

# Obloukové svařování obalenou elektrodou



***doc. Ing. Jaromír MORAVEC, Ph.D.***

***Ing. Martin Švec, Ph.D.***

***Ing. Šárka Bukovská***

# Princip metody – elektrický oblouk

Elektrický oblouk lze definovat jako elektrický výboj hořící za normální teploty a tlaku okolního prostředí.

*Fyzikální podstata obloukových metod svařování spočívá v lokálním natavení základního a případně i přídavného materiálu koncentrovaným zdrojem tepla ve formě elektrického oblouku. Natavením dochází ke smáčení spojovaných ploch roztaveným materiálem, díky čemuž se spojované materiály přiblíží na meziatomové vzdálenosti, díky čemuž dojde při chladnutí a krystalizaci k vytvoření požadovaného spoje.*

Nositelem tepelné energie je elektrický oblouk, který může hořet pouze v **prostředí částečně, nebo zcela ionizovaného plynu.**

Ionizovaný plyn pak splňuje definici plazmatu, tedy že se jedná o **kvazineutrální soubor částic s volnými nosiči nábojů, který vykazuje kolektivní chování.**



# Princip metody – elektrický oblouk

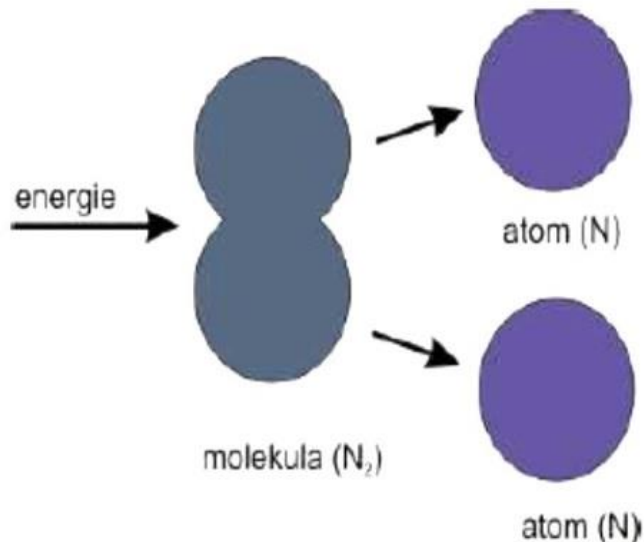
Ke vzniku plazmy je nutná **disociace** a následná **ionizace plynu**.

Netečné plyny jako, argon, helium a neon, mají uzavřenou valenční sféru, jejich molekula je jednoatomová a proto u nich probíhá pouze **ionizace**. Naopak u dvouatomových plynů (dusík, vodík a kyslík) musí nejprve proběhnout **disociace plynu**, při které dochází k rozložení molekul plynu na atomy.

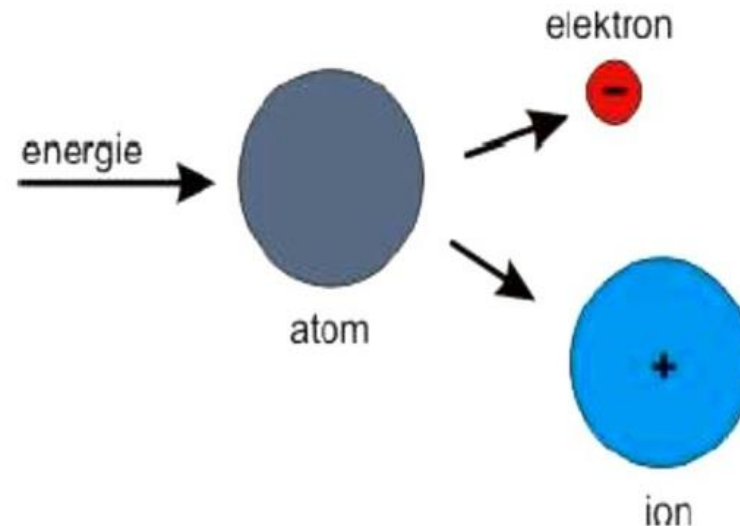
Disociace i ionizace mohou proběhnout po dodání energie.

