

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

**Doc.Ing,Oldřich Ambrož,CSc**

**SVAŘITELNOST MATERIÁLU**

**UČEBNÍ TEXTY KOMBINOVANÉHO BAKALAŘSKÉHO STUDIA**

# UČEBNÍ OSNOVA

Předmět: SVAŘITELNOST MATERIÁLU

Studijní obor : 23 – 07 –7 Strojírenská technologie  
Kombinované bakalářské studium

Ročník/semestr :3.roč./letní

Počet výuk.hodin :13 hodin  
z toho laborator.cvičení : 6 hodin

Charakteristika předmětu : Popis a filosofie svařitelnosti kovových materiálů s ohledem na jejich chemické složení a stav.Stanovení svařitelnosti běžných kovových materiálů a metodika stanovení svařitelnosti.

Cíl předmětu : Zvládnutí metodiky navrhování postupů svařování a VPS(dle EN).Navrhování speciálních postupů svařování a metodik s cílem snížení výskytů defektů ve svarových spojích.

Literatura:

Žák,J.,Novák,M. : Teorie svařování.Učební texty VUT Brno 1988.

Kocman,K.,Němeček,P.: Aktuální příručka pro technický úsek.Verlag Dashofer Praha 1998.

Kuncipál,J a kol.:Teorie svařování.SNTL Praha 1986.

Kučera,J.: Teorie svařování.I, II.díl.Učební texty VŠB v Ostravě,1991.

Kolektiv autorů : Materiály a jejich svařitelnost.Česká svářečská společnost.Zeross,Ostrava,leden 2001.

Hrivňák,I.: Zvaritelnost ocelí.Alfa Bratislava,1979.

Hrivňák,I. :Zvaritelnost kovov a zliatin.Vydavatelstvo slovenskej akademie vied Bratislava 1989.

Videokazety: Videoprogramy firem AGA, Linde 1999

Garant předmětu: Doc.Ing.Oldřich Ambrož,CSc

Téma:	Osnova konzultací:	Hodin:
1.	Filosofie svařitelnosti.Svařitelnost ve světle předpisů a českých aEN norem.	1
2.	Svařitelnost, definice svařitelnosti, rozdělení ocelí pro popis svařitelnosti	2
3.	Svařitelnost nízkouhlíkových, jemnozrných, nelegovaných ocelí. Svařitelnost uhlík – manganové oceli,svařitelnost mikrolegovaných ocelí. Diagram IIW a jeho použití.	3
4.	Svařitelnost středně legovaných ocelí.Použití diagramů IRA a ARA jako pomůcek pro stanovení svařitelnosti.	2
5.	Svařování ocelí s vysokým obsahem uhlíku a ocelí obtížně svařitelných	2
6..	Svařitelnost vysokolegovaných ocelí feritických a austenitických	2
7.	Svařování hliníku a jeho slitin, mědi a její slitin a niklu a jeho slitin	1

## 1.TÉMA

### **FILOSOFIE SVAŘITELNOSTI. SVAŘITELNOST VE SVĚTLE PŘEDPISŮ ČESKÝCH A EN NOREM**

Svařitelnost jako vlastnost materiálů je možno znázornit jako vektor složený ze svařitelnosti materiálové, technologické a konstrukční.Filosofie svařitelnosti je chápána v současné době poněkud jinak.Definice a klasifikace svařitelnosti v minulosti a filosofie svařitelnosti v současnosti.

Jak byla svařitelnost chápána a vysvětlována v Československých normách a jak je svařitelnost podchycena v normách evropských.

## 2.TÉMA

### **SVARĚTELNOST, DEFINICE SVARĚTELNOSTI, ROZDĚLENÍ OCELÍ PRO POPIS SVARĚTELNOSTI OCELÍ.**

Svaritelnost je vlastnost materiálu jako každá jiná technologická materiálová vlastnost. Kdo přebírá zodpovědnost za svaritelnost a záruky za škody způsobené nedostatky ve svaritelnosti. V současné době existuje značné množství ocelí (kolem 600), jejichž klasifikaci z hlediska svaritelnosti je obtížné pochytit.

Proto výuka v předmětu svaritelnost bude prováděna tak, že všechny oceli jsou rozděleny do skupin, které budou sdružovat příbuzné materiály. Při hledání svaritelnosti nového nebo neznámého materiálu stačí vyhledat příslušnou skupinu oceli a určit její svaritelnost.

