

RENOVACE

Jaroslav Kubíček
2018 FSI Brno

OPRAVY



– odstranění nepřípustných vad svarů zjištěných při NDT kontrole, obnovení funkce výrobku (svařence) --- oprava vadných svarových spojů (trhliny, bubliny) → svar vydrážkovat a následně svařit za stejných podmínek (mat.+PM) dle původní postupu WPS

- opravy destrukce po haváriích (přetížení – jeřáb, most), deformace konstrukcí atd. Jsou známe podminky svařování, WPS, materiály základní i přídatné.

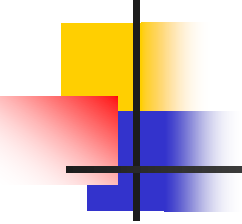
OPRAVY VAD SVARŮ

1. Oprava vad vzniklých při výrobě svařence

- oprava musí mít trvalý efekt
- svařenec musí mít stejné vlastnosti jako zhotovený bez vad
- vady zjišťujeme pomocí NDT metod (vizuálně, PT, MPI, UT, RTG)

Příčiny vzniku vad:

- záměna PM (ztráta požadovaných vlastností)
- nedodržení postupu svařování
- nedodržení parametrů svařování
- záměna ochranného plynu, typu plamene (311)
- nedodržení typu a velikosti svaru



OPRAVY VAD SVARŮ

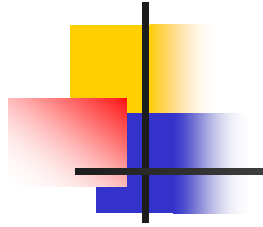
Povrchové vady (trhliny, krátery, vruby,...)

- snadno zjistitelné
- odstranění vady (vybroušení), plynulé přechody
- oprava vady stejnou metodou svařování jako původní svar
- kontrola opravy

Vnitřní vady (póry, bubliny, neprovařený kořen, studené spoje,...)

- horší identifikace (uvnitř svarů) (UT, RTG)
- podle výskytu vady se rozhodne o opravě (celý svar nebo jen místně)
- odstranění broušením, obráběním
- odstranění drážkováním (kyslíkem, plazmou, elektrody) + obroušení
- oprava se provádí stejnou metodou svařování jako původní svar
- WPS pro vadu, která leží hlouběji než $1/3$ velikosti svaru

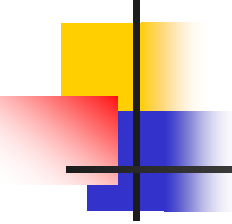
RENOVACE



Renovace součástí je soubor činností, prováděných s cílem obnovení provozuschopného nebo bezvadného stavu součásti a jejího technického života.

Má komplexní charakter, je nutný systémový přístup, zahrnuje vzájemně působení jednotlivých prvků.

Jedná se o obnovení(zvýšení) užitečných vlastností strojních dílů, které ztratili funkčnost důsledkem opotřebení. Renovované díly mají lepší vlastnosti oproti původnímu stavu.



Opotřebení

Celkové opotřebení

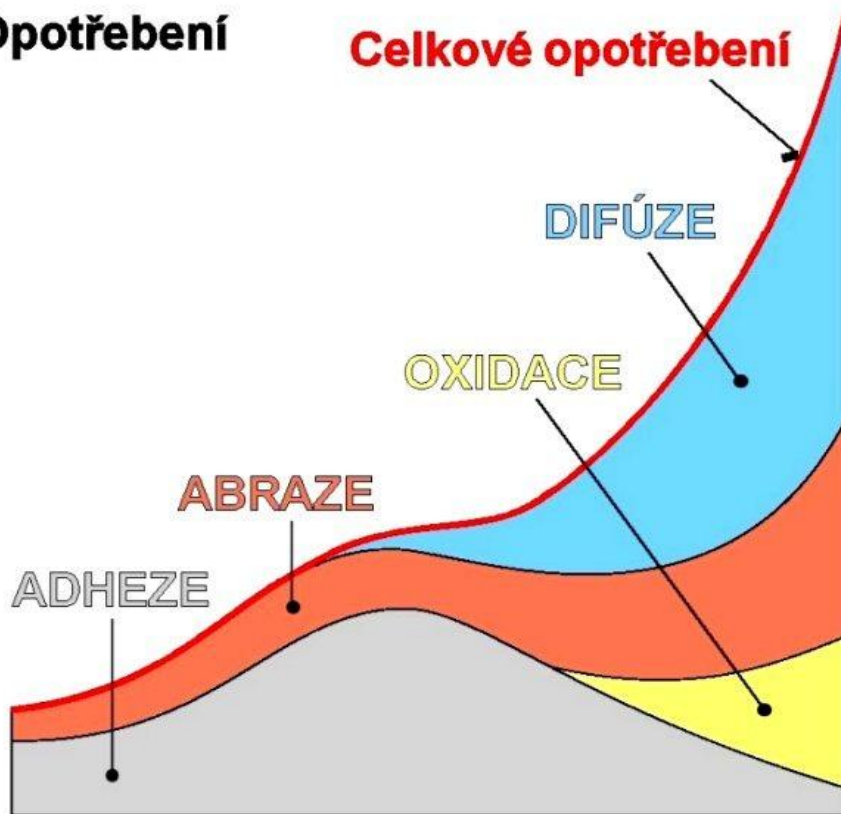
DIFÚZE

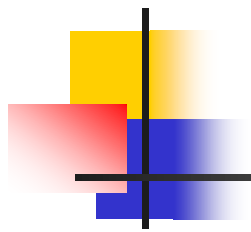
OXIDACE

ABRAZE

ADHEZE

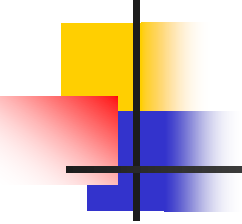
Teplota





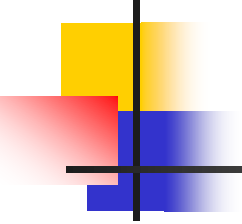
- Renovace se provádí s rozdílným materiálem, podmínky renovací jsou specifické dle materiálu, široké spektrum možností technologií a druhů přídavných materiálů.

- Charakteristika:
 - prodloužení životnosti součásti (výrobku)
 - náklady na renovaci je nutno posoudit a musejí být ekonomicky výhodné
 - zkracují čas odstávky zařízení, pokud čas na výrobu nového dílu je delší



Renovace

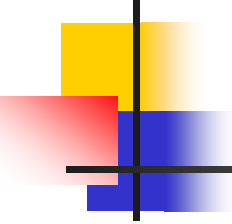
- Obnova poškozené součásti z hlediska – tvarového (opravení odlomených částí, doplnění povrchového opotřebení) - funkčního (odolnost proti opotřebení, třecí vlastnosti, odolnost proti vysokým teplotám) - provozní schopnosti - bezpečnosti (spolehlivost součásti při dlouhodobém zatížení)
- Poškození povrchových vrstev je hlavní příčinou vyřazování opotřeбенých součástí z provozu. Toto poškození povrchu lze předpokládat u přibližně 80 - 90% vyřazovaných strojních dílů.



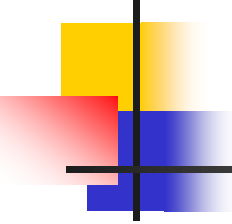
DEFEKTY FUNKČNÍCH PLOCH

- **Opotřebení** - změna rozměrů, změna fyzikálních vlastností, změna struktury, změna geometrického tvaru, změna hmotnosti a vyvážení, změna kvality povrchu (koroze, drsnost..)
- **Porušení celistvosti materiálu** – lom, změna pevnosti a tuhosti, porušení těsnosti
- **Deformace** – ohyb, krut, otláčení...
- **Nánosy a usazeniny** – karbon, vodní kámen

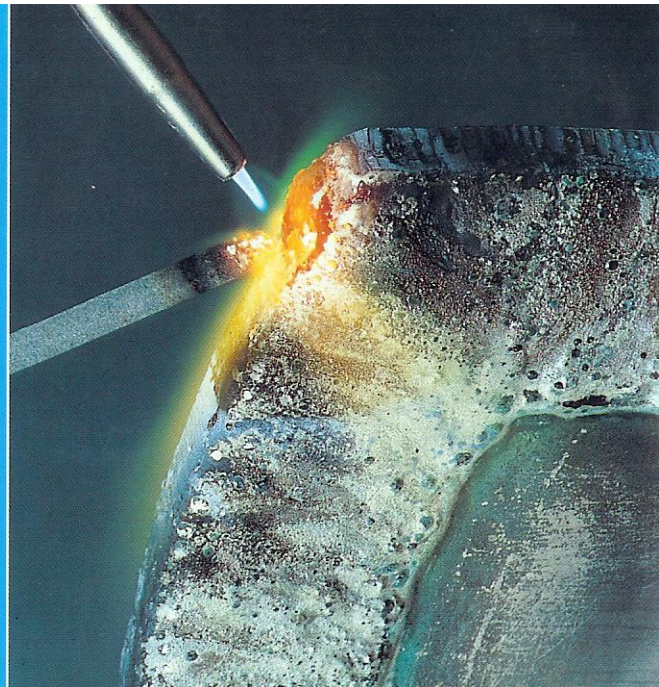
Obecný postup renovace:

- 
- Posouzení charakteru a rozsahu vady (opotřebení)
 - princip vzniku opotřebení (přetížení, druh opotřebení, medium)
 - volba metody renovace, podmínek a přídavných materiálů
 - Identifikace druhu a stavu ZM – odjiskření na spektrometru, odvrtání, u neželezných mat. kapkovou metodou pomocí hydroxidů.
 - Vypracování technologického postupu – WPS → parametry navařování, ochranný plyn, tavidlo, tep. předehřevu, ochlazení, ...
 - Úprava návarové plochy, zásady, opracování plochy
 - Vlastní provedení návaru
 - Opracování návaru

NAVAŘOVÁNÍ PLAMENEM

- 
- používá se převážně na speciální aplikace, plamen redukční s přebytkem acetylénu 7,5% .
 - Plamen by měl mít malou výstupní rychlost → MĚKKÝ do 90m/s (rovinnost návaru)
 - Postup:
 - 1.) přehřev povrchu na cca 1200°C (↑obsahu C v tl. 0,1÷0,2mm získáme litinu nataví se
 - 2.) Podávání PM bez kontaktu s tavící lázní (bez zředění)
 - 3.) Doba tavení na vyčištění, únik plynů a nečistot
 - 4.) Ukončení: - celkový mírný ohřev → vyrovnání napětí
 - Charakteristické rysy navařování plamenem:
 - návar bez propalu prvku (oxidace prvku je minimální)
 - s minimálním zředěním se ZM (nepromísí se do návaru základní materiál)
 - plošné tepelné zatížení (→ relativně nižší napětí v návaru)
 - relativně vysoký přehřev brání k praskání návaru
 - při správném seřízení → hladký povrch bez nerovností
- Pro tenké plechy: ZM se podloží Cu, protože dobře odvádí teplo a ZM se nepřehřeje.

Navařování plamenem



Materiály pro plamenové technologie

- V oblasti návaru plamenem se používají slitiny na základě Fe, Co, Ni a nástrojových ocelí.

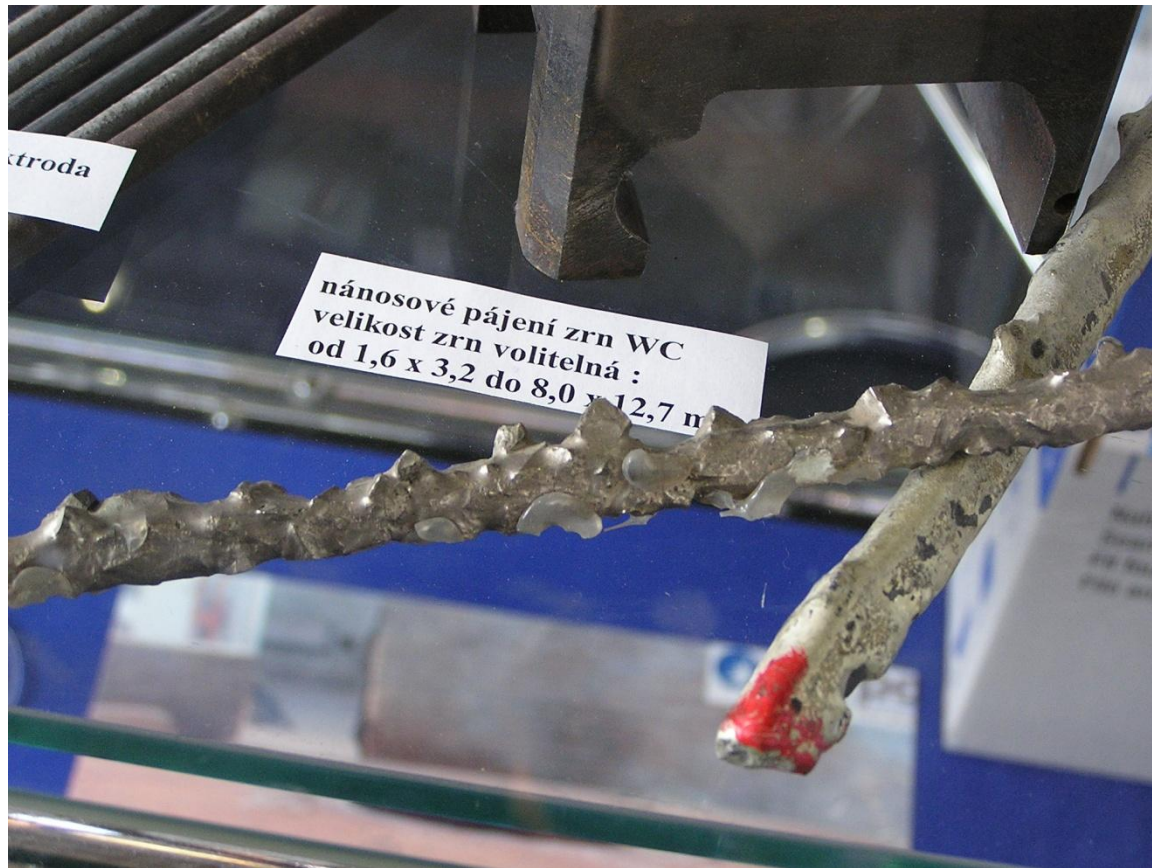
Návarové trubičky:

- • Fe, Ni trubičky plněné karbidy WC-Co (vel. 0,5÷8mm)
použití: šneky dopravníků hornin, vrtací hlavice pro těžbu surovin
- kobaltové a niklové slitiny (STELLIT, NIMONIC, HASTELLOY)
- dobrá odolnost při zadírání, ušlechtilé kovy, použití na dosedací plochy ventilů, čerpadla a armatury
- Příklad: - Slitiny STELLIT složení: Co základ, cca 25%Cr, 6÷18%W, 0,2÷2,5%C.
- Mosazné pájky s karbidy wolframu 2 – 8 (12) mm

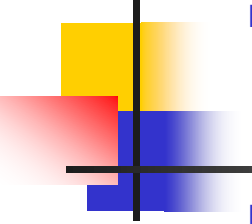
Plamenem pájené karbidy WC

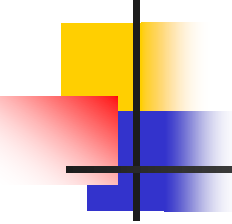


Přídavný materiál typu WC



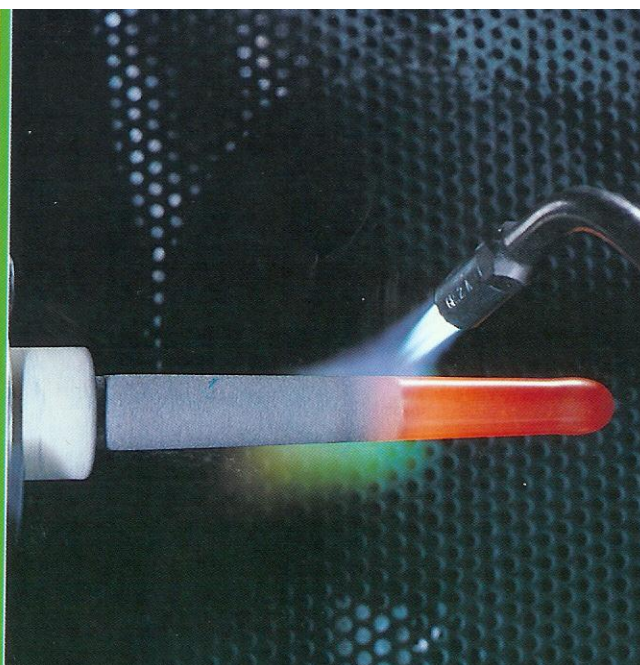
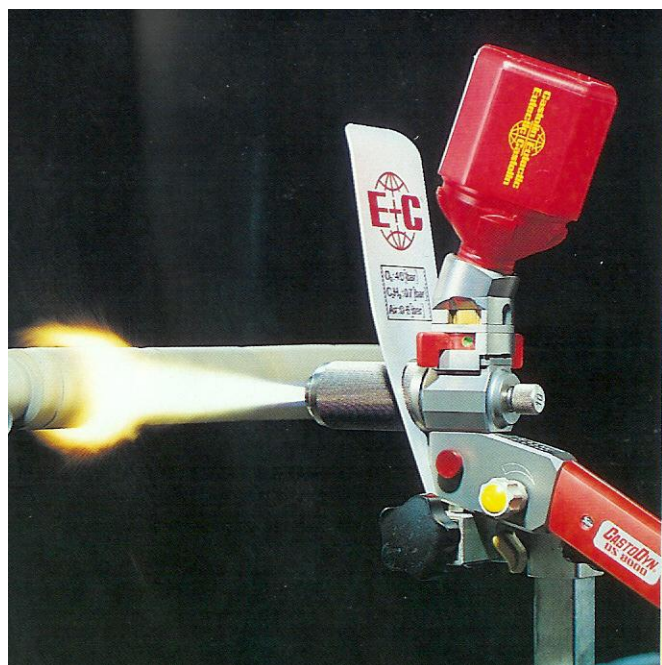
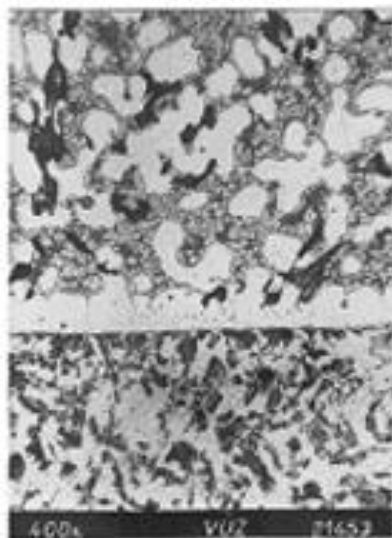
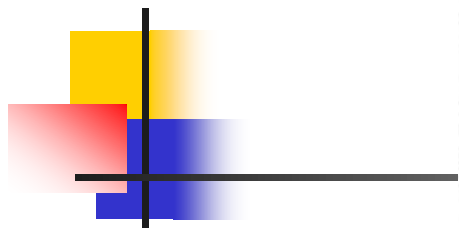
DVOUFÁZOVÝ NÁVAR