**Množství energie potřebné k disociaci a ionizaci závisí na druhu plynu, který má být ionizován.**

## Disociace

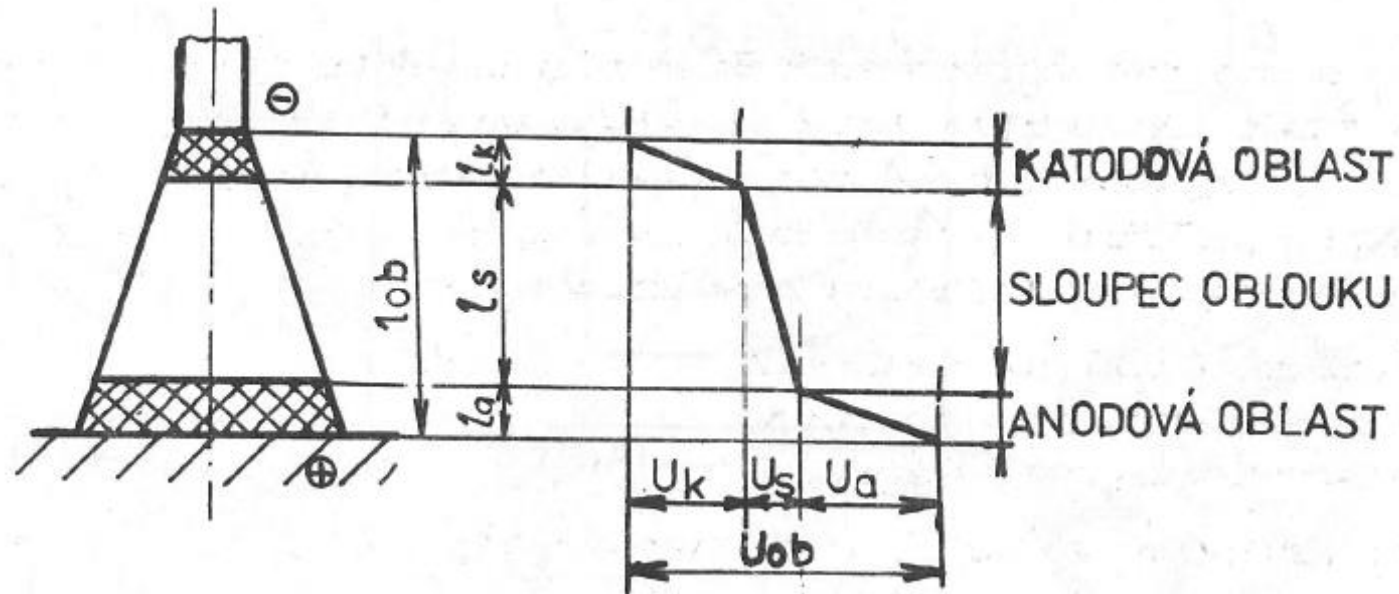
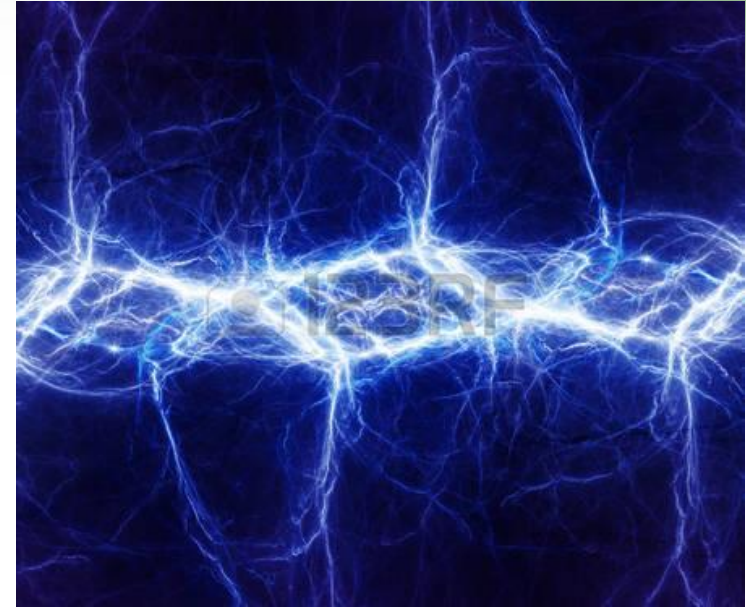
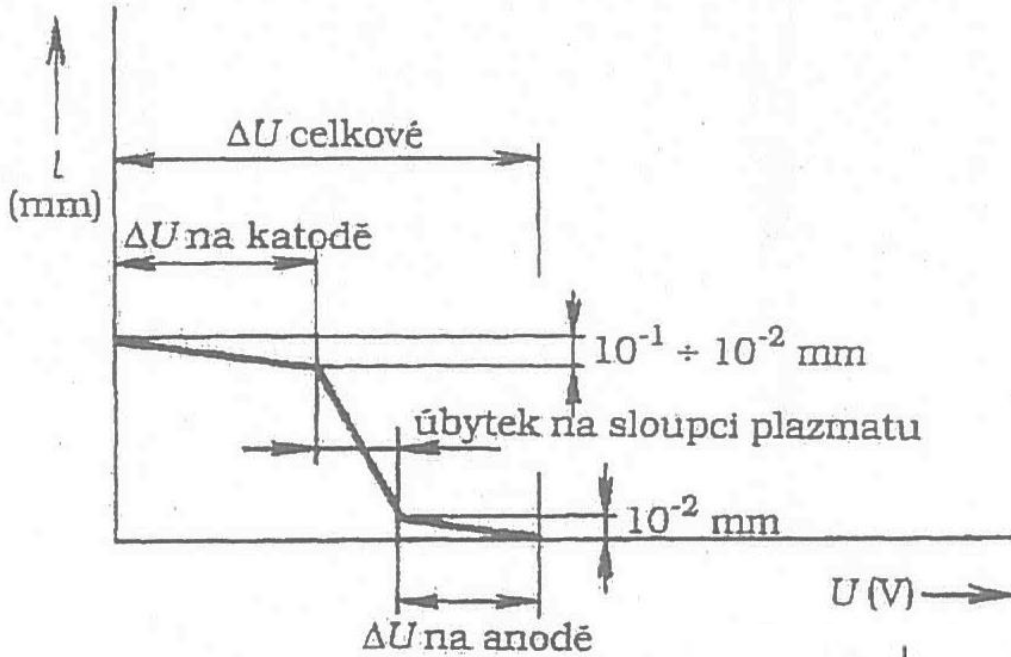


## Ionizace



# Princip metody – elektrický oblouk

Elektrický oblouk lze definovat jako elektrický výboj hořící za normální teploty a tlaku okolního prostředí. Metodou MMAW lze svařovat prakticky všechny materiály a ve všech polohách.



