

13) Kvalifikace svářečů dle ČSN a ČSN EN norem

Svařovací pracovníci

Stupeň kvalifikace	Uznávací dokumenty	Odborná způsobilost	Uznání EWF	Vydané dokumenty
0	Národní normy ČSN 05 0705	Svářeč Zaškolený pracovník	Ne	Osvědčení
1	Evropské normy ČSN EN 287 ČSN EN 1418 ČSN EN ISO 9606	Svářeč Operátor	Ano	Osvědčení + Certifikát
2	Mezinárodní dokumenty ČSN EN 287 ČSN EN 1418 ČSN EN ISO 9606 Doc. EWF resp. IIW	Mezinárodní svářeč Operátor	Ano	Diplom (ANB) + Osvědčení
3	Mezinárodní dokumenty ČSN EN 719 Doc. EWF resp. IIW	Vyšší svářečský personál	Ano	Diplom (ANB)

Zkoušky se provádějí dle normy :

ČSN 05 0705 – Zaškolení pracovníků a základní kurzy svářečů

ČSN 05 0600 – Svařování – Bezpečnostní ustanovení pro svařování kovů, Projektování a příprava pracoviště

ČSN 05 0601 – Svařování – Bezpečnostní ustanovení pro svařování kovů, Provoz

ČSN 05 0610 – Svařování – Bezpečnostní ustanovení pro plamenové, svařování a řezání kovů

ČSN 05 0630 – Svařování – Bezpečnostní ustanovení pro obloukové svařování kovů

ČSN 05 0630 – Svařování – Bezpečnostní ustanovení pro odporové svařování kovů

ČSN 05 0705

Platí pro přípravu a zkoušení pracovníků v oblasti svařování kovů a plastů za účelem získání odborné způsobilosti, potřebné k výkonu jednoduchých svářečských operací a pomocných prací spojených se svařováním a řezáním materiálů

- Odborná způsobilost, stupeň kvalifikace 0

Označení: ČSN 05 0705 – ZK 111 W01

Kde :

ČSN 05 0705 - norma, podle které byla provedena zkouška

ZK -základní kurz

111 - označení metody svařování

W01 -svařovaný materiál

Označení metod svařování – dle ČSN EN ISO 4063

111 – ruční svařování el. obloukem obalenou elektrodou
114 – obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranné atmosféry (MOG)
121 – svařování pod tavidlem (plným drátem)
131 – obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
135 – obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
141 – obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (WIG, TIG)
15 – plazmové svařování a dělení materiálů
21 – odporové bodové svařování
311 – svařování kyslíko-acetylenovým plamenem
971 – pájení plamenem

Označení svařovaných (základních) materiálů

W01 – nelegované a nízkolegované oceli nevyžadující přehřev
W02 – CrMo oceli nebo CrMoV oceli
W11 – korozivzdorné feriticko-austenitické nebo austenitické oceli
W21 – hliník
W31 – měď
W41 – nikl
W51 – titan

Označení zaškolení

1 – stehování
2 – řezání a drážkování
3 – rovnání
4 – tepelné zpracování

ČSN EN 287 – 1 (Zkoušky svářečů – Tavné svařování, Část 1 : Oceli)

Tato evropská norma definuje zkoušky svářečů pro tavné svařování celí

Principem této normy je, že zkouška svářeče kvalifikuje nejen na podmínky použité při zkoušce, ale také na všechny spoje, které jsou považovány za snadnější ke svařování za předpokladu, že svářeč podstoupil výcvik a (nebo) má průmyslovou praxi v rozsahu kvalifikace

Značení zkoušek dle EN

a) Označení normy (ČSN EN 287-1)

b) Základní proměnné :

1) Metoda svařování (numerické označení dle ČSN EN ISO4063)

2) Druh výrobku :

(P) – plate = plech, **(T)** – tube = trubka

3) Typ svaru :

tupý svar **(BW)** – butt weld, koutový svar **(FW)** - filled weld)

4) Skupina základních materiálů (materiály s podobnými svařovacími vlastnostmi jsou řazeny do skupin dle **CR ISO 15 608**)

- skupiny 1 až 11

14) Kvalifikace svařovacích postupů

Postup svařování – je stanovený průběh činností před svařováním, v průběhu a po skončení zhotovování svarového spoje (svařování). Uvádí se odkazy na metodu svařování, materiály základní, přídavné a pomocné na přípravu svarových ploch, předehřev, event. interpass teplotu, skladbu housenek a vrstev svaru, na řízení procesu svařování, na tepelné zpracování po svařování a na nezbytné použité zařízení.