- 
- Technologie založená na přetavení naneseného povlaku materiálu na bázi niklu. Difúzní spoj bez natavení ZM!
 - Postup:
 - 1) Předehřev –z důvodu lepší přilnavosti a omezení odrazu částic
PM ($T_p = 300^\circ\text{C}$)
 - 2) Nástrík – celé plochy → protioxidační povlak
0,3÷0,5mm
 - 3) Přetavení protioxidačního povlaku na tl. cca
0,1mm tl. bez PM (přidáváním PM)
 - 4) Podáváním PM a tavením vytvořit odpovídající
tloušťku návaru
 - Přetavení $T_{př.} = 1100^\circ\text{C}$ s nízkou rychlostí plamene
 $v < 90\text{m/s}$
 - Požadavkem je vysoký výkon hořáku → rychleji se
nataví povrch

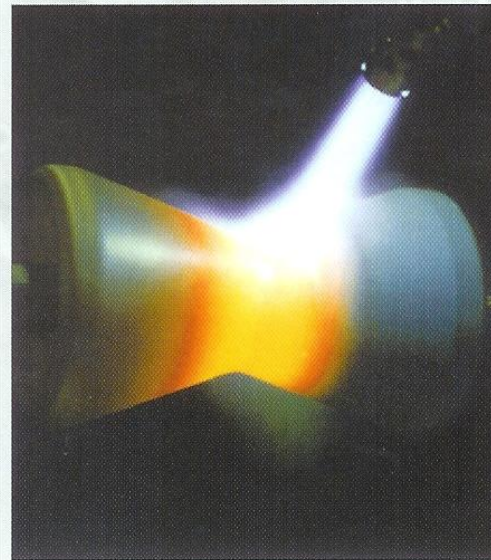
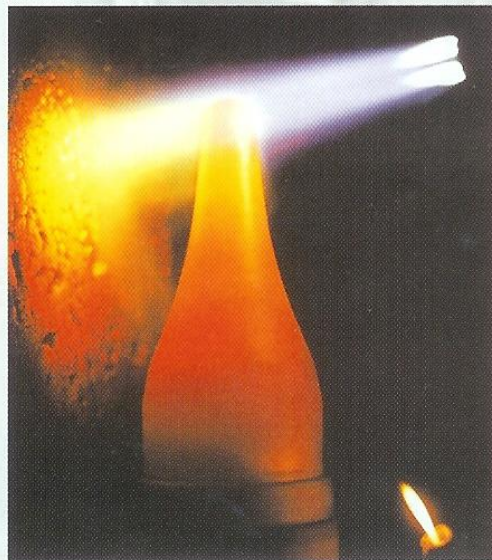


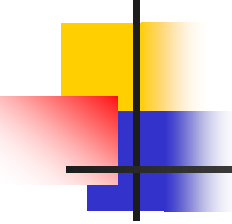
Materiál

- Přídavný materiál – základ Ni, B, Si tvrdost v rozmezí 20÷65HRC dle legujících přísad – Cr, W, Mo, V, atd.
- Tvrdost zajišťují a boridy a silicidy → Cr, B, Cr₃B₂, CrB₂, Ni₃B, Ni₃B₄+Si
- B působí jako tavidlo (oxid boritý)
- Další leg. prvky: C, Cr, W, Mo, Cu tvoří karbidy - WC, W₂C, Cr₃C₃ – vynikající vlast. odolnost proti zadírání do 550°C při měř. zatížení 55Mpa (dobré kluzné vlast.)
- Využití: - třecí dvojice, ložiskové uložení....



Proces přetavení nástřiku





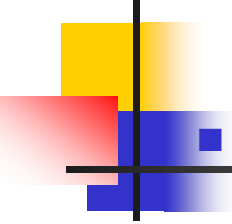
NAVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

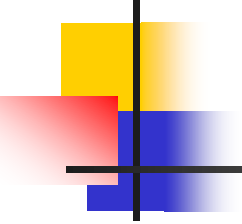
- **Charakteristika:** - bodové tepelné zatížení, rychlost navařování je mnohem vyšší než u plamene, díky bod. tep. zatížení je nebezpečí vzniku trhlin (nad 0,3%C v ZM)→jeden z důvodu přehřevu, při navařování obloukem první vrstva vykazuje zředění cca 50% → pokles tvrdosti, vysoká rychlost ochlazení způsobí zakalení.

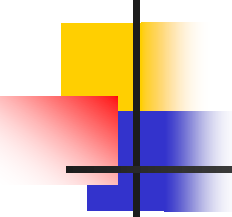
Promísení návaru se základním materiálem

Metoda	Promísení [%]	Počet vrstev	Síla [mm]
Navařování plamenem	3 - 5	1 - 3	3
Ruční obalenou elektrodou	10 - 30	2 - 4	3 - 6
TIG-navařování	7 - 15	1 - 3	3
MIG-navařování	13 - 30	2 - 4	6
MIG-PULS	6 - 20	2 - 3	4 - 8
MIG + studený drát	5 - 15	1 - 2	4 - 8
MAG-navařování	25 - 45	3 - 5	6
Pod tavidlem- jeden drát	30 - 50	3 - 4	10
Pod tavidlem- více drátů	15 - 30	2 - 3	6
Pod tavidlem - páska	8 - 20	1 - 3	4 - 6
PLASMA- horký drát	7 - 60	1 - 3	2 - 7
Elektro struskové- páska	5 - 10	1 - 2	4 - 5
MOG-trubičky s vlastní ochrannou	20 - 40	2 - 3	4 - 8

Zásady pro navařování el.obloukem

- 
- Opravované místo očistit do kovového lesku. Hrany srazit, vylomení a trhliny jdoucí do hloubky opracovat do tvaru U a povrchy zkontrolovat a očistit, eventuálně odmastit. Trhliny na koncích odvrtat nebo příčně převařit a vyplnit. Oblouk zapalovat na svaru, ne na povrchu dílu.
 - Předehřívat dle materiálu, ale i geometrie. Např. pro malé opravy hran stačí místní předehřev o cca 100°C nižší než uprostřed masivního dílu.
 - Obtížně svařitelné materiály navařit nejprve mezivrstvou, též díly již opravované pro dosažení homogenity povrchu. Použít houževnaté materiály nižší až střední tvrdosti, stejně tak i pro výplně větší tloušťky. Přídavné materiály musí být čisté, obalené elektrody suché.

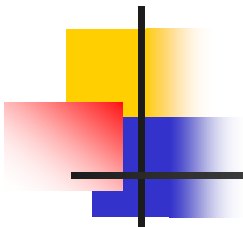
- 
- **Oceli náchylné k praskání** svařovat s minimálním vneseným teplem tj. malým průměrem přídavného materiálu, nízkým proudem, bez kývání rovnými housenkami (nebezpečí vzniku trhlin napětím při smrštění velké lázně). Často odstraňovat zbytky strusky.
 - **Plněné dráty** pro svařování v ochranném plynu jsou vhodné pro spojovací svary, zavaření trhlin a jakostnější návar. Produkují navíc méně zplodin a proto jsou i pro práci v dílně vhodnější.
 - *Typy s vlastní ochranou* jsou určeny zejména pro navařování a vhodnější pro práci ve venkovním prostředí, kde může být ochrana běžným plynem vlivem větru horší. Při práci v dílně nutno zabezpečit dostatečné větrání.

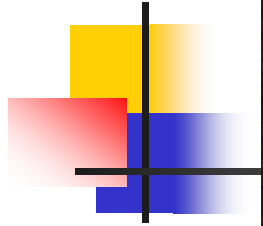


NAVAŘOVÁNÍ RUČNÍ OBALENOU ELEKTRODOU

Zásady pro navařování ruční obalenou elektrodou:

- - použití elektrody s bazickým nebo rutilovým obalem
- - sušení elektrod 100°C/h + 350°C/2h, krátké housenky (50mm)
- - používá se bazický obal → rafinace ↓P,S a dezoxidace ↓O₂
- - tzv. studená struska má velký vliv na propal legujících prvků. Samotné legování lze provádět obalem(Cr). – Vodivý obal - obsahuje kovy → oblouk se dá zapálit přes obal.
- - požadavek na vodorovné navařování v PA (vysoká tekutost návarových kovů)
- - krátký oblouk bez rozkyvu → doporučuje se rovné vedení
- - předehřev → snížení teplotního rozdílu mezi místem svařování a materiálem a prodloužení doby tuhnutí, vyrovnání tep. roztažností mat. a návarového mat.
- - dohřev buď v peci nebo zábalu, zásypu



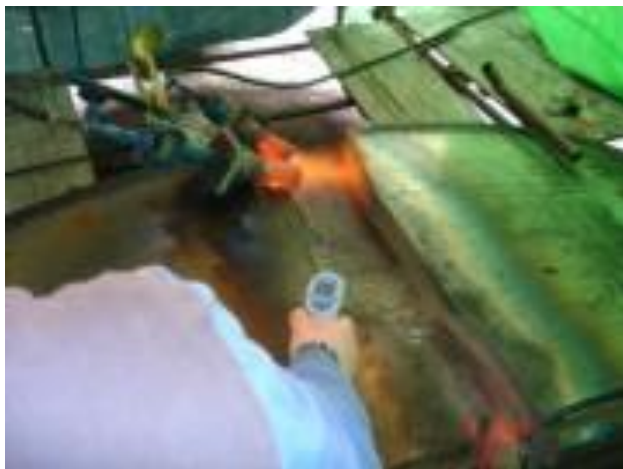
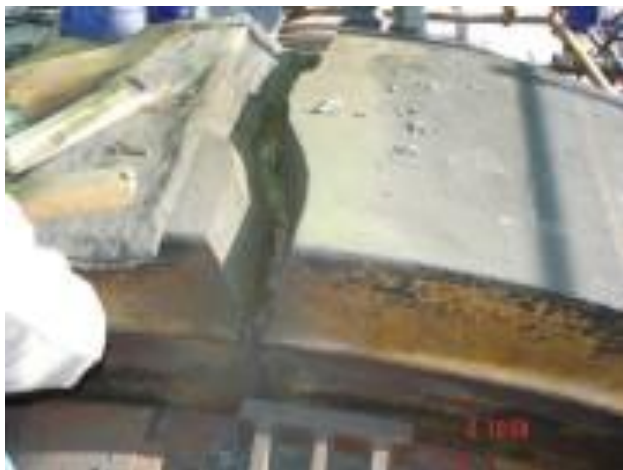




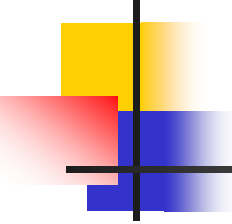
Cementárna **HOLCIM** Prachovice - provedena oprava praskliny opěrného prstence rotační pece na výrobu cementu.

- Prstenec má průměr 8m, šířku 1,5m a tl. 0,8m. Materiál ocel tř. 12 050. Trhliny se vydrážkovaly uhlíkovými drážkovacími elektrodami. Jako přídatný materiál byla zvolena obalená elektroda WELCO 1625 průměr 6mm. Předehřev na teplotu 300°C byl prováděn plynovými hořáky. Podmínky pro práci byly velmi nepříznivé, protože venkovní teplota dosahovala -20 °C ! Na tento jediný svar se spotřebovalo 285 kg elektrod WELCO 1625 !

Oprava prstence rotační cementářenské pece

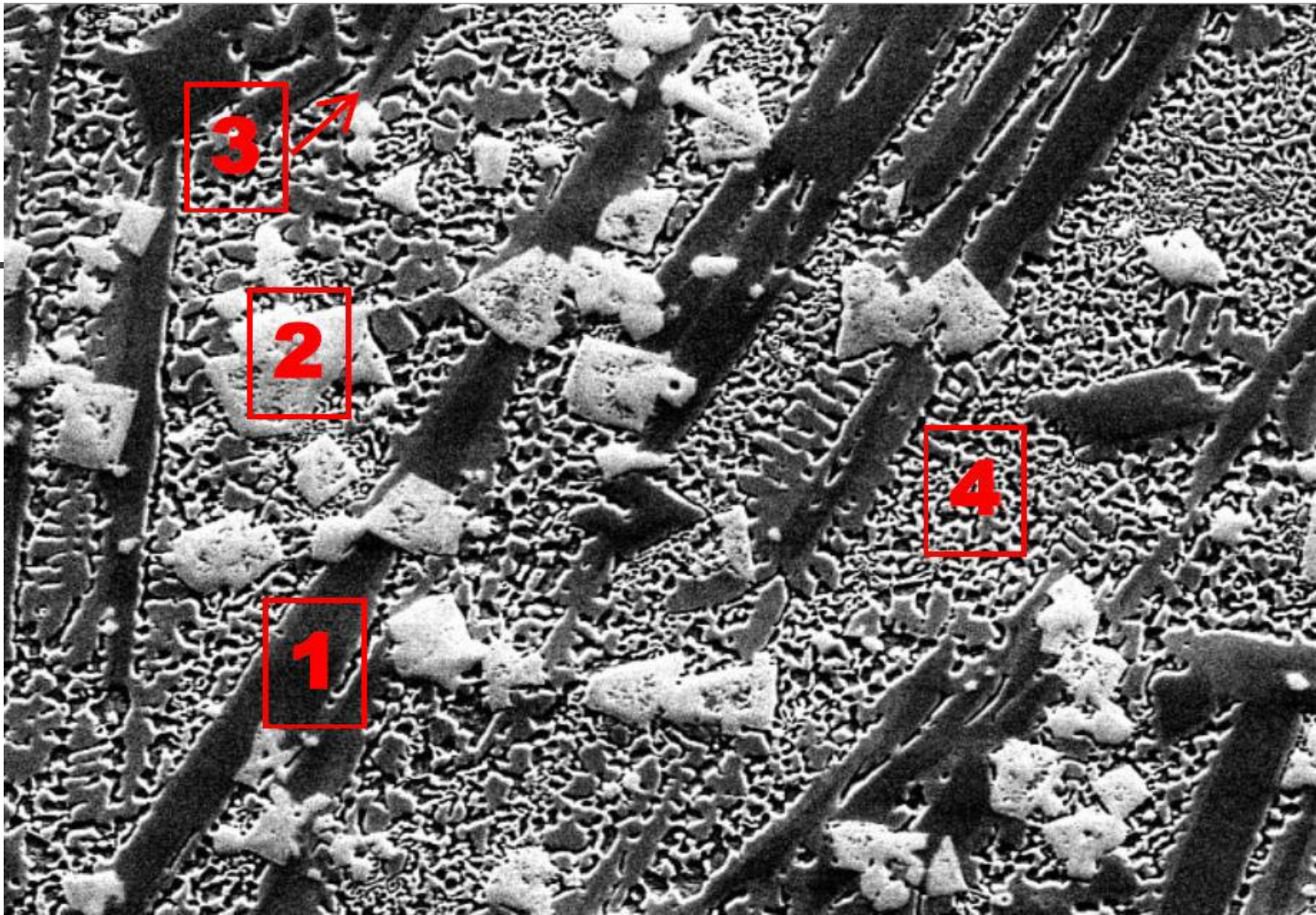


oprava, trvala
čtrnáct dnů !