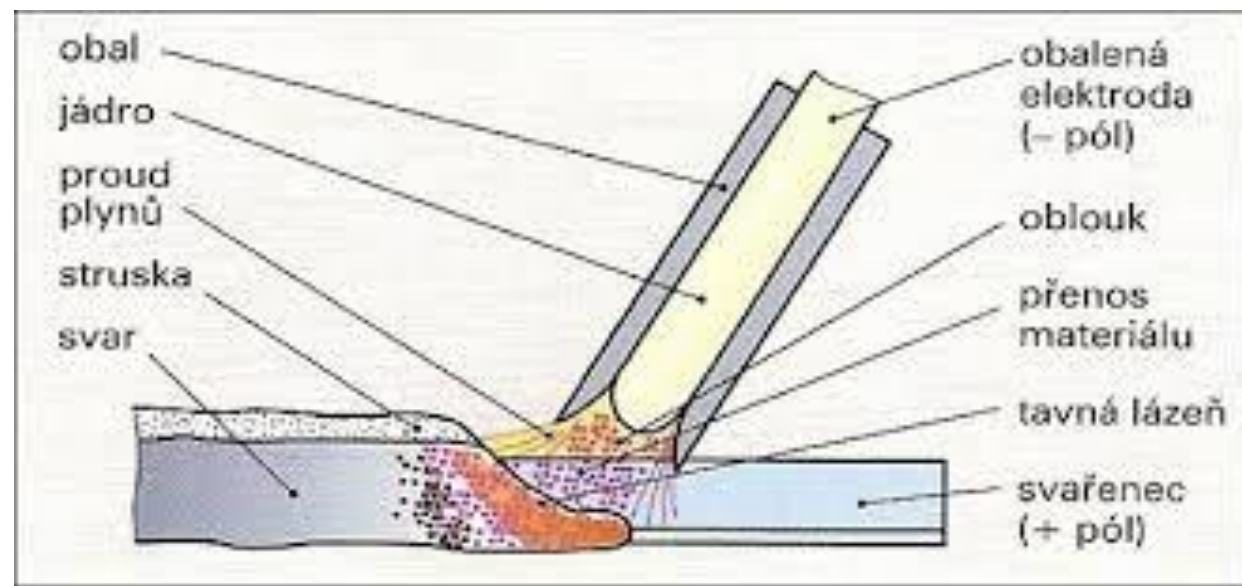
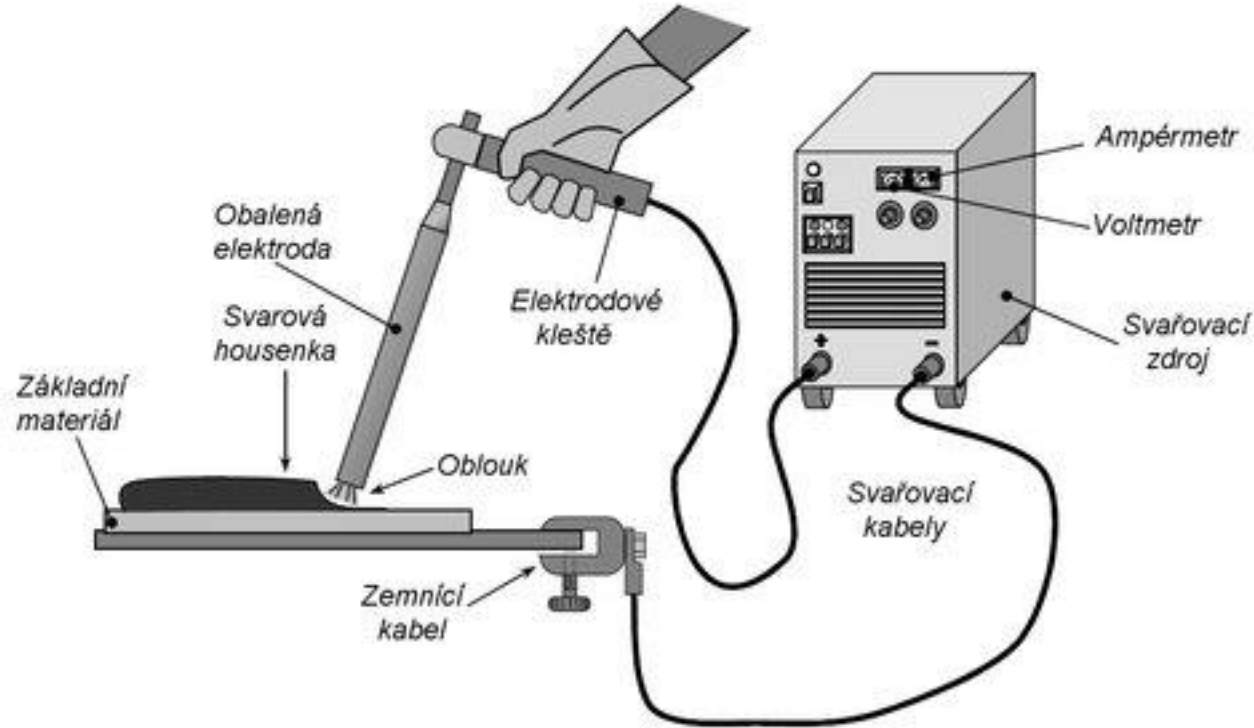
# Princip metody – elektrický oblouk

Mezi významné části elektrického oblouku patří:

- **Katodová skvrna** – nacházející se na žhavém povrchu katody. Může být buď stabilní, nebo se může po povrchu přemisťovat. Proudová hustota dosahuje až  $1000 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$ .
- **Oblast katodového úbytku napětí** – je oblastí těsně přiléhající ke katodě s tloušťkou cca 0,1 mm. Úbytek  $U$  na katodě je největší.
- **Sloupec oblouku** – prostor mezi elektrodami s vysokou teplotou kde je plazma. Pokles napětí je rovnoměrný. Rozložení proudové hustoty ve sloupci má tvar Gausova rozložení. Ve sloupci se vyskytují elektrony a ionty (opačný pohyb).
- **Oblast anodového úbytku napětí** – je oblast těsně přiléhající k anodě, s tloušťkou 0,001 až 0,01 mm. Zde dochází k cca 1/2 úbytku napětí proti katodě.
- **Anodová skvrna** – je oblast na anodě, kde jsou pohlcovány elektrony.

