

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

POVRCHY A JEJICH ÚPRAVY

■ Přednášky: doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D.

■ Skripta: Ing. Václav Kraus, CSc.

■ Obsah předmětu

- Povrch a jeho vlastnosti (struktura povrchu, vlastnosti)
- Porušování povrchu (koroze, opotřebení)
- Způsoby ochrany výrobků (úprava prostředí, volba materiálu, konstrukční řešení, elektrochemické a dočasné ochrany)
- Předběžné úpravy povrchu (mechanické, chemické)
- Organické povlaky (nátěry, plasty, technologie nanášení)
- Anorganické povlaky (konverzní vrstvy, žárové stříkání, smaltování)
- **Kovové povlaky a vrstvy (žárové ponorem, postřikem, difúzní, fázovou transformací, chemické a elektrochemické, fyzikální a fyzikálně chemické)**
- **Hodnocení povrchových úprav - cvičení**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

POUŽITÁ LITERATURA

V. Kraus: POVRCHY A JEJICH ÚPRAVY, skripta, ZČU Plzeň 2000

<http://tzs.kmm.zcu.cz/pou.htm>

V. Sedláček: PORCHY A POVLAKY KOVŮ,
skripta, ČVUT Praha 1992

G. Buchfink: *The Laser as a Tool*.

Germany - Würzburg: Vogel Buchverlag, 2007, 280 p.

Flame Spray Technologies: *What is laser cladding?*

<https://www.fst.nl/about/laser-cladding/>

<https://www.bomex.cz/technologie/chemicke-niklovani>

<https://www.eurometal.cz/>



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kovové povlaky a vrstvy

Faktory ovlivňující výsledné vlastnosti povlakovaného materiálu:

- **vlastnosti podkladu (substrátu)**

chemické složení

struktura

drsnost povrchu:

po povlakování: zvýraznění nebo zarovnání nerovností

- **vlastnosti povlaku**

tloušťka: roste → méně korozně významných pórů

ALE roste vnitřní pnutí → trhliny, odlupování

porozita: roste s postupem koroze

homogenita ...

- **vlastnosti rozhraní** povlak - substrát

vliv při mechanickém a tepelném namáhání (rozdíly v tepelné roztažnosti...):

vnitřní pnutí (→ trhliny, odlupování)

Kovové povlaky a vrstvy

Elektrochemická ušlechtilost	Korozní odolnost
Au	Au
Ag	Zr
Cu	Ti
Pb	Ag
	- Cr a CrNi oceli – pasivní stav
Sn	Cr
Ni	Cu
Cd	Ni
Fe	
Cr	Pb
	- Cr a CrNi oceli - aktivní stav
Zn	Al
Mn	Sn
	- ocel a litina -
Zr	Fe
Ti	Cd
Al	Zn
	- Mg slitiny -
Mg	Mg
	Mn

Ochrana proti korozi:

- **Katodická:**
povlak méně ušlechtilý než podklad -
korozní produkty mají ochranný
charakter ($_{13}\text{Al}$, $_{30}\text{Zn}$...)
- **Anodická:** povlak ušlechtilejší než
podklad - možnost podkorodování, ale
korozní produkty mají většinou ochranný
charakter (ztráta lesku) drahé kovy:
elektrotechnika, elektronika ...
- **Bariérový efekt:** povlak má menší afinitu
k prostředí než podklad - vliv pórovitosti
- **Zvýšení korozivzdornosti povrchu:**
legování povrchu (difúzní vrstvy)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Technologie vytváření

- tepelné a chemicko-tepelné zpracování
- plátování
- pokovování v roztavených kovech
- žárové stříkání
- chemické pokovování
- elektrochemické pokovování
- fyzikální pokovování



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Vliv teploty na PÚ kovů

Vliv difúze:

- rychlejší při vyšších teplotách → difúzní (neostré) rozhraní

1) Podstatný vliv:

- tepelné a chemicko-tepelné zpracování
- ponorové pokovování
- plátování
- tepelné zpracování galvanicky vytvořených povlaků
- speciální difúzní technologie (šerardizace, alitování, kalORIZOVÁNÍ, inchromování, silicidování, boridování ...)

2) Malý vliv:

- žárově stříkané povlaky (Zn, Al ...)
- vakuově napařované povlaky
- povlaky vytvořené tepelným rozkladem par

Vliv teploty na PÚ kovů

Povlakový materiál	Povlaky s difúzní mezivrstvou.						Povlaky bez difúzní mezivrstvy	
	ponorové	navaňované	plátované	galvanicky natavené	metalizované natavené	termo-chemické	metalizované	vakuové
Hliník	A,B		A,B		A,B	A,B	A	D,E
Zinek	A			A		A	A	
Chrom						A,B,C	A,B,C	D,E
Nikl			A		A,C		A,C	
Cín	A			A			A	E
Olovo	A	A	A				A	
Měď			A		A		A	E
Stříbro								E
Mosaz							B,C	E
Nerezocel		A,B,C	A,C		A,B,C		A,B	D
Křemík						A		E

A – ochrana proti korozi

B – ochrana proti žáru

C – ochrana proti opotřebení

D – ovlivňuje optické vlastnosti

E – ovlivňuje elektrické vlastnosti



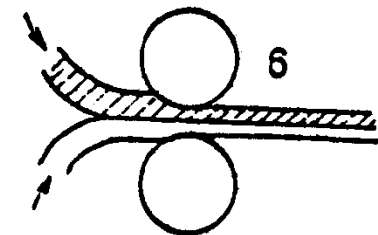
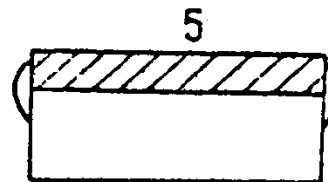
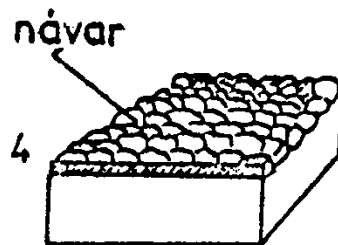
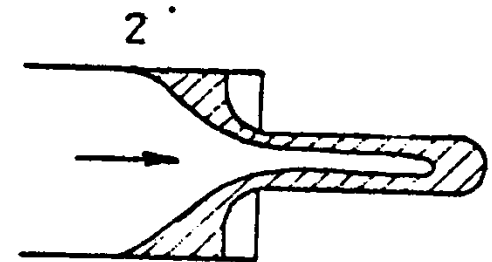
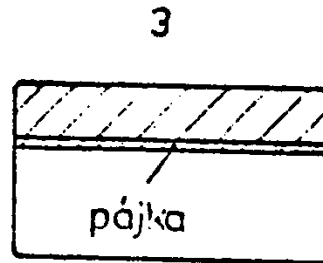
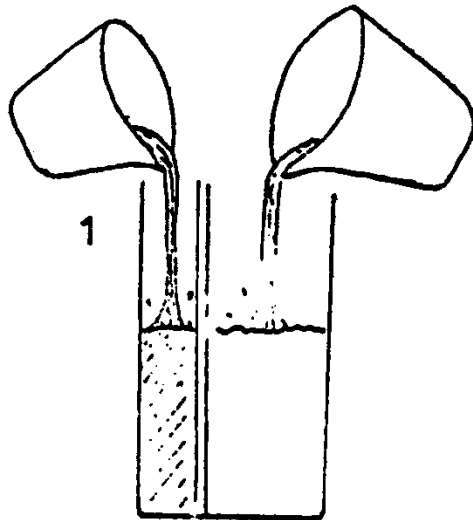
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plátování

- tloušťka: 100 μm až několik mm
- korozivzdorná ocel na konstrukční
- kluzné povlaky: Cu na oceli
- Al na duralu
- Sn na Pb

1. Lití
2. Protlačování
3. Pájení
4. Navařování
5. Tváření výbuchem
6. Válcování
 - za tepla
 - za studena



Pokovování v roztavených kovech

Kovy s nízkou teplotou tání:

- Sn: $T_t = 230^{\circ}\text{C}$
- Pb: $T_t = 330^{\circ}\text{C}$
- Zn: $T_t = 420^{\circ}\text{C}$
- Al: $T_t = 660^{\circ}\text{C}$

Výhody:

- jednoduchý postup
- poměrně nízká cena
- vhodné pro polotovary - hromadná výroba

Vznik difúzní mezivrstvy:

- dobré zakotvení
- nebezpečí zhoršení mechanických vlastností

Vznik ochranného povlaku:

- při vyjímání z taveniny

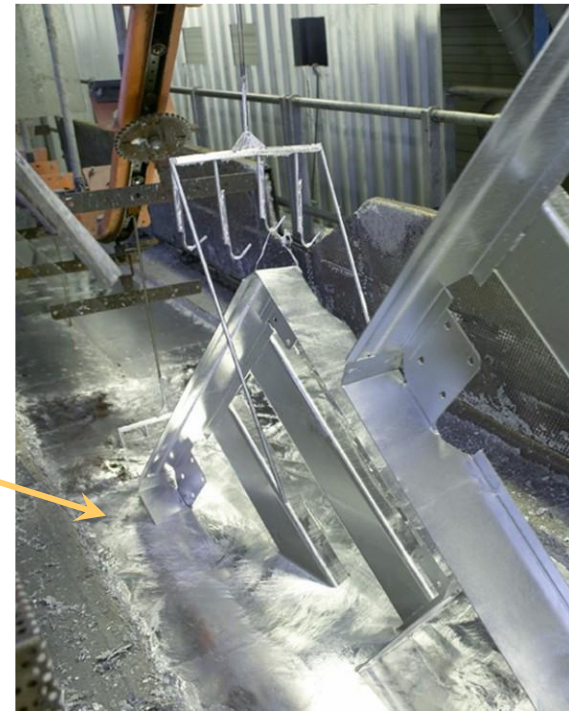
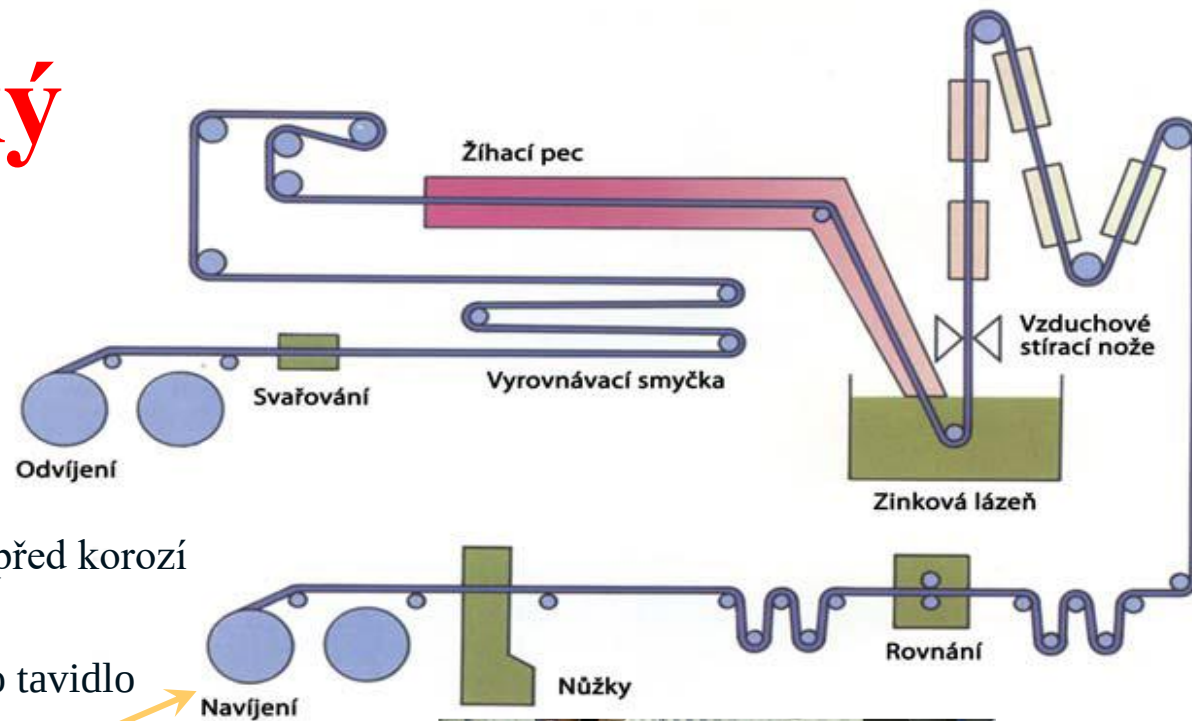
Technologický postup