Navařování v ochranných plynech MIG/MAG, WIG,

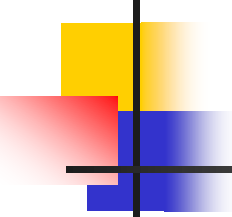
- Používají se především **plněné dráty** s náplní legujících prvků, karbidů a struskotvorných přísad.
- Rozměry plněných drátů od 1,2 do 2,0 mm
- Př.: Železné slitiny na bázi Fe s legováním Cr 5 ÷ 30%, obsah C 0,2 ÷ 3,8%, v některých typech až 5,5% a pro zvýšení pevnosti Mo až do 16%.
- WIG – zde se spec. vyrábí návarové mat. v oblasti nástrojových ocelí → tlakové lití, zápustky, formy, nízký proud, dlouhé pulzy (ztuhnutí lázně), Ø W elektrody 0,5mm



Struktura návarového kovu ABRA-MAX O/G

1. jehlicovité karbo-boridy chrómu 2. boridy chrómu, vanadu, wolframu a křemíku 3. karbo-boridy niobu 4. ultra jemné boridy Cr, W, V, Mo, Mn

Nejpoužívanější přídatné materiály pro nástrojové oceli

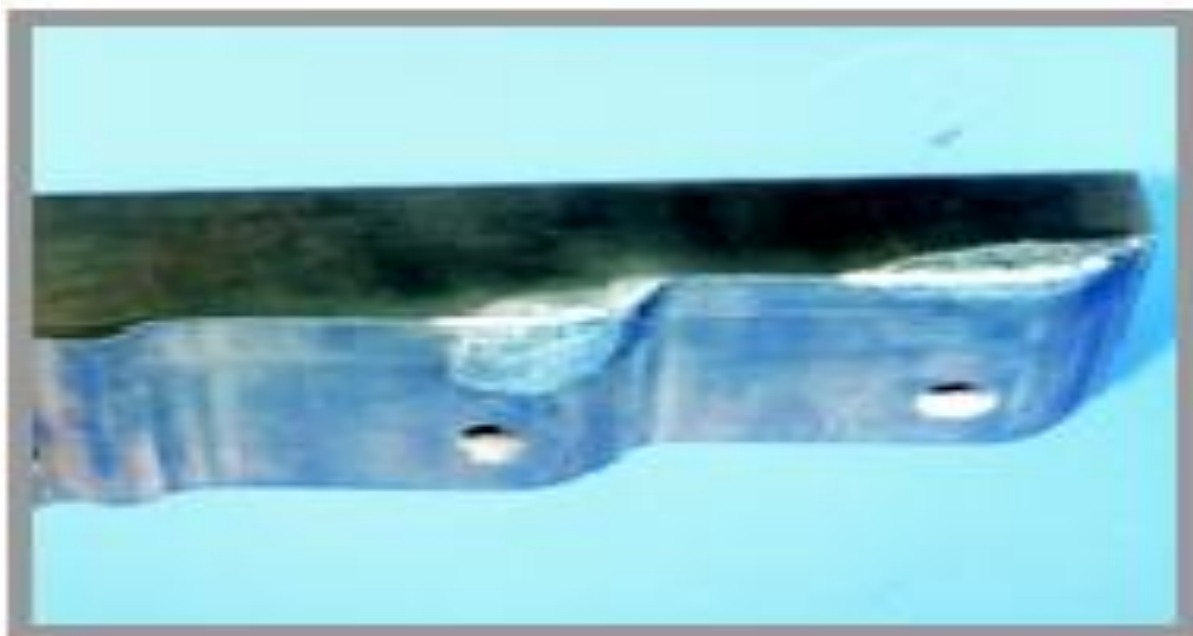


Typ	C	Cr	Mo	W	V	Co
SE DUR 45R	0,25	2,5		4,5	0,6	
SE DUR 59R	0,6	4,8	3,5	3,5		
SE DUR 60 R	0,9	4,5	8,0	2,0	1,5	
SE DUR 61 R	0,8	4,5	1,0	18,0	1,5	5,0
SE DUR 300	0,1	3,0				

Obalených elektrod řady DUR je více typů, ale výše uvedené jsou nejpoužívanější.

Materiály pro metody MIG/MAG a TIG:

FDE DUR WZ50	0,3	2,5		4,5	0,6	
FDE DUR WZ59	0,6	4,0	3,5	3,5		
SD DURW Z60	0,85	4,3	5,0	6,4	1,9	
FDE DUR 300	0,1	2,0	0,4			
SD DUR 600	0,45	9,5				
FDE DUR 601	0,5	6,0	1,6		1,5	
SD DUR 650	0,36	5,2	1,4	1,3	0,3	
FDE DUR WZ 55	0,3	2,5	2,0	7,0	0,3	



Značení návarových materiálů dle EN 14 700

Plný drát EN 14700 **S Fe2**

Plný drát pro
MAG- navařování

p: rázy a údery

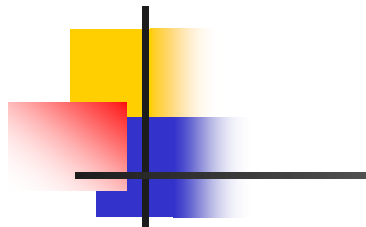
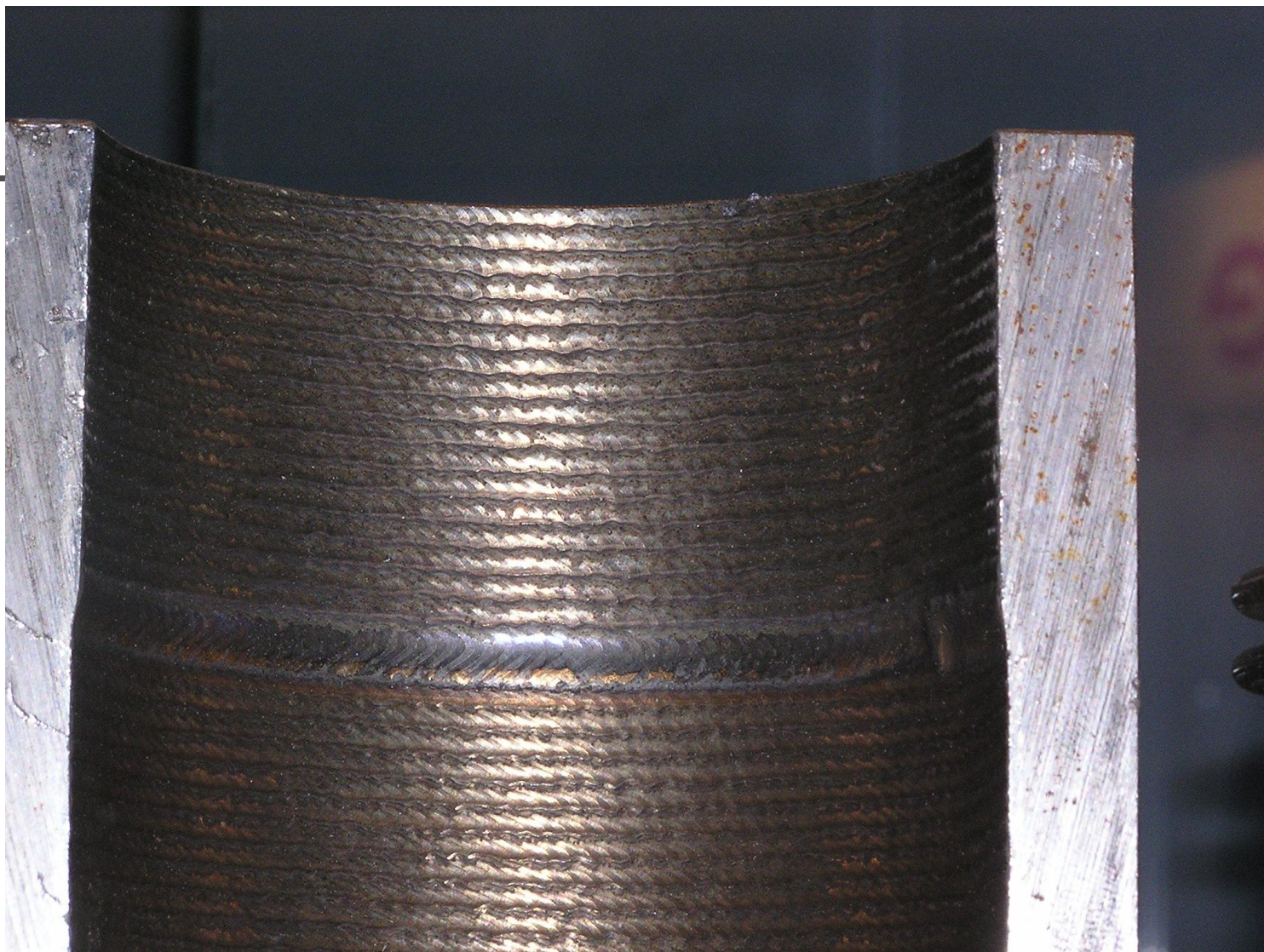
C	Cr	Mn	HR _C
0,4-1,2	< 7,0	0,5-0,3	40-55

Trubičkový drát EN 14700 **T Fe9**

Trubičkový drát pro
MAG-navařování

k: mechan. vytvrditelný
p: rázy a údery

C	Cr	Ni	Mn	Mo	HR _C
0,3-1,2	<19,0	<3,0	11-18	<2	40-50



- Návar bronzovým drátem v ochranné atmosféře
- Návar oceli na ložiskové uložení hřídele

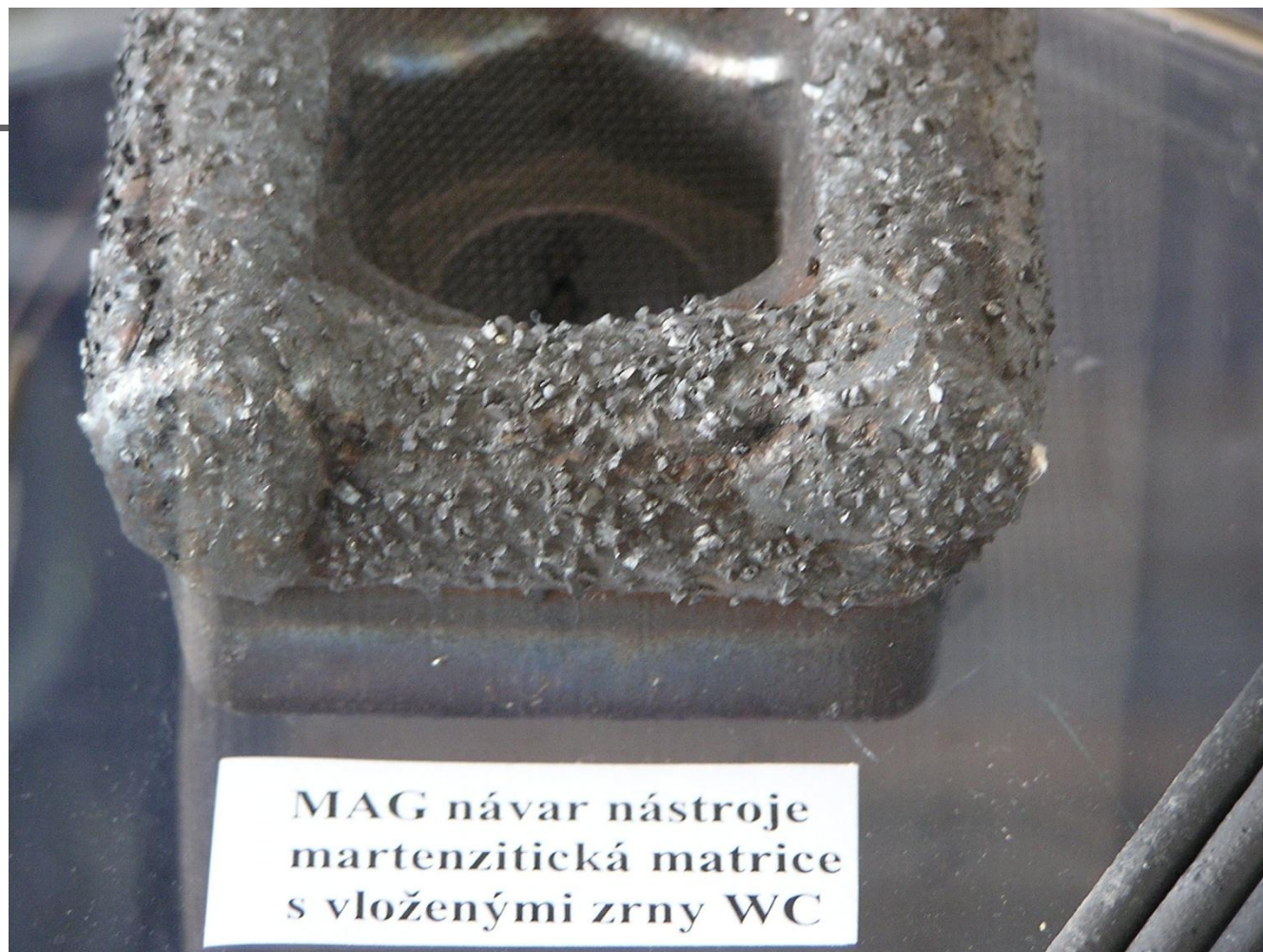
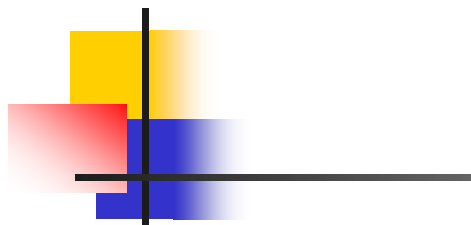


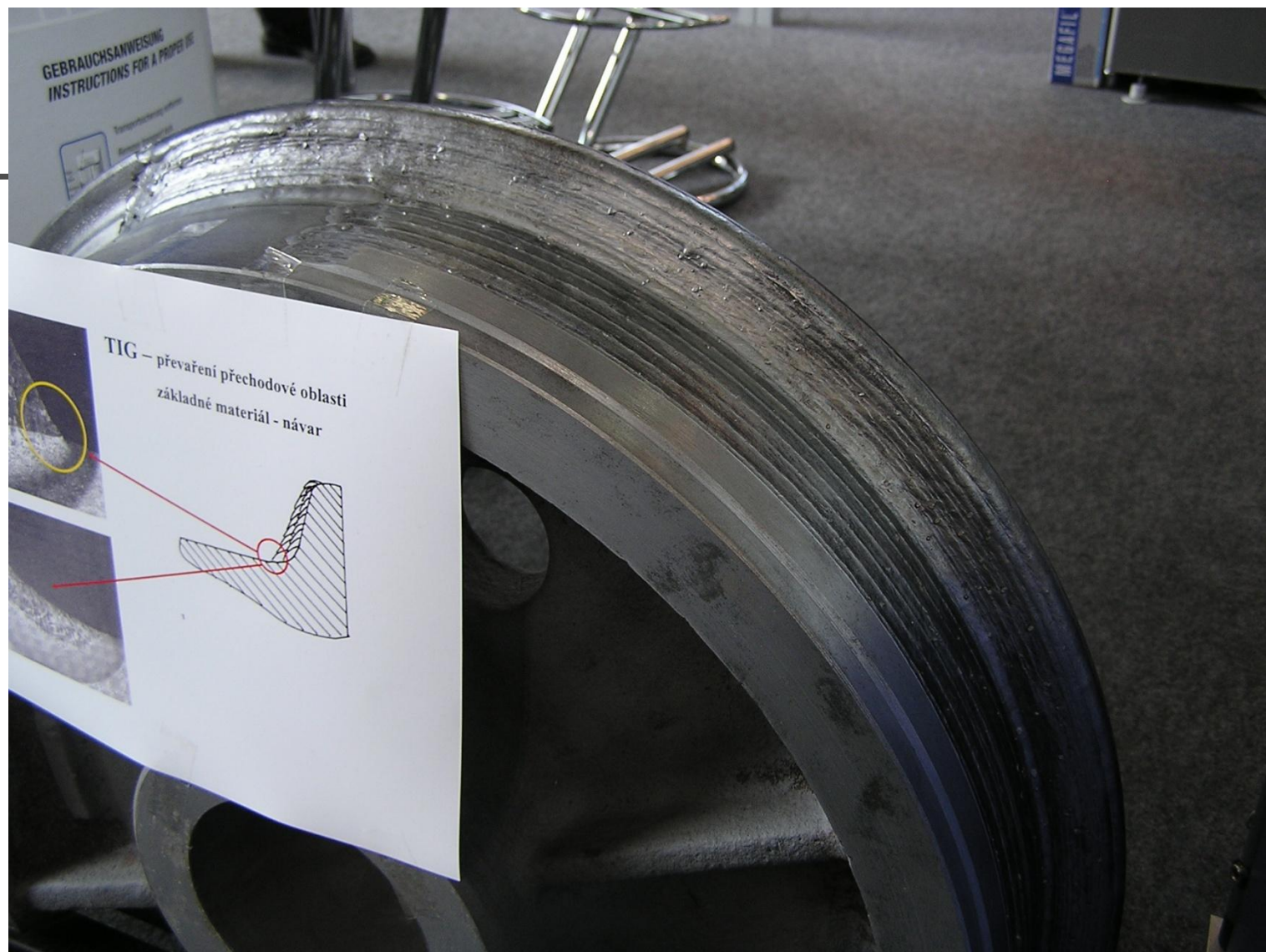


- NanoSteel dodává abrazivzdorné desky navařené slitinou SHS 9700 pro vyložení těžebních a stavebních mechanismů, a zařízení v energetice. Foto: NanoSteel
- Slitiny 9700 Borokarbidy tvrdost HRC 66-69



- Dumpéry s korbou vyloženou deskami navařenými slitinou SHS 9700 přepravily 3,8 mil. tun rudy bez výraznějšího poškození desek abrazí





Návary pod tavidlem

Používají se všechny druhy drátů, plněných drátů, pásků a plněných pásků.