Pokles napětí na anodě závisí na ionizačním potenciálu plynů v oblouku. Při ionizaci vzduchu jsou katodové a anodové úbytky napětí přibližně poloviční oproti argonu, nebo  $\text{CO}_2$ . Rozdělení tepla není rovnoměrné a souvisí s dopadáním částic na materiál. Na anodě je získáno více tepla díky ohřevu dopadem elektronů, přičemž katoda je zároveň ochlazována jejich emisí. Teplota na katodě je v rozmezí 2100 až 2400°C a na anodě v rozmezí 2300 až 2600°C.

# Princip metody



# Princip metody

Výhody a nevýhody ručního svařování obalenou elektrodou v porovnání s ostatními obloukovými metodami:

## **Výhody:**

Velmi dobrá kvalita svarových kovů, nejširší sortiment přídavných materiálů pro všechny skupiny svařovaných materiálů, velká flexibilita a rychlost nasazení, nejvyšší dostupnost, relativně nízká závislost na vlivech prostředí, maximální univerzálnost a použitelnost i v nejkoplikovanějších situacích a polohách, poměrně nízké investiční náklady.

## **Nevýhody:**

Nízká produktivita – důvodem je i menší I (desítky A, max. stovka A), nízký výkon odtavování, výměna elektrod, nutnost odstraňování strusky, nemožnost automatizace a mechanizace, vyšší zdravotní zavadnost, požadavky na kvalifikovaný personál.

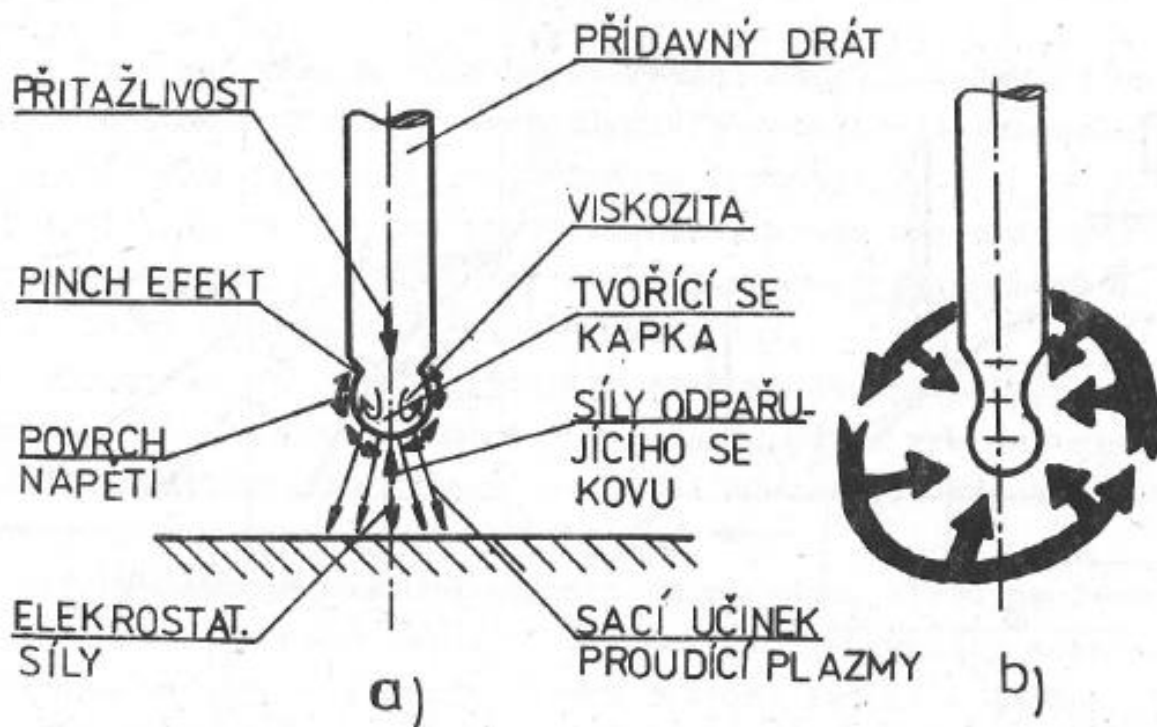
## **Typické oblasti použití:**

Montážní svařování, operativně realizované práce menšího rozsahu, členité svarky, malé série a krátké svary, opravné svařování, lokální návary, práce za ztížených podmínek.

# Síly působící při přenosu kovu

Způsob přenosu přídavného materiálu do svarové lázně ovlivňuje způsob formování svaru, vzhled povrchu housenky, hloubku závaru, ztráty rozstříkem, ale velmi výrazně ovlivňuje intenzitu metalurgických reakcí.

Na odtržení a přenos kapky kovu z konce elektrody působí řada sil. Velikost a směr jejich výslednice jsou určovány parametry svařování.