Vývoj:

- 1741:
zjištění, že Zn může ochránit ocel před korozí
- 1837:
Francouz Sorel zavedl NH_4Cl jako tavidlo

Uspořádání:

- kontinuální:** pásy, dráty....
- diskontinuální** (vanové):
 - hromadné pokovování (spojovací materiál, drobné součástky)
 - pokovování jednotlivých dílů (běžné strojírenské součásti, menší ocelové konstrukce, části stavebních celků ...)
 - velikost van - až 17 m



Technologický postup

Předběžná příprava povrchu (včetně oplachů):

- odmaštění
- moření - náhrada kvalitním tryskáním

Nanášení tavidla

- zanoření do tavidla nebo je tavidlo na povrchu roztaveného kovu
- přípravky na bázi ZnCl_2 , NH_4Cl , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (borax)...
- vytvoření strusky
- odstranění oxidů
- ochrana kapalného kovu před oxidací
- zabraňuje vypařování složek taveniny

Pokovení (240 až 700°C - dle kovu)

Konečná úprava výrobku



Žárové zinkování

$_{30}\text{Zn}$: $T_t = 420^\circ\text{C}$

Způsoby zinkování:

1. Žárové pokovování v roztavených kovech
2. Zinkové NH
3. Žárové stříkání
4. Chemicko-tepelné zpracování
5. Elektrochemické (galvanické) pokovování
6. Chemické pokovování
7. Fyzikální a fyzikálně-chemické povlakování

Druh systému protikorozi ochrany	Doba účinnosti povlaků a nátěrů proti korozi v letech při venkovních účincích středoevropského klimatu až do nastoupení koroze základního kovu.															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Ocel galvanicky pozinkovaná 5 µm	■															
Ocel žárově pozinkovaná kontinuálně 20 µm	■	■	■	■	■											
Ocel pozinkovaná žárovým nástřikem 100 µm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Ocel žárově pozinkovaná ponorem 100 µm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DUPLEX - 100 µm Zn + 2 x 80 µm barva	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Obvyklý nátěrový systém 160 µm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					

Žárové zinkování

Teplota: 440 - 470°C

Tavidla: ZnCl_2 , NH_4Cl

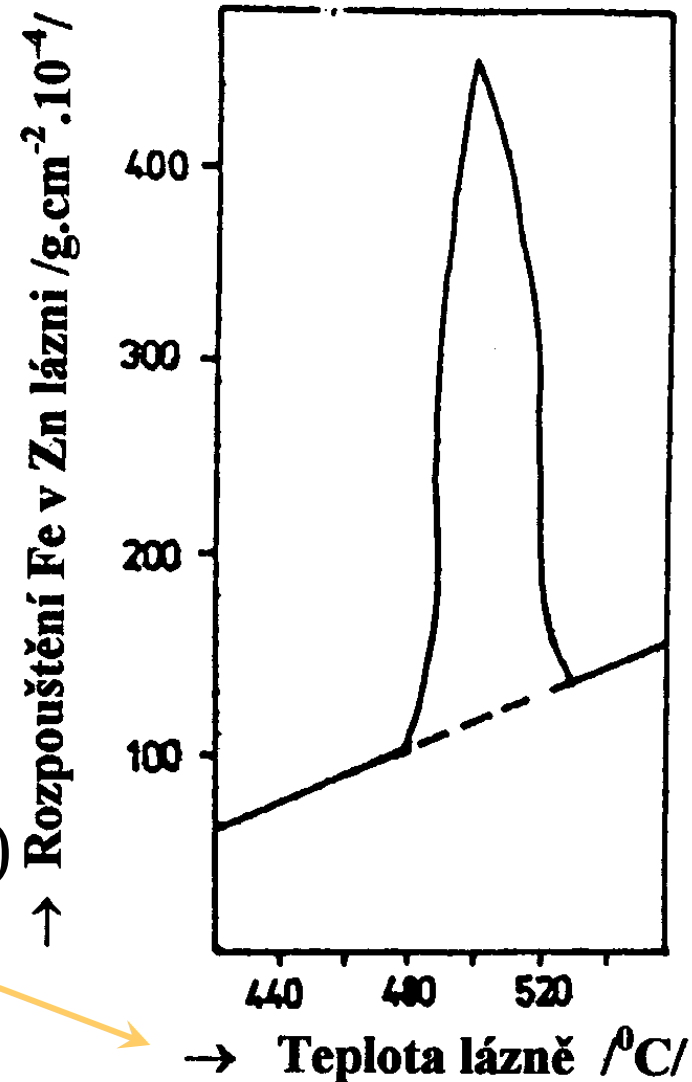
Historie:

1741: francouzský chemik P.-J. Malouin

1837: S. Sorel zavedl chlorid amonný jako tavidlo

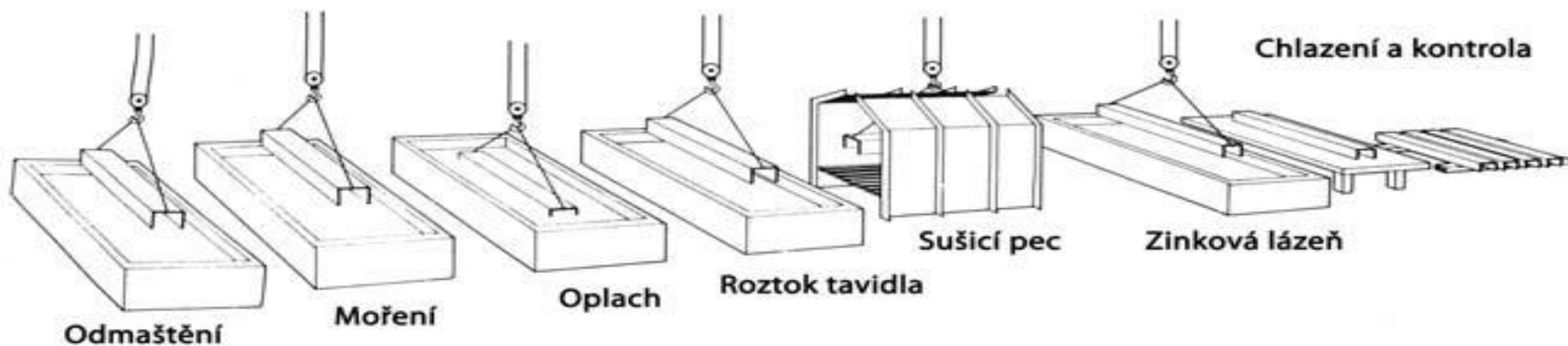
Faktory:

- teplota
- složení oceli (vliv $_{14}\text{Si}$)
- $_{30}\text{Zn}$ lázeň: přísada $_{14}\text{Si}$, $_{13}\text{Al}$ (Al_5Fe_2)
→ lepší lesk, tvárnost,
koroziivzdornost

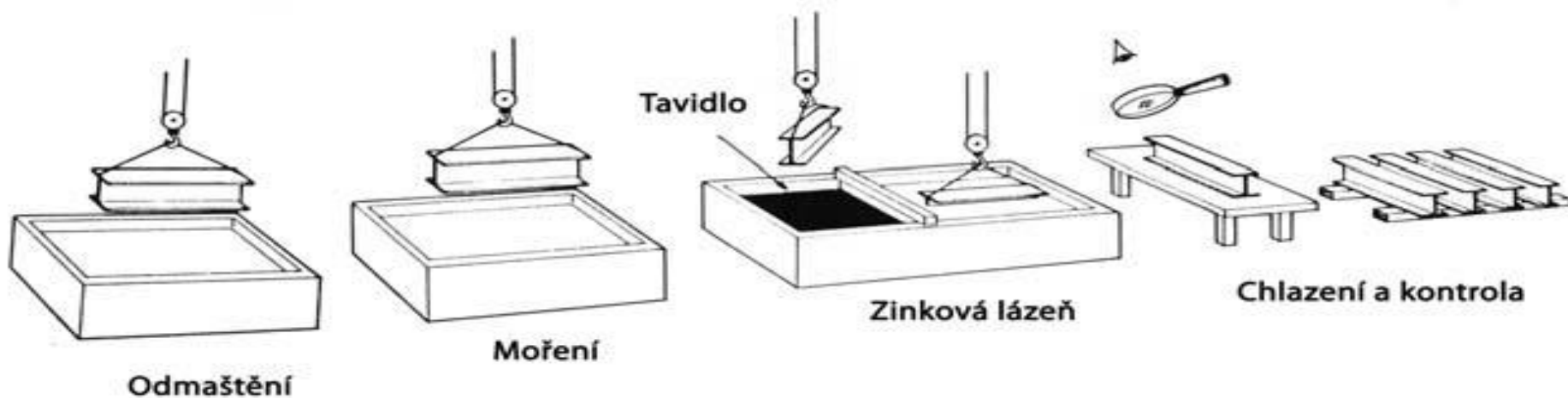


Žárové zinkování

Suché zinkování



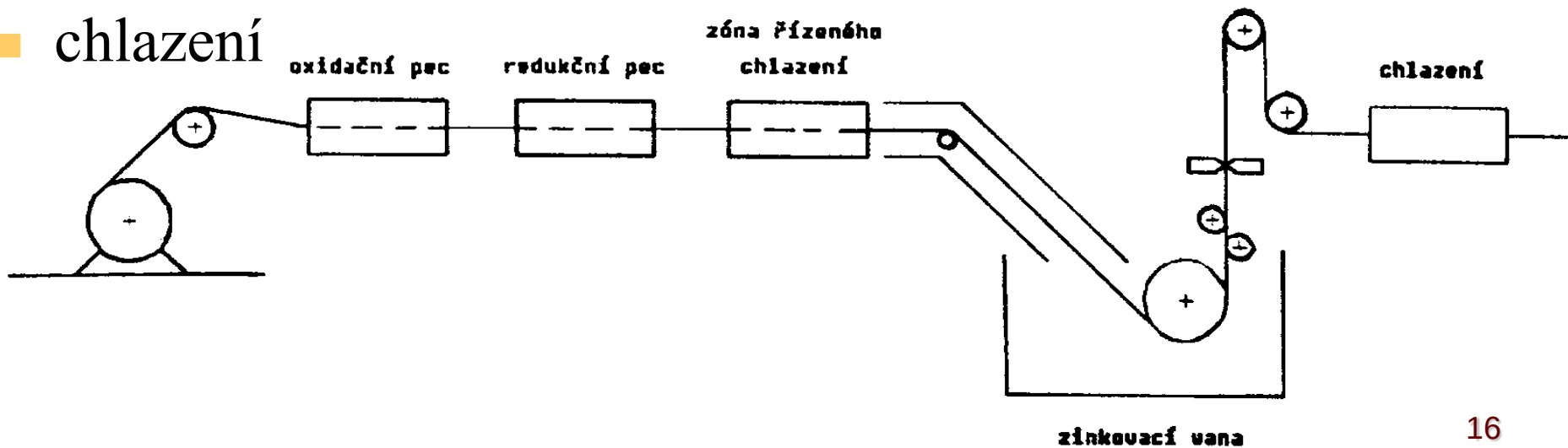
Mokrý zinkování



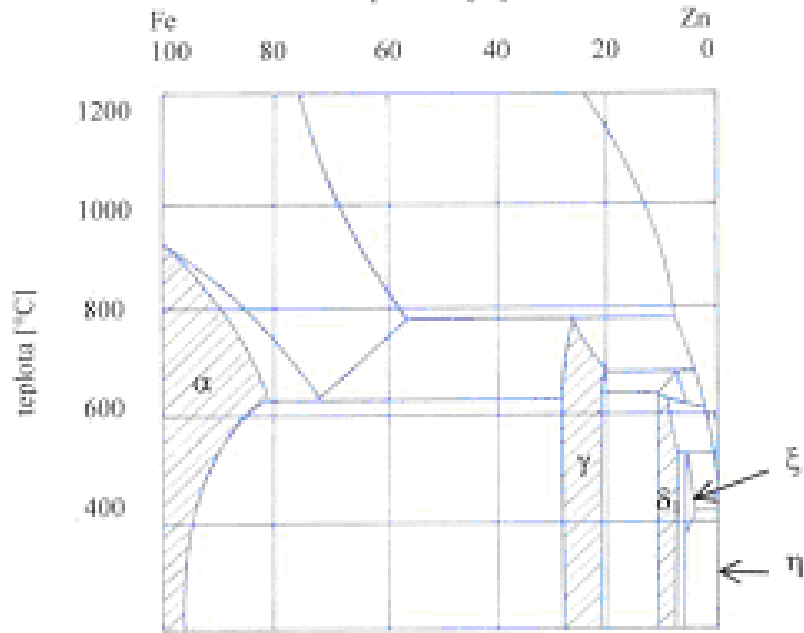
Žárové zinkování

Sendzimirova metoda (1931):