Předběžná specifikace postupu svařování (pWPS) – Preliminary Welding Procedure Specification

- Předběžná specifikace postupu svařování

- je dokument, který obsahuje požadované proměnné (parametry, podmínky), podle nichž musí být postup svařování kvalifikován pro zjištění opakované jakosti během výrobního procesu.

Pracovní instrukce – je zjednodušená specifikace postupu svařování, která je vhodná k přímému použití v dílně (pro daný typ svarového spoje).

Protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR) – Welding Procedure Qualification Record

- Záznam o kvalifikaci postupu svařování

– zahrnuje všechny údaje, které jsou nutné pro kvalifikaci (schválení) předběžné specifikace pWPS.

Zkouška postupu svařování – je zhotovení a zkoušení normalizovaného zkušebního kusu uvedeného v pWPS a provedeního za účelem kvalifikace postupu svařování (doložené protokolem WPQR).

Specifikace svařování (WPS) – Welding Procedure Specification

- Specifikace svařovacího postupu

– je dokument, který byl kvalifikován jedním ze způsobů schvalování, který poskytuje požadované proměnné postupy svařování, pro zajištění opakovatelné požadované jakosti ve výrobě.

Způsoby kvalifikace postupů

Předvýrobní zkouška svařování – je zkouška svařování, která má funkci (úroveň) jako zkouška postupu svařování, ale je založena na nenormalizovaném zkušebním kusu, který je typický pro výrobní podmínky. (Vhodnost pro hromadnou výrobu). Dokládá se protokolem WPQR.

Normalizovaná specifikace postupu svařování – je specifikace postupu svařování, která byla kvalifikována zkouškou postupu svařování, jež se vztahuje na více výrobců pro širší využití kvalifikovaného postupu. Dokládá se protokolem WPQR. Svařovací zařízení musí umožňovat kontrolu (indikaci) všech základních svařovacích parametrů.

Předchozí svářečská zkušenost – je dokument o doložených zkouškách, které prokazují, že výrobcem používané svářečské postupy při výrobě byly způsobilé pro provedení svarů s přijatelnou (požadovanou) jakostí v průběhu určitého časového období. Dokládá se protokolem WPQR. (Vhodné pro srovnatelné typy svarových spojů a jakosti materiálů).

Vyzkoušený svařovací materiál – je svařovací materiál nebo kombinace svařovacích materiálů, vyzkoušených podle příslušných norem pro zkoušení svařovacího materiálu, dodaného podle technických dodacích předpisů a podmínek (TDP). Dokládá se protokolem WPQR. (Vhodné pro použité obdobné základní materiály).

Zkouška postupu svařování

Kontrola a zkoušení. - Zkoušení zahrnuje jak NDT i DT zkoušení. Výrobková norma může stanovit doplňující zkoušky, např. podélnou zkoušku tahem svarového kovu spoje, korozní zkoušky, chemický rozbor, mikroskopickou kontrolu, měření obsahu „delta feritu“, zkoušku tahem křížových spojů, aby se získalo více údajů. Před nedestruktivním zkoušením musí být provedena všechna stanovená tepelná zpracování po svařování zkušebního kusu.

Stupně přípustnosti vad na zkušebních vzorcích. - Postup svařování je kvalifikován tehdy, jestliže vady ve zkušebním kusu jsou ve stanoveném rozmezí stupně jakosti „B“ dle ČSN EN ISO 5817, s výjimkou vad – nadměrné převýšení svaru, překročení velikosti koutového svaru a nadměrné převýšení, které mohou být ve stupni jakosti „C“.