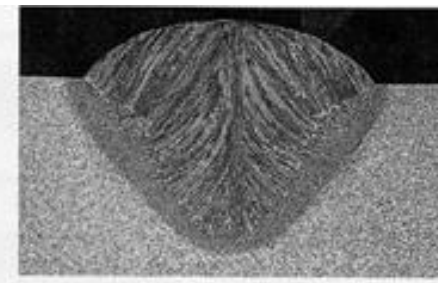
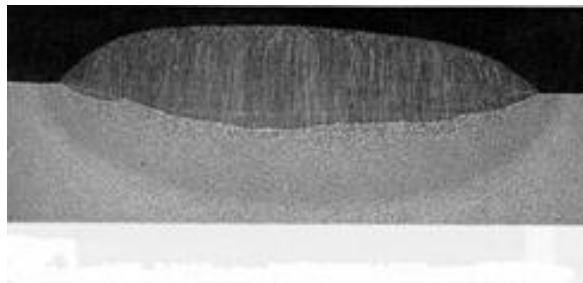
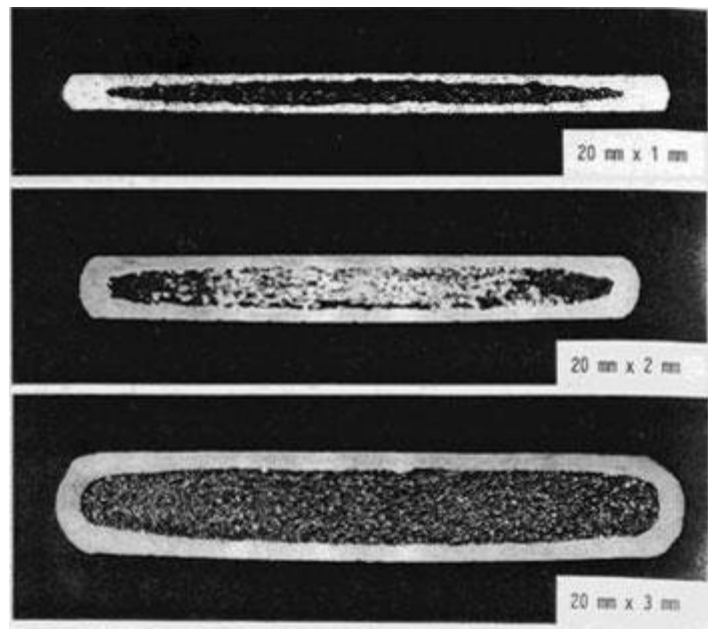
■ **Návary:**

- korozivzdorné → jedná se o páskový PM tl. 0,5 x 20-60mm (na plošný návar)
- navařovací plněné pásky → tl 1÷3mm x 20÷40mm, chem. složení PM je až ve 3 vrstvě návaru a v těch prvních dvou jsou návary zředěné.

■ **Legování tavidlem př.:**

- drát A-102 + tavidlo F104 →
s.k. C-0,2% – Cr – 0%tvrdost 200HB,
- drát A-102 + legující tavidlo FK504 →
s.k. C-0,5% – Cr- 3,5% tvrdost 500HB

Materiály fa. WIRPO



Navařování plněnou páskou

Velikost : 19mm x 1mm

Proud : 700 A

Napětí : 26 V

Rychlost svařování: 30 cm/min

Promísení : 32 %

Navařování plným drátem

Průměr : 4 mm

Proud : 700 A

Napětí : 32 V

Rychlost svařování: 60 cm/min

Promísení : 63 %

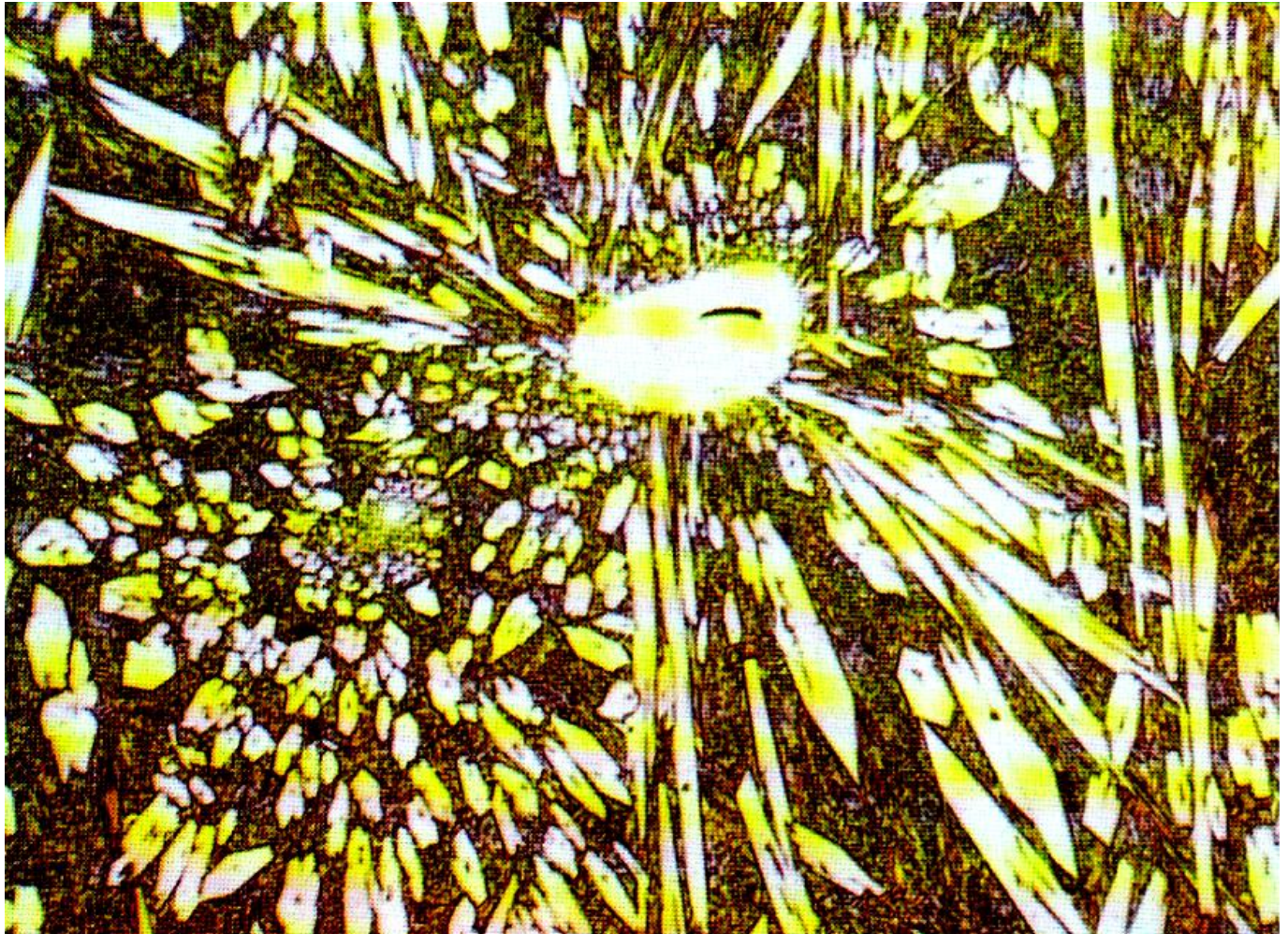
Návary válcových částí pod tavidlem



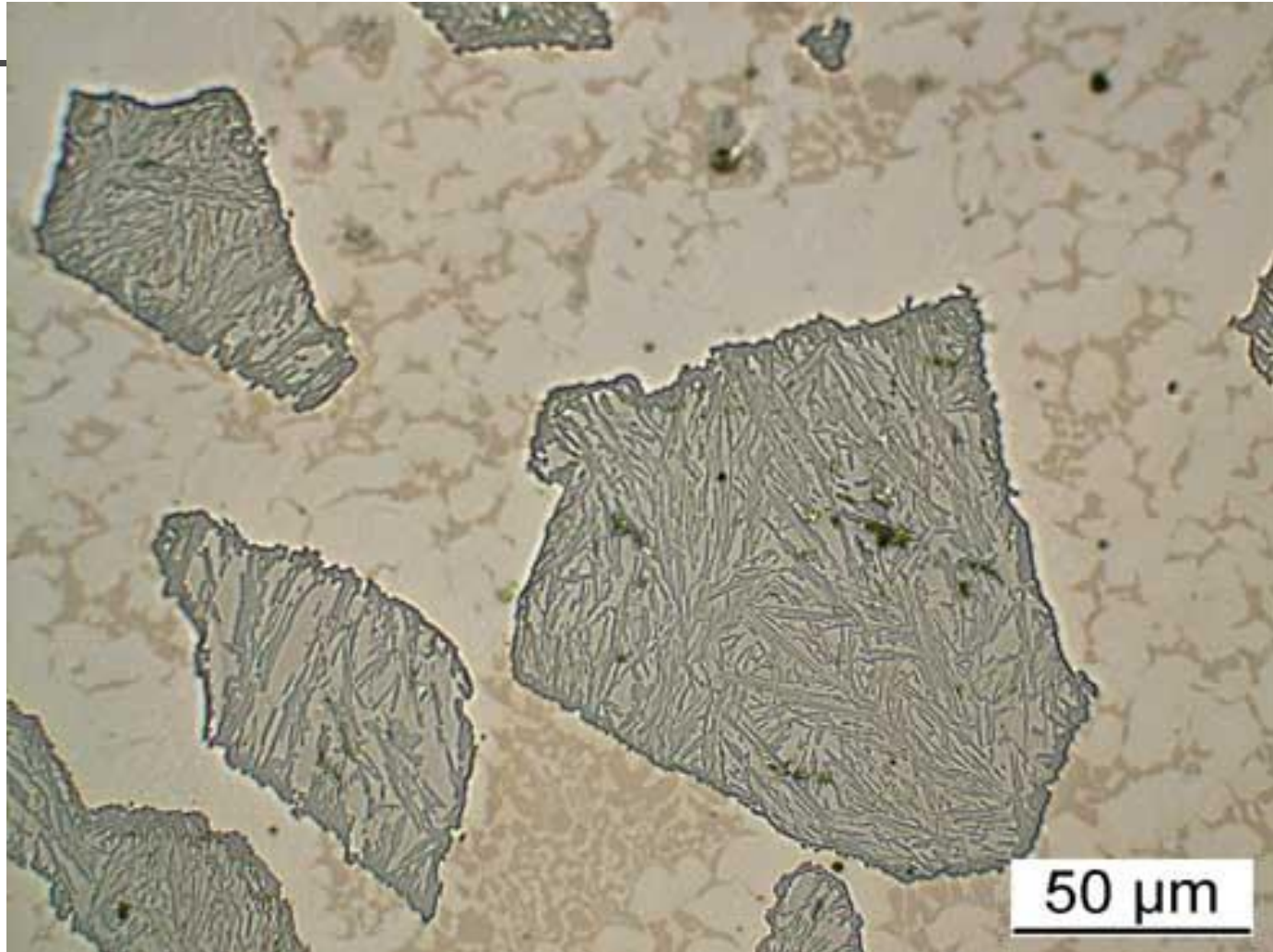
Ukázka navařeného síta v lomech

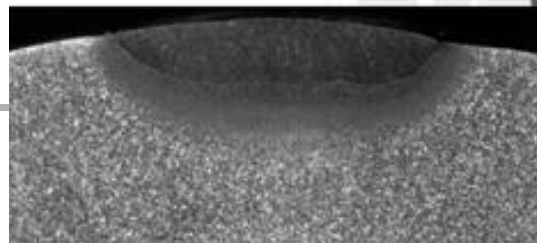
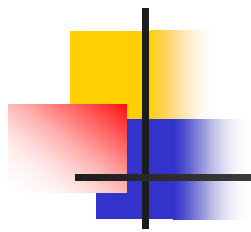


Primárně z taveniny vyloučené karbidy chrómu



Karbidy wolframu uložené v kovové matici





Navařování Rifflex

Tato metoda je vhodná pro navaření na valivé povrchy železničních kolejí používaných u železničních vozů a tramvají. Železniční koleje jsou citlivé na zvlnění na určitých kolejových segmentech. Mohou to být především místa v zatáčkách, brzdící plochy a výhybky. Zvlnění vede k vytvoření nerovnoměrného povrchu a toto má negativní vliv na bezpečnost a jízdní komfort. Hladina hluku se značně zvýší stejně tak, jako napětí působící na vozy. Před provedením návaru musí být na povrchu vytvořena drážka s hloubkou 2 mm. Vydrážkovaná plocha je navařena plněnou páskou se šířkou 15 mm jednou vrstvou. Forma návaru odpovídá profilu kolejnice a vyžaduje menší broušení. U takových operací lze jako návarový kov používat plněné pásky 4. a 6. skupiny.

Plněné pásky pro navařování pod tavidlem, pro otěruvzdorné vrstvy výrobce-Drahtzug Stein

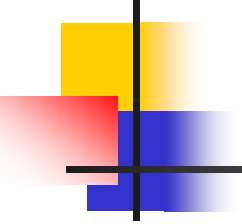
Gr.	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	Hardness
1	0,03-0,06	0,20-0,30	1,30-1,50	---	0,0-2,0	0,0-5,0	---	---	---	200 Hv10
2	0,08-0,15	0,15-0,25	0,70-0,80	2,20-2,80	---	0,80-1,20	---	---	---	300 HB30
3	0,12-0,18	0,25-0,35	1,45-1,60	4,50-6,00	---	1,50-3,20	---	---	---	42 HRc
4	0,30-0,50	0,50-2,50	1,45-1,60	5,50-9,00	---	0-1,60	---	0-2,00	---	57 HRc
5	5,00-6,00	1,00-1,50	0,60-1,20	18,0-30,0	---	0-3,60	0-1,0	0-1,0	5,0-7,0	65 HRc
6	0,10-0,35	0,60-0,90	1,00-1,40	13,0-15,0	1,50-3,50	0,50-2,00	---	---	---	46 HRc

Dimension (mm)	Welding current (A)	Welding stress (V)	Deposition rate (kg/h)
10 x 1	400 - 600	24 - 25	6,0 - 10,0
15 x 1	450 - 700	24 - 26	6,5 - 11,0
20 x 1	500 - 800	24 - 27	7,0 - 12,0
25 x 1	580 - 900	25 - 28	8,0 - 13,5
30 x 1	650 - 1000	25 - 29	8,0 - 15,0

Navařování opotřebených oblouků kolejnic MHD







Navařovací zařízení RAIL WALKER™ a RAIL HOPPER™

- Jsou určena pro rekonstrukci hlav kolejnic progresivní technologií navařováním automatem pod tavidlem bez předeřevu. Jedná se především o navařování opotřebovaných tramvajových oblouků, kolejových křížení, hrotů srdcovek, křídlových kolejnic, případně o preventivní navařování nových kolejnic za účelem dosažení zvýšené odolnosti proti opotřebení.

Elektrostruskové navařování nerezavějící páskovou elektrodou

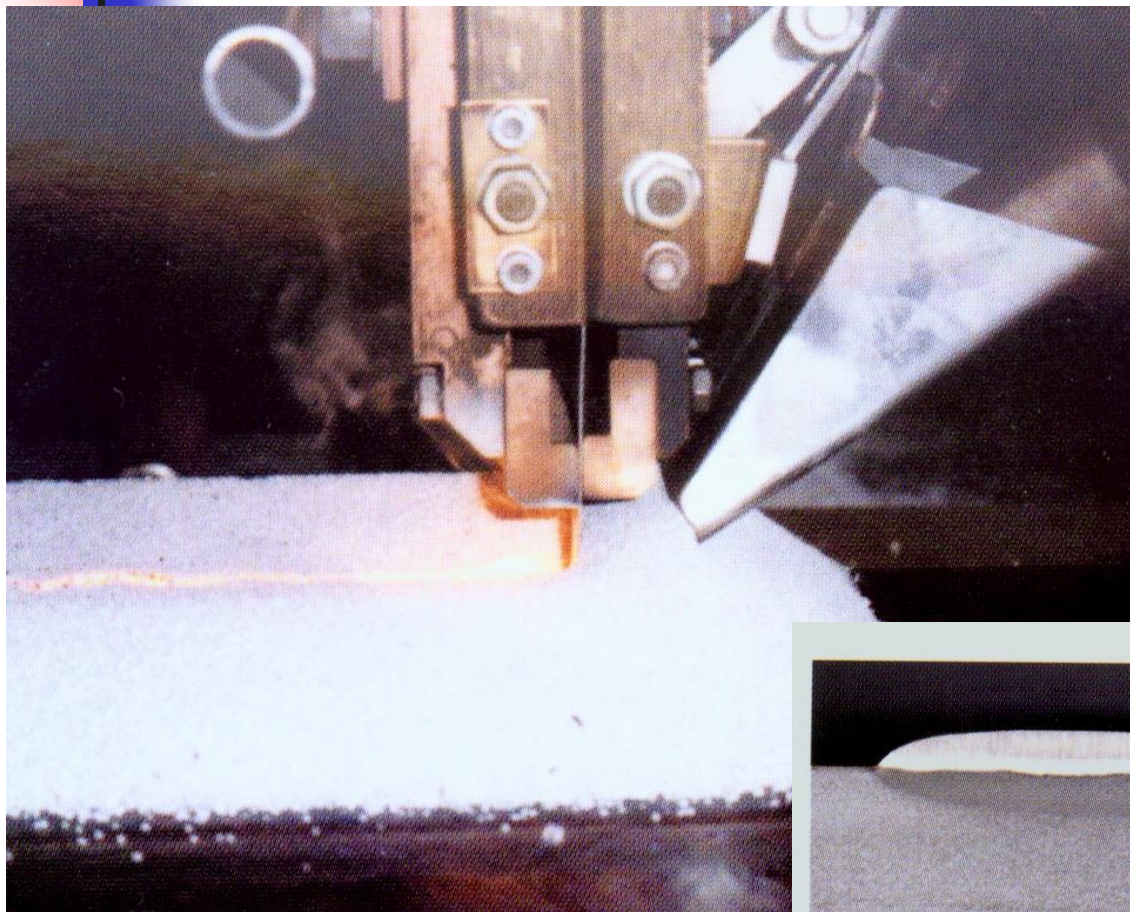
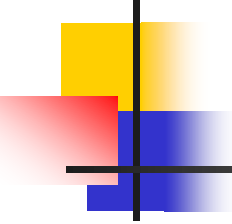


Fig. 11. Cross-section of an Inconel 625-cladding.