## 3.TÉMA

### **SVARĚTELNOST NÍZKOUHLÍKOVÝCH, JEMNOZRNÝCH, NELEGOVANÝCH OCELÍ.**

### **SVARĚTELNOST UHLÍK – MANGANOVÝCH OCELÍ, DIAGRAM IIV A JEHO POUŽITÍ.**

Směrné chemické složení těchto ocelí je následující:

C

$C = \max. 0,24\%$

$Mn = \max. 1,5\%$

nízký obsah P a S

-----

Největší objem svařovaných ocelí do skupiny ocelí uhlík – manganových s mezí kluzu do 350MPa, dodávaných ve stavu normalizačně žíhaném. Pro tyto oceli byl vypracován ve Velké Británii pro potřeby svařování C – Mn ocelí diagram IIV, viz obr.1. Sklon k zakalení těchto ocelí se hodnotí na základě uhlíkového ekvivalentu  $C_e$ , který se vypočte z chemického složení podle vzorce (3.1)



$$C_e = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15} \quad (3.1)$$

Rychlost odvodu tepla závisí na tloušťce materiálu a v diagramu I I W je hodnocena pojmem „kombinovaná tloušťka“.

Režim svařování je určen „vneseným teplem“.

Přehřevu je možno se vyhnout dvěma patřeními:

- a) buď zvýšením „vneseného tepla“  $Q_s$
- b) nebo je třeba snížit obsah difuzního vodíku

#### **Svařitelnost ocelí mikrolegovaných.**

Směrné chemické složení těchto ocelí je následující:

$C=0,15\%$

$\text{Mn}=\text{max.}1,5\%$

$\text{Nb}=0,05\%$

$(\text{V}=0,05 \div 0,2)$

-----  
 Jedná se o oceli s mezí kluzu přes 360MPa.

Svařitelnost těchto ocelí se určuje pomocí parametru praskavost  $P_c$ , který je dán součtem tří dílčích parametrů vyjadřujících vliv svařovaného materiálu, tuhosti a vodíku, viz vztah 3.2.

$$P_c = P_{cm} + P_K + P_H \quad (3.2)$$

## **4.TÉMA**

### **SVAŘITELNOST STŘEDNĚ LEGOVANÝCH KONSTRUKČNÍCH OCELÍ. POUŽITÍ DIAGRAMŮ IRA A ARA JAKO POMŮCEK PRO STANOVENÍ SVAŘITELNOSTI.**

Směrné chemické složení těchto ocelí je následující:

$C= 0,2 \div 0,6\%$

legující prvky  $1 \div 6\%$

stav kalený, zušlechťený

-----

Motivem pro svařování těchto ocelí jsou ekonomické důvody a používání raději svařenců než výkovek. Pro svařování se volí metoda svařování elektrickým obloukem (ROE, WIG, MAG, Plazma, Trubičková elektroda)

Východiskem jsou diagramy IRA, nebo ARA, které jsou běžně k dispozici. Tyto diagramy je však třeba korigovat vzhledem na odlišné podmínky austenitizace.

Některé obecné podmínky určující svařitelnost:

- a) aplikace technologie svařování vnášející do svarového kovu minimální množství difuzního vodíku,
- b) snížení tepelných pnutí a deformací volbou nízkých hodnot vneseného tepla  $Q_s$ ,
- c) zabránění vzniku martenzitu v TOO vhodným teplotním cyklem

Teplota předehřevu před svařováním se volí tak vysoká, aby při dané hodnotě  $Q_s$  byla rychlost ochlazování malá a ve struktuře se objevilo jen malé množství martenzitu. U silně prokalitelných ocelí se volí teplota předehřevu často blízká teplotě  $M_s$ , která se zjistí právě z diagramu IRA a nebo empirickým výpočtem z chemického složení ze vzorce 4.3

$$M_s = 500 - 300\%C - 35\%Mn - 20\%Cr - 15\%Ni - 10\%Si - 10\%Mo (\text{°C}) \quad (4.3)$$

Teplota předehřevu se volí vždy vyšší než  $100\text{°C}$  a běžně se pohybuje u zušlechtilných ocelí v blízkosti  $M_s$ . Mezioperační teplota  $T_m$  se obvykle volí stejná jako teplota předehřevu  $T_0$  a to z rýze praktických důvodů.

Dohřev po ukončení svarů je také bezpodmínečně nutný u silně prokalitelných ocelí. Teplota dohřevu  $T_d$  se volí opět obvykle stejná jako  $T_0$ , aby se dala použít tatáž pec, ve které se dílec předehřívá.

Optimální postup (znázorněný čárkovaně na obr. 4.1) je ten, že u silně prokalitelných ocelí se volí taková teplota předehřevu a dohřevu, kdy se austenit co nejdříve rozpadá. U některých ocelí to může být těsně nad  $M_s$ , u jiných je vhodná teplota někdy o  $100$  až  $200\text{°C}$  vyšší.