15) Nedestruktivní kontrola svarových spojů

Ve svarovém spoji vznikají chyby, které nečastěji způsobuje :

- Obtížná svažitelnost materiálu
- Nedostatečná příprava svarových ploch, nedokonalé očištění předchozí housenky
- Nevhodná volba svařovacích parametrů
- Použití špatného zařízení, přídavného materiálu, záměna elektrod, nebo jejich nedostatečné vysušení ...
- Nevhodný postup svařování, špatná volba předehřevu ...
- Nerespektování tuhosti spoje

Typy vad ve svarech

Podle tvaru rozdělujeme ve svarech vady :

- Bodové
- Plošné
- Prostorové

Podle polohy ve svaru rozdělujeme vady na :

- Povrchové
- Vnitřní

Klasifikace vad dle normy ČSN EN ISO 6520-1

Vady jsou roztrženy do 6. Skupin

- 1) Trhliny
- 2) Dutiny
- 3) Pevné vměstky
- 4) Studené spoje a neprůvary
- 5) Vady tvaru a rozměru
- 6) Různé vady

Nedestruktivní zkoušky svařování

jakosti svarů dělíme podle toho, jaké vady identifikujeme : K zjišťování povrchových vad se používají metody :

- **Vizuální VT** (ČSN EN 970)
- **Kapilární (penetrační) PT** (ČSN EN 571-1, 1289)
- **Magnetická prášková MT** (ČSN EN 1290, 1291)

vnitřní vady se zjišťují metodami:

- **Prozářením RT** (ČSN EN 1435)
- **Ultrazvukem UT** (ČSN EN 1712, 1714)

Vizuální kontrola

- *pro zjišťování zjevných povrchových defektů a ověření podmínek pro další nedestruktivní kontrolu (kapilární resp. magnetickou zkoušku)*
- *Kontrola prohlídkou musí být provedena po dostatečném očištění svaru a ještě před dalšími technologickými operacemi (např. nátěry)*
- *Vizuální zkouška je jediná metoda u které hodnotíme přímo samotné vady, u všech ostatních zkoušek posuzujeme pouze indikace, které ukazují na výskyt možných vad.*
- *Závěry a výsledky této zkoušky jsou velmi důležité a mají vždy předcházet všem ostatním kontrolám.*
- *V případech dílčí pochybnosti může být vizuální zkouška účelně doplněna magnetickou nebo např. kapilární zkouškou.*

Kapilární(Penetrační)zkouška

- *lze zjišťovat pouze povrchové vady, které bezprostředněsouvísí spovrchem zkoušené součásti (jsou na povrchu otevřené, aby do nich mohla natéct detekční kapalina -penetrant) např. trhliny. Studené spoje, zápaly, póry, případněhodnocení těsnosti*
- *podstatou penetračních metod je použití vhodné, kapilárně aktivní kapaliny, která pronikne do necelistvostí (vad).*
- *po odstranění jejího přebytku zpovrchu zkoušeného předmětu vzlíná (stoupá vzhůru) kapalina zcelistvostí vlivem kapilárních sil do nanesené vývojky, takže se vady zviditelňují.*

Výhodou této metody je *nenáročnost, nízká cena, snadná indikace vad a poměrně velká citlivost. Tuto metodu lze aplikovat na všech materiálech (magnetických i nemagnetických) a lze tak zkoušet i těsnost tlakových nádob.*

Nevýhodou je *odhalení pouze vad spojených s povrchem, potřeba čistého a hladkého povrchu (Ra3,2 mikrometru), nestálost výsledků (vady je třeba hledat brzy po nanesení vývojky, zdelší době mohou malé vady zmizet, velké se zase rozpíjí a jeví se větší) a obtížná registrace vad.*

Rozedělení:

Podle použitých detekčních prostředků rozeznáváme :

metodu barevné indikace

- přítomnost vady se projeví vznikem kontrastní barevné indikace*
- hodnocení se provádí na denním světle*
- nejjednodušší je zkouška petrolejem, kdy se vada projeví mastnými skvrnami na povrchu naneseného povlaku z vápna*

metodu fluorescenční

- zkoušební kapalina je pro zvýšení citlivosti fluoreskující*
- vada se projeví světélkující indikací při ultrafialovém světle*
- nepoužívá se proto vývojka*

metodu dvouúčelovou

- použitý penetrant obsahuje fluorescenční látku, která je zároveň barvivem*

Metoda magnetická prášková

- slouží k zjišťování povrchových nebo i těsně podpovrchových vad *tedy i vad přímo s povrchem nespojených*
- neklade vysoké nároky na přípravu zkoušeného povrchu a jeho čistotu
- určitým omezením je skutečnost, že metoda lze využít jen pro feromagnetické (magnetické) materiály
- nehodí se pro vysokolegované austenitické oceli, hliník, měď

Princip metody

je založen na zjišťování rozptylu magnetického toku, který vznikne ve zmagnetovaném materiálu v místě necelistvostí (trhlin) nebo náhlé změny magnetických vlastností. spočívá ve zviditelňování magnetických siločar vystupujících na povrch feromagnetických materiálů (protože vady nejsou magnetické a siločáry je obcházejí).