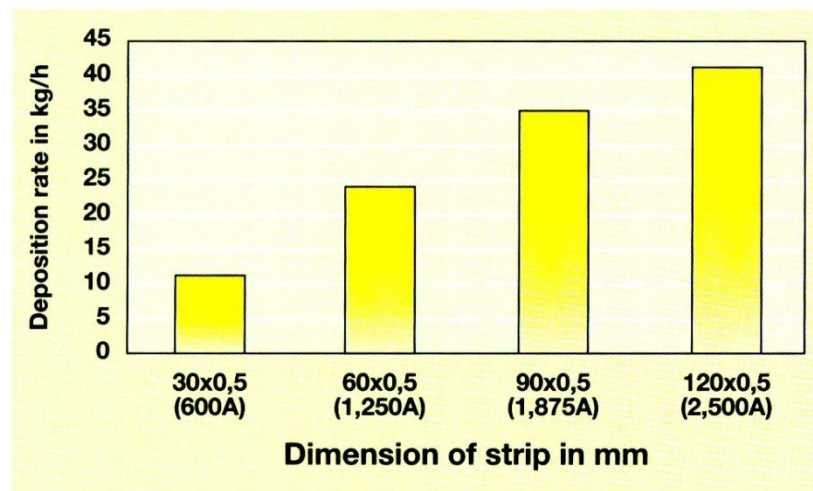
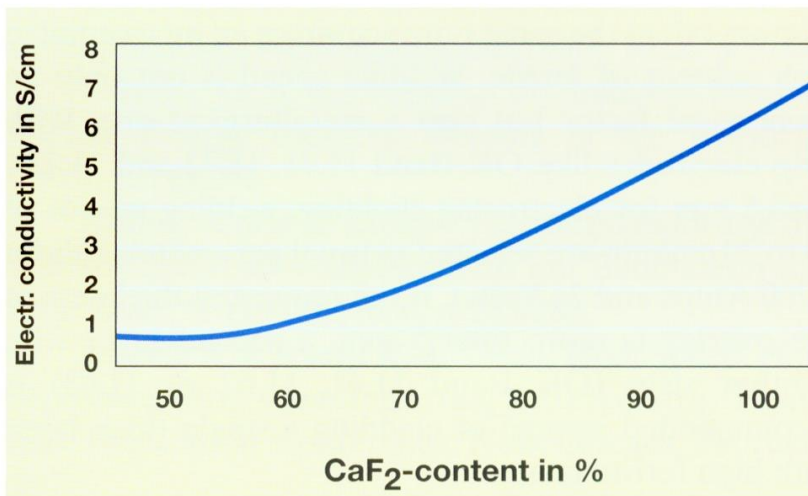


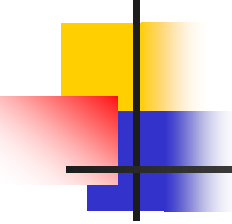
Chemické složení pásek

- Nerezavějící ocel osm typů:
- C – 0,01 až 0,02 %
- Cr – 18,5 až 24,0 %
- Ni – 10,0 až 13 %
- Dva typy Mo – 2,8 a 3,0 %
- Tři typy Nb – 0,6 %
- Ni slitina dva typy:
- C – 0,02 až 0,03 %
- Cr – 20 až 22 %
- Mo – 9,0 %

Vliv elektrické vodivosti na obsahu fluoridu vápenatého při teplotě 1700° C

Zvyšování výkonu navaření na rozměrech pásky a výkonu navařování



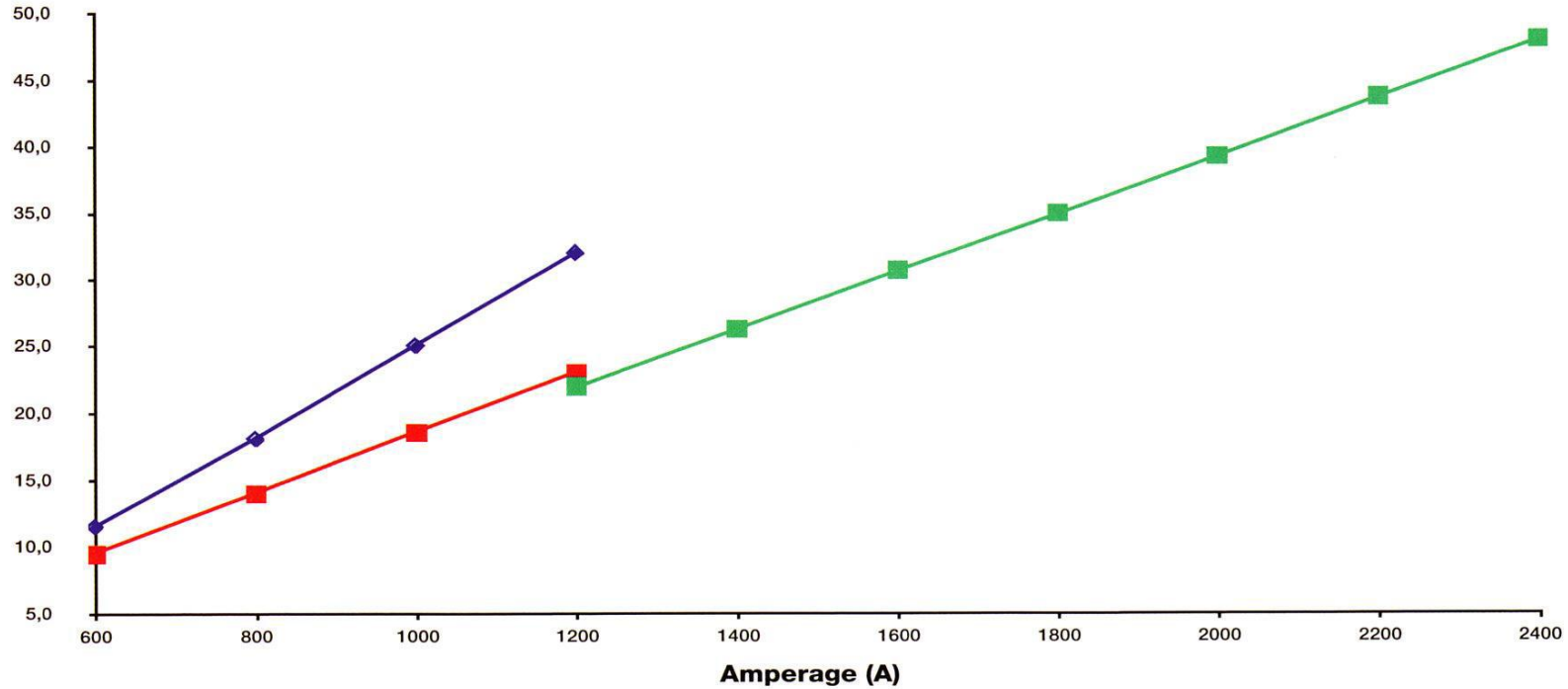


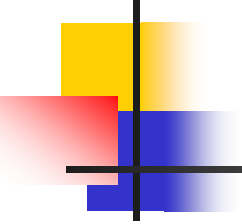
Ve srovnání s navařováním pod tavidlem má elektrostruskové navařování následující výhody:

- ⑩ zvýšení výkonu navaření o 60 až 80 %
- ⑩ malé zředění základním materiálem
- ⑩ nižší napětí na oblouku 24 až 26 V
- ⑩ vyšší svařovací proud a proudová hustota (33 až 45 A/mm²)
- ⑩ zvýšení svařovací rychlosti o 50 až 100%
- ⑩ srovnatelné vnesené teplo do základního materiálu
- ⑩ nižší spotřeba tavidla - 0,5 až 0,8 kg/kg páskové elektrody

Deposition rate - SAW / ESW

(kg/hr)

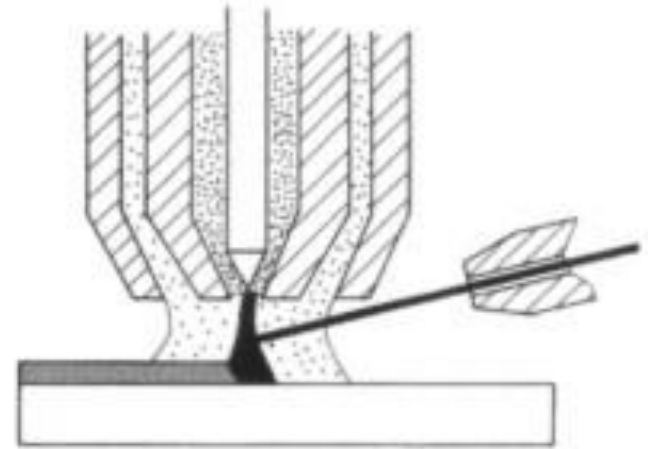
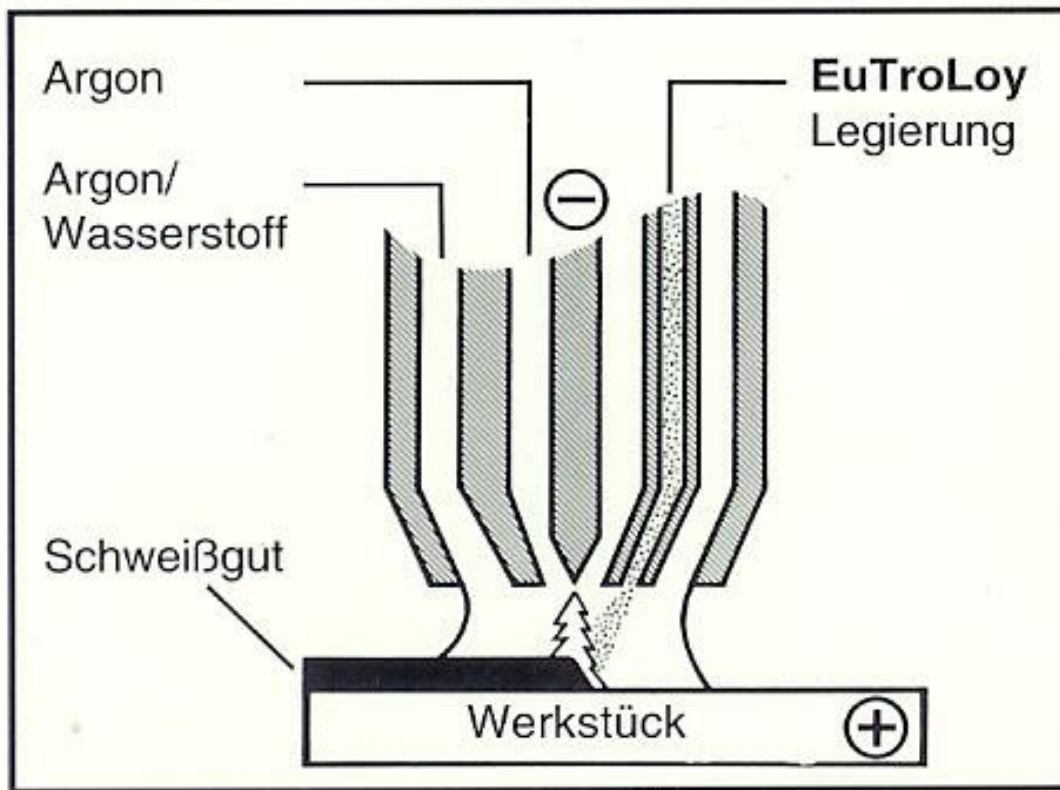


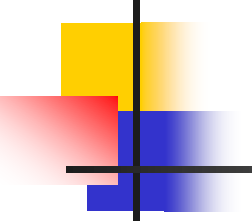


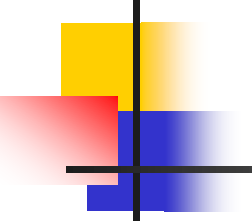
Navařování plazmou

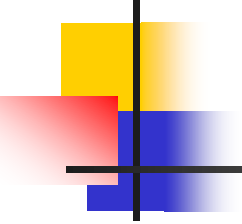
- Charakteristika: - penízkový vzhled návaru, výtěžnost prášku 95%, vysoká čistota a hladkost návaru. Vrstva promísení nad 10% je maximálně do hloubky 0,5 mm od rozhraní základní materiál – návar. Požadované vlastnosti návaru deklarované složením přídatného materiálu lze očekávat od tloušťky návaru cca 1 mm.
- Využití: - dosedací plochy výfukových ventilů navařené STELLITEM, dopravní šneky, formy, tvářecí nástroje

Princip navařování plasmou

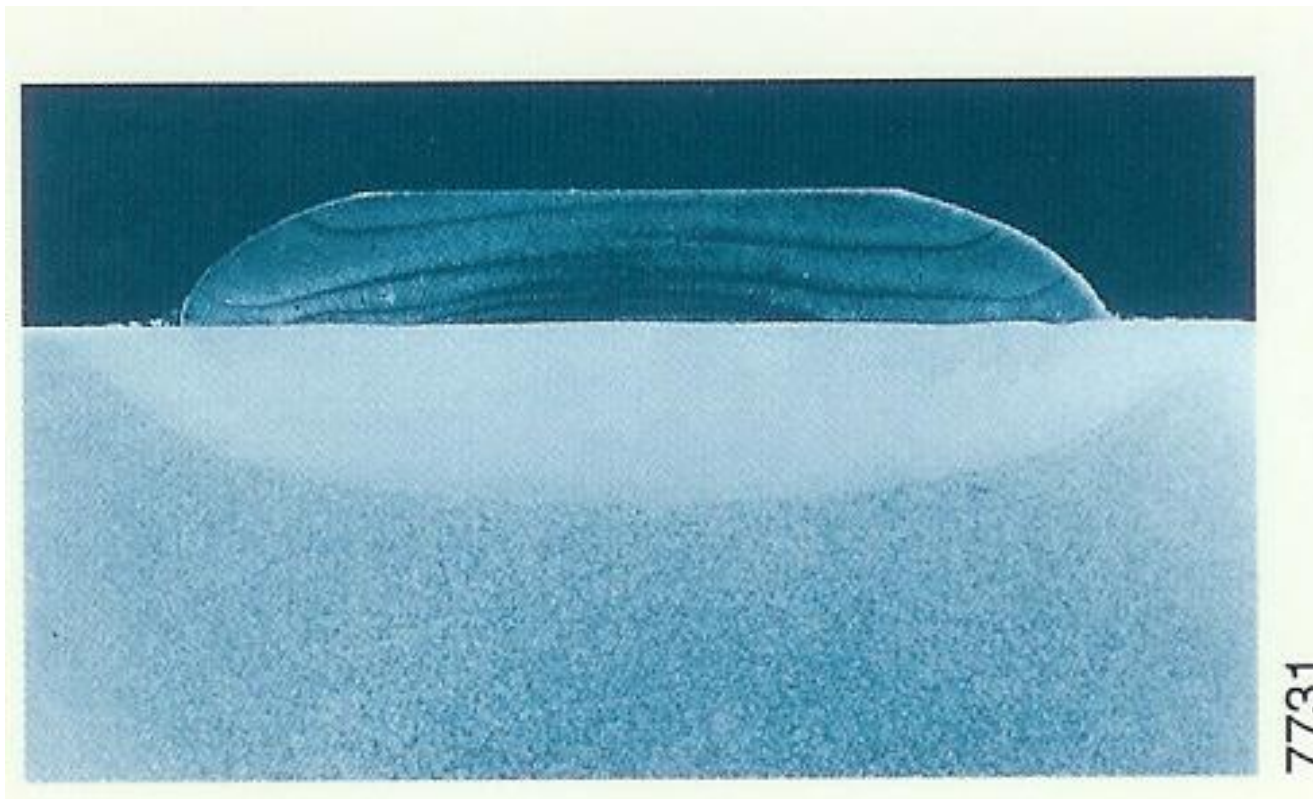


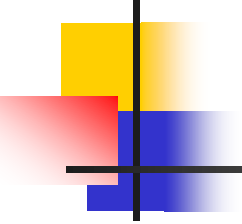
- 
- Návary jsou bez pórů, bublin a ředin s metalurgickým spojením se základním materiálem, - velmi malé přídavky na opracování návaru cca 0,5mm, - minimální propal legujících prvků.
 - Mikroplazmové navařování lze také úspěšně použít pro navařování plošných návarů například poškozených vtokových kanálů, erodovaných stěn nebo funkčních ploch forem při havarijních situacích. Nejvhodnější složení přídavných materiálů je stejné jako základní materiál forem.

- 
- Pro navařování plazmou se nejčastěji používají přídatné materiály ve formě prášku, drátu nebo trubičky. Trubičky jsou velmi často plněné karbidy wolframu nebo chrómu.
 - Jako přídatné materiály se v současnosti používají především slitiny na bázi kobaltu, niklu a vysokolegovaných ocelí s tvrdostí od 250 HB do 70 HRC (FeCrNbVSiMnBC ,) a tepelnou odolností vybraných superslitin (CoCrNiMoC) do 900°C .
 - Materiály na bázi kobaltu je nejvýhodnější navařovat ve formě prášku.

- 
- Pro navařování materiálů na bázi železa se větším měřítku používá navařování plazmou se studeným drátem. Tento způsob navařování sice využívá výhodu levného přídavného materiálu, ale pro nízký výkon je ekonomicky výhodný jen pro menší návary, nebo opravy stávajících návarů. Tuto nevýhodu odstraňuje technologie plazmového navařování horkým drátem s širokým rozsahem výkonu natavení 0,5 - 6 kg/hod.

