

Svařitelnost je jednou z důležitých technologických vlastností některých kovových materiálů a je to schopnost vytvořit kvalitní svarový spoj. Obvykle je chápána jako metalurgická, tzn. závislá především na způsobu výroby, chemickém složení, struktuře a z toho vyplývajících prutí ve svařovaném materiálu, dále jako technologická, závislá na možné technologii svařování a použitých parametrech a nakonec jako konstrukční, závislá na tvarovém a rozměrovém řešení spoje a jeho tuhosti. Z uvedených hledisek lze kovové materiály rozdělit na svařitelné, svařitelné za určitých podmínek a běžně nesvařitelné. Konkrétní svarový spoj je však třeba posuzovat ze všech hledisek.

Svařitelnost běžných konstrukčních ocelí

Z hlediska vhodnosti ke svařování je nejjednodušším způsobem vliv chemického složení pro nelegované oceli vyjádřen uhlíkovým ekvivalentem C_E .

Nejčastěji se uvádí vzorec podle IIV

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [%]$$

Oceli s $C_E \leq 0,35$ jsou obvykle svařitelné bez problémů v běžně používaných tloušťkách. S rostoucí velikostí C_E (tj. s rostoucím obsahem C nebo legujících prvků) je nutno počítat s nutností snížení ochlazovací rychlosti, abychom zamezili možnosti vzniku trhlin. Nejjednodušší cestou je aplikace předehřevu svařovaných dílů - obecně platí, že čím vyšší je C_E a čím silnější je svařovaný materiál, tím vyšší teplotu předehřevu je třeba volit. Pro oceli s obsahem uhlíku $C \leq 0,22\%$ resp. s $C_E \leq 0,41$ obvykle není předehřev třeba. V jiných případech lze doporučení hledat v materiálových listech příslušné oceli. Pro rychlou orientaci lze využít i následující tabulku, používanou především pro navarování.

Druh oceli

Základní materiál Přídavný materiál	Tloušťka dílu (mm)	Běžná konstr.	Nizkolegovaná	Nástrojová	Chromová	Chromová	Nerezavějící	Manganová
		$C_E < 0,3$ HB < 180	$C_E 0,3-0,6$ HB 200-300	$C_E 0,6-0,8$ HB 300	5-12% Cr HB 300-500	>12% Cr HB 200-300	18/8 Cr/Ni HB~200	14% Mn HB 250-500
Doporučená hodnota předehřevu °C								
Nizkolegovaný 200-300 HB	≤20	-	100	150	150	100	-	-
	≤20 ≤60	-	150	200	250	200	-	-
	>60	100	180	250	300	200	-	-
Typu nástrojové oceli 300-450 HB	≤20	-	100	180	200	100	-	-
	>20 ≤60	-	125	250	250	200	-	o
	>60	125	180	300	350	250	-	o
Typu 12% Cr 300-500 HB	≤20	-	150	200	200	150	-	X
	>20 ≤60	100	200	275	300	200	150	X
	>60	200	250	350	375	250	200	X
Typu nerezavějící oceli 18/8, 25/12 200 HB	≤20	-	-	-	-	-	-	-
	>20 ≤60	-	100	125	150	200	-	-
	>60	-	150	200	250	200	100	-
Na bázi Mn 200 HB	≤20	-	-	-	X	X	-	-
	>20 ≤60	-	-	●100	X	X	-	-
	>60	-	-	●100	X	X	-	-
Na bázi Co typ 6 40 HRC	≤20	100	200	250	200	200	100	X
	>20 ≤60	300	400	●450	400	350	400	X
	>60	400	400	●500	●500	400	400	X
Navarování s karbidy ve struktuře 55 HRC	≤20	-	o-	o-	o-	o-	o-	o-
	>20 ≤60	-	100	200	●200	●200	o-	o-
	>60	o-	200	250	●200	●200	o-	o-

(1) max. 2 vrstvy - trhliny vznikají běžně
- žádný předehřev, nebo max. 100°C
X obvykle se nesvařuje

o předehřev nutný při návarech velkých ploch
• pro zamezení vzniku trhlin doporučeno poduškování
austenitickým svařovacím materiálem

Při svařování jemnozrnných nízkolegovaných ocelí, např. S235J2G3, S355J2G3 apod., lze očekávat růst zrn v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) svaru, který by znamenal určitý pokles plastických vlastností této oblasti. Svařujeme proto většinou bez předehřevu (tam, kde je třeba, stačí obvykle 100-150 °C) a s omezeným tepelným příkonem.

U termomechanicky zpracovaných ocelí lze rovněž v TOO očekávat pokles pevnosti, meze kluzu i vrubové houževnatosti a snížení úrovně těchto vlastností pod úroveň základního materiálu. Je proto nutno opět limitovat tepelný příkon do svaru na jednotku jeho délky. Při volbě svařovacích materiálů je dále nutno respektovat pracovní podmínky spoje, především provozní teploty, způsob namáhání, vliv korozního prostředí apod.

Svařování nerezavějících a žáruvzdorných ocelí

Kromě odolnosti proti korozi musí tento druh ocelí splňovat obvykle i další vlastnosti, např. pevnost či houževnatost při vysokých nebo naopak nízkých teplotách, odolnost proti prostředí se zcela rozdílnými chemickými vlivy apod. Vlastnosti těchto ocelí se liší v závislosti na chemickém složení, které převážně určuje i jejich strukturu a tím svařitelnost. Z tohoto pohledu je lze rozdělit do následujících skupin.

Austenitické oceli

V průmyslu tvoří nejpoužívanější skupinu nerezavějících ocelí. Jsou používány k výrobě tepelných výměníků, tlakových nádob, potrubí a dalších dílů, a to především v chemickém a potravinářském průmyslu a v energetice. Základním typem je ocel 18Cr/8Ni, ze které dalšími modifikacemi legujícími prvky vznikly typy s potřebnými vlastnostmi. Rozsah obsahu hlavních prvků ukazuje následující tabulka.