- oxidační ohřev 400 - 450°C → odstranění mastnoty, vrstva oxidů
- redukce ve vodíkové atmosféře 650 - 700°C → amorfnní Fe
- chlazení – redukční atmosféra
- Zn lázeň
- chlazení



Struktura povlaků



■ Fázový diagram $_{26}\text{Fe} - _{30}\text{Zn}$

■ α - tuhý roztok Zn ve feritu

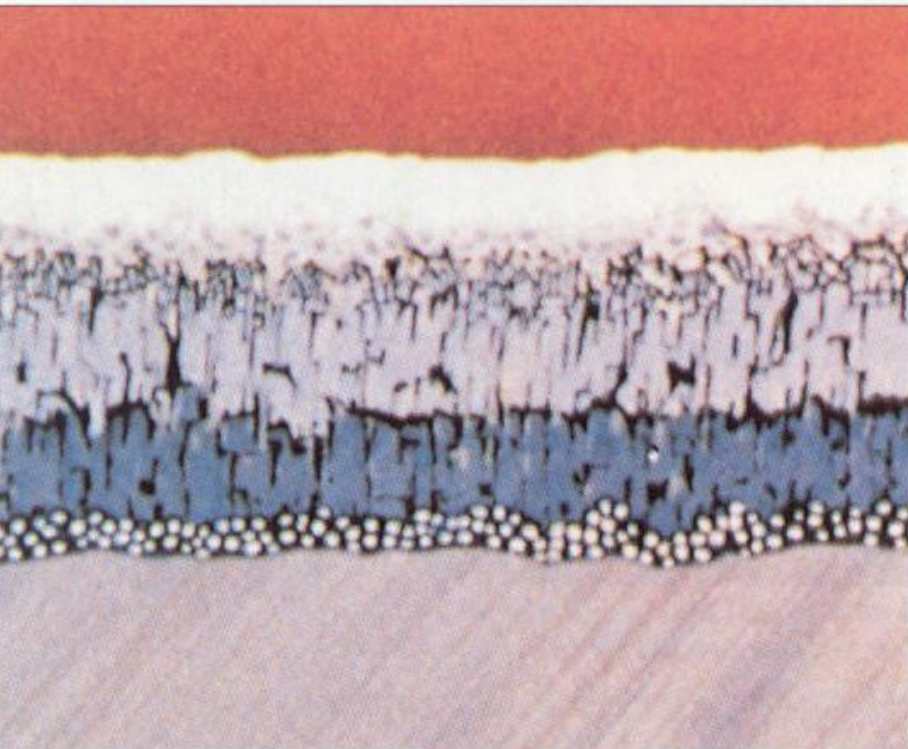
■ **Fáze v zinkovém povlaku:**

■ η - tuhý roztok Fe v Zn:
0,03 % Fe, 8 - 12 μm

■ ξ - FeZn_{13} :
5,8 - 6,7 % Fe, 10 - 25 μm

■ δ - FeZn_7 :
7,0 - 11,5 % Fe, 30 - 40 μm

■ γ - $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$:
21 - 28 % Fe, 0,1 - 0,2 μm



Eta fáze

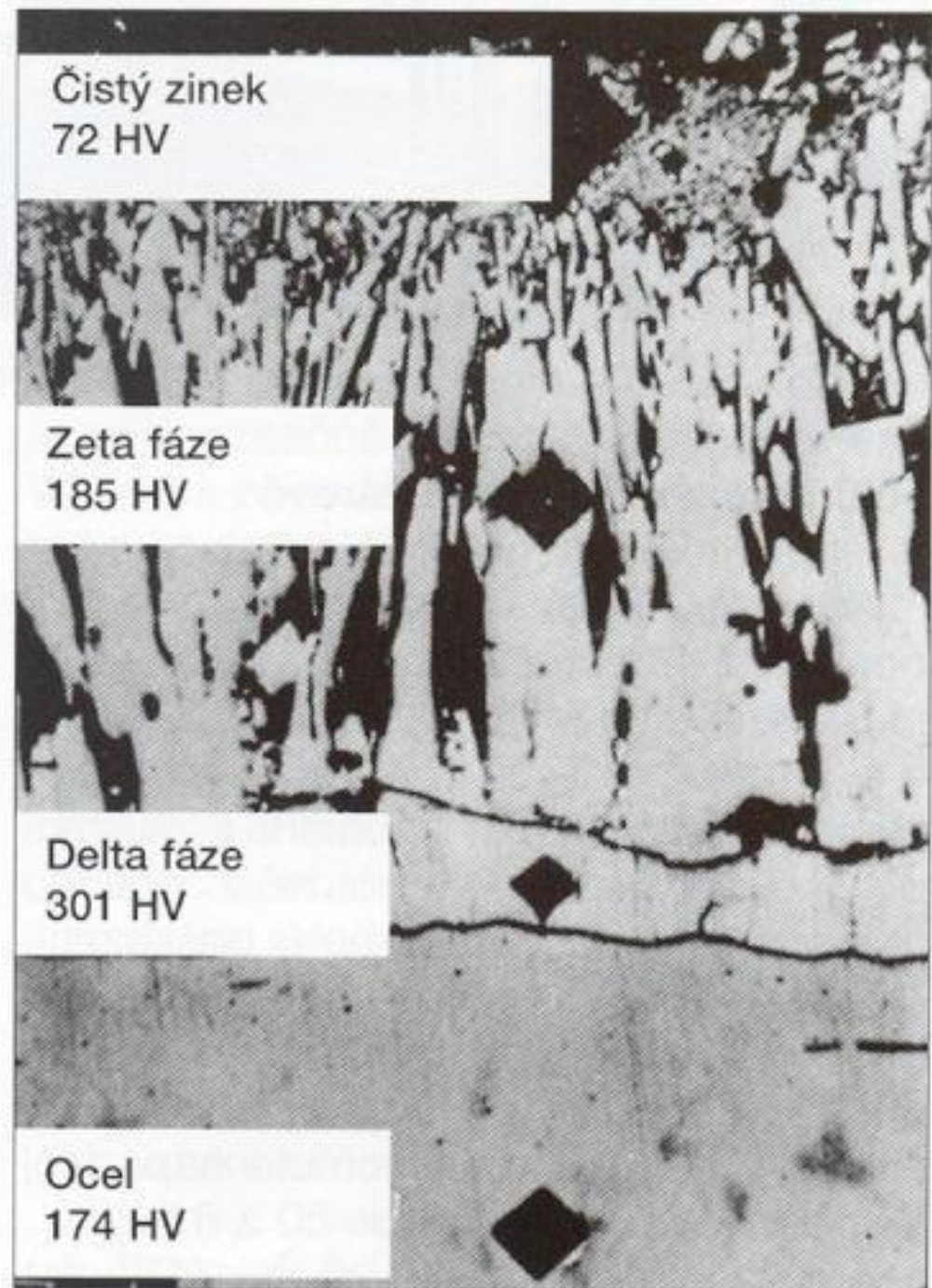
Zeta fáze

Delta fáze

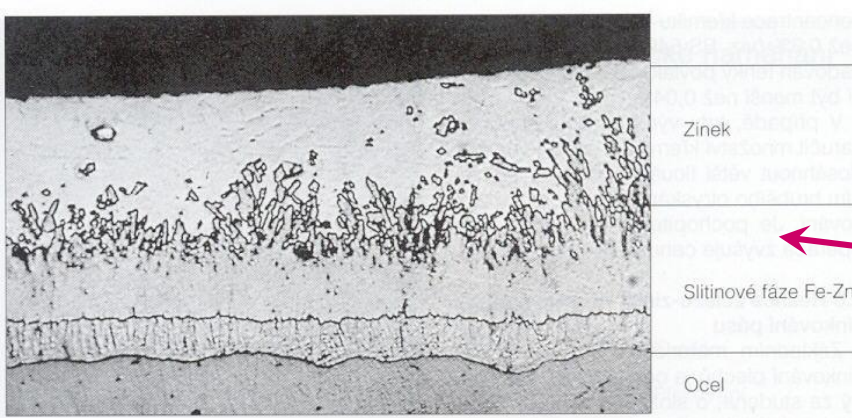
Gamma fáze

Mikrotvrdost různých fází zinkového povlaku a oceli

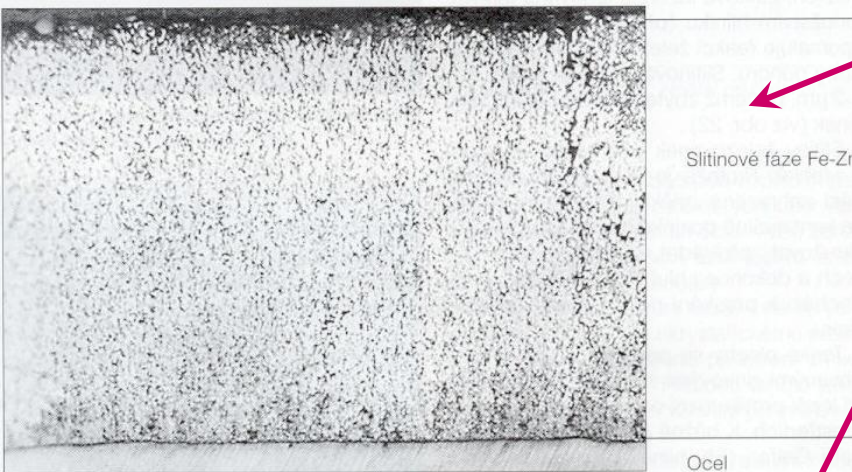
Tloušťka: 50 - 190 μm



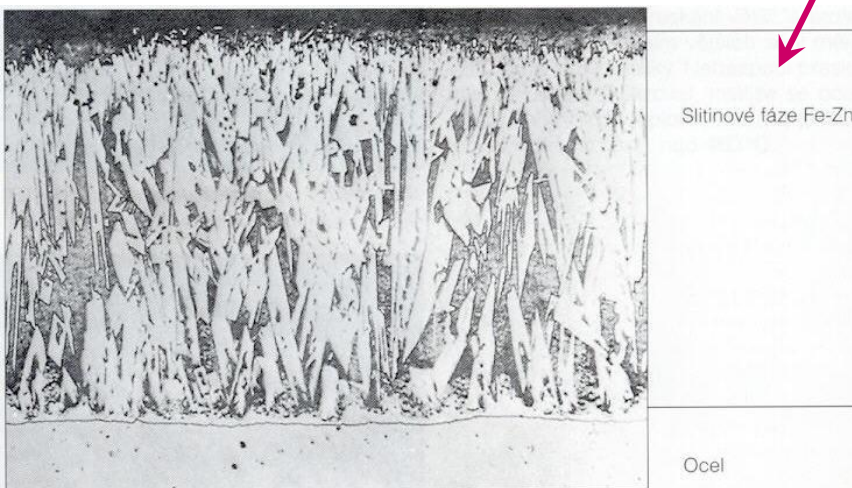
Vliv Si na strukturu



■ Příčný řez povlakem žárového $_{30}\text{Zn}$ na neuklidněné oceli (Si + P: pod 0,04 %) nebo oceli uklidněné Al



■ Příčný řez povlakem žárového $_{30}\text{Zn}$ na částečně uklidněné oceli (Si + P: 0,04 až 0,14 %) → více intermetalických fází



■ Příčný řez povlakem žárového $_{30}\text{Zn}$ na uklidněné oceli (Si nad 0,15 %)

Povrch: „krystalový květ“



Bílá rez

- Čistý Zn v atmosféře – okamžitá oxidace → nestabilní **ZnO**
- Působení vzdušného CO_2 v suchém atmosférickém prostředí (několik týdnů) → ochranná vrstva stabilního zásaditého **ZnCO₃** - velmi dobrá mechanická i chemická odolnost
- Ovlhčení **ZnO** → přeměna na **Zn(OH)₂**: bílý poprašek = bílá rez
- Nesnižuje odolnost systému proti korozi
- Dočasné kosmetické poškození povlaku (několik měsíců) → patinovaný vzhled **ZnCO₃**
- Prevence:
 - skladovat pod střechou
 - zamezení kontaktu s agresivními látkami
 - ukládat minimálně 150 mm nad zemí
 - používat suché podložky a bedny
 - nezakrývat fóliemi
 - pasivace
 - konzervování



Žárové zinkování

Vlastnosti:

- Houževnatý, měkký povlak s dobrou korozní odolností
- Pololesklý až lesklý vzhled - dekorativní
- Základ pro organické nátěry
- Chromátování: zlepšuje korozní odolnost zinkované vrstvy
 - žlutý chromát: zlatý vzhled (na ústupu)
 - modrý chromát: stříbrný vzhled

Základní materiály:

- Ocel
- Litina
- Mosaz
- Měď



Použití

Budovy a konstrukce:

- mosty, tunely, balkony, stožáry, ventilace, lešení, dvůrky, můstky, osvětlovací sloupy, odpadkové koše, sportovní



Energetika:

- napěťové stožáry, kabelové lávky, telekomunikační věže, trafostanice ...