Metoda ultrazvuková

- Založena na šíření akustického vlnění zkoušeným předmětem a registraci změn, vyvolaných interakcí na rozhraní dvou prostředí s rozdílnými akustickými vlastnostmi :homogenním prostředím a heterogenitou (vadou)
- Jsou-li ve zkoušeném předmětu vady (bubliny, póry, vměstky, trhliny), vznikají tak prostředí s rozdílnými akustickými vlastnostmi a na jejich rozhraní pak dochází kinterakci ultrazvukového vlnění –odraz nebo částečné pohlcení
- Tyto změny se následně zobrazují na obrazovce kde se vyhodnocuje :
 - rozdíl intenzit vysílací a přijímací sondy
 - časové posunutí vln

Metoda prozařovací

Princip metody

Princip spočívá v pohlcování ionizačního (pronikavého elektromagnetického záření) v kontrolovaném výrobku a z následného zviditelnění prošlého záření vhodným detektorem a lze tak stanovit místa ve kterých se vyskytují vady. V těchto místech je pohlcování menší a na filmu se potom objeví jako tmavší místa

-Nejstarší metoda NDT

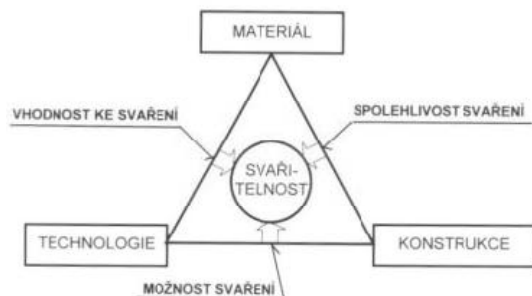
-Určena pro vnitřní a špatně přístupné vady

16) Svařitelnost nelegovaných a nízkolegovaných ocelí

Svařitelnost :

komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu pro zhotovení svařenců s požadovaným účelem při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje.

Vlivy na svařitelnost :



Materiálová svařitelnost

vyjadřuje vhodnost kovu ke svařování. Charakterizuje změnu jeho vlastností v tepelně ovlivněné oblasti v důsledku působení teplotního cyklu svařování

Vhodnost kovu ke svařování je zabezpečena zejména :

- chemickým složením (ovlivňuje chování svarové lázně, sklon k tvorbě zákalných struktur, sklon ke stárnutí a náchylnost ke vzniku trhlin)
- metalurgickým způsobem výroby materiálu, způsobem lití a tváření (čistota materiálu, vměstky, velikost zrna, mikrostruktura, anizotropie vlastností)
- tepelným zpracováním

Technologická svařitelnost

vyjadřuje vliv použitého druhu (metody) a technologie svařování na vlastnosti svarového spoje a zabezpečuje se následujícími základními faktory :

- metodou svařování (tepelným příkonem)
- přídavným materiálem
- parametry svařování
- postupem kladení jednotlivých vrstev svaru

Konstrukční svařitelnost

vyjadřuje vliv konstrukčního řešení svarového spoje pro dané provozní podmínky

Zabezpečuje se následujícími základními faktory :

- tloušťkou materiálu
- tvarem, velikostí, uspořádáním a počtem spojů
- tvarem a přípravou svarových ploch
- tuhostí spoje ve svařenci
- rozložením svarů v závislosti na namáhání a také vyloučením konstrukčních vrubů (náhlé změny tuhosti, křížení svarů, příliš malý koutový svar apod.)