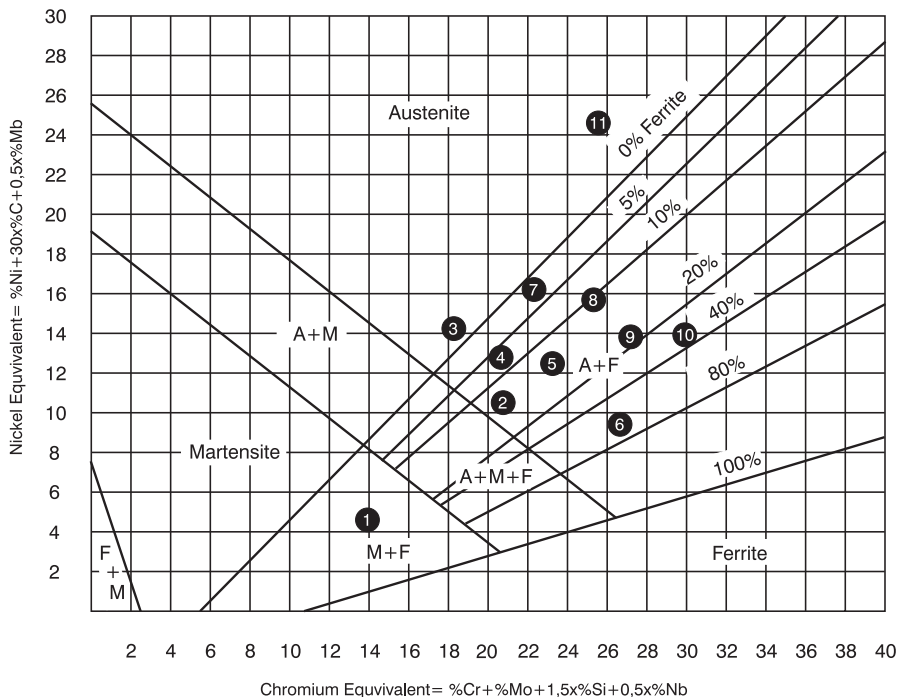
C	Cr	Ni	Mo
< 0,25 %	16 - 26 %	8 - 40 %	0 - 5 %

Obsah C se však ve většině případů pohybuje pod hranicí 0,10 %.

Z hlediska odolnosti proti mezikrystalové korozi existují tyto typy jako oceli nestabilizované s velmi nízkým obsahem uhlíku (např. < 0,03 %), nebo stabilizované obvykle Ti resp. Nb. V jinak austenitické struktuře svarového kovu obvykle vyžadujeme za

teploty okolí obsah 2 - 6 někdy i více % feritu delta, který je vzhledem ke svým plastickým vlastnostem zárukou odolnosti proti vzniku krystalizačních trhlin. Orientačně lze zjistit tento podíl na základě známého chemického složení svarového kovu, podle hodnot ekvivalentu chromu (E_{Cr}) a niklu (E_{Ni}) ze Schaefflerova diagramu (str. N3 - obr. 1), resp. z diagramu WRC 92 (str. N4 - obr. 2). Svařitelnost této skupiny nerezavějících ocelí je až na výjimky, dané extrémními požadavky na jiné vlastnosti, velmi dobrá a lze použít všechny známé technologie svařování s dobrou ochranou svarového kovu. Protože běžné typy nejsou náchylné na vznik studených trhlin a jsou nekalitelné, svařují se, s výjimkou velkých tlouštěk, bez předehřevu. S ohledem na možnost transformace delta feritu lze doporučit tepelný příkon na max. 15 kJ/cm a interpass teplotu max. 150 °C. Svařuje se obvykle přídavným materiálem shodného nebo podobného chemického složení. Samostatnou skupinu tvoří tzv. **superaustenitické nerezavějící oceli**, používané v náročných prostředích chemického průmyslu a např. při výrobě močoviny. Proti běžným austenitickým ocelím mají obvykle ještě zvýšený obsah Cr, Mo, Ni spolu s dalšími legurami např. Nb, Cu, N apod. pro zvýšení odolnosti proti koroznímu praskání. Jejich struktura je čistě austenitická a svařuje se i obdobnými přídavnými materiály, poskytujícími rovněž plně austenitický svarový kov.

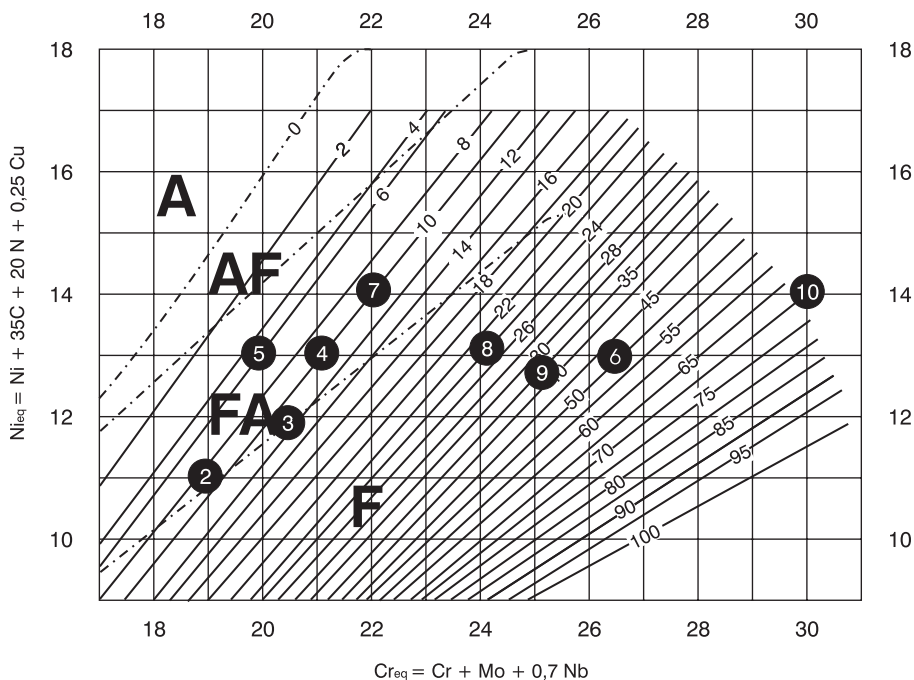
Obr. 1 - Schaefflerův diagram



Příklady umístění svarových kovů některých druhů svařovacích materiálů v diagramech