**Gravitační síla** napomáhá odtržení, kromě polohy PE.

**Síla povrchového napětí** působí proti odtržení.

**Elektromagnetická (Lorentzova) síla** způsobuje „pinch-efekt“. Projevuje se s rostoucím  $I$  (131, 135).

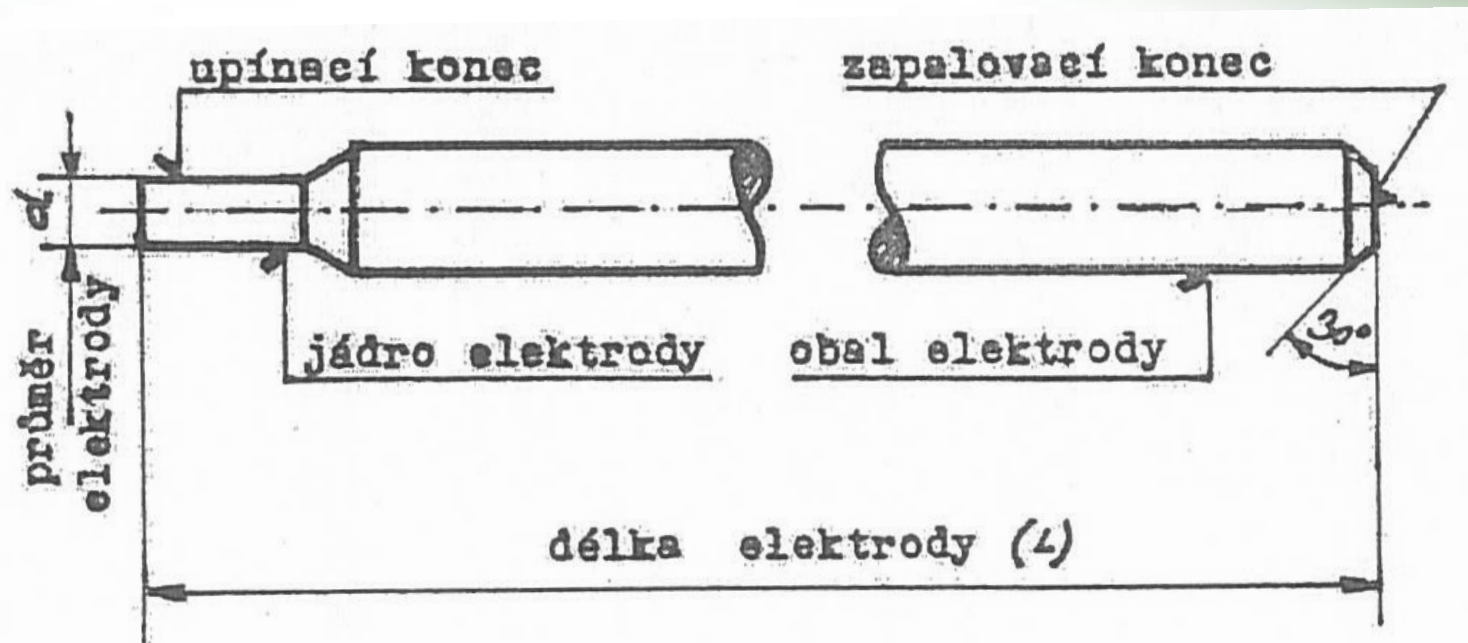
**Dynamické síly** vyvolané kinetikou proudících plynů (plazmy). Napomáhá odtržení kapky.

**Síly odpařujícího se kovu** působí proti oddělení kapky.



# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

Pro ruční obloukové svařování se jako přídavné materiály používají obalené elektrody skládající se z kovového jádra a obalu.



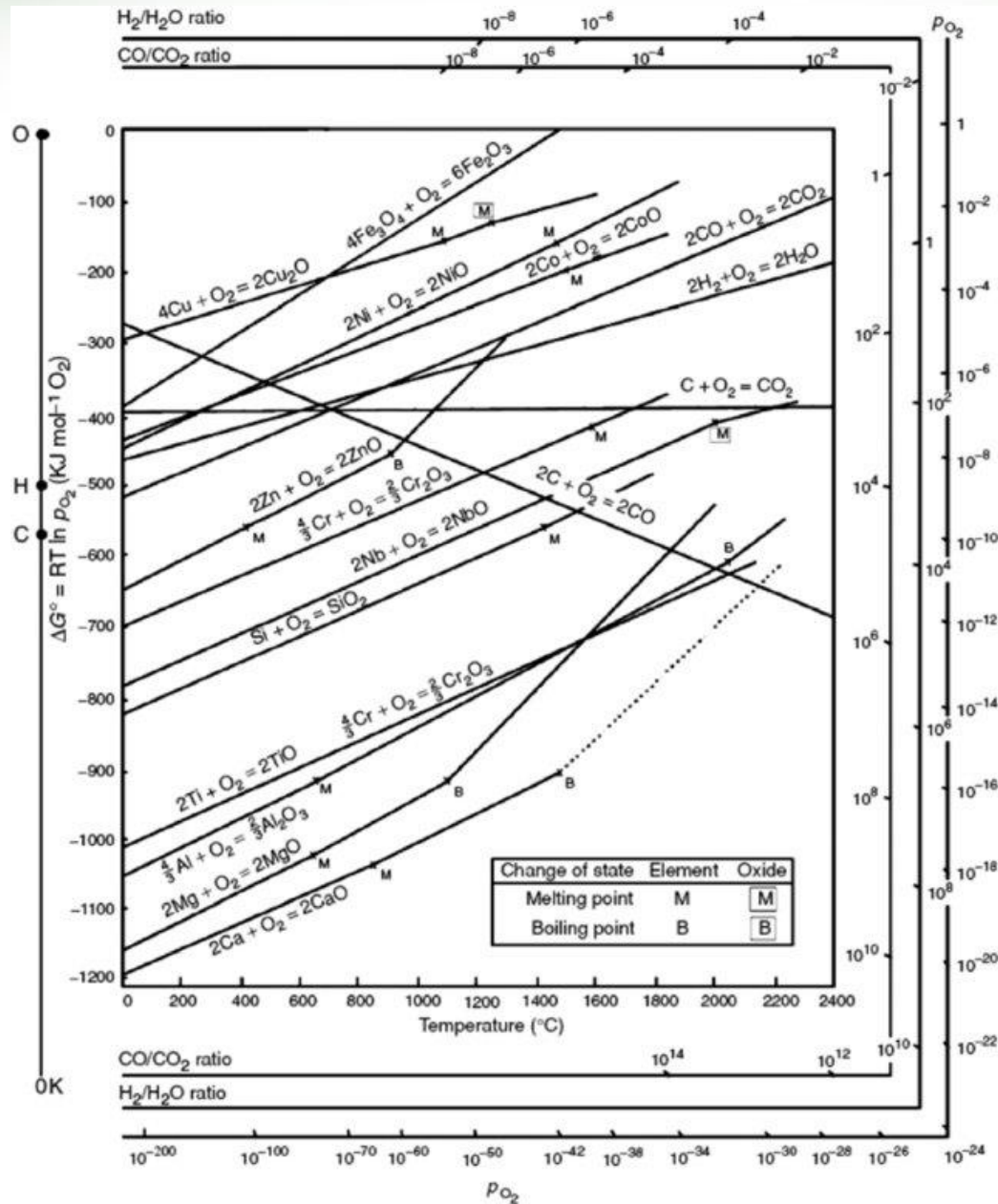
# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