Zemědělství:

- stáje a přístřešky, zábradlí, ohrady, ploty, skleníky, sila, rošty ...

Doprava:

- signalizace, napěťové konstrukce, dopravní prostředky a značky, vybavení doků a letišť...

Dráty:

- oplocení, pletiva

Trubky

Ocelové a litinové odlitky



Použití

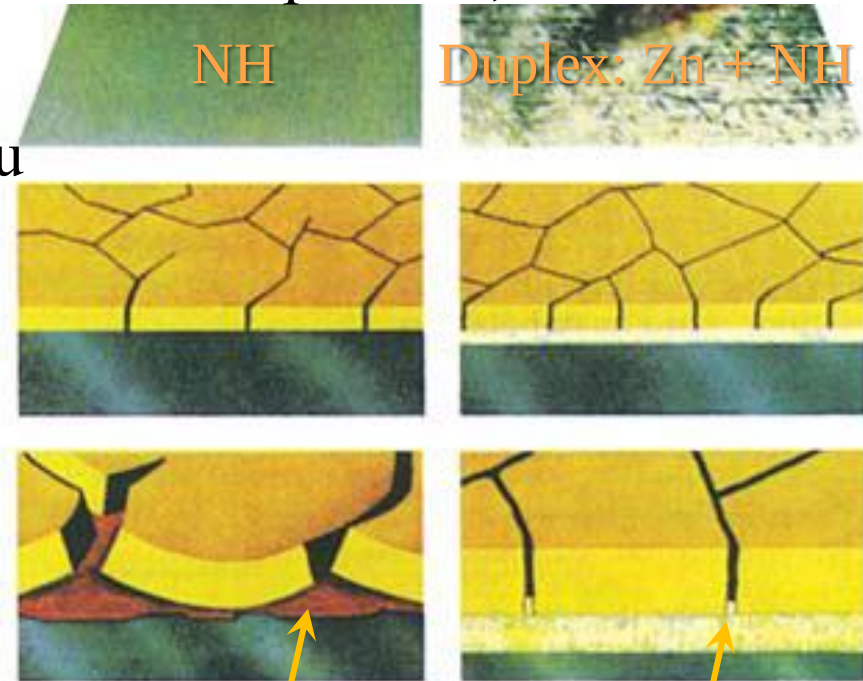
Spojovací díly:

- hřebíky, šrouby, vruty, matice, podložky, svorky, konzoly, háky, skoby, závěsy ...
- po vytažení z lázně - **odstředění:**
odstranění: přebytečného zinku
nerovnoměrností povlaku



Výhody

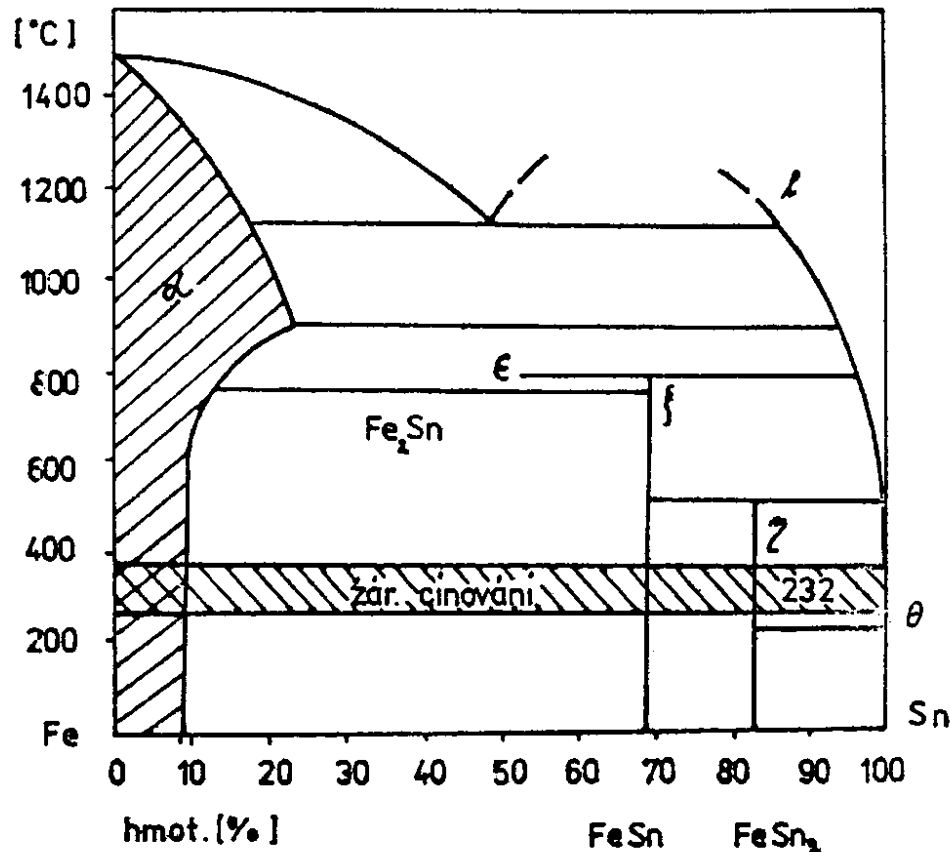
- stálost povrchu při extrémních povětrnostních podmínkách v neutrálních až mírně zásaditých atmosférách: pH od 6,5 do 11
- nepoškozuje životní prostředí
- úspora materiálu a nákladů na údržbu
- vysoká životnost
- rychlá ekonomická návratnost
- na hranách a v rozích stejně silný povlak
- rovnoměrná vrstva uvnitř i na povrchu konstrukcí
- duplexní systémy + NH



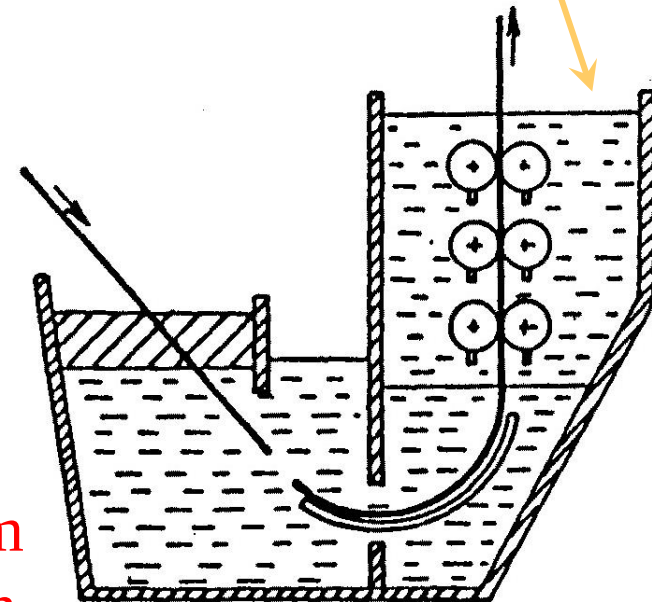
- mikrotrhliny v nátěru
→ podkorodování, odlupování
- mikrotrhlinky v nátěru na pozinkovaném materiálu: zaplnění korozními produkty zinku - menší objem než rez na oceli → nezpůsobují odlupování

Žárové cínování

- 50Sn: $T_t = 230^\circ\text{C}$
- Teplota: $270 - 350^\circ\text{C}$
 - Tavidla: $\text{ZnCl}_2, \text{NH}_4\text{Cl}$



- ve třech lázních (tavidlo, Sn lázeň, olej)
- ve dvou lázních (Sn lázeň s tavidlem, lázeň s olejem)
- litina - moření, tavidlo ...



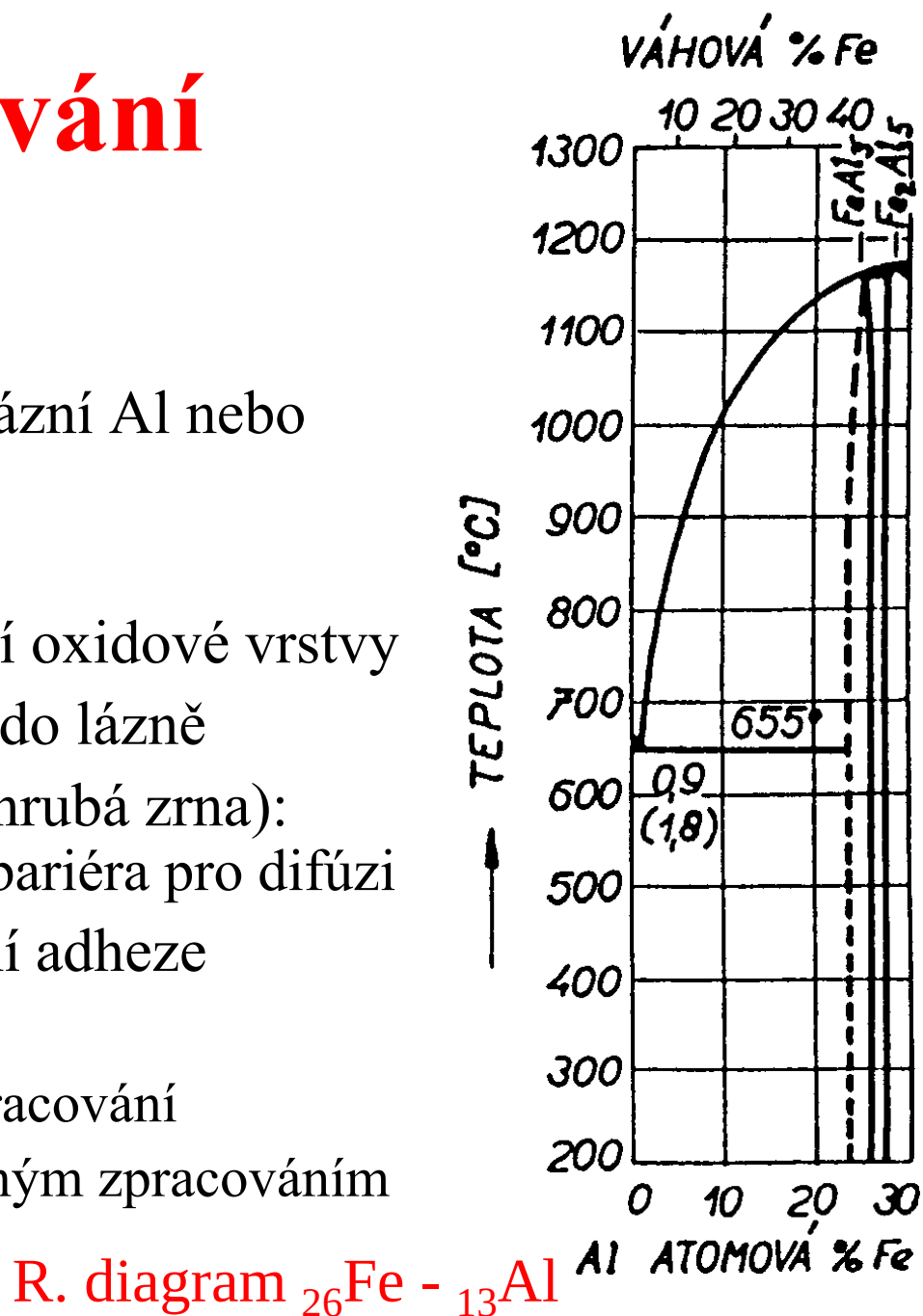
R. diagram
 $^{26}\text{Fe} - ^{50}\text{Sn}$