Umístění	Svařovací materiál	Umístění	Svařovací materiál
1	OK 68.15; 68.17	6	OK 67.50; 67.55 OK Tigrod 2209
2	OK 61.30 OK Autrod/Tigrod 308L Shield Bright 308L OK Flux 10.92/OK Autrod 308L	7	OK 63.35 OK Autrod/Tigrod 318Si
3	OK 61.85; 67.45 OK Autrod/Tigrod 16.95	8	OK 67.64; 67.75 OK Autrod/Tigrod 309L
4	OK 61.81 OK Autrod/Tigrod 347Si OK Flux 10.93/OK Autrod 316L	9	OK 67.71 OK Autrod/Tigrod 309MoL Shield Bright 309L/X-TRA 309L
5	OK 63.30; 63.80; 63.85 OK Autrod 316LSi Shield Bright 316L	10	OK 68.81 OK Autrod 312
		11	OK 67.13; 67.15 OK Autrod/Tigrod 310

Obr. 2 - WRC - 92 diagram



Příklady umístění svarových kovů některých druhů svařovacích materiálů v diagramech

Umístění	Svařovací materiál	Umístění	Svařovací materiál
1	OK 68.15; 68.17	6	OK 67.50; 67.55 OK Tigrod 2209
2	OK 61.30 OK Autrod/Tigrod 308L Shield Bright 308L OK Flux 10.92/OK Autrod 308L	7	OK 63.35 OK Autrod/Tigrod 318Si
3	OK 61.85; 67.45 OK Autrod/Tigrod 16.95	8	OK 67.64; 67.75 OK Autrod/Tigrod 309L
4	OK 61.81 OK Autrod/Tigrod 347Si OK Flux 10.93/OK Autrod 316L	9	OK 67.71 OK Autrod/Tigrod 309MoL Shield Bright 309L/X-TRA 309L
5	OK 63.30; 63.80; 63.85 OK Autrod 316LSi Shield Bright 316L	10	OK 68.81 OK Autrod 312
		11	OK 67.13; 67.15 OK Autrod/Tigrod 310

Feritické nerezavějící oceli

jsou vzhledem k úrovni legování levnější než austenitické nerezavějící oceli, mají stále dobrou korozní odolnost včetně odolnosti proti koroznímu praskání v chloridovém prostředí a široce se používají především v spotřebním a v automobilovém průmyslu. Jejich typické chemické složení se obvykle pohybuje v následujících přibližných mezích:

C	Cr	Ni	Mo
< 0,25 %	12 - 30 %	0 - 5 %	0 - 2 %

Struktura těchto ocelí je feritická, ale u některých typů lze očekávat především v TOO zhrubnutí zrna, event. vznik martenzitu, popř. vznik křehkých fází při pomalém ochlazení z teplot cca 1000°C. Proto jsou tyto oceli ve srovnání s austenitickými ocelmi obtížněji svařitelné, zvláště u velkých tlouštěk. Svařujeme je proto zásadně s předehřevem (teplotu je třeba stanovit experimentální zkouškou praskavosti, nelze-li, volíme cca 200°C). Měrný svařovací příkon je nutno udržovat co nejnižší. Ze svařovacích metod jsou nejčastěji používány metody MIG a TIG se svařovacími dráty podobného chemického složení nebo dráty austenitické. Austenitické dráty jsou nevhodné, pokud svar bude vystaven atmosféře obsahující síru. Pro ruční obloukové svařování se používají nízkouhlíkové bazické elektrody s min. obsahem difúzního vodíku ve svařovém kovu. V chemickém průmyslu, při výrobě kondenzátorů a zařízení na odsolování mořské vody se používají i tzv. **superferitické nerezavějící oceli**. Tyto mají proti běžným obsahům dále zvýšené % Cr, Mo s doplněním dalších mikrolegur. Svařitelnost těchto ocelí je dobrá, ale vyžaduje ještě přísnější dodržování parametrů svařování.

Duplexní nerezavějící oceli

se stávají velmi významnou alternativou austenitickým nerezavějícím ocelím. Díky velmi příznivé kombinaci jejich ceny s dobrými korozními vlastnostmi, ale i s vyšší pevností i houževnatostí, což umožňuje dosahovat při stejné nebo delší životnosti v řadě případů podstatné snížení hmotnosti a tím i materiálových i výrobních nákladů. Chemické složení těchto ocelí je obvykle následující:

C	Cr	Ni	Mo	Cu	N
<0,15%	18-30%	4-10%	0-3%	0-2%	~0,2%

Struktura těchto ocelí je dvoufázová, tvořená obvykle 40 - 70 % feritu a zbytkem austenitu. Jsou dobře svařitelné všemi metodami svařování. Vzhledem k nebezpečí

růstu zrna v TOO i k možné precipitaci karbidů při vícevrstvých svarech se obvykle limituje tepelný příkon na hodnoty 0,5 až max. 2,5 kJ/mm a interpass teplota na max. 200°C. Pro svařování se obvykle používají přídavné materiály obdobného chemického složení se zvýšeným obsahem niklu. Dalším vývojem vznikla skupina tzv. **superduplexních ocelí** s vyššími obsahy především Ni, Mo a N a např. i W, které dále zvyšují nejen ostatní užité vlastnosti, ale především odolnost proti důlkové korozi, charakterizované tzv. koeficientem PRE (viz úvodní kapitola, B2). Jeho hodnota je pro tento typ ocelí > 40 (u běžných austenitických ocelí cca 25). Svařitelnost těchto ocelí je velmi dobrá, ale svařovací podmínky jsou ještě přísnější - např. interpass teplota max. 150°C a tepelný příkon při svařování v rozmezí 0,2 až 1,5 kJ/mm. Pro odhad obsahu feritické fáze se obvykle používá diagram WRC 92 - viz obr. 2 str. K4.