Uhlíkový ekvivalent

Jeden z aspektů posouzení komplexní charakteristiky oceli pro danou součást je určení tzv.

ekvivalentního obsahu uhlíku Ce, kdy pomocí něj lze informativně stanovit svařitelnost ušlechtilých legovaných ocelí (třídy ČSN 12-16). Je to základní charakteristika vhodnosti ke svařování :

- nelegovaných,

- nízkolegovaných
- středně legovaných tvářených ocelí
- a ocelí na odlitky

V normě **ČSN EN 1011** je uveden vztah, který se dnes používá asi nejvíce a označuje uhlíkový ekvivalent jako CET :

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [hm \%]$$

Teplota přehřevu

- **Dle Sefériána** – vhodné pro $C > 0,1\%$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \quad \text{kde } C_p = C_c + C_s$$

$$C_c = \frac{360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo}{360}$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad s = \text{tloušťka materialu}$$

- **Dle Ita a Bessya**

$$T_p = 1440 \cdot P_w - 392 \quad \text{kde } P_w = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^4}$$

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad s = \text{tloušťka materialu}$$

H = obsah difuzního vodíku [ml / 100g]

K = koeficient tuhosti spoje = 69.s pro tupý (66.s pro koutový)

s = tloušťka materiálu [mm]

17) Svařitelnost vysokolegovaných ocelí

Vysokolegované korozivzdorné oceli (Cr – Ni) Schaefflerův diagram

Faktory:

- **Chromový ekvivalent :**

$$CrE = Cr + Mo + 0,5 W + V + 1,5 Si + 0,5 Nb + Ti \quad [hm \%]$$

- **Niklový ekvivalent :**

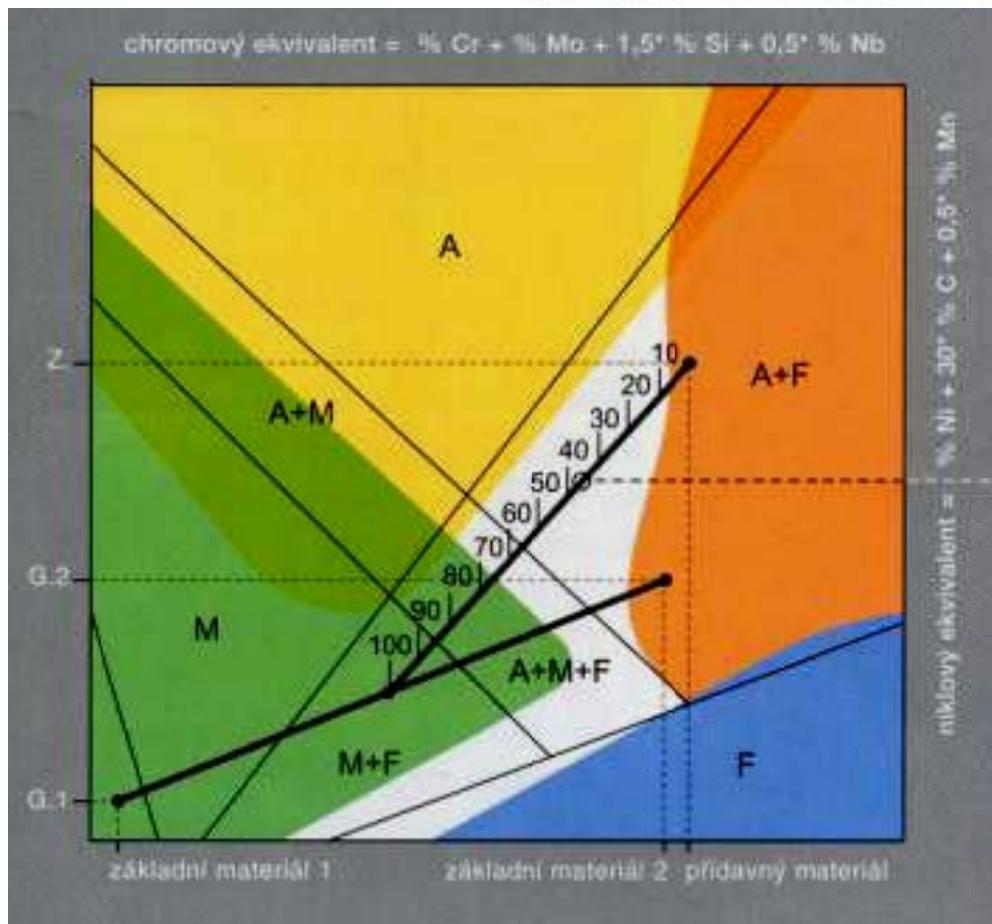
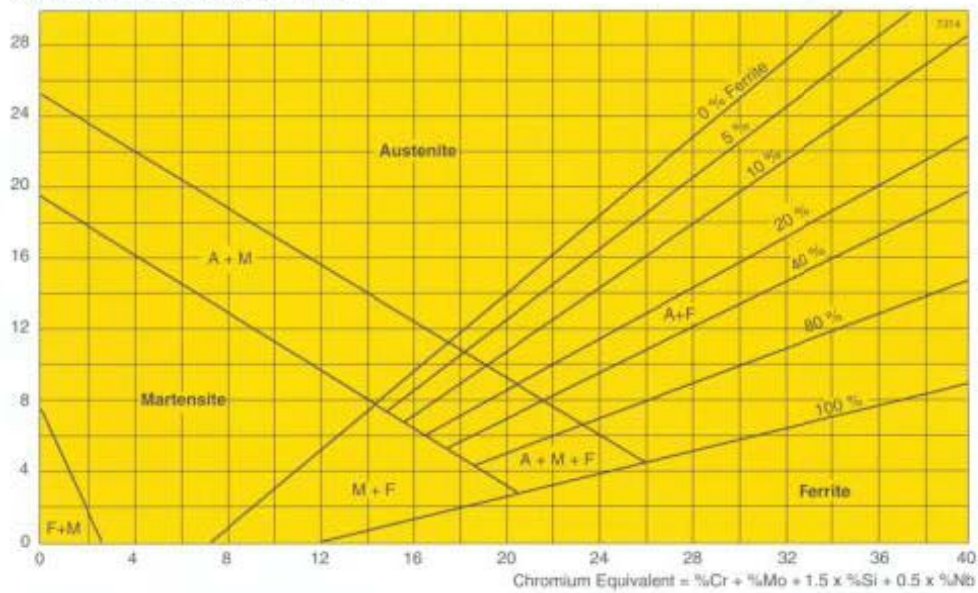
$$NiE = Ni + 30 C + 0,5 Mn \quad [hm \%]$$