Žárové hliníkování

$_{13}\text{Al}$: $T_t = 660^\circ\text{C}$

Sendzimirova metoda

- žíhání: řízená atmosféra nad lázní Al nebo siluminu
- $T = 700^\circ\text{C}$
- tavidla: fluoridová - rozrušení oxidové vrstvy
- potlačení FeAl_3 přísadou $_{14}\text{Si}$ do lázně
- duplexní vrstvy: $\text{Al} - \text{Fe}_2\text{Al}_5$ (hrubá zrna):
potlačení přísadami $\rightarrow \text{FeAl}_3$: bariéra pro difúzi
- tepelné zpracování $\rightarrow$ zlepšení adheze
- zvýšení žáruvzdornosti:
 - do 500°C : bez tepelného zpracování
 - do $1\,000$ až $1\,500^\circ\text{C}$: s tepelným zpracováním



R. diagram $_{26}\text{Fe} - _{13}\text{Al}$

Žárové olovění

$_{82}\text{Pb}$: $T_t = 330^\circ\text{C}$

- $_{82}\text{Pb}$ netvoří s $_{26}\text{Fe}$ intermetalické fáze
- Teplota: 370°C
- Tavidlo: ZnCl_2

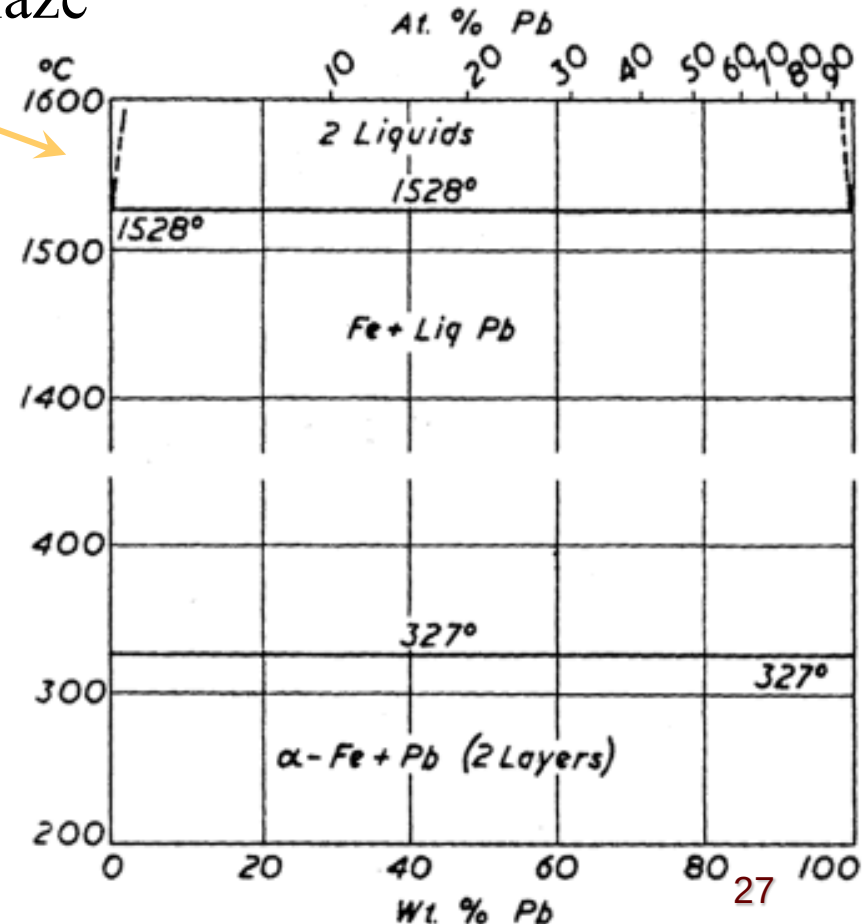
Pro vytvoření intermetalické vrstvy:

- 12 - 15 (až 50) % $_{50}\text{Sn}$: FeSn_2
- 2 - 6 % $_{51}\text{Sb}$: FeSb_2

Použití:

- chemický průmysl
(odolnost proti $_{16}\text{S}$)

R. diagram $_{26}\text{Fe} - _{52}\text{Pb}$



Vrstvy zpevněné fázovou transformací

Povrchové kalení:

- plamenem
- indukční
- moderní metody
(laser, plazma,
elektronový paprsek ...)

Zvláštní způsoby:

- kalení z tekutého stavu
- povrchové legování

Chemické složení se nemění



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Použití laseru

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation zesilování světla stimulovanou emisí záření

Aktivní prostředí

- plynové lasery: plyn nebo směs plynů (He, Ar, Ne, CO₂ ...)
- pevnolátkové lasery: dopované monokrystaly
- diodové lasery: polovodiče

Zdroj záření

- výbojka (uzavřená trubice)
dodává energii do aktivního prostředí

Polopropustné a plněodrazné zrcadlo

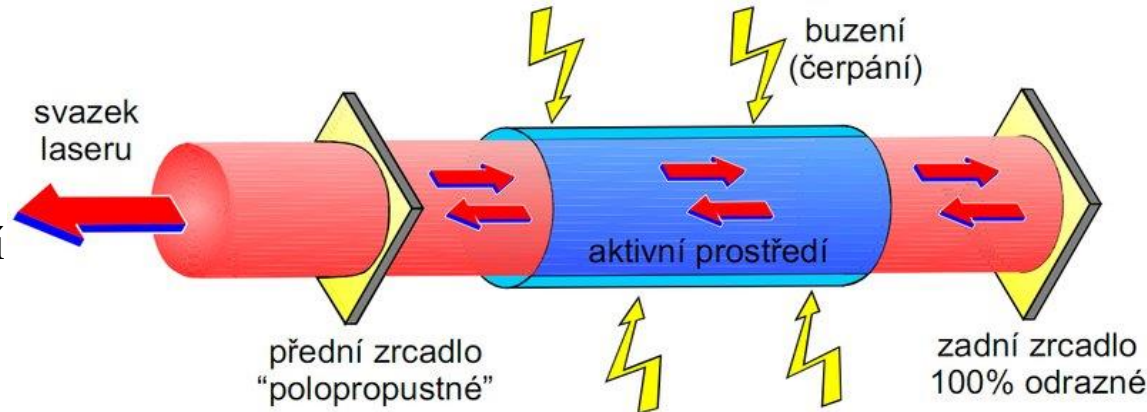
- rezonátor:
dvě rovnoběžná zrcadla (rovinná nebo zakřivená) kolmá na osu

Laserový paprsek

- vychází z aktivního prostředí přes polopropustné zrcadlo

Záření:

- monochromatické - určitá vlnová délka a frekvence
- koherentní - shodná fáze elektromagnetických vln



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Použití laseru

Laser:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

= zesilování světla pomocí stimulované emise záření

- optický zdroj elektromagnetického záření
- světlo - úzký svazek
 - koherentní: stejná frekvence, stejný směr kmitání, stejná fáze
 - monochromatické, stejná λ
- hustota absorbované energie: až 10^4 Jm^{-2}
- rychlost ohřevu: až 10^{12} Ks^{-1}
- malý součinitel odrazivosti
- **Zpracování povrchu:**
 - desorpce (čištění – odstranění adsorbovaných atomů)
 - reakce (tepelné zpracování)
 - tuhá fáze nebo natavení (amorfizace)



Červené (660 a 635 nm), zelené (532 a 520 nm) a modrofialové (445 a 405 nm) lasery

Použití laseru - povrchové kalení

Ohřev nebo natavení povrchu:

- Výkonová hustota 10^{16} W.m^{-2}
- Gradient teploty $10^4 - 10^6 \text{ K.s}^{-1}$
- Rychlost ochlazování až 10^6 K.s^{-1}
→ amorfní stav

Působení plazmatu:

- Plošná hustota $10^7 - 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$
- Délka impulsu $10^{-8} - 10^{-9} \text{ s}$
- Rázová vlna $10^3 - 10^4 \text{ MPa}$ → zpevnění (pnutí, trhliny)



Průběh teplot pod povrchem

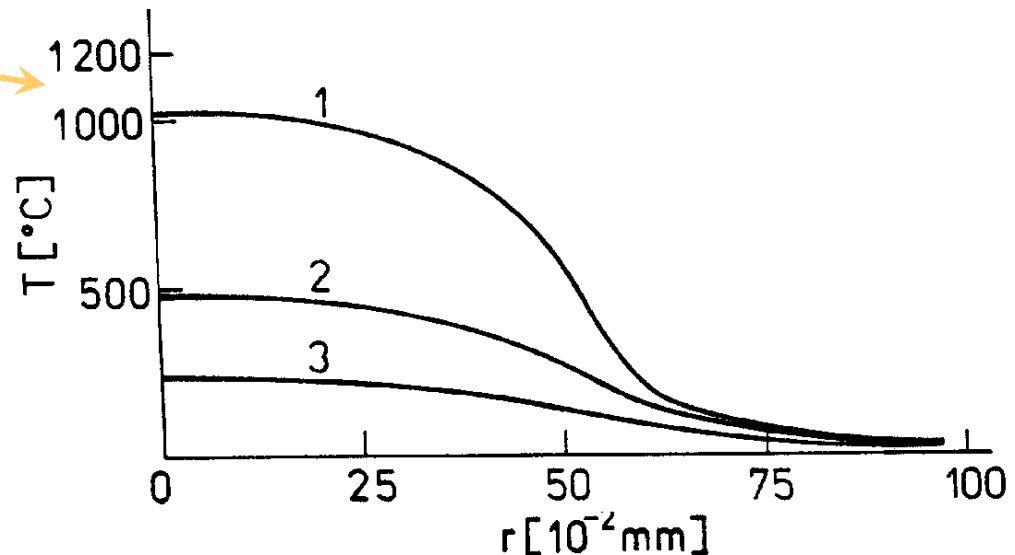
při výkonu $Q = 2,5 \text{ kW}$
a rychlosti posuvu $v = 37 \text{ mm/s}$