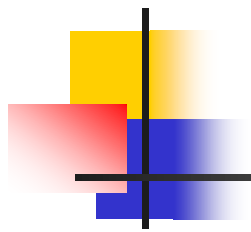
Řez návaru plasmou



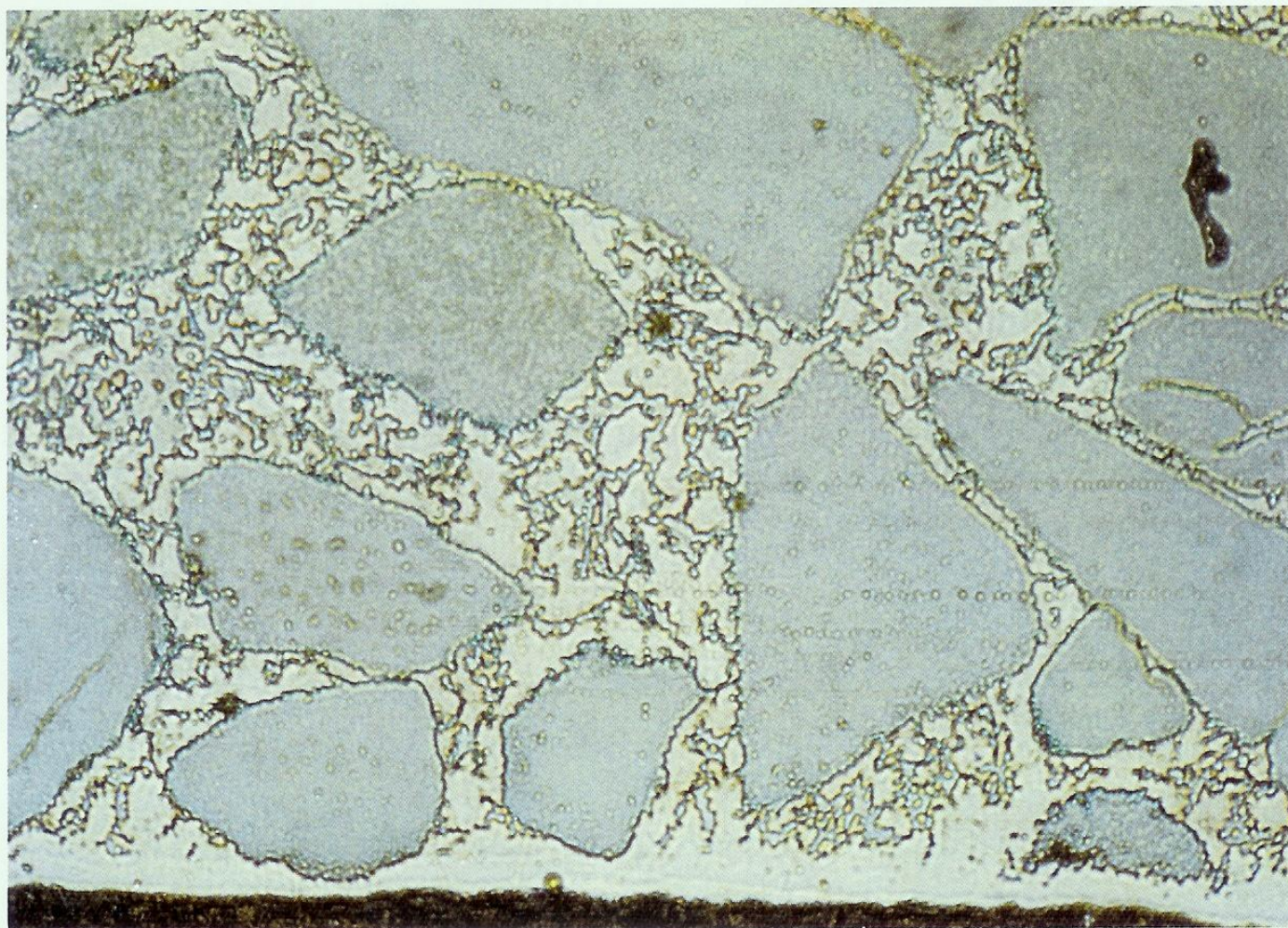
- 
- **Základní výhody plazmového navařování**
Minimální promísení se základním materiálem, lze použít již návar na jednu vrstvu o tloušťce 1-3 mm. Tato skutečnost zvyšuje produktivitu a ekonomiku proti klasickým mechanizovaným metodám navařování v ochranném plynu nebo pod tavidlem a vytváří předpoklad pro značnou úsporu navařovacích materiálů.
Minimální deformace navařované součásti vlivem nízkého tepelného ovlivnění.
Snížení nákladů na opracování návarů vzhledem k rovnoměrnosti a přesnosti navařené vrstvy. Rozměry návaru lze udržet v toleranci 0,5 mm.
Minimalizace vlivu lidského činitele na proces navařování a podstatné snížení vad návarů. Zvýšení hygieny, bezpečnosti a celkové úrovně práce.

■ PŘÍKLADY NAVAŘOVACÍCH MATERIÁLŮ

■ OZNAČENÍ	TYP MATERIÁLU	TVRDOST	PROVOZNÍ TEPLoty
■ UTP A DUR 250	FeCrSiMnTiC	250 HB	do 450 °C
■ UTP A DUR 350	FeCrSiMnTiC	450 HB	do 450°C
■ UTP A DUR 600	FeCrSiMnC	54 - 60 HRC	do 450 °C
■ UTP A DUR 650	FeCrSiMnMoVWC	55 - 60 HRC	do 500 °C
■ UTP A 8051 Ti	FeNiTiC	200 HB	do 500 °C
■ UTP A 5	FeSiMnC	200 HB	do 500 °C
■ UTP A LEDURIT 60	FeCrMnC	57 - 60 HRC	do 600 °C
■ UTP A CELSIT 721	CoCrNiMoC	30 - 32 HRC	do 900 °C
■ UTP A CELSIT 706 V	CoCrWC	40 - 42 HRC	do 900 °C
■ UTP A CELSIT F	CoCrNiWC	45 - 48 HRC	do 900 °C
■ UTP A CELSIT 712 SN	CoCrWC	48 - 50 HRC	do 900 °C

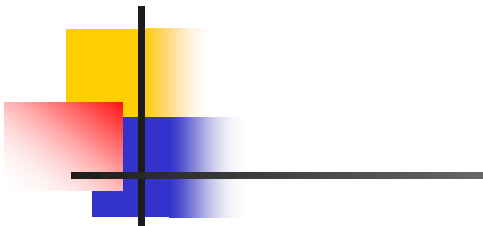


UTP AF LEDURIT 60	FeCrC	56 - 58 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 68	FeCrNbMnSiC	63 - 65 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 70	FeCrMoNbWVSiC	68 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 76	FeCrNbVSiMnBC	68 - 70 HRC	do 700 °C
UTP AF CELSIT 721	CoCrNiMoC	30 - 35 HRC	do 900 °C
UTP AFCELSIT 706 V	CoCrWC	38 - 42 HRC	do 900 °C
UTP CELSIT 712	CoCrWC	48 - 50 HRC	do 900 °C
UTP ANTINIT DUR 500	FeCrNiMnSiMoVC	45 - 54 HRC	do 450 °C



VAUTID ULTRA III with 80 % in weight W2C content

Scale 1:250



Alloy	Nominal Compositions										Description
	HRC	Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si	B	
Cobalt Base											
Deloro Stellite 7 21 31	30-35 30-35 30-35	Bal. Bal. Bal.	26 27 26	6 7	0,4 0,2 0,5	 2 10	 6	 	 	 	High temperature alloys having a good resistance to creep, thermal shock and oxidation. Used for gas turbine blades, brass casting dies, extrusion dies.
Deloro Stellite 6	39-43	Bal.	28	5	1	 	 	 	 	 	Less ductile than Stellite 7,21 and 31 but more resistant to wear and having good resistance to shock. Used for steam and chemical valve seats.
Deloro Stellite 4 12	45-49 47-51	Bal. Bal.	33 29	14 8	1 1,8	 	 	1	 	 	Two alloys having greater wear resistance than Stellite 6 and used for applications subject to less mechanical shock such as dies for hot pressing, the hot extrusion of copper base and aluminium alloys, bearings for zinc galvanising plants.
Deloro Stellite 3 20 1040	51-58 55-59 56-60	Bal. Bal. Bal.	30 33 33	13 18 18	2,4 2,5 2,0	 	 	 	 	 	Posses high abrasion resistance for applications not subject to thermal or mechanical shock e. g. pump sleeves and rotary seal rings, wear pads, bearing sleeves, homogeniser parts, can rolls, plastic extrusion liners.
Deloro Stellite 250 251	19-29 23-35	Bal. Bal.	28 28	 	0,1 0,3	 	 	20 18	<u>Nb</u> 2	 	These alloys have excellent resistance to oxidation at elevated temperatures and deformation resulting from thermal cycling. Used for furnace furniture and burner nozzles.
Tribaloy T 400 T 800	51-58 54-62	Bal. Bal.	8,5 17,5	 	0,1 0,1	 	28 28	3 3	2,6 3	 	Combines excellent mechanical wear resistance with good corrosion resistance. Used for wedge gate valves at elevated temperatures and corrosive environments as well as for plastic twin extrusion liners.
Nickel Base											
Nistelle (Hastelloy*) C C4 B	17-27 13-20 13-25	 	17 17	5 5	0,1 0,01 0,1	Bal. Bal. Bal.	17 17 29	6 6 6	 	 	Designed primarily for high corrosion resistance, these alloys are used for pump and valve parts, etc. in the chemical industry.
Deloro alloy 40 G 42 K 44 K 50 60	29-35 30-35 38-43 48-52 59-62	 	7,5	 	0,3 0,1 0,1 0,4 0,5	Bal. Bal. Bal. Bal.	 	5 1 3 4 4	4 3 4 4 4,5	1,2 2 2 1,8 3,5	A range of nickel based alloys for use where cobalt is not suitable. 40 G, 42 K and 44 K are extensively used in the glass industry as blow-blow plunger, guide rings, baffles etc.
Deloro alloy 1068	23-26	 	38	 	0,1	Bal.	5	1	1	<u>Mn</u> 1	Extremely good corrosion resistance at elevated temperatures in sulphuric acid environments, used for pump parts etc.
Tribaloy T 700	42-48	3	15	 	0,1	Bal.	32	 	3,4	 	Improved, oxidation and corrosion resistance over T 400, it is not susceptible to radiation activation. Candidate for nuclear application.

Ukázky příkladů návarů

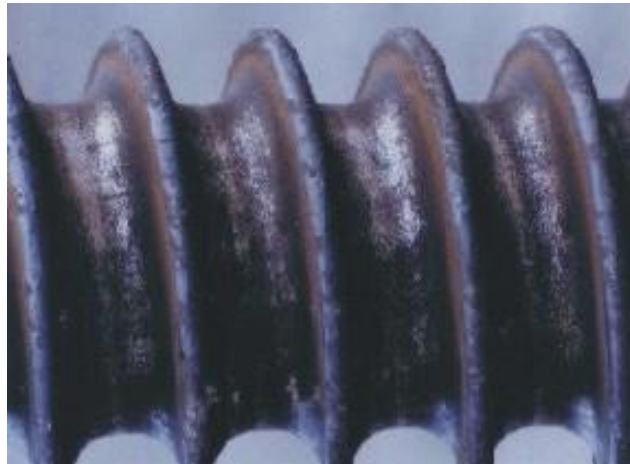


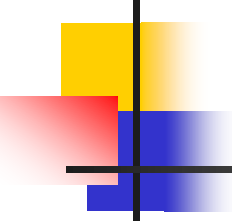
■ **Drtící válce** Návar Stellite 6 – prášek, tl. návaru 4 mm



Dopravní tlačný šnek keramické směsi

trubičková elektroda LEDURIT 76 - FD, průměr 2,4 mm

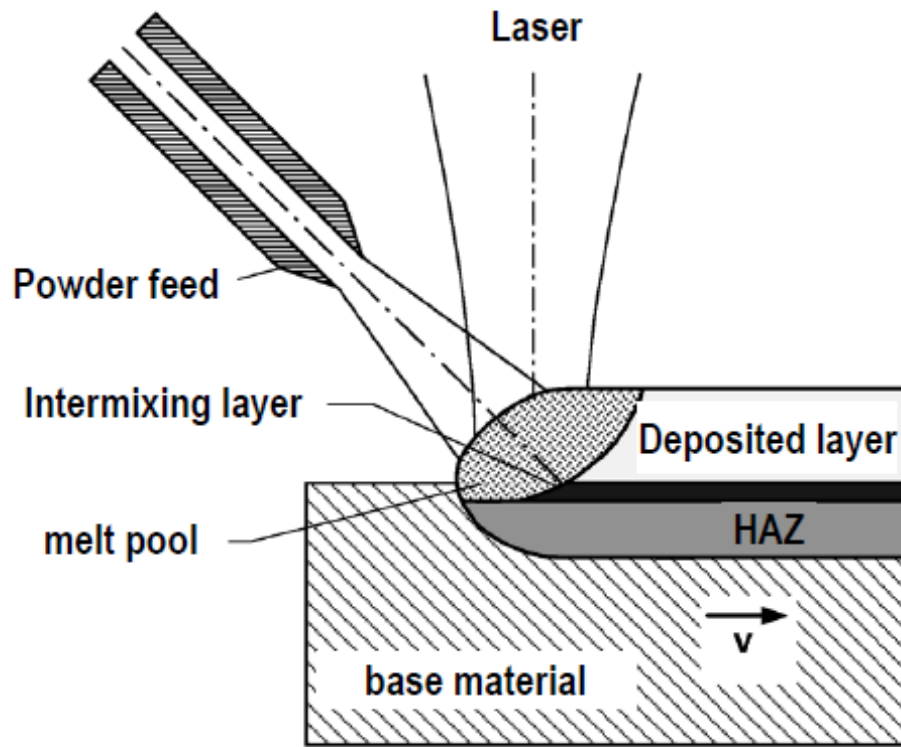




Navařování laserem

- Princip navařování spočívá v tavení PM deponovaného na povrch žárovým nástřikem, pojivem nebo galvanicky, nejčastěji však tavením práškového PM neseného na povrch substrátu inertním plynem. V závislosti na rozložení energie laseru na ploše a rychlosti pohybu svazku je možné tavit prášek do návaru s difúzním spojením se substrátem, nebo částečně natavit i základní materiál s metalurgickým spojením.

Boční přívod prášku



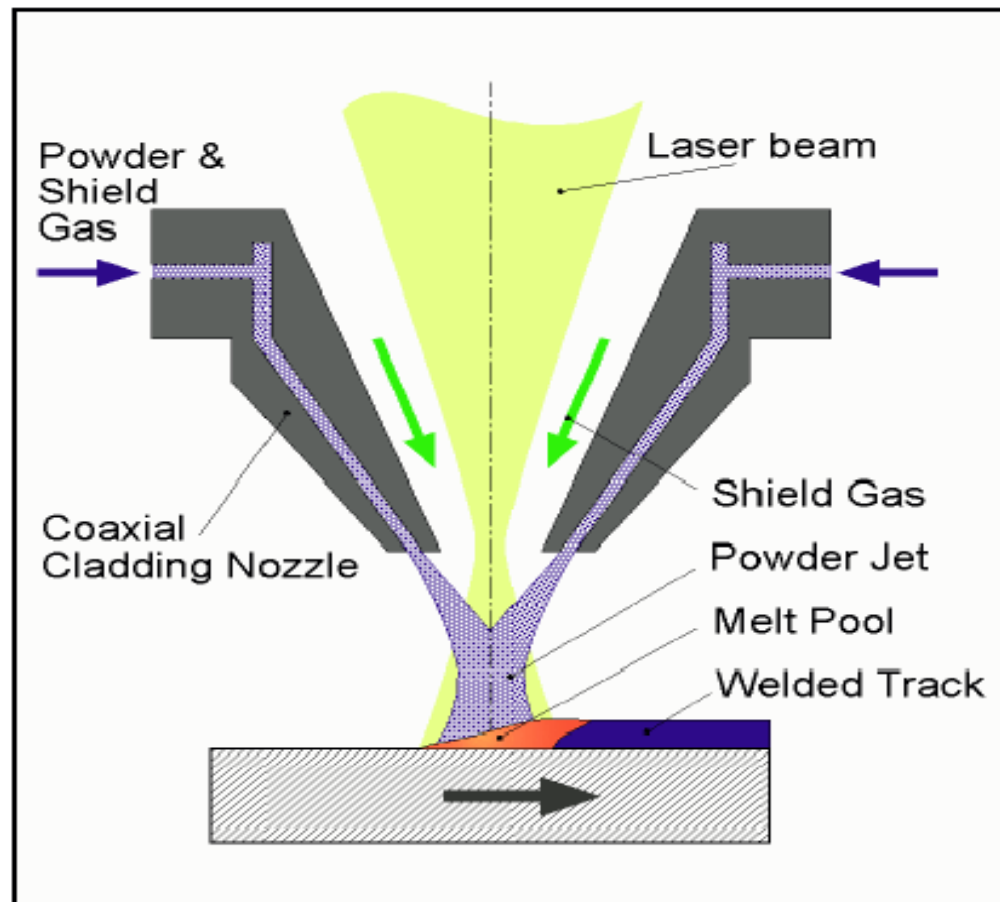
Advantages:

- high precision
- process control
- thickness from 0,1 mm to several mm
- large variety of materials
- low heat load
- only little distortion

Characteristic process data:

- power density $\sim 10^4 \text{ W/cm}^2$
- deposition: ~ 0.5 to 1 mm layer thickness at a velocity (v) of $\sim 1 \text{ m/min}$