## 5. TÉMA

### SVAŘITELNOST OCELÍ S VELKÝM OBSAHEM UHLÍKU A OCELÍ OBTÍŽNĚ SVAŘITELNÝCH.

Směrné chemické složení těchto ocelí je následující:

$C = 0,4 \div 0,7\%C$  max.

-----  
 Většinou se jedná o výrobu nebo opravy velkých tvářecích nástrojů, obráběcích přípravků, upínacích desek a pod. z ocelí obsahujících až 0,6%C. Např. 11500, 11600 a 11700. Určité informace poskytne diagram IIW, svařované díky však mají nadlimitní tloušťku a přehřev je nezbytný. Většinou je možno použít starší vzorec 5.1 podle Séferiána.

$$T_0 = 555 (\% C - 0,11) + 0,4t - 20 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad 5.1$$

t - tloušťka desky 20 až 250mm

## 6. TÉMA

### SWAŘITELNOST VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ FERITICKÝCH A AUSTENITICKÝCH

Směrné chemické složení těchto ocelí je následující:

Feritické oceli: C=0,1%max., Cr=18%,

Austenitické oceli: C=0,1%max, Cr=18%, Ni=8%

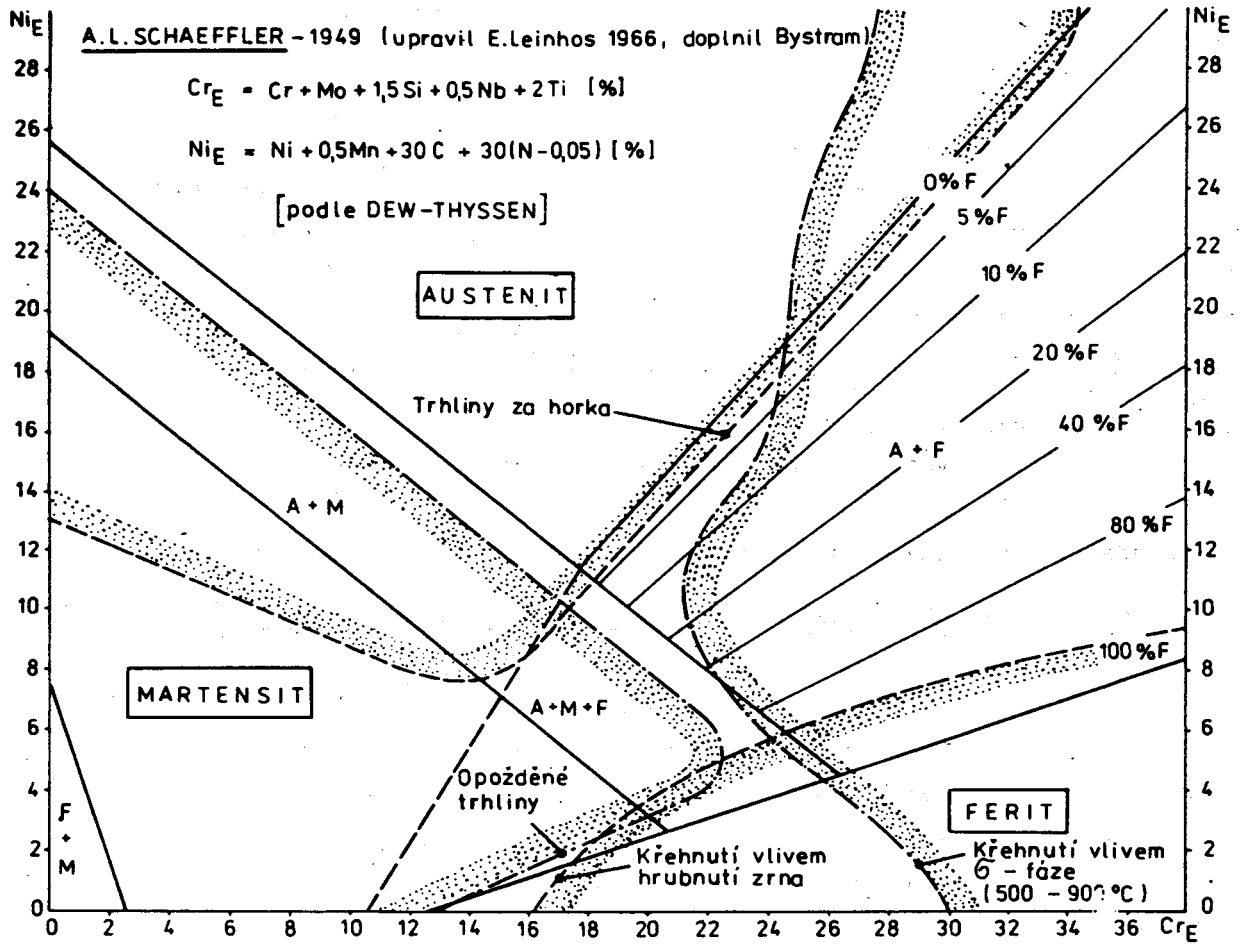
-----  
 Oceli s vysokým obsahem chromu, niklu, manganu, molybdenu a dalších přísad a prvků jsou nenahraditelnými konstrukčními materiály. Patří mezi ně především oceli feritické a aceli austenitické. Legujícími prvky ovlivňujeme takové vlastnosti ocelí jako jsou odolnost proti korozi, žáruvzdornost, žarupevnost, fyzikální vlastnosti a další.