Martenzitické oceli

tvorí ve skupině nerezavějících ocelí méně významný podíl. Vzhledem k jejich chemickému složení jsou kalitelné a mají při dobré korozní odolnosti i poměrně dobrou pevnost. Jejich orientační chemické složení je následující:

C	Cr	Ni	Mo
0,1 - 0,3 %	11 - 17 %	0 - 3 %	0 - 2 %

Svařitelnost této skupiny je horší, než u běžných feritických ocelí. Díly se obvykle svařují až po zakalení a popuštění. Vzhledem k martenzitické struktuře jsou náchylné na přehřátí a zhrubnutí především v TOO svaru. Proto je nutný předehřev a interpass teplota obvykle na úrovni cca 250°C. Vzhledem k náchylnosti na vznik trhlin za studena je třeba, zvláště u svařenců s vysokou tuhostí, provést tepelné zpracování pokud možno ihned po svaření bez dochlazení na teplotu okolí. Pokud tepelné zpracování není možné, užívá se polštářování svarových ploch austenitickým návarem. Přídavné materiály volíme buď obdobného chemického složení, v případě, že pevnostní charakteristiky jsou odpovídající, volíme austenitický přídavný materiál, příp. i slitiny, Ni-Cr nebo Ni-Cr-Fe.

Svařitelnost litých ocelí

Struktura ocelových odlitků je ovlivněna především rozdílností struktury v závislosti na rychlosti ochlazení v určitém místě odlitku, zvýšeným množstvím a nerovnoměrným rozdělením C, Mn, Si, S a P. Proto je snaha odlitky svařovat buď ve stavu normalizačně žháném

u odlitků z nelegovaných ocelí, nebo ve stavu zušlechťeném u odlitků z nízkolegovaných jakostí ocelí. U odlitků z ocelí vysokolegovaných je obvyklé homogenizační žhání. Svařitelnost se u jednotlivých druhů ocelí na odlitky příliš neliší od ocelí tvářených a lze použít již uvedená doporučení. Při volbě svařovacích materiálů jsou obvyklé bazické typy elektrod resp. bazická tavidla.

Šedá litina

Šedá litina jako slitina železa s poměrně vysokým obsahem uhlíku (2-4,5%) i křemíku (1-3%) i vysokým obsahem nečistot charakteru sloučenin fosforu a síry i vzhledem k chemické i strukturální heterogenitě odlitků je většinou dosti obtížně svařitelná. Příčinou jsou i její nízké mechanické vlastnosti jako nízká pevnost i houževnatost a vysoká křehkost. Nejčastěji se opravují litinové odlitky obalenými elektrodami za studena, proto se tato část zabývá pouze touto metodou. Nejčastěji se používají některé z dále uvedených možností:

Báze Elektroda Použití

Ni	OK 92.18, E-S 723	Všude tam, kde je třeba vytvořit houževnatý a měkký spoj s tvrdostí okolo 150 HB, který bude nutno opracovávat. Nedoporučují se pro litiny s vysokým obsahem P a S.
Ni-Fe	OK 92.60, E-S 716	Kde je požadována větší pevnost, nebo kde se jedná o spoj šedá litina-ocel, nebo v případech spojů šedá litina s vysokým obsahem P nebo S. Tvrdost je mírně vyšší než u niklových elektrod, svar lze běžně strojně opracovat.
Ni-Cu	OK 92.78	Jsou používány výjimečně, především tam, kde je třeba přizpůsobit opracované místo barvě základní litiny. Opracování svaru je velmi snadné.

Obecné zásady pro svařování šedé litiny

Příprava hran

- doporučuje se širší úhel otevření než pro ocel, případně příprava pro svar typu U
- všechny hrany musí být zaobleny a trhliny vybroušeny, popř. odstraněny

- konce trhlín se ukončují buď odvrtným otvorem, některé praktické zkušenosti však doporučují v místě lokalizovaného konce trhlíny provedení příčného svaru délky cca 2 cm na obě strany
- povrch svarových hran musí být bez jakýchkoliv nečistot nebo nasycení např. olejem
- pro přípravu hran lze doporučit drážkovací elektrodu OK 21.03

Svařování

Rovněž pro vlastní svařování existují tato všeobecná pravidla:

- svařování začíná od středu trhlíny střídavě na jednu a na druhou stranu v housenkách délky max. 10x průměr elektrody
- každou housenku za tepla prokovat kladivem se zaobleným nosem a ihned odstranit strusku
- používat nejnižší možný proud a nejmenší průměr elektrody
- pokud se při svařování objeví porezita, je třeba vrstvu odsekat a provést znovu
- při svařování by teplota svaru neměla klesat pod 100°C
- při svařování větších tlouštěk lze doporučit nejprve polštářování hran

Pro opravy odlitků se často užívá i plněná elektroda NICORE 55. Odlitky z bílé litiny jsou považovány za nesvařitelné.

