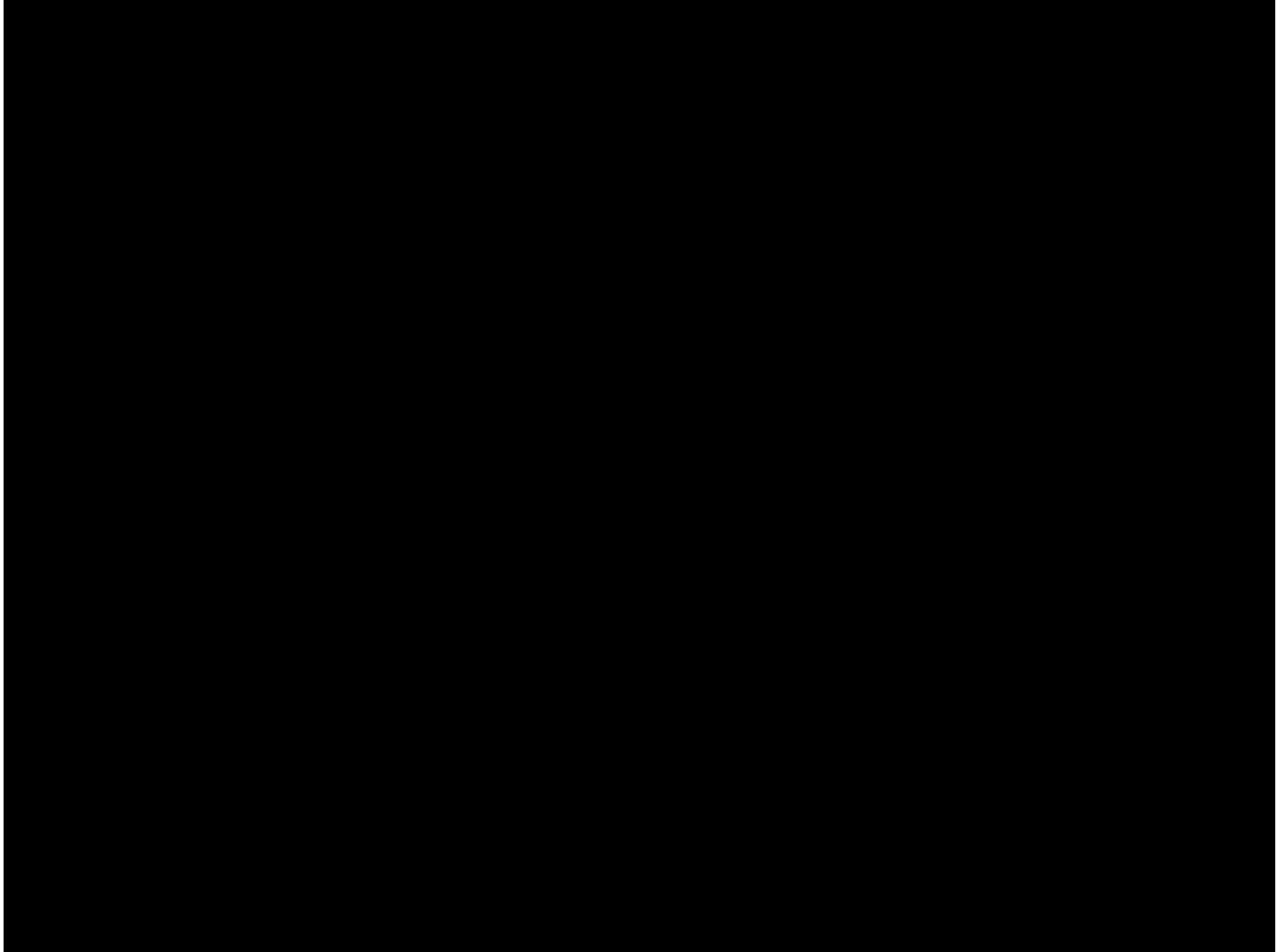


# Příklady použití





# Plátování výbuchem



# Fakta o svařování výbuchem

- Lze vytvořit bodové i velkoplošné svary
- Lze svařovat kovy s velmi rozdílnými vlastnostmi
- V oblasti svaru nedochází k zhrubnutí zrna
- Lze svařovat materiály s velmi rozdílnými tloušťkami
- Investičně nenáročné
- Speciální svařovací prostory
- Hluk, spaliny
- Specializovaná obsluha