Z nauky o materiálu je známo, že tyto kovy zásadně ovlivňují strukturu oceli po volném ochlazení. Např. chrom, křemík a molybden jsou prvky feritotvorné. Nikl a mangan spolu s uhlíkem jsou prvky austenitotvorné a rozšiřují oblast austenitu směrem k nízkým teplotám. Výsledná struktura je proto závislá na množství a vzájemném poměru jednotlivých přísad, jak je znázorněno na strukturním diagramu, který předložil v roce 1949 Schaeffle, viz obr. 6.1 Význam Schaefflerova diagramu spočívá v tom, že umožní posoudit, jaké strukturní změny vyvolá např. zředění svarového kovu základním materiálem a jaké změny je možno očekávat při svařování. Z diagramu je zřejmé, že zásadní vliv na strukturu po volném vychladnutí mají chrom a nikl. Větší nebo menší účinek ostatních prvků se vyjadřuje jako násobek, tj. jako ekvivalent chromu ( $Cr_E$ ) nebo niklu ( $Ni_E$ ). Záleží na hodnotách těchto ekvivalentů, zda je struktura oceli martensitická, feritická nebo austenitická. Experimentálně byly prokázány tyto závislosti:

- sklon k lamelárním trhlinám souvisí se sklonem materiálu ke zkřehnutí v teplem ovlivněné oblasti,
- prokázán byl negativní vliv vodíku  $H_D$  vyjádřený jednoduchou závislostí  $H_D/60$ ,
- zásadní vliv má tvar a délka siričkových vměstků

Pro stanovení svařitelnosti těchto ocelí se jako pomůcka používá Schaefflerův diagram, viz obr. 6.1.





## 7.TÉMA

### SVAŘOVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN, MĚDI A JEJÍCH SLITIN A NIKLU A JEHO SLITIN.

Charakteristické vlastnosti hliníku a jeho slitin:  $T_f=660^\circ\text{C}$ ,  $\gamma=2,699\text{g/cm}^3$

slitiny hliníku: pro tváření(dural a superdural) a vytvrditelné slitiny např. AlMgSi, AlZnMg a další.

slitiny hliníku pro odlévání (siluminy)

Svařování hliníku a jeho slitin: svařování plamenem(velmi zřídka), elektrickým obloukem obalenou elektrodou(běžné).metodou WIG( nejlepší výsledky a nejkvalitnější svary),el. odporem, el. paprskem, laserem(ojediněle)

**Charakteristické vlastnosti mědi a jejich slitin:**  $T_f=1083^\circ\text{C}$ ,  $\gamma=8,94\text{g/cm}^3$

slitiny mědi pro tváření(mosaz, bronz)

slitiny mědi pro odlévání(dělovina,zvonovina,zrcadlovina,umělecká bronz)

Svařování mědi a jejich slitin: svařování plamenem(zřídka),elektrickým obloukem obalenou elektrodou(běžné), metodou WIG(velmi dobré výsledky), el.obloukem pod tavidlem(zřídka), svařování el. paprskem, svařování laserem(zřídka), pájení na tvrdo(velmi dobře)

**Charakteristika vlastností niklu a jeho slitin:**  $T_f= 1453^\circ\text{C}$ , $\gamma=8,9\text{g/cm}^3$

slitiny niklu pro tváření(monel, inconel, alpaka, cupronikl, nichrom)

Svařování niklu a jeho slitin: svařování plamenem(dobře- neutrálním plamenem),svařování obalenou elektrodou el. obloukem(velmi dobře),metodou WIG(velmi dobře), elektrickým obloukem, plazmou, laserem(velmi dobře)