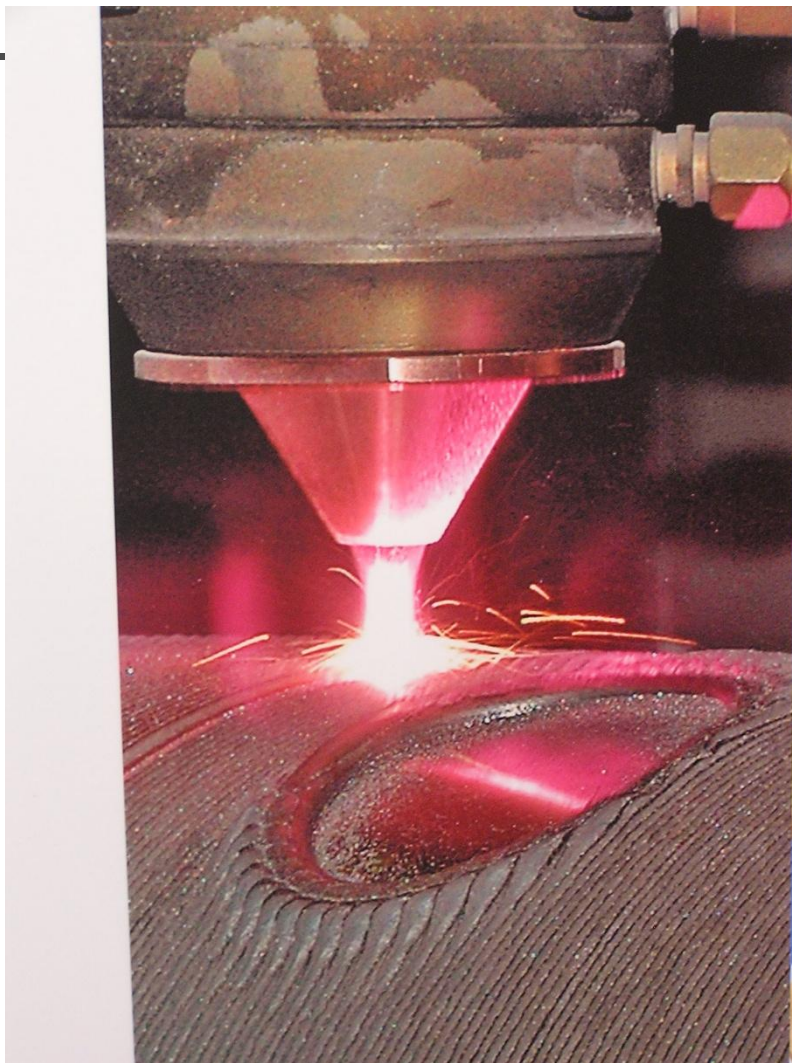
Koaxiální přívod prášku

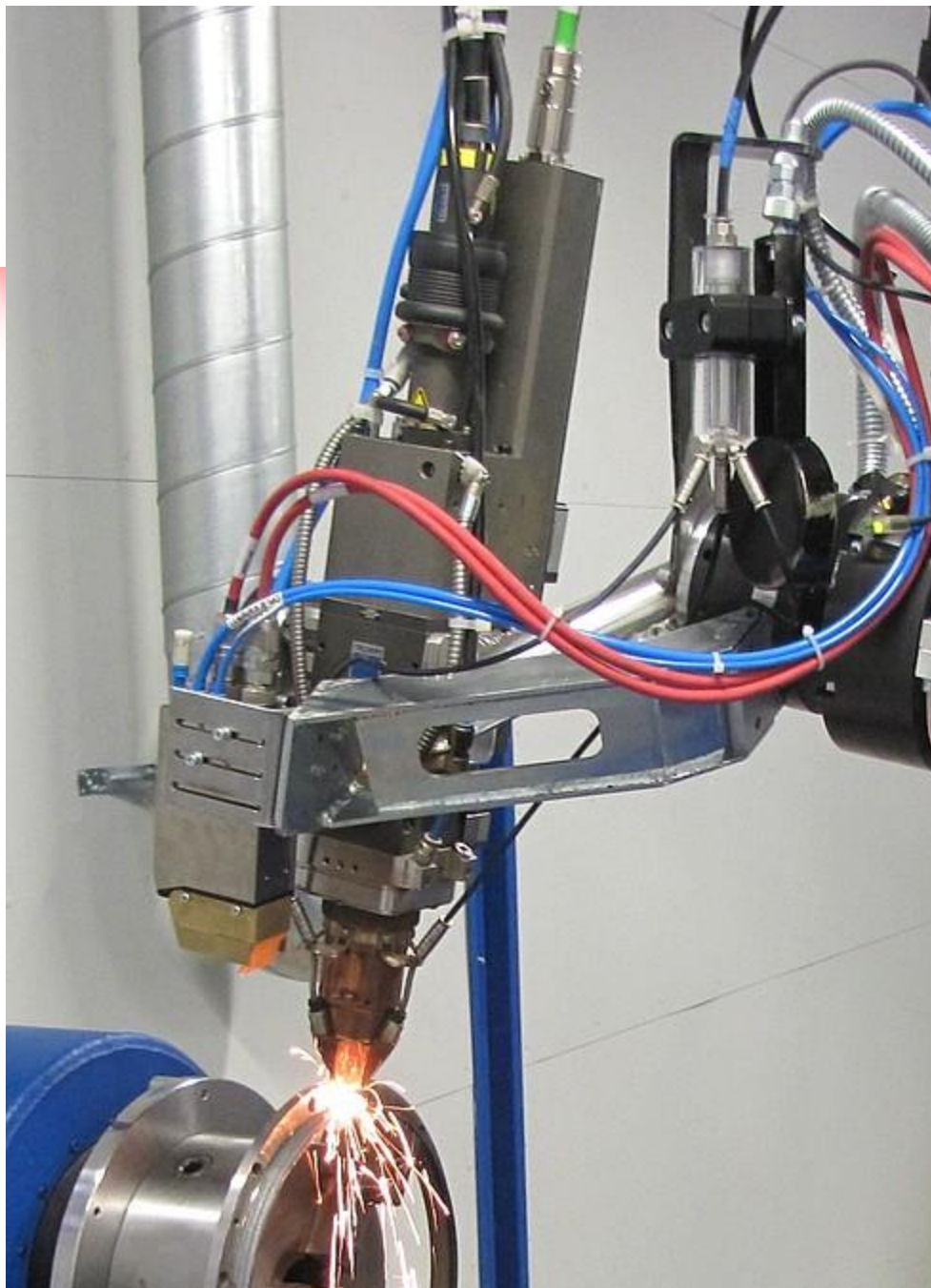




- COAX (Fraunhofer Institut) - nově vyvinutá laserová koaxiální hlava v modulové stavbě s vodou chlazenou tryskou a systémem pro napojení ochranného plynu.
- Tím, že se dosáhlo rovnoměrného přísunu nanášeného prášku do taveniny v každé poloze trysky, lze hlavy COAX používat s vhodným typem laseru i pro robotizovaná pracoviště s kloubovými roboty.
- Výkon laseru se při navařování volí do 6 kW a fokusace paprsku prášku v ohnisku ≤ 2 mm.
- Mezi poslední vývojové varianty hlav patří vývoj systému a trysky pro přísun a navařování materiálu ve tvaru drátu.

Navařování laserem s koaxiálním podáváním prášku

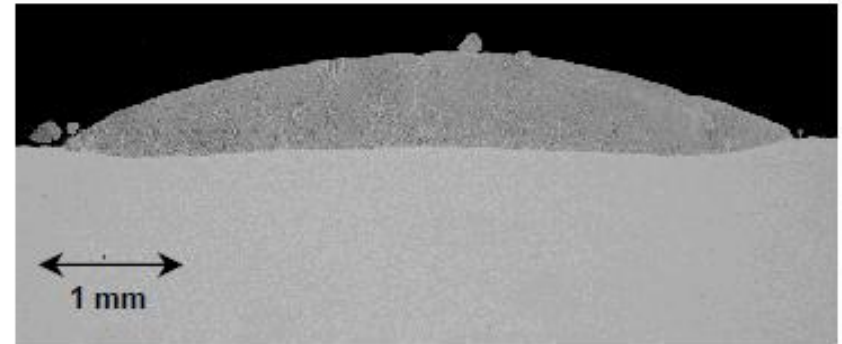




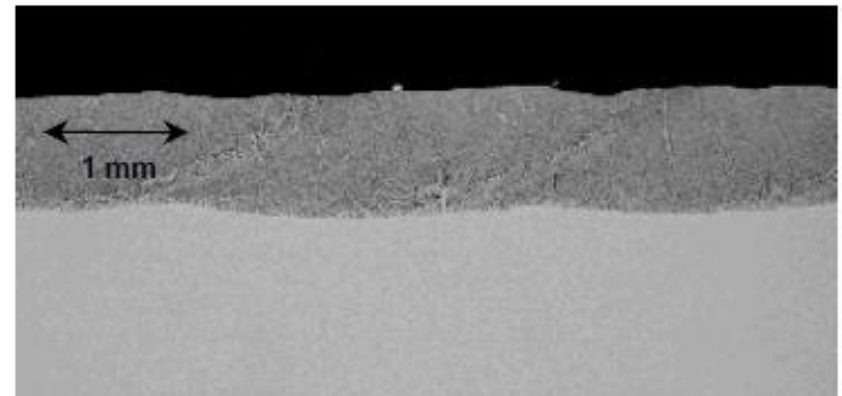
Aplikace
Kuličkové šrouby a.s. Kuřim

Diode laser power: 1.4 kW
Spot size: ca. $4 \times 2 \text{ mm}^2$
Power density ca. $1.5 \times 10^4 \text{ W / cm}^2$
Shield / feed gas Argon
Speed: 400 mm/min
Material: Stellite F Powder
X2CrNi 19.1

--> - wear resistant layer deposition
 - repair

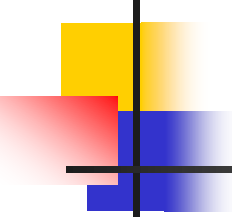


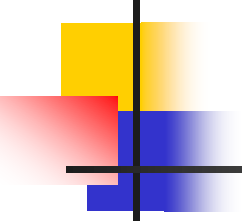
Single track



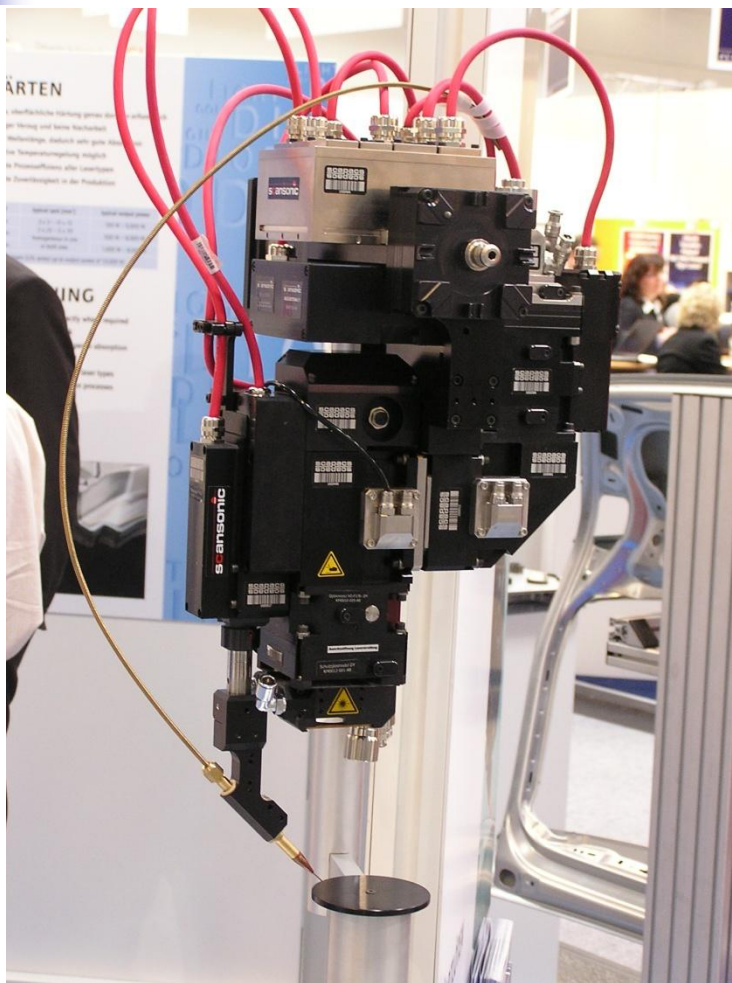
Multiple track



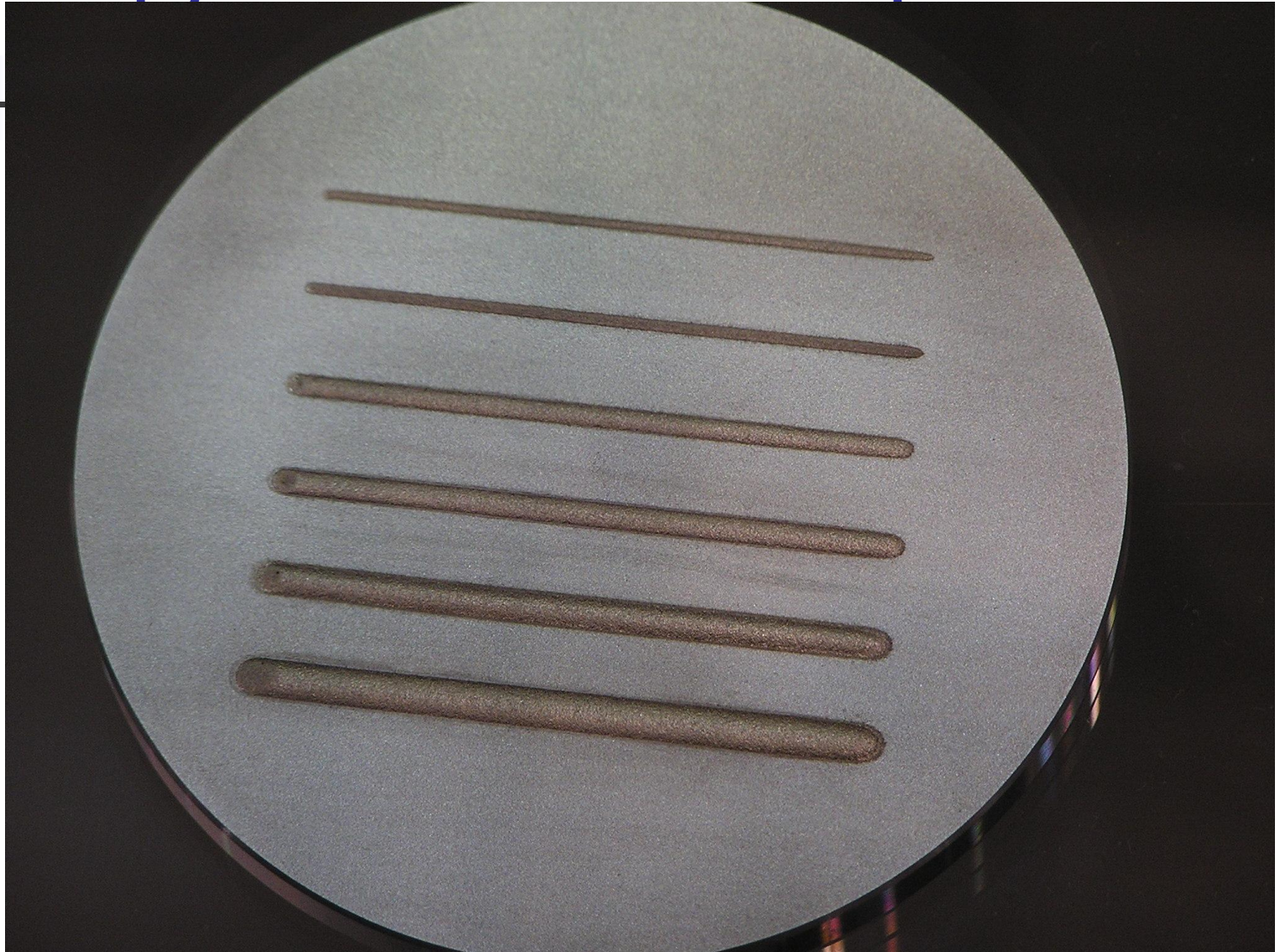
- 
- **Novou laserovou práškovou technologií** je možno nanášet práškové přídavné materiály na požadovanou plochu pomocí nosného proudu plynu. Laserové navařování umožňuje vytvořit difúzní nebo metalurgickou vazbu různých substrátů (ocel, litina, hliník, hořčík) s velkým počtem přídavných materiálů. Pomocí nitridů titanu, karbidu wolframu a karbidu křemíku je možno sytit povrch tvrdými látkami – povrchové legování. Byl uveden příklad laserového nanášení směsi prášků litiny, chromu a grafitu na substráty z nerezavějící oceli.