Obtížně svařitelné oceli a heterogenní spoje

Vzhledem k tomu, že existuje mnoho aplikací, které nelze podrobně popsat, doporučujeme pro rychlou orientaci při výběru potřebných elektrod využít nabídky z následujících variant heterogenních spojů - viz str. K6. Do obtížně svařitelných ocelí počítáme oceli s vysokým obsahem uhlíku ($C_E > 0,45$) nástrojové oceli, oceli pružinové, tepelně zpracované oceli a oceli neznámého složení. Vzhledem k tomu, že v těchto případech se jedná většinou o opravy různých dílů, kde není možné využití předehřevu, patří mezi nejvhodnější volby použití austenitických nebo niklových svařovacích materiálů. Nejčastěji jsou používány:

Typ	Elektroda	Drát/plněná elektroda
29Cr9Ni	OK 68.81, OK 68.82	OK Autrod 312
18Cr9Ni6Mn	OK 67.45	OK Autrod 16.95 OK Tubrodur 14.71 OK Tubrod 15.34
Slitiny Ni	OK 92.26	OK Autrod 19.85

Schéma volby vhodné elektrody pro svařování heterogenních materiálů

1. OK 67.70, OK 67.75
2. OK 67.45, OK 68.81, OK 68.82



1. OK 92.26
2. OK 67.70, OK 67.75, OK 67.45
3. OK 63.30, OK 63.35



Pro tyto spoje nikdy nepoužívejte nelegované elektrody.

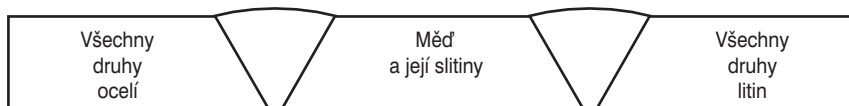
1. OK 92.18
2. OK 92.60



1. OK 92.60
2. OK 92.18



OK 94.25



1. První možnost výběru
2. Druhá možnost výběru
3. Třetí možnost výběru

Doporučení pro správný výběr elektrod, drátů a tavidel pro opravy a údržbu

Výběr elektrod, drátů a tavidel pro opravy a údržbu provádíme s ohledem na podmínky, které jsou shrnuty v následujícím textu a s ohledem na v předchozí kapitole uvedené doporučení pro svařování materiálů rozdílných jakostí. Potřebné vlastnosti svarového kovu pro opravu či určitou renovaci určujeme především podle pracovních podmínek, které jsou většinou známé, a které výrazně ovlivňují volbu vhodného přídavného materiálu pro daný účel. Protože elektrody pro ruční obloukové svařování patří v této oblasti stále mezi nejpoužívanější druh svařovacího materiálu, naleznete v následující tabulce č. 1 doporučené možnosti volby podle převládajících pracovních podmínek opravovaného dílu. Protože ve skutečnosti však dochází ke kombinovanému vlivu více faktorů, byla ze zkušeností zpracována i určitá konkrétní doporučení pro volbu svařovacích resp. navařovacích materiálů pro charakteristické díly některých nejčastěji renovovaných dílů zemních a dobývacích strojů, mlýnů, nástrojů apod., jejichž příklady najdete v tab. 2.

Obecně platí, že výběr vhodného materiálu se řídí:

- typem opotřebení
- pracovními podmínkami
- požadavky na obrobiteľnosť

Dále je nutno brát v úvahu následující důležité otázky:

1. Z hlediska chemického složení zvoleného přídavného materiálu:

- a) je tento typ návaru pro svařovanou součást použitelný a vhodný ?
- b) bude možné provést přehřev ?
- c) bude třeba použít mezivrstvy mezi základním materiálem a návarem ?

2. Z hlediska podmínek pro svařování:

- a) Je možný přehřev? Pokud ne, může být navařování velmi značně omezeno a to jen na použití austenitických materiálů a materiálů na bázi niklu. Pak se obvykle přednostně doporučují elektrody:
 - austenitické, např. OK 67.45, OK 67.75
 - austeniticko-feritické, např. OK 68.81, OK 68.82
 - na bázi niklu, např. OK 92.18, E-S 723, OK 92.60, E-S 716, OK 92.26, OK 92.35

- b) v jaké poloze bude oprava prováděna? Poloha svařování může ovlivnit volbu technologie i omezit i výběr nejvhodnějšího svařovacího materiálu
- c) bude možno použít technologie MIG/MAG event, svařování pod tavidlem ?
- d) jaké přídavné materiály a pro jaké technologie budou k dispozici ?

3. Pracovní podmínky pro opravovaný díl, tj. převládající způsob opotřebení daného dílu, např. abrazí, erozí, kavitací apod.

K zabezpečení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, které je způsobeno ostrými částmi kamenů a minerálů doporučujeme použít buď návar s tvrdým povrchem, nebo návar, který se vytvrzuje během provozu mechanickým působením tlaku a rázy. Doporučujeme OK 84.78, OK 84.80, OK 84.58, OK 83.65, OK 86.08, 86.28.

Odolnost proti erozivnímu opotřebení vyžaduje tvrdý povrch a potřebnou jemnozrnnou mikrostrukturu návaru. Doporučujeme OK 84.80, OK 84.78, OK 84.58, OK 85.65, OK 83.65, E-B 511, OK 84.84.

Kavitačnímu opotřebení vodních turbín se obvykle předchází preventivními návary austenitickými elektrodami. OK 63.35 je nejvíce používaná elektroda pro tyto účely, ale je možno použít i OK 67.70, OK 67.71, OK 68.81, OK 68.82.

4. Další účinky okolního prostředí, které mohou ovlivnit vlastnosti a životnost návaru, např.

- a) korozní vlivy okolního media, jeho chemického působení
- b) provozní teplota dílu
- c) kombinace vlivu korozního prostředí s jiným druhem opotřebení, atd.

Volba správného druhu materiálu pak ve velké míře záleží i na zkušenostech pracovníka a na správném vyhodnocení vlivu jednotlivých faktorů.