1) v hloubce 0,03 mm

2) v hloubce 0,15 mm

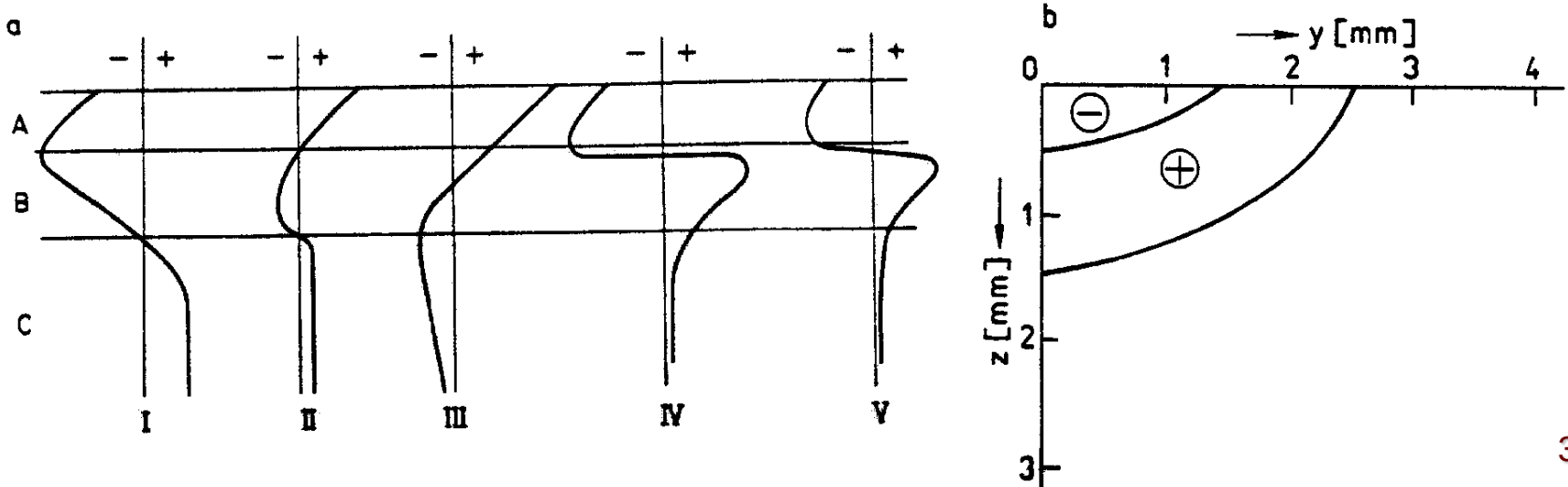
3) v hloubce 0,27 mm

r - vzdálenost od středu stopy

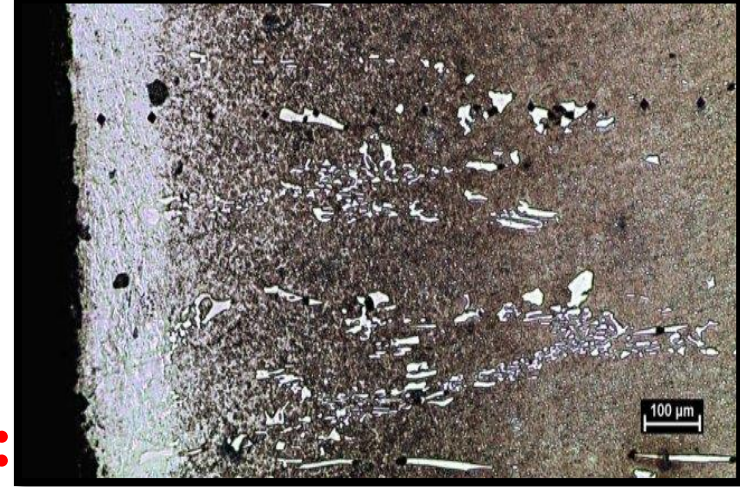


Povrchové kalení laserem - vnitřní pnutí

- A – fázová transformace perlit $\rightarrow$ austenit
- B – vysoká teplota pod transformační teplotou
- C – klesající teplota
- I – ohřev: A a B: tlakové pnutí
- II – ochlazování: A: tahové pnutí
- III – A a B: tahové pnutí
- IV – fázová transformace austenit $\rightarrow$ martenzit $\rightarrow$ A: tlakové pnutí
- V – vychladnutí



Povrchové kalení laserem



Vliv na povrchové vrstvy materiálu:

- Nehomogenita rozložení teploty → nehomogenita pnutí → nehomogenita vlastností
- Tlaková pnutí (tah → trhliny)
- Změna drsnosti povrchu (natavení, odpařování, vytrhávání částic ...)
- **Struktura:**
- **Oceli:** ferit, martenzit (laťkový) - vysoká hustota dislokací, hustě vyloučené drobné precipitáty
- **Šedá litina:** lupínkový grafit → jemné perlitické dendrity v eutektické ledeburitické matrici bez grafitu

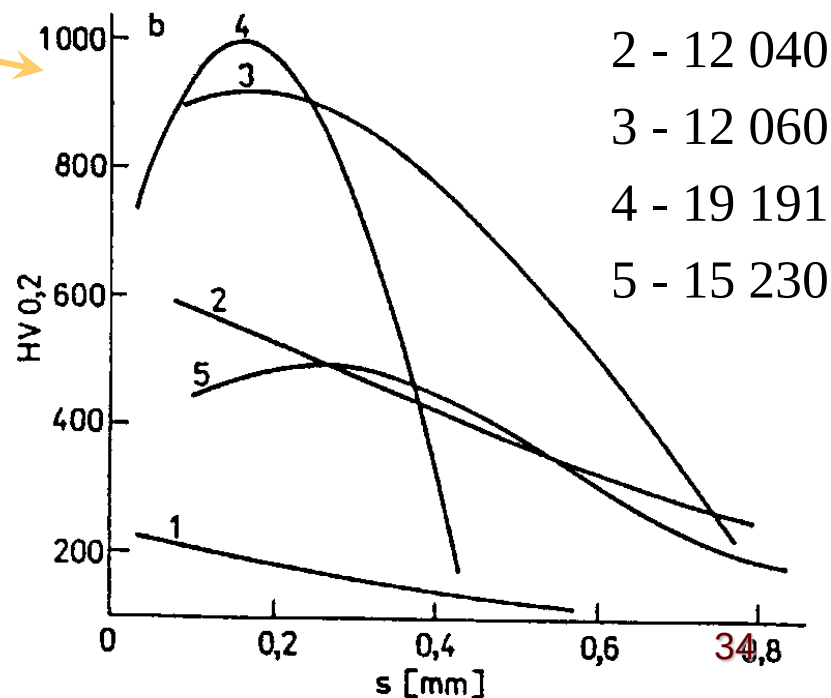
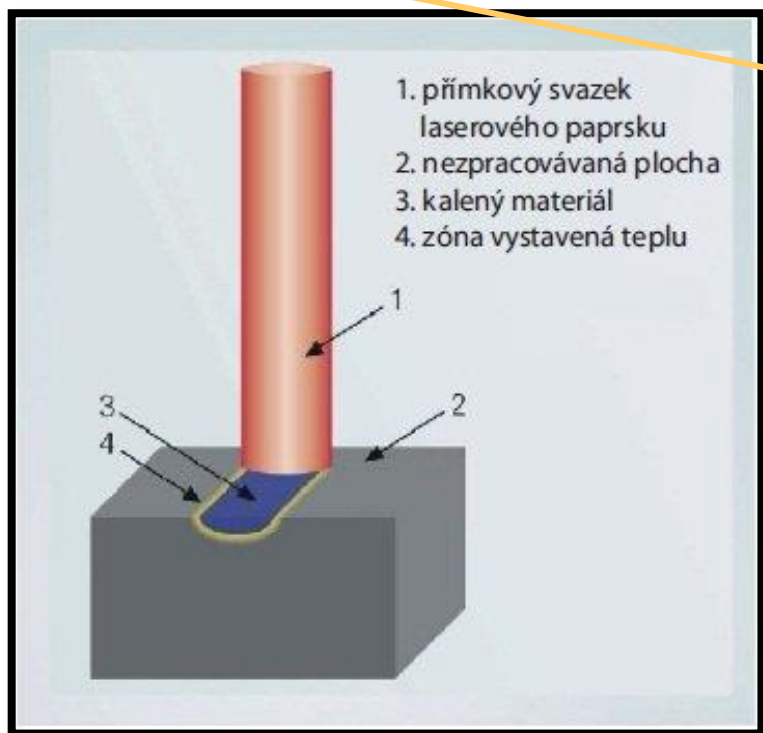
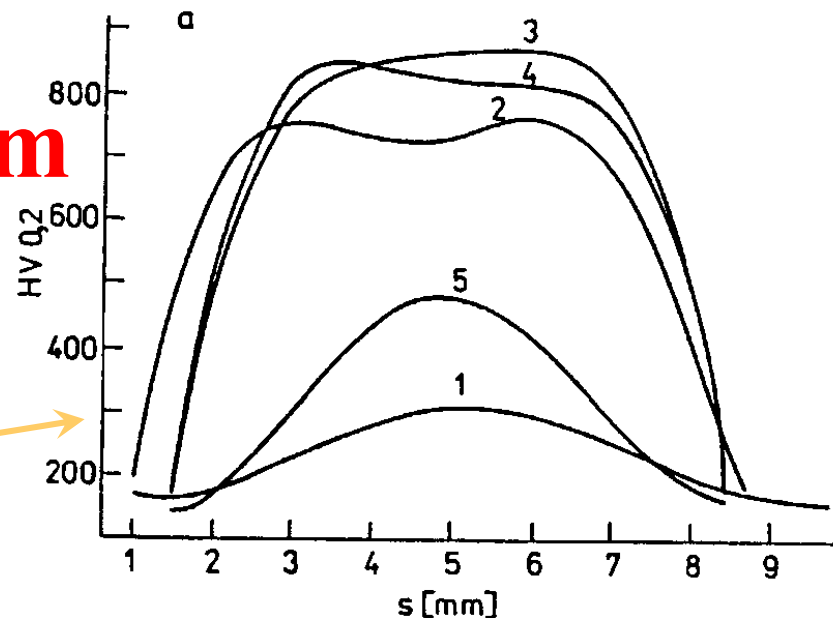
Povrchové kalení laserem

Průběh mikrotvrdosti

(hodnocení transformačního zpevnění)

a) na povrchu stopy

b) na řezu



1 - 12 014

2 - 12 040

3 - 12 060

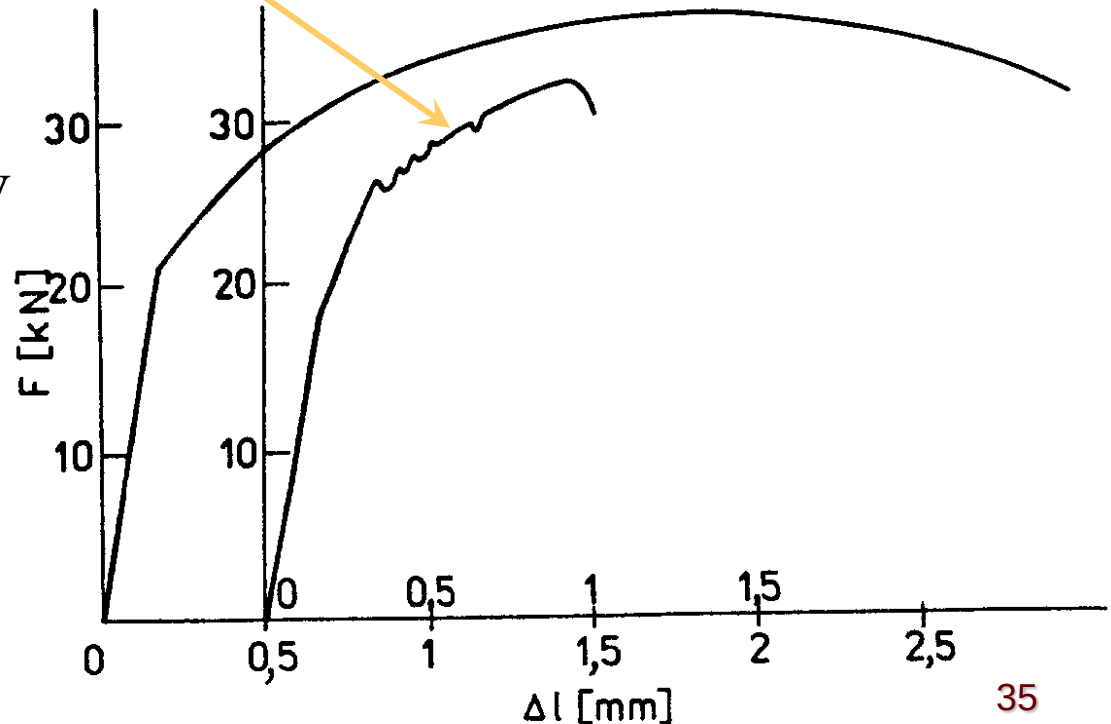
4 - 19 191

5 - 15 230

Povrchové kalení laserem

Tahový diagram

- 12 040 - po zpracování menší pevnost, tažnost a modul pružnosti
- Skoky na diagramu
 - praskání povrchových vrstev
 - vruby



Povrchové legování laserem

- Nanesení povlaku nebo emulze

- Natavení laserem

např.: nízkouhlíková ocel + emulze Ni, Cr ...

natavení → legovaná vrstva: 0,10 - 0,15 mm

- Mo, B: tvrdé otěruvzdorné vrstvy

- Kombinace s žárovým nástřikem:

WC: tvrdost: 800 - 1 000 HV

dobrá adheze, malé ovlivnění substrátu,
velká odolnost proti opotřebení

Chemicko - tepelné zpracování

Difúzní sycení povrchu v tuhém stavu

(kovy, nekovy)

Složení povrchové vrstvy se mění

Použití:

Zvýšení

- tvrdosti povrchu
- odolnosti proti opotřebení
- odolnosti proti únavě
- odolnosti proti korozi
- odolnosti proti žáru