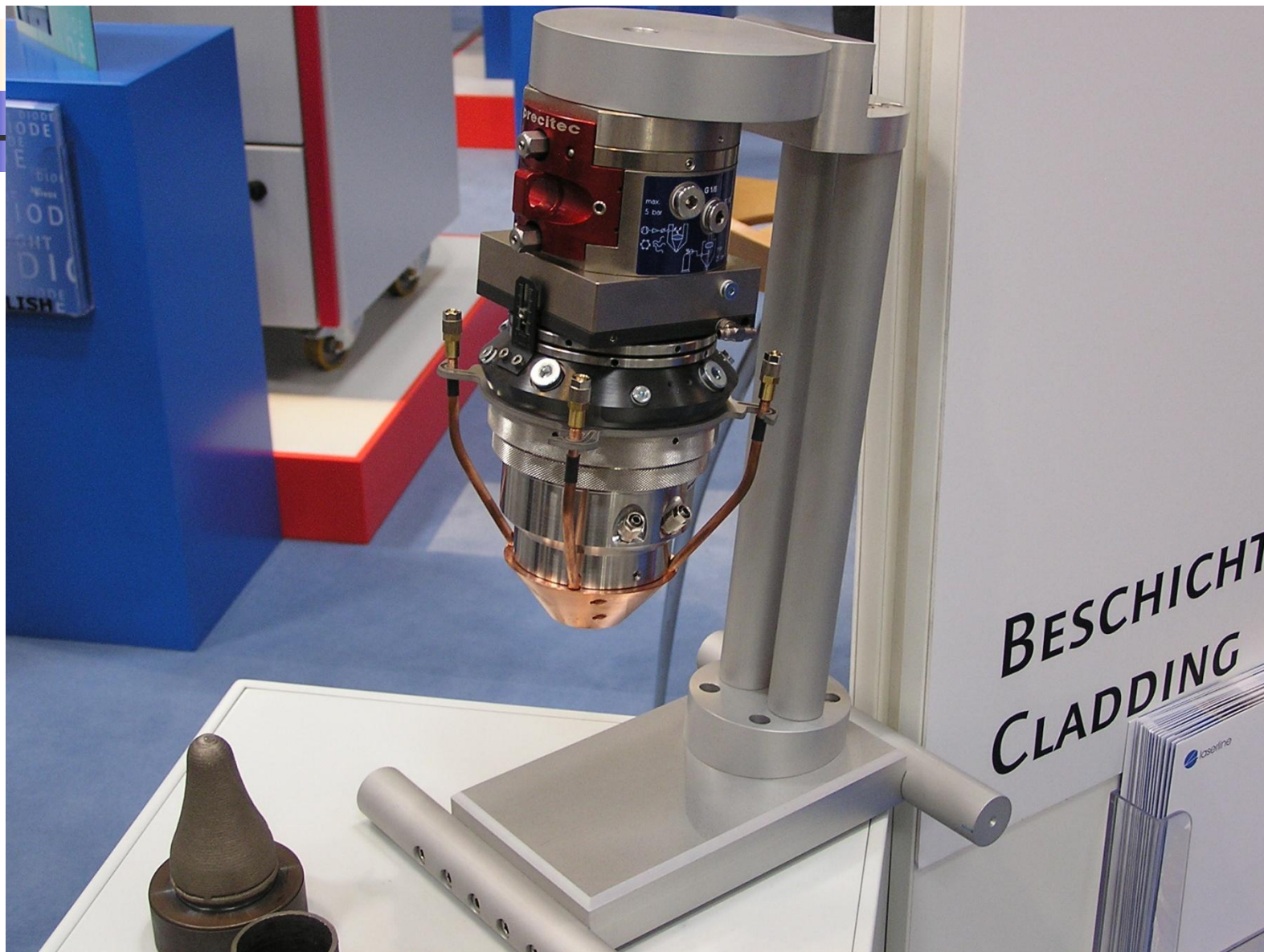
- 
-
- Návary v tloušťkách 50 až 1000 μm .
Nejčastěji používané PM jsou na bázi železných a kobaltových slitin s tvrdostí cca 60 HRC,
 - niklových slitin s tvrdostí 64 HRC ,
 - karbidů wolframu a molybdenu s tvrdostí 1600 HV,
 - karbidu niobu o tvrdosti 2000 HV
 - materiál s nejvyšší tvrdostí 3200 HV - karbid titanu.

Laserová hlava pro navařování drátem (vlevo) a práškem (vpravo)



Stopy návarů laserem práškem





Aplikace návrů

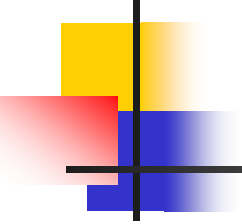


Návar laserem



Laser Cladding Powders

PRAXAIR PRODUCT	PARTICLE SIZE (µ)	MFG METHOD MORPHOLOGY	NOMINAL CHEMISTRY									TRADE NAMES
			Ni	Co	Fe	Cr	Al	W	Mo	Ti	Other	
CO-114	*	Gas Atomized Spherical	5	Bal		28		19.5			V 1	CM-64
CO-222	*	Gas Atomized Spherical	10	Bal		23.5		7			Ta 3.5	MAR-M-509
CO-273	*	Gas Atomized Spherical	22	Bal		22		14.5			Si 0.35 La 0.03	HS-188
FE-206	*	Gas Atomized Spherical	4		Bal	16.1					Cu 3.1 Si 0.75	17-4 PH
NI-111	*	Gas Atomized Spherical	Bal	1.5	18.5	21.5		0.6	9			HASTALLOY X
NI-183	*	Gas Atomized Spherical	Bal	9.5		14	3	4	4	5		RENÉ 80
NI-202	*	Gas Atomized Spherical	Bal		18	19	0.5		3	1	Nb 5.1	IN-718
NI-284	*	Gas Atomized Spherical	Bal	8.5		16	3.5	2.6	1.8	3.5	Ta 1.75	IN-738
NI-328	*	Gas Atomized Spherical	Bal			21.5			9		Nb 3.6	IN-625
NI-335	*	Gas Atomized Spherical	Bal	10		8.4	5.5	10		1.1	Ta 3 Hf 1.4	MAR-M-247
NI-365	*	Gas Atomized Spherical	Bal	12		6.8	6.2	4.9	1.5		Re 2.8 Ta 6.4 Hf 1.5	RENÉ 142
NI-378	*	Gas Atomized Spherical	Bal	10		9	5.5	10		1.5	Ta 2.5 Hf 1.2	MAR-M-002
NI-396	*	Gas Atomized Spherical	Bal			12	6		4.5	0.7	Nb 2	IN-713
NI-413	*	Gas Atomized Spherical	Bal	19		22.5	1.2	2		2.3	Ta 1 Nb 0.8	GTD 222
NI-490	*	Gas Atomized Spherical	Bal		7	15.5	0.7			2.5	Nb 1	IN-X750
NI-492	*	Gas Atomized Spherical	Bal	13.5		19.5	1.2		4.2	3		WASPALLOY



Srovnání vlastností laserů

	CO ₂ laser		Diode laser	
Layer thickness in mm	0.5	1.5	0.5	1.5
Cladding rate in m ² /h	0.075	0.042	0.30	0.23
Cladding rate in kg/h	1.0	1.9	4.7	6.4
Powder efficiency in %	44	38	44	62
Eff. Cladding rate in kg/h	0.44	0.72	2.07	3.97
Heat affected zone in mm	0.9-1.4	1.1-1.7	1.9-2.6	2.3-3.4
Laser power in kW	4.7		4.8	

➔ Deposition rate of HPDL 4.7 to 5.5 times faster!!

Navařování nástrojů



Trhlina v T00



Kalení laserem

firma Matex PM

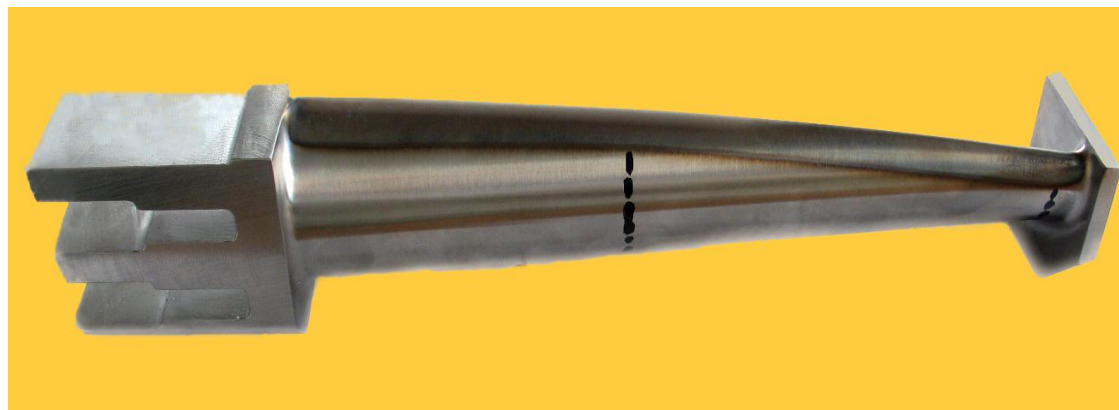


Kalení laserem

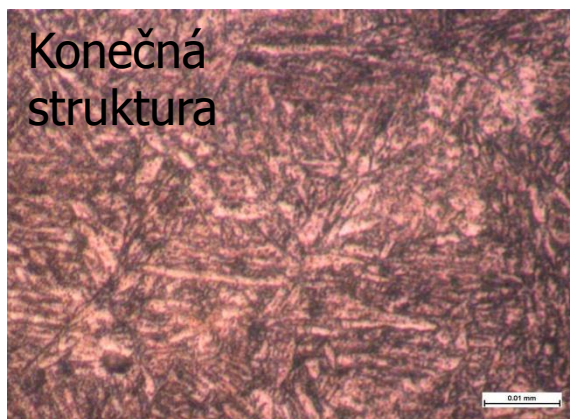


mat. X12Cr13

Výchozí struktura

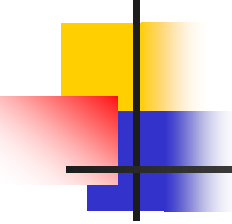


Konečná struktura



Dosaženo 529 - 545 HV

Chemická	C%	Si%	Mn%	P%	S%	GP%	N%
X12Cr13	0,08	<1	<0,5	0,01	0,01	115B	<0,02

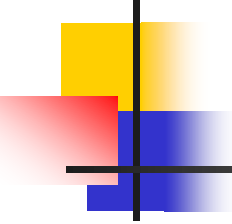


Elektrovibrační navařování

- Je založeno na metodě MIC/MAG → založené na pohybujícím se drátu
- Ø drátu $1,4 \div 1,6 \text{ mm}$ (i plněné), Obvodová rychlost 60 m/hod ,
- Frekvence kmitání $f = 60 \div 90 \text{ Hz}$,
- Nízké napětí $U = 10 \text{ V}$, $I = 70 \div 150 \text{ A}$, Amplituda $a = 0,5 \div 3 \text{ mm}$
- Ochrana: PLYN (CO_2 čili $\text{Ar} + \text{CO}_2$), KAPALINA (NaOH , NaCO_3 , GLYCERIN, OLEJ)
- Princip: Drát se přiblíží k základnímu mat. a zapálí se oblouk, pak se drát oddaluje a oblouk stále hoří s přenosem kovu → vznikne bodový návar a drát se stále oddaluje, až oblouk zhasíná a drát se zastaví. Pak se celý proces opakuje.
- Použití: spíše rotační součásti (hřídele, ložisková uložení železničních soukolí,)

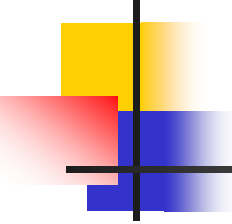
Elektrokontaktní navařování

- Bylo vyvinuto pro navařování pístů hydraulických válců stojek pro důlní zařízení.
- Rotační součást se otáčí mezi dvěma Cu kladkami a impulzním proudem s vysokou intenzitou probíhá ohřev ve dvou kontaktních místech.
- V místě 1. dochází k deformaci drátu a navaření a v místě 2 slouží dochází k zahlazení návaru.
- $T_{\text{ohřevu}} = 0,8 \div 0,9 T_{\text{tavení}}$, $I = 8 \div 10\,000\text{A}$, Bez promísení se ZM, Ø1,6 mm drátu dá tl. návaru cca $0,4 \div 0,6\text{mm}$
- Přídavný materiál: - martenzitická nerezavějící ocel, berilyová bronz (vynikající tvrdost a kluzné vlastnosti.)



MIKRONAVAŘOVÁNÍ

- Specifickým problémem renovací je oprava poškozených a opotřebených nástrojů.
- Hlavním požadavkem při renovacích forem a nástrojů je minimalizovat tepelné ovlivnění základního materiálu Mikronavařování je užitečné pro opravu nástrojů, licích kokil a forem pro plasty, pryž a keramiku..



Výhody:

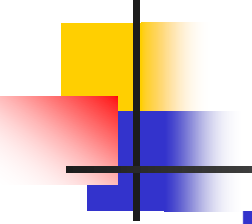
- vlivem nízkého vneseného tepla nedochází k degradaci ZM a jeho deformaci, velmi malá tepelně ovlivněná oblast, v návarech nejsou vlivem vyvozeného tlaku žádné bubliny a póry, dokončovací operace broušením, leštění bez problému, dostatečný sortiment PM.
- možnost aplikací na všechny druhy poškození forem a nástrojů, rychlé a jednoduché ovládání, svařování bez ochranných plynů a tavidel, ekologická technologie
- Použití: - poškození střížných hran, kolíkových otvorů, dělicích rovin, vyhazovačů, jader, oprava povrchu svarů po klasických metodách svařování, oprava poškozených ploch rýhováním, erozí taveninou, studeným spojem, odstranění chyb třískového a elektroerozního opracování, při konstrukčních změnách, vzorkových formách.

IMPULSNÍ MIKRONAVAŘOVÁNÍ

- Impulsní mikrosvařování je nová technologie jejíž princip je založen na tavení PM elektrickými impulsy rotující elektrody. Zdroj dává krátký, ale velmi vysoký proudový impuls, proud je $20 \div 1100\text{A}$, doba impulsu je v mikrosekundách.
- Frekvence proudových impulsů je velmi malá (doba mezi impulsy je $0,5\text{ s}$) takže nedochází k difúzi tepla do materiálu a teplota okolí svaru se udrží pod teplotou popouštění nástrojových ocelí. Společně s PM se nataví tenká vrstva základního materiálu a vytváří se metalurgický spoj s velmi dobrou vazbou. Tloušťka návaru se pohybuje mezi $0,1 - 0,4\text{ mm}$ a v případě požadavku větší tloušťky se navařuje na několik vrstev. Přídavné materiály se dodávají v těchto formách: práškové PM o zrnitosti $100\mu\text{m}$, pásy tloušťky $0,1 - 0,2\text{ mm}$ šířky $5 - 30\text{ mm}$ nebo drátky $\phi 0,2 - 0,4\text{ mm}$.

ELEKTROJISKROVÉ MIKRONAVAŘOVÁNÍ

- Další metoda vhodná pro renovace i tvorbu nových povrchů je elektrojiskrové navařování založené na principu elektroeroze. Elektroda tvořená např. karbidem wolframu je připojena na kladný pól stejnosměrného zdroje vybaveného kondenzátory a elektronickým řízením výstupních parametrů. Pomocí vibrátoru se elektroda rozkmitá na 100 Hz a přiblíží k povrchu součásti. Při krátkodobém doteku 1/100 s je povrch nástroje vystaven impulsům elektrického výboje a lokálně ohřát nad teplotu překrytalizace, čímž dojde k zakalení v tloušťce několika desítek mikrometrů. Současně je při výboji povrch elektrody přehřátý a částice WC, W₂C se nataví na povrch nástroje kde rychle chladnou.

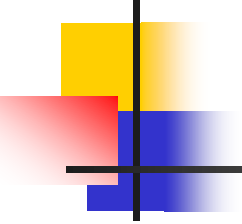
- 
- Samotný návar má tloušťku 2 - 40 μm a tvrdost dosahuje až 82 HRC. Kromě WC se jako PM používá vysokolegované a nástrojové oceli v zušlechťeném stavu. Povlaky se vyznačují vynikající přilnavostí k ZM a lze je táhnout, ohýbat a snášejí i rázové zatížení. Povlak se dá leštit diamantem nebo SiC, zvyšuje žáruvzdornost a odstranit se dá tryskáním korundem.
 - Zařízení vyrábí firma JOKE pod označením TUCADUR 2020.
 - **Některé příklady aplikací:**
 - postupový střížný nástroj na motorové plechy. Renovace - hrany a plochy propadu.
 - Životnost vzrostla o 220%.
 - kombinovaný střížný a ohybový nástroj na zámkové štítky . Renovace - ohybová čelist (studené spoje) a otvory střížnice. Životnost vzrostla o 280%.
 - protlačování za studena, nástroj na ochrannou objímku. Renovace - rádius průtláčnicku a hrany průtláčnice (zadírání a připekání mat.). Životnost se zvýšila na 600%.
 - protlačování za tepla, nástroj na hliníkový profil. Renovace - průchod průtláčnice (napékání hliníku) Životnost vyšší o 660%.

- **VÝHODY TECHNOLOGIE MIKRONAVAŘOVÁNÍ**

- vlivem velmi malého množství vneseného tepla nedochází k degradaci základního materiálu a jeho deformaci
- velmi malá tepelně ovlivněná oblast
- v návarech nejsou vlivem vyvozeného tlaku žádné bubliny a póry
- dokončovací operace leštění, broušení bez problémů
- dostatečný sortiment PM
- možnost aplikací na všechny druhy poškození forem a nástrojů
- rychlé a jednoduché ovládání
- svařování bez ochranných plynů a tavidel
- ekologické technologie

- **OBLASTI POUŽITÍ**

- poškození střížných hran, kolíkových otvorů, dělicích rovin, vyhazovačů, jader
- oprava povrchu svarů po klasických metodách svařování
- oprava poškozených ploch rýhováním, erozí taveninou, studeným spojem
- odstraňování chyb třískového a elektroerozivního opracování
- při konstrukčních změnách, vzorkových formách a modifikacích



Děkuji za pozornost a těším se na
další setkání

J. Kubíček