Tabulka 1. **Navarování a tvrdonávary. Správný výběr elektrod pro rozdílné pracovní podmínky**

Prostředí	Vhodná odolnost 5. - výborná, 3. - dobrá, 1. - omezená
Korozní prostředí Požadavek: Korozní odolnost	5. OK 92.26, OK 92.35, OK 94.25 4. OK 68.81, OK 68.82, OK 67.45 3. OK 84.80, OK 84.78, OK 84.42, E-B 511 2. OK 84.58, OK 83.50 1. OK 83.28, E-B 502, OK 83.65, OK 85.58, OK 85.65, OK 86.08, OK 86.28
Vysoká teplota Oxidační prostředí Požadavek: Odolnost proti tvorbě okují	5. OK 92.26, OK 92.35 4. OK 68.81, OK 68.82, OK 84.78, OK 67.45, OK 67.13, OK 67.15, OK 83.65, OK 84.80 3. OK 84.42, E-B 511, OK 84.58, OK 85.58, OK 85.65 2. OK 83.50 1. OK 83.28, E-B 502, OK 86.08, OK 86.28
Vysoká teplota Požadavek: Tvrdost při vysoké teplotě a odolnost proti změně tvrdosti	5. OK 92.35 4. OK 84.78, OK 85.58, OK 85.65 3. OK 84.42, E-B 511, OK 84.58, E-B 508, OK 83.65 2. OK 83.28, E-B 502, OK 68.81, OK 68.82, OK 86.08 1. OK 67.45, OK 67.60
Nízká teplota Požadavek: Zachování vlastností při nízké teplotě	5. OK 92.26, OK 92.35, OK 67.45, OK 94.25 4. OK 67.45, OK 86.08 3. OK 83.28, E-B 502, OK 68.81, OK 68.82 2. OK 83.50, OK 84.42, E-B 511 1. OK 83.65, OK 84.58, OK 84.78, OK 85.65
Typ opotřebení: Rázy, vysoký tlak Požadavek: Odolnost proti rázům a tlaku	5. OK 92.35, OK 86.08, OK 68.81, OK 68.82 4. OK 67.45, OK 83.28, E-B 502 3. OK 92.26 2. OK 84.42, E-B 511, OK 85.65 1. OK 83.50, OK 83.65, OK 84.58, OK 84.78, OK 94.25
Opotřebení kamením a minerály Požadavek: Vysoká tvrdost nebo vytvrditelný návar (mechanickým namáháním)	5. OK 84.78, OK 84.84, OK 84.80 4. OK 86.08, OK 83.65, OK 85.65 3. OK 83.50, OK 84.58, OK 84.42, E-B 511 2. OK 85.58, OK 68.81, OK 68.82, OK 67.45 1. OK 83.28, E-B 502
Opotřebení jemnozrnnými materiály (písek a jíla) Požadavek: Vysoká tvrdost povrchu	5. OK 84.84, OK 84.78, OK 84.80 4. OK 83.65, OK 85.65 3. OK 84.58, OK 83.50 2. OK 84.42, E-B 511, OK 68.81, OK 68.82 1. OK 67.45, OK 83.28, E-B 502, OK 86.08
Kavitace	5. OK 63.35, OK 67.71, OK 68.17 4. OK 67.45, OK 94.25 3. OK 84.42 2. E-B 511, OK 84.58 1. OK 83.28, E-B 502

Tab. 2 - **Elektrody, dráty a tavidla pro opravy a údržbu (vybrané aplikace)**

Opravovaný díl	Potřebná tvrdost návaru	MMA	MAG, FCAW a SAW	Doporučené tepelné zpracování po naváření
Hřídele	< 250 HV	OK 48.XX, OK 55.00	OK Flux 10.40 OK Flux 10.71/ OK Autrod 12.40+ OK Autrod 13.12	Žhánění na snížení pnutí Žhánění na snížení pnutí
	200-300 HV	OK 74.78, OK 74.70		Žhánění na snížení pnutí
	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.10 OK Flux 10.40, 10.71/ OK Tubrodur 15.40	Žhánění na snížení pnutí Žhánění na snížení pnutí
	35-40 HRC		OK Flux 10.40, OK Flux 10.71, OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+	Žhánění na snížení pnutí
	44-49 HRC	OK 84.42		
	50-56 HRC	E-B 511		
Pásky traktorů	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Flux 10.61 +/ OK Tubrodur 15.73	
	35-40 HRC		OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.10 , OK Tubrodur 15.43 OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+ OK Flux 10.71/ OK Tubrodur 15.40	
Taliře a válce ohybaček a zkroužčeček, desky, plotny	31-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Tubrodur 15.43	
	45-50 HRC**	OK 86.28 + OK 86.08	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65 +	
		po tlakové deformaci		
Pásové brzdy	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Tubrodur 15.43	
	45-50 HRC**	OK 86.08	OK Tubrodur 15.60	
Mícháčky, stěrky	50-56 HRC	E-B 511		
	55-63 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.73	
	> 62 HRC	OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
		OK 84.80, OK 84.84		
Pracovní části mlýnů a drtičů, kladiva drtičů	55-58 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 83.65, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
	> 63 HRC	OK 84.80 OK 84.84	OK Tubrodur 15.82	

Tab. 2 - pokračování

Opravený díl	Potřebná tvrdost návaru	MMA	MAG, FCAW a SAW	Doporučené tepelné zpracování po naváření
Zuby bagrů, rypadel (kované) Svařování		OK 48.XX, OK 55.00 OK Femax 38.65	OK Autrod 12.51, OK Aristorod 12.50	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.40 + OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 48.XX + OK 83.65 OK 84.78*, OK 84.80	OK Tubrodur 14.70*	
Zuby bagrů a rypadel (13% Mn ocel) výměna svařováním Navařování		OK 63.35, OK 67.45 OK 48.XX + E-B 503	OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 15.34 OK Tubrodur 15.40	
	≈ 50 HRC	OK 84.42		
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	> 62 HRC	OK 84.84	OK Tubrodur 15.82	
Lžice bagrů a rypadel, korečky Svařování				
		OK 63.35, OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 312	
		OK 67.75, OK 68.81	OK Autrod 309L, OK Autrod 16.95	
		OK 68.82		
Navařování	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 84.78 + OK 84.80	OK Tubrodur 14.70*	
Vodící kladykky jeřábů apod.	< 250 HV	OK 48.XX	OK Flux 10.40, 10.71/OK Autrod 12.40+	Žhánění na odstranění prnutí
	200-300 HV	OK 74.78	OK Autrod 13.12	
	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Flux 10.96/OK Autrod 12.10	Žhánění na odstranění prnutí
	40-45 HRC**	OK 86.08 OK 86.28+	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.40 OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
Střížné hrany	50-56 HRC	E-B 511	OK Tubrodur 15.73	
Raznice a řezací nástroje (za studena)	60-65 HRC	OK 85.65		