Obal elektrody plní tři základní funkce: metalurgickou, elektrickou a fyzikální.

**Metalurgická funkce obalu** spočívá v:

- 1) Ochraně roztaveného kovu před účinky vzdušných plynů vytvořením ochranného plynného prostředí  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , případně i  $\text{H}_2$ . Ochranné prostředí vzniká tepelnou disociací uhličitánů ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ ), nebo celulózy. Plynová ochrana je dostatečná, pouze jsou-li disociované látky v obalu rozmístěny rovnoměrně s dostatečnou zrnitostí a množstvím. Takováto plynová ochrana může být narušena i silnějším prouděním vzduchu.
- 2) Dezoxidaci svarového kovu během natavování konce elektrody, přechodu roztaveného kovu obloukem i ve svarové lázni. Používají se prvky s vyšší afinitou ke kyslíku než má železo (Mn, Si, Ti, Al, Zr).
- 3) Rafinaci svarového kovu, tedy snížení obsahu síry a fosforu (náchylnost na horké trhliny). Síra navíc způsobuje výrazné snížení přechodové teploty. Síra je vázána buď na vápník  $\text{CaS}$  (přecházející do strusky), nebo na mangan  $\text{MnS}$  s vhodnější strukturou.
- 4) Legováním svarového kovu (např. C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni, V, Nb). Jádro elektrody se zpravidla vyrábí ze standardizované ocele (nizkolegovaná ocel, austenitická 18/8 apod.) přičemž chemické složení a tedy i vlastnosti svarového kovu se upravují přidáním legur. Důvodem je především rozšíření sortimentu na různé modifikace s využitím minima druhů kovových jader. Tento postup je nutný např. u tvrdonávarů, kde je téměř nemožná vyrobit drát s odpovídajícím chemickým složením.

# Desoxidace svarového kovu - Elinghamův diagram



- Diagram určuje afinitu prvků ke kyslíku
- Čím je čára níže, tím se prvek lépe slučuje s kyslíkem

# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

Obal elektrody plní tři základní funkce: metalurgickou, elektrickou a fyzikální.

**Elektrická funkce obalu** spočívá v:

- 1) Ve vytvoření dostatečného počtu volných elektronů během zapalování a hoření el. oblouku. Ionizovat lze všechny prvky, ale některé lehčeji. Jde zejména o reaktivní kovy z levé strany Mendělejevovy tabulky (K, Na, Ca a také Al a oxidy Ti), které se ionizují lehčeji než vzdušný kyslík a dusík. To je důvod jejich přidávání do obalu, protože uvolňují elektrony. Naopak prvky z pravé strany tabulky, který chybí malý počet valenčních elektronů mají snahu volné elektrony pohlcovat (zejména F), čímž snižují stabilitu oblouku. To se projeví zejména při použití AC proudu.

**Fyzikální funkce obalu** spočívá v:

- 1) Ve snížení povrchového napětí svarového kovu pokrytého struskou, čímž dojde k lepšímu formování a kresbě svarového kovu.
- 2) Ochrana chlazeného vysoko ohřátého svarového kovu pomocí strusky před vzdušnými plyny při vzdálení hořící elektrody s lokální plynou ochrannou.
- 3) Struska působí jako tepelná izolace na svarovém kovu, díky čemuž dochází ke snížení rychlosti ochlazování.

# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

Elektrody pro ruční obloukové svařování lze obecně rozdělit podle základního materiálu do následujících skupin:

- Elektrody pro svařování nelegovaných nízkouhlíkových ocelí.
- Elektrody pro svařování nízkolegovaných ocelí.
- Elektrody pro svařování nízkolegovaných žárupevných ocelí.
- Elektrody pro svařování vysokolegovaných ocelí.
- Elektrody pro navařování vrstev se zvláštními vlastnostmi.
- Elektrody pro svařování barevných kovů.
- Elektrody pro svařování šedé litiny.
- Elektrody pro jadernou energetiku.
- Elektrody pro zvláštní účely.

## Elektrody dle poměru D/d (elektroda/jádro):

- ✓ Tenké balené, kde D/d je do 1,2.
- ✓ Středně tlustě balené, kde D/d je do 1,2 až 1,45.
- ✓ Tlustě balené, kde D/d je do 1,45 až 1,8.
- ✓ Velmi tlustě balené, kde D/d je nad 1,8.

## Rozdělení podle obalu elektrod:

- ✓ Stabilizační,
- ✓ rutilové označené R,
- ✓ rutil-celulozové označené RC,
- ✓ rutil-kyselé označené RA,
- ✓ rutil-bazické označené RB,
- ✓ tlustostěnné rutilové označené RR,
- ✓ kyselé označené A,
- ✓ bazické označené B,
- ✓ celulozové označené C.

# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

## Bazický obal

- Elektrody s bazickým obalem patří mezi nejpoužívanější typy elektrod pro náročné aplikace (výroba tlakových nádob, offshore konstrukcí, stavba lodí, mostů, jeřábů apod.).
- Svarový kov vyvařený bazickou elektrodou (po přesušení) obsahuje nízký obsah  $H_2$ , což má vliv na dobrou vrubovou houževnatost při snížených teplotách včetně snížené náchylnosti k trhlinám za studena.
- Bazické obaly jsou bez kysličníků železa. Základ tvoří uhličitany (vápenec, mramor, křída). Desoxidace se provádí ferosiliciem a ferotitanem.
- Elektroda se odtavuje ve velkých kapkách, tavná lázeň rychle tuhne. Struska se z povrchu svaru odstraňuje hůře, než u kyselého nebo rutilového obalu.
- Svařovat je s nimi možné ve všech polohách, snad pouze s výjimkou PG. Zpravidla je použit (DC+). Protože je v obalu kazivec ( $CaF_2$ ) uvolňující flór který pohlcuje volné elektrony, zhoršuje se hoření oblouku při AC proudu.
- Obal je citlivý na vlhkost a je nutno respektovat doporučení k uskladnění a přesušování elektrod před použitím.
- Mají nižší hloubku závaru, s čímž souvisí i menší promíšení se ZM.
- Typickým zástupcem jsou bazické EB 121 nebo OK 48.05 s nízkonavlhovou úpravou.

# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

## Rutilový obal

- Obsahuje kysličník titaničitý  $\text{TiO}_2$  (rutil), který za spolupůsobení přítomných silikátů, uhličitánů a dalších vhodných přísad dává strusku s dobrými redukčními a fyzikálními vlastnostmi.
- Lze je použít ve všech polohách, při snadno ovladatelné svarové lázni.
- Svarový kov má větší viskozitu, rychle tuhne a umožňuje tak překlenutí větších mezer. Závar je poměrně malý.
- Vyznačují se lepším formováním svaru, než obaly bazické. Rozstřík svarového kovu je minimální.
- Rutil zlepšuje podmínky ionizace, což se projeví snadnějším zapalováním oblouku. To je vhodné zejména při stehování, nebo při zhotovení krátkých svarů. Dobrá ionizace umožňuje stabilní hoření i u AC proudu.
- Odstraňování strusky nečiní potíže.
- Rutilový obal je relativně málo citlivý na vlhkost.
- Elektrody nejsou citlivé na přetížení a se zpravidla připojují na minus pól stejnosměrného proudu (DC-), nebo na střídavý proud (AC).
- Používají se pro svařování tenkých plechů. Jsou oblíbené i při svařování austenitů z důvodu lepší kresby svaru než u bazických elektrod. U austenitů zpravidla nevadí jejich nižší houževnatost.

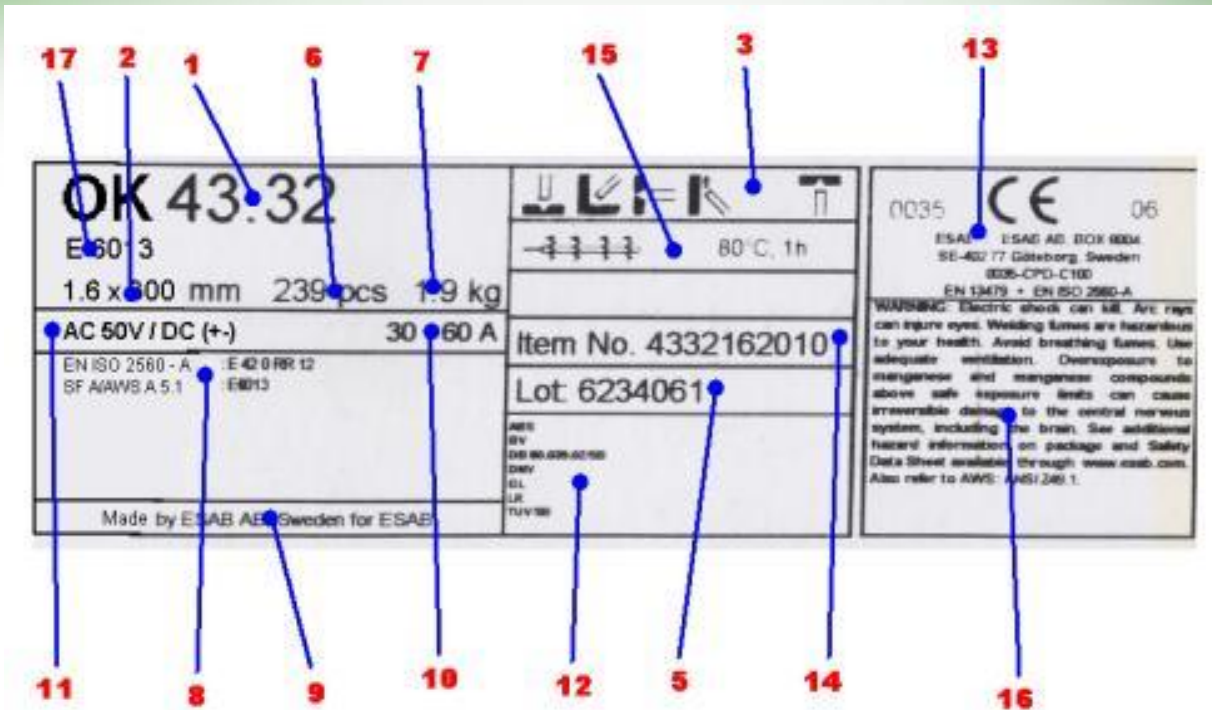
# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem

## Kyselý obal

- Obsahuje kysličníky (oxidy železa a manganu a  $\text{SiO}_2$ ). Desoxidace se provádí feromanganem.
- Jsou tavitelné vyššími proudy, velkou pracovní výkoností a velkým závarem. Oblouk je velmi teplý a stabilní.
- Kov i struska jsou velmi tekuté a proto se nehodí pro svařování v polohách (struska předbíhá svar.
- Oblouk se zapaluje snáze než u bazických obalů, ale obtížněji než u rutilových obalů. Povrch svarového kovu je hladký a lesklý. Struska je snadno odstranitelná.
- Svarový kov má oproti bazickým a rutilovým elektrodám horší plastické vlastnosti a houževnatost. Je to důsledek vyššího obsahu kyslíku a kysličníku ve svarovém kovu.
- Připojují se zpravidla na mínus pól (DC -), nebo na střídavý proud (AC).
- V současné době je pravděpodobně na trhu pouze elektroda EK 103. Éra kyselých elektrod pomalu končí.
- Oblast použití je především při svařování konstrukcí menších tloušťek, bez požadavků na houževnatost.



# Elektrody pro ruční svařování el. obloukem



- 1 - Obchodní označení elektrod.
- 2 - Průměr x délka elektrod (mm).
- 3 - Polohy svařování, pro které je elektroda vhodná.
- 4 - Chemické složení svar. kovu.
- 5 - Číslo tavby (LOT).
- 6 - Počet elektrod v krabičce (pcs).
- 7 - Hmotnost krabičky (kg).
- 8 - Klasifikace elektrod podle norem.
- 9 - Výrobce elektrod.

10 - Doporučený rozsah svářecího proudu (A).

11 - Druh a polarita svářecího proudu. **AC** = střídavý proud, **DC** = stejnosměrný proud. Pokud jsou přítomné oba symboly (DC+) (DC-), je možné elektrodu připojit na plus i mínus.

12 - Seznam institucí, kde byla elektroda atestována a schvalována.

13 - Značka shody s normami (CE) a seznam norem použitých k posuzování.

14 - Katalogové číslo výrobce (Art. No, Item No).

15 - Údaje pro přesušení elektrody. Při jaké teplotě a jak dlouho

16 - Varování ohledně bezpečnosti.

17 - Alternativní označení elektrod.

# Výroba obalených elektrod

Výroba obalených elektrod se v současnosti provádějí výhradně lisováním a skládá se z následujících fází:

- 1) Příprava jádra elektrody.** Jádro je tvořeno ocelovým drátem. Ten je vyroben ze svitků drátu u kterého se po čištění provádí tažení a kalibrování na požadovaný průměr, rovnání a stříhání. Vyrábějí se průměry 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3 a 8,0 a délky 150; 200; 250; 300; 350 a 450 mm.
- 2) Příprava obalové hmoty,** která je tvořena rozdílnými komponenty, nadávkovanými podle předepsané receptury. Dále se homogenizují a pomocí pojiva je vytvořena hustá těstovitá hmota. Ta musí mít požadovanou zrnitost, homogennost a vlhkost. Jde zejména o:
  - rudominerální suroviny – vápenec, kazivec, dolomit, živec,
  - feroslitiny – feromangan, ferosilicium, ferowolfram,
  - chemikálie – soda, potaš, vodní sklo,
  - organické látky – celuloza, škrob, mouka, rašelina.
- 3) Výroba elektrod.** Obalová hmota se lisuje na jádro ve speciálních lisech přes obalovou dýzu pod tlakem 160 MPa. Rychlost výroby je až  $18 \text{ ks}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté dochází k broušení zapalovací a upínací části elektrod. Následuje sušení v peci při teplotě 120 až 400°C po dobu 2 až 6 hodin. Vysušené a vychladnuté elektrody se barevně značí, popisují a balí do krabiček.

# Skladování a sušení elektrod

Se způsobem skladování a sušení elektrod souvisí výsledná kvalita svarového kovu:

- Elektrody je třeba skladovat v suchých a dobře větraných prostorech.
- Skladují se v neporušených obalech při nejnižší teplotě +10°C a maximální relativní vlhkosti 50%.
- Výška narovnaných krabic elektrod může být jen taková, aby svou hmotností nenarušovaly kompaktnost elektrod ve spodních vrstvách.

Doporučené teploty sušení elektrod pro jednotlivé typy obalů (pokud není určeno výrobcem elektrod jinak).

<b>Doporučené teploty sušení elektrod</b>	
<b>Druh obalu elektrody</b>	<b>Režim teploty sušení</b>
Bazický	100°C/1 hod, poté 350 – 400°C/2 hod
Kyselý	120 až 150°C/2 hod
Rutilový	až 120°C/2 hod

# Technologie svařování obalenou elektrodou

MMAW svařování je poměrně jednoduchou metodou jak z hlediska stanovení parametrů svařování, tak i z hlediska poloh.

Je doporučeno při **stanovení proudu** vycházet z doporučení výrobce elektrod uvedeném na obalu. Není-li takové doporučení k dispozici, lze použít empirické vztahy:

- Pro elektrody s kyselými a rutilovými obaly stanovit proud dle:  $I = (40 \text{ až } 55) \cdot d$ ,
- pro elektrody s bazickými obaly stanovit proud dle:  $I = (35 \text{ až } 50) \cdot d$ ,  
kde  $d$  je průměr jádra elektrody.

**Napětí na oblouku** není třeba nastavovat, jeho hodnota je dána statickou charakteristikou zdroje a oblouku.

Při svařování je elektroda mírně skloněna proti svarové housence, aby roztavená struska nepředbíhala elektrický oblouk. Délka oblouku by měla být přibližně rovna průměru jádra elektrody.

Při ukončení svaru by nemělo dojít ke vzniku staženiny v koncovém kráteru. Pro svařeče to znamená po dokončení svaru zastavení a odtavení určitého množství kovu potřebné k vyplnění kráteru, nebo provedení malé otočky na konci svaru.