- **Promíšení materiálu dle technologie**

MMA rutilová elektroda	15 - 25 %
MMA bazická elektroda	20 – 30 %
MAG	20 – 40 %
TIG	15 – 100 %
SAW drát	30 – 50 %
SAW pásek	8 – 20 %

Schaeffler diagrams

Nickel Equivalent = $\%Ni + 30 \times \%C + 0.5 \times \%Mn$



- Náchýlnost k trhlinám za tepla přes 1250 °C
- Růst zrn přes 1150 °C
- Náchýlnost k trhlinám při vytvrzování pod 400 °C
- Křehnutí po zatížení teplotami 500 až 900 °C

18) Vliv okolní atmosféry na kvalitu svarových spojů

Nejvýznamnější plyny

Kyslík

Dusík

Vodík

Kyslík

Má-li vzduch volný přístup k roztavené svarové lázni a do oblasti sloupce elektrického oblouku, může se kyslík nacházet ve třech formách :

- molekulární,
- atomární
- ionizovaný (v oblasti nejvyšších teplot el. oblouku)

Zdroji oxidace v procesu svařování mohou být :

- volný kyslík v plynné fázi
- oxidy nacházející se v roztavených površích
- chemicky aktivní strusky

*-Nejvíce kyslíku obsahuje **FeO**, který jako jediný z uvedených oxidů se v tavné lázni rozpouští a jeho rozpustnost roste se stoupající teplotou*

-Protože je FeO lehčí, stoupá k povrchu tavné lázně a vytváří na ní jemnou vrstvičku okují. Není-li FeO vázán např. struskou, vrací se tento oxid zpět do tavné lázně a obohacuje ji kyslíkem.

*-Vlastnosti **Fe2O3** jsou dvoustranné a projevují se při vysokých teplotách.*

-Při teplotách nad 600 °C ztrácí stálost a při nízkých teplotách je hygroskopický a vytváří na materiálech rez. Rozpouští-li se vznikající oxid ve svarové lázni, je vní nositelem kyslíku.

- Obsah kyslíku ve svarové lázni se zvyšuje také při značném znečištění svarových ploch vyššími oxidy železa (rez) a vysokým obsahem Fe2O3 v tavidle.