Tab. 2 - pokračování

Opravený díl	Potřebná tvrdost návaru	MMA	MAG, FCAW a SAW	Doporučené tepelné zpracování po naváření
Válčovací stolice	< 250 HV	OK 48.XX	OK Autrod 12.51	
	200-300 HV	OK 74.78	OK Aristorod 13.12	
	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Tubrodur 15.43	
	44-49 HRC	OK 84.42, E-B 503	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.40	
	51-56 HRC	E-B 511	OK Tubrodur 15.73 + OK Autrod 13.91	
Pohony a převody	55-58 HRC	OK 84.58	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.52	
	30-40 HRC**	OK 63.30, OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 16.95	
		OK 68.81, OK 68.82	OK Autrod 312	
	50-56 HRC	E-B 511	OK Tubrodur 15.52	
	55-63 HRC	OK 84.58, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
Lžice, korečky rypadel (13% Mn ocel)		OK 84.80		
	200-230 HV	OK 86.08	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
		OK 86.28+		
	50 HRC	OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 16.95	
	30-50 HRC**	OK 48.XX	OK Tubrodur 15.52, OK Autrod 13.91	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 14.70*	
Lžice, korečky a čepy z nelegované a nízkolegované oceli	> 62 HRC	OK 84.78*, OK 84.80		
		OK 84.84	OK Tubrodur 15.82	
	< 250 HV	OK 48.XX	OK Autrod 12.51	
	200-300 HV	OK 74.78	OK Aristorod 13.12	
	200-230 HV	OK 67.45	OK Tubrodur 14.71	
	31-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Tubrodur 15.40, OK Tubrodur 15.43	
Preventivní křížové návarý návarý na plechy, plotny, desky apod.	44-50 HRC	OK 84.42, OK 86.28**+	OK Tubrodur 15.42, OK Tubrodur 15.65**+	
	50-58 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 83.65, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
	> 62 HRC	OK 84.80, OK 84.84	OK Tubrodur 15.82	

Tab. 2 - pokračování

Opravený díl	Potřebná tvrdost návratu	MMA	MAG, FCAW a SAW	Doporučené tepelné zpracování po naváření
Nelegovaná a nízkolegovaná ocel	< 250 HV	OK 48.XX	OK Flux 10.40, 10.71/OK Autrod 12.40+	
	250-300 HV	OK 74.78	OK Autrod 13.12	
	31-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Flux 10.96/OK Autrod 12.10 OK Tubrodur 15.43	
	45-50 HRC** 50-58 HRC	OK 86.28+ OK 84.58	OK Tubrodur 15.65+ OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.52 OK Autrod 13.91	
13% Mn ocel	200-230 HV	OK 86.08, OK 86.28+	OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 15.60	
	400 HV**	OK 67.45, OK 63.30	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 14.71	
Kovácí nástroje	31-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Tubrodur 15.40, OK Tubrodur 15.43	
	≈ 40 HRC**	OK 92.35		
	≈ 45 HRC	OK 84.42	OK Tubrodur 15.73	
	40-52 HRC		OK Tubrodur 15.86+	
Drtiče kamení a minerálů Desky z 13% Mn oceli Kůzle z 13% Mn oceli Vřetena z 13% Mn oceli Pouzdra z 13% Mn oceli Válce a pod.	200-230 HV	OK 86.08, OK 86.28+	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
	45-50 HRC**	OK 86.08 , OK 86.28+	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 48.XX + OK 83.65		
		OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
Rychlořezné nástroje	60-65 HRC	OK 85.65		Popuštění, vytvrzení 525°C
Řezací a stříhací nástroje (za tepla)	≈ 45 HRC**		OK Tubrodur 15.87+	Popouštění, vytvrzení 550°C
	50-56 HRC	OK 85.58		
Válce pro válcování uhlíkových a nízkolegovaných oceli (za tepla)	250-300 HV	OK 74.78	OK Tubrodur 15.40, OK Autrod 13.12	Žhánění na snížení pnutí 500°C
	30-35 HRC	OK 83.28, E-B 502	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.42, OK Tubrodur 15.43	Žhánění na snížení pnutí 560°C
	40-50 HRC	OK 92.35	OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+	Žhánění na snížení pnutí 500°C
	44-50 HRC 40-52 HRC	OK 84.42	OK Flux 10.61 +/OK Tubrodur 15.73 OK Tubrodur 15.86+	

+ materiál není v běžné nabídce, konzultace s výrobcem nutná

* karbidy chromu ≈ 1500 HV

** vytvrzení po tlakové deformaci

OK 48.XX všechny elektrody této řady

Svařitelnost hliníku a jeho slitin

Hliník a jeho slitiny lze podle schopnosti dosa-
vat kvalitní svarový spoj rozdělit do dvou skupin:

- materiály vhodné ke svařování - Al, slitiny AlMn, AlMg, AlSi
- slitiny obtížně svařitelné - slitiny AlCuMg, AlMgSi, AlZnMg

Z toho vyplývá, že je nutné před svařováním buď
znát konkrétní typ, nebo jeho složení stanovit
chemickou analýzou, případně určit typ alespoň kap-
kovou zkouškou. Dále je nutno si uvědomit podstat-
né rozdíly ve vlastnostech hliníku a oceli, např.