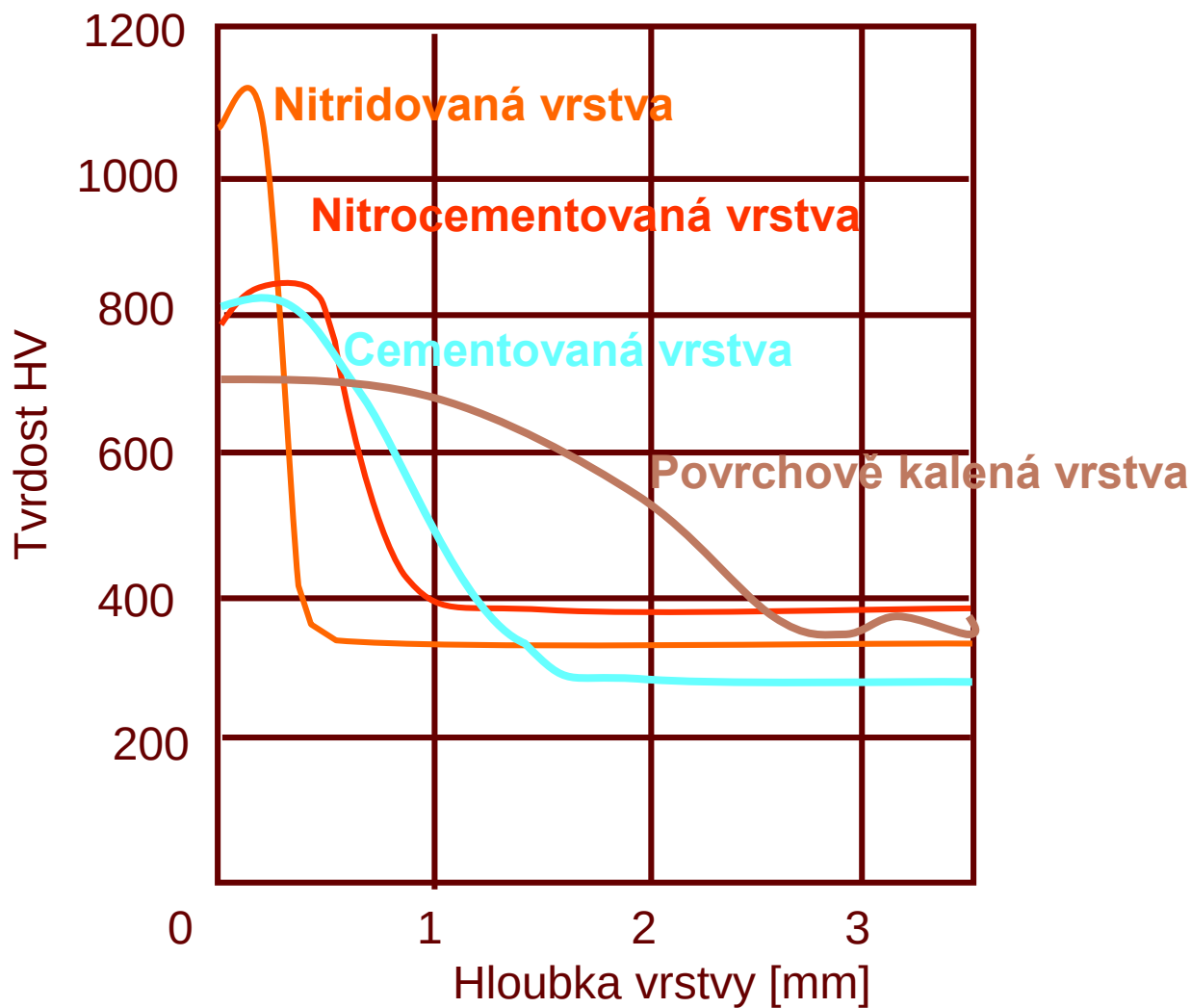
- cementace
- nitridace
- nitrocementace
- karbonitridace
- sírování
- sulfonitridace ...



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

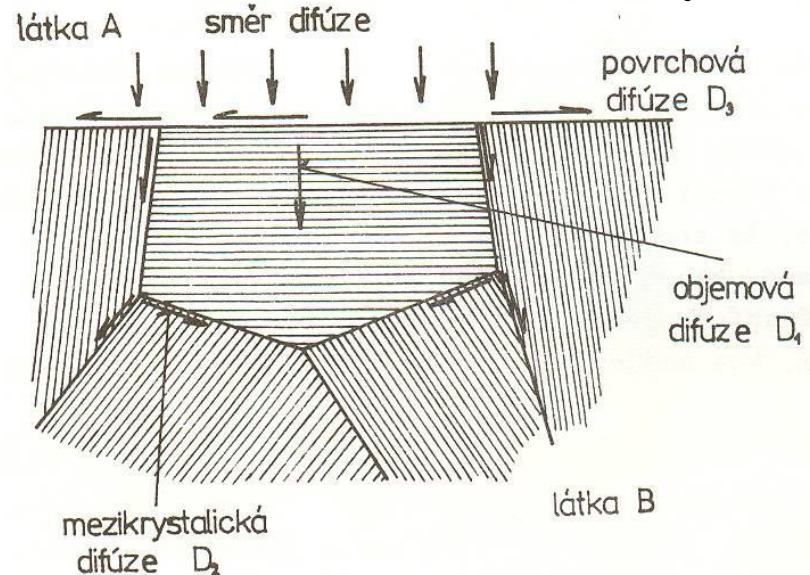
Základní chemicko - tepelné zpracování



Termodifúzní pochody

- prostředí:
plynné, kapalné, tuhé (sypké)
- termický rozklad solí nanášeného kovu
- žíhání předmětu v práškovité směsi
kovu se solemi uvolňujícími reaktivní
ionty (například ionty chloru)
- teplota: 900 - 1100°C
- difúze prvků do mřížky
základního kovu:

- chromování
- zinkování
- hliníkování
- křemíkování
- boridování
- beryliování ...



Termodifúzní chromování (inchromování)

- Teplota: 900 - 1 200°C
- Čas: 1 - 12 hod
- Tloušťka: 25 - 30 μm
- Prostředí: tuhé, kapalné, plynné:
halogenidy Cr (rozklad)

■ Vlastnosti:

- povrchová tvrdost:
nizkouhlíková ocel (**TR**): 150 - 300 HV
výšeuhlíková ocel (**karbidické vrstvy**): 1 200 - 1 300 HV
- odolnost proti opotřebení
- odolnost proti atmosférické korozi a tepelné oxidaci

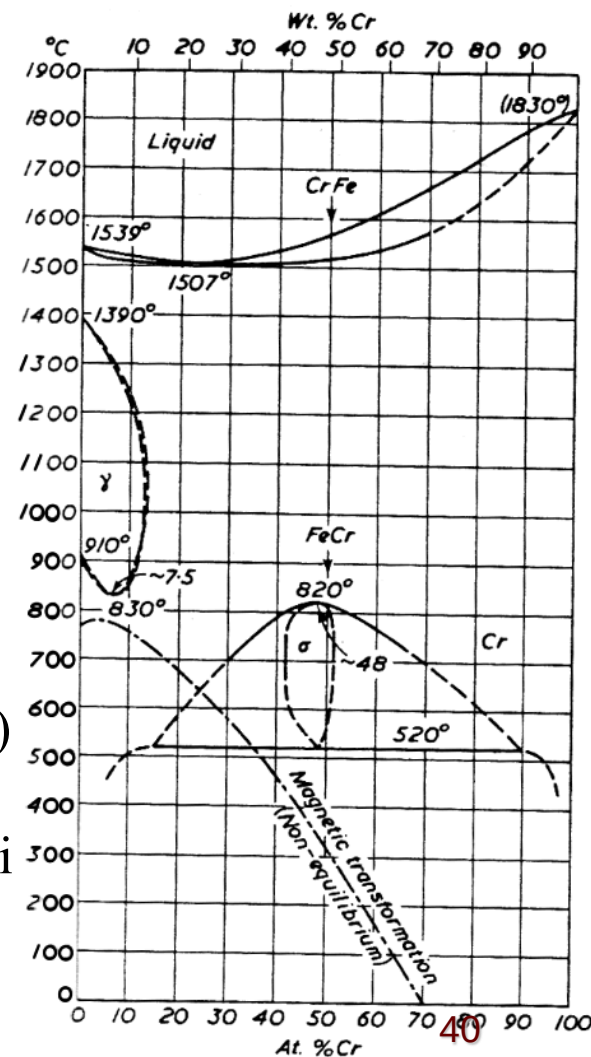
■ Použití:

- méně mechanicky namáhané korozivzdorné součásti:
nizkouhlíková ocel + Ti, V, Nb, Mo (stabilnější karbidy)
- více mechanicky namáhané součásti: výšeuhlíkové nebo legované oceli: nižší tloušťka vrstvy, nižší odolnost proti korozi, vysoká odolnost proti opotřebení

Lze zušlechťovat

Rovnovážný diagram

$^{26}\text{Fe} - ^{24}\text{Cr}$

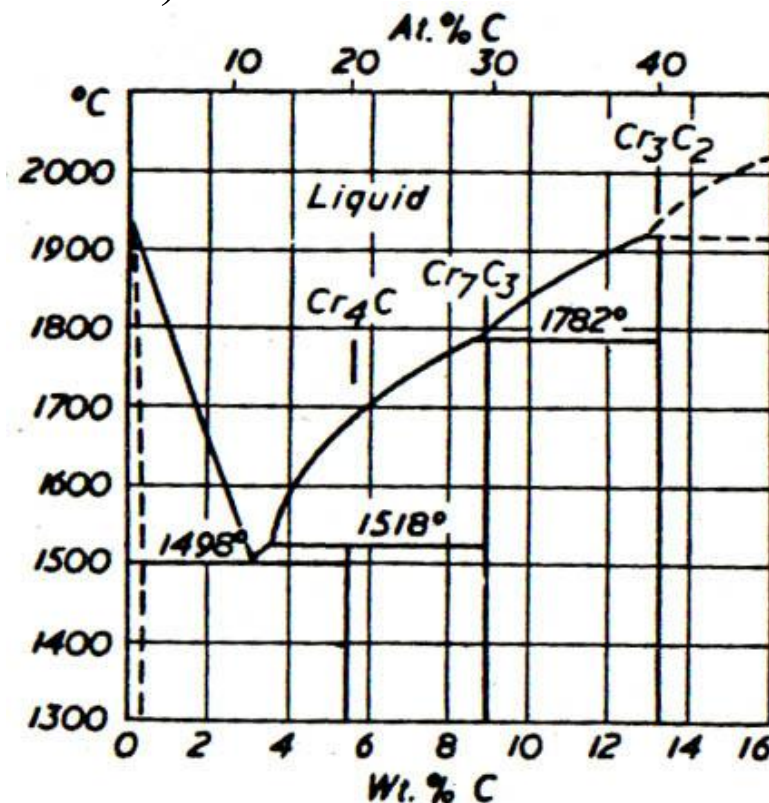


Termodifúzní chromování

Difúzní sycení povrchu ocelového předmětu chromem

- Teploty 900-1200 °C (někdy ve vakuu)
- Prostředí
 - Tuhé (ferochróm, NH_4I , keramické směsi...)
 - Kapalné
 - Plynné (H_2 , HCl)
- Doba chromování 1-12 hodin
- Tloušťka vrstev 0,05 až 0,3 mm
- Obvyklá tvrdost 150 – 300 HV
- Součásti lze dále tepelně zpracovávat (zušlechťování)

Rovnovážný
diagram
 ${}^{24}\text{Fe} - {}_6\text{C}$



Modifikace:

- karbochromování, chromalitování, chromkřemíkování

Termodifúzní zinkování

Nízkoteplotní způsob (scherardování)

- Teplota: 350 - 400°C
- Čas: 1 - 10 hod
- Tloušťka: 30 - 80 μm

Prostředí: rotační pec:

práškový $_{30}\text{Zn} + \text{ZnO}$

+ křemičitý písek

fáze:

γ - $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$

δ - FeZn_7

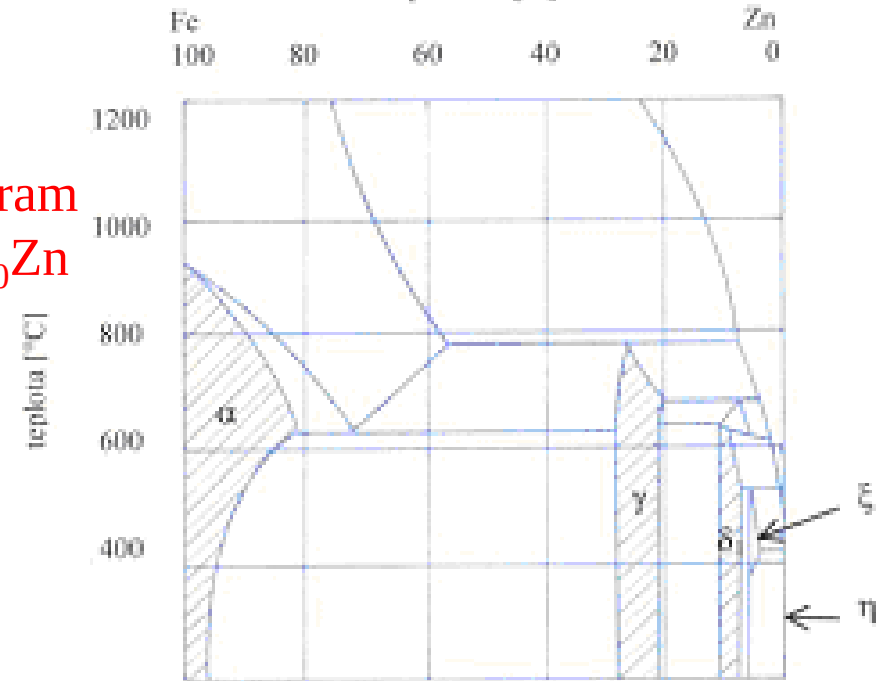
ξ - FeZn_{13}

η - tuhý roztok Fe v Zn

Vlastnosti:

sleduje obrysy povrchu, neodlupuje se,
menší lesk - spojovací materiál

R. diagram
 $_{26}\text{Fe} - _{30}\text{Zn}$



Termodifúzní zinkování

Vysokoteplotní způsob

- Teplota: 700 - 1 000°C
- **Prostředí:**
pec: páry $\text{H}_2 + \text{Zn}$ ($T_v = 907^\circ\text{C}$)
- Struktura: TR, intermetalické fáze
- Materiály: oceli, litiny, slitiny mědi
- Použití: zařízení naftového a důlního průmyslu
- ochrana proti sirovodíkové korozi:
 - síra je třetím nejvíce zastoupeným prvkem v ropě
 - sirovodík rozpuštěný v ropě přechází při odsolování do vodné fáze a spolu s kyselinou chlorovodíkovou přispívá k elektrochemické korozi



Termodifúzní hliníkování

Vlastnosti:

- Odolnost proti oxidaci do 900°C
- Korozní odolnost až do 600°C: sloučeniny S (HS..)

Alitování

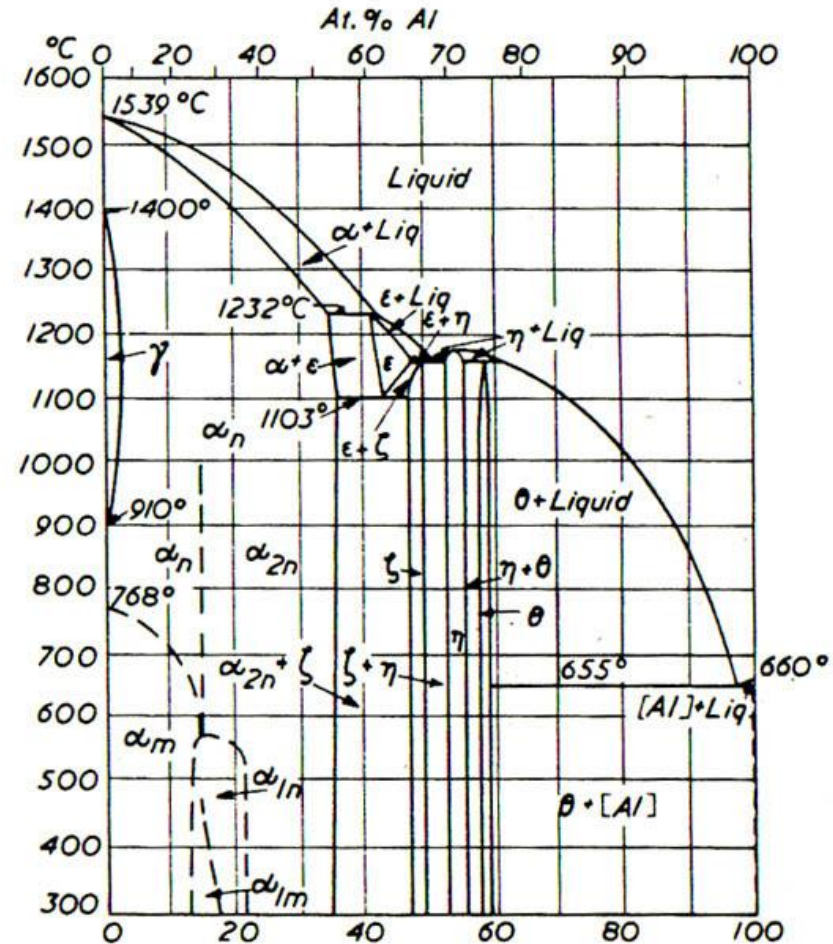
- Teplota: 800-1000°C
- Čas: 1 - 10 hod
- Tloušťka: 60 - 80 μm
- **Prostředí:** **90 % feroaluminium**
+ 9 % Al_2O_3 + 1 % NH_4Cl
- Vlastnosti: houževnatost, odolnost proti žáru

Kalorizování

- Teplota: 900 - 1000°C
- Čas: 2 hod
- **Prostředí:** **50 %Al₂O₃ + 50 % Al + NH₄Cl**
- Vlastnosti: více Al, menší houževnatost

Alumetování

- **Metalizace + žhání**
(vodní sklo - ochrana proti spálení Al...)
- Teplota: 800 - 1000 °C
- Čas: několik hod
- Vlastnosti: odolnost proti oxidaci do 900°C
- Použití: i pro větší konstrukce, tloušťka: 0,3-0,5 mm



Termodifúzní křemíkování

Vlastnosti:

ferisilit 14 - 18% Si - vysoká odolnost proti kyselinám (od 3%), tepelné oxidaci, opotřebení, ale obtížné odlévání, obrábění
nevýhoda: křehkost

- zlepšení difúzním žíháním

Teplota: 700 - 1000°C

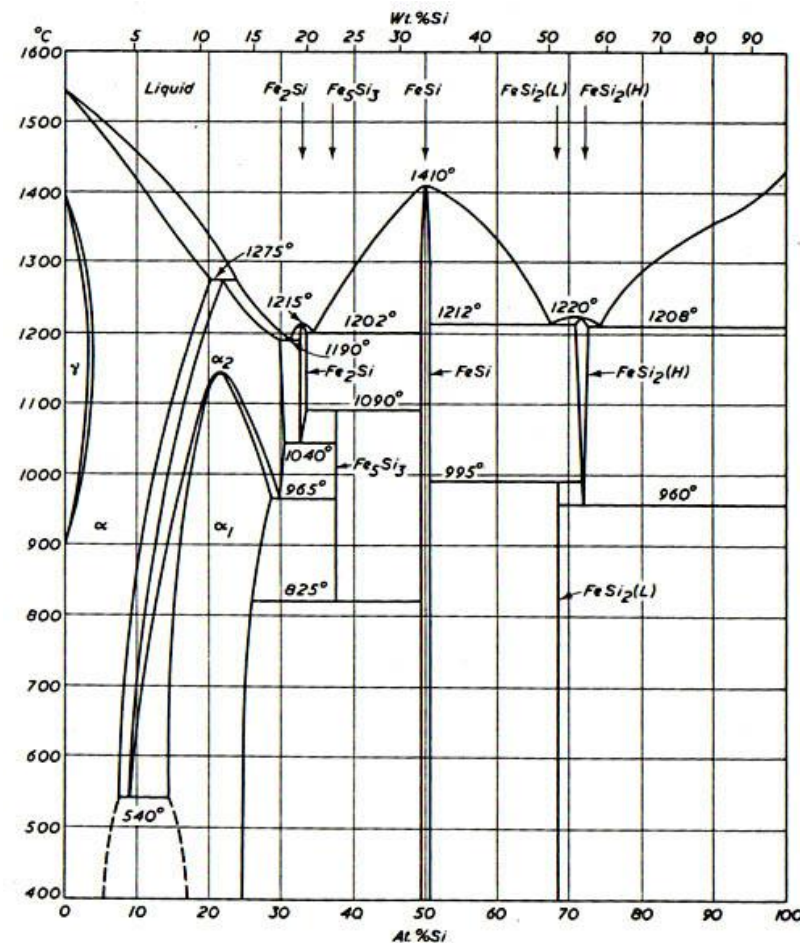
Prostředí:

Zásyp

- Prášek SiC nebo ferosilicium + písek + FeCl_3
- Nízké zvýšení korozní odolnosti (pod 12% Si)

Plyn

- SiCl_4 ...
- Vysoké zvýšení korozní odolnosti (nad 12% Si)
- Použití: oceli (i legované), litiny
- Mo → vysoká žáruvzdornost



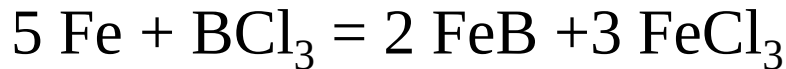
Termodifúzní boridování

- **Teplota:** 500 - 600°C

- **Prostředí:**

tavenina, pasty, plyn ...

$\text{BCl}_3 + \text{H}_2$ - bez vzduchu, vzorky v křemenné trubici:

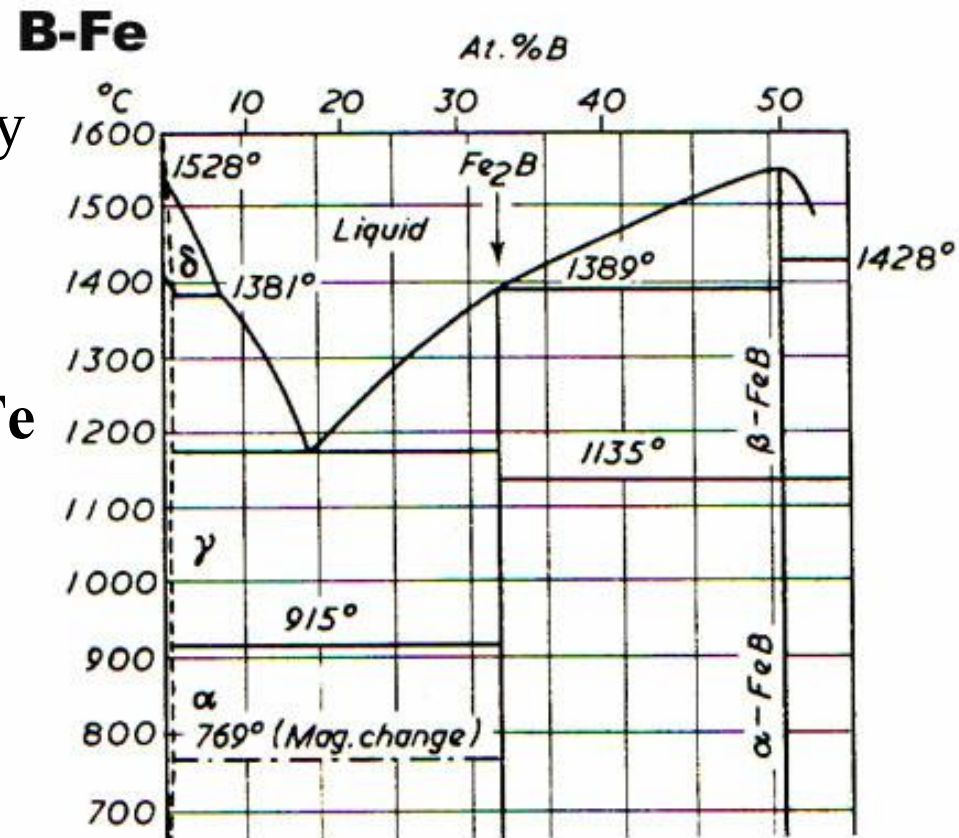


Struktura:

- **boridy** Fe, komplexní boridy Fe a legujících prvků, **TR** $_5\text{B}$ v Fe

Vlastnosti:

- vysoká tvrdost (2 000 HV)
- vysoká odolnost proti