Způsoby dezoxidace

Kovy, které mají zvýšenou schopnost slučovat se skyslíkem, se používá vobalech elektrod a vtavidlech kdeoxidaci svarové lázně Nejčastěji se používá :

- **ferosilicium** (FeSi)
- **feromangan** (FeMn)
- **ferotitanu**(FeTi)

vážou vytvořený FeO tím, že s jeho kyslíkem vytvoří jiné, v železe rozpustné oxidy

Vznikající nové oxidy :

- SiO2–křemičitý
- TiO2–titaničitý
- MnO–manganatý

které se dále vážou s kyslíkem oxidů FeO nebo MnO a tvoří jednoduché nebo podvojně silikáty. Ty jsou v železe nerozpustné, z nich se kyslík již více neuvolňuje a přechází do strusky, čímž se svarový kov dezoxiduje.

Dusík

-Dusíku může být ve svaru různé množství, podle toho, jak měl ke svarové lázni přístup vzduch.

- Atmosférický vzduch obsahuje 78% dusíku ve formě dvouatomového plynu (N2)Proto z atmosférických plynů ovlivňuje jakost svarového kovu v největší míře.

-Aktivita dvouatomového dusíku je relativně malá, při vysokých teplotách nejví ve svařovacím oblouku zvláštní slučivost sFe, avšak voblasti teplot el. oblouku dochází k reakci s kyslíkem

S ostatními kovy (Mn, Si, Al, Ti) tvoří dusík stabilnější nitridy, které jsou v Fe málo rozpustné. Dusík kromě vzniku **nitridů**, může být i příčinou vzniku **pórů**, což obojí výrazně ovlivňuje kvalitu svarového spoje.

- Klesá-li teplota svarového spoje dostatečně pomalu, dochází k uvolňování dusíku a ten z něho uniká, aniž by došlo ke vzniku pórů.
- Je-li však svarový kov nasycen do té míry, že v daném časovém intervalu při poklesu teploty nemůže v dostatečném množství uniknout, nebo probíhá-li chlazení příliš rychle - vzniká pórovitost.
- Na ostatní mechanické vlastnosti působí dusík rovněž **nepříznivě**. Zvětšuje sice pevnost v tahu a mez kluzu, ale snižuje tažnost a kontrakci. Lámavost za studena i za tepla zvětšuje.

Atomární dusík

se v rozmezí teplot 800 až 500 °C začne slučovat se železem na nežádoucí nitrid železa (Fe_4N), který sferitem tvoří tuhý roztok.

- Výsledkem je pokles vrubové houževnatosti.
- Dusík tím vyvolává stárnutí = pokles mechanických vlastností v čase bez působení vnějších sil

Zvláštní význam má dusík u svarů **korozivzdorných ocelí**:

- částečně u nich nahrazuje nikl
- při stejném množství chromu udržuje jejich žáruvzdornost i při menším obsahu niklu.
 - o množství dusíku je zde však omezeno.

Vodík

Zdroje vodíku

Vodík se dostává do svarů z:

- atmosférického vzduchu
- z nedostatečně vysušených obalů elektrod a tavidel
- ze znečištěného povrchu základního materiálu
- rozkladem vody a za přítomnosti většího množství oxidu uhelnatého

Při svařování je vodík přítomen **vždy v plynné fázi**, která působí společně s roztaveným kovem. V této fázi je vodík přítomen ve stavu:

- molekulárním
- atomárním
- ionizovaném

Vodík je v ocelích i ve svarech **nežádoucí**, protože je příčinou řady negativních jevů vedoucích k zhoršení kvality svarových spojů

Ve svarovém spoji v důsledku změny své modifikace podmiňuje vznik vysoké hladiny mikronapětí, resp. **vznik trhlin za studena**.

Při rázových zkouškách (vrubové houževnatosti), když zatížení působí rychle, není vliv stlačeného vodíku znatelný.

Vodík však způsobuje **pórovitost**, je-li obsah přítomného uhlíku nízký a vodíku vysoký.

Podobně jako u kyslíku a dusíku dochází v oblasti solidifikace k výraznému poklesu rozpustnosti a vodík se při tuhnutí uvolňuje.

Difunduje přitom do dutin, mezer, míst struskových vměstků a jiných necelistvostí, mění se tam na molekulární vodík (H_2) a zvyšuje tak svůj tlak.

V místech trojosých napjatostí vyvolává difundující vodík v kovu ještě za tepla vysoká napětí a dokonce vznik trhlin za studena.

Tento proces bývá nazýván **vodíková křehkost**.