- tepelná a elektrická vodivost je cca 4x vyšší, tepelná
roztážnost rovněž 2x vyšší,
- pevnost 4x nižší
- teplota tavení - Al - ~ 635°C, ocel 1535°C
- teplota tavení kyslíčníků 2046°C proti 1550°C

Dominantními svařovacími metodami jsou MIG
a WIG, lze však využívat i svařování obalenou elek-

trodou, plasmou atd. Předpokladem dosažení dobré
kvality spoje je vždy dokonalá čistota svarových
ploch i přilehlého okolí svaru případně i vysoká čis-
tota ochranného plynu, dále správné slícování ploch
a upnutí dílů, správná geometrie spoje.

Při svařování metodou MIG se preferuje DC zdroj
s teplým startem, podavače s U-kladkou, teflonové
bowdeny a jako ochranný plyn směs Ar+He nebo He.

Při TIG svařování je doporučován AC zdroj s teplým
startem, s pulsem, ochranný plyn Ar, nebo směs
Ar+He.

Přídatné materiály pro svařování se volí podle
chemického složení základního materiálu a podle
požadavků na finální výrobek. Nedoporučujeme
experimenty - je vhodné využít doporučených mate-
riálů z následující tabulky č. 3.

V případě potřeby svarů rozdílných jakostí Al slitin
kontaktujte Technický servis.

Tab. č. 3

Druh materiálu	ČSN	W. Nr.	AA EN AWS	Obalená elektroda OK	Svařovací drát MIG OK AUTROD WIG OK TIGROD
Al					
Al 99,8	424002	3.0285	1080		1450
Al 99,7		3.0275	1070A		1070, 1450
Al 99,6			1060		1070, 1450
Al 99,5 E	424004	3.0257	1350		1070, 1450
Al 99,5	424005	3.0255	1050A		1070, 1450
Al 99		3.0205	1200		1070, 1450
Al 99,0 Cu			1100		5356 ¹⁾
Al 98		3.0185			1450
AlMn					
AlMn0,6		3.0506		96.20	
AlMn1	424432	3.0515	3103	96.20	1070, 1450, 5754
AlMnCu		3.0517		96.20	
AlMn1Cu			3003		1450
AlMn1Mg1	PN 424433		3004	96.20	4043, 5754
					5356 ¹⁾ , 5183
AlMn1Mg0,5			3005		5754, 5356 ¹⁾
AlMg					
AlMg1		3.3315	5005	96.20	5754, 5356
AlMg1,5			5050		1450
AlMg1,8		3.3326			5754
AlMg2	424412		5051		5754, 5356

Tab. č. 3 - pokračování

Druh materiálu	ČSN	W. Nr.	AA EN AWS	Obalená elektroda OK	Svařovací drát MIG OK AUTROD WIG OK TIGROD
AlMg2,5 AlMg3	424413	3.3535	5052 5754		4043, 5754 5754, 5356 ¹⁾ 5183, 5087
AlMg4 AlMg5	424415	3.3555	5086 5056		5356 5356, 5183 5087
AlMg6 AlMg7	OZN 424418 PN 424417			96.50 96.50	4047 4047
AlMgMn		3.3527		96.20	5754, 5356 5183
AlMg2Mn0,8		3.3527			5754, 5183 5087
AlMg2,7Mn		3.3537			5754, 5356 5183, 5087
AlMg4Mn		3.3545			5356, 5183 5087
AlMg4,5Mn		3.3547	5083		5356, 5183 5087
AlMgSi0,5		3.3206	6060	96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMgSi0,7		3.3210		96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMgSi0,8		3.2316		96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMg0,5Si AlMg1Si1	424401	3.2315	6063	96.40 96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlMg1SiCu		3.3211		96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlMgSi1Mn	424400		6082	96.50	4043, 4047, 5356 5183, 5087
AlMg5Si1 G-AlMg3		3.3541		96.40	4043, 5356, 5183 5754, 5356 5183
G-AlMg5		3.3561			5356, 5183 5087
G-AlMg10					5356, 5183
G-AlMg3Si G-AlMg3Cu		3.3241			5356, 5183 5356, 5183
G-AlMg5Si		3.3261			5356, 5183 5087
G-AlMg10Cu					5356, 5183

Tab. č. 3 - pokračování

Druh materiálu	ČSN	W. Nr.	AA EN AWS	Obalená elektroda OK	Svařovací drát MIG OK AUTROD WIG OK TIGROD
AISI					
AISI5	PN 424232	3.2345		96.40	4043
AISI9				96.50	4047
AISI12	PN 424230			96.50	4047
AISI5Cu3				96.40	4043
AISI6Cu4			AA 319	96.40, 96.50	4043, 4047
AISI7Cu3				96.40, 96.50	4043, 4047
AISI7Mg			AA 356	96.40, 96.50	4043, 4047
G-AISI12		3.2581		96.50	4047
G-AISI12Cu		3.2583	(4032)	96.50	4047
G-AISI11		3.2211		96.50	4047
G-AISI10Mg		3.2381		96.50	4047
G-AISI10MgCu		3.2383		96.50	4047
G-AISI9Mg		3.2373		96.50	4047
G-AISiMg		3.2371		96.40	4043
G-AISI5Mg		3.2341		96.40	4043
G-AISI8Cu3		3.2161		96.50	4047
G-AISI6Cu4				96.40, 96.50	4043, 4047
AlZn					
AlZnMg1		3.3547		96.40	5356, 5183
AlZn4,5Mg1	424441	3.4335		96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlZn5Mn			D 712		4043, 5356
AlCu					
AlCuMg1		3.1325		96.40	4043, 5183 5087
AlCu4Mg	424201		2017		svařování se nedoporučuje
AlCu4Mg1	424203		2024		svařování se nedoporučuje
AlCu4MgPb		3.1645	2030		svařování se nedoporučuje
AlCu4SiMg		3.1255	2014		svařování se nedoporučuje
AlFe					
AlFeSi	ON 424446			96.40	4043

1) OK AUTROD 5356 může být vždy nahrazen drátem OK AUTROD 5183, nebo OK AUTROD 5087, pokud je pracovní teplota menší než 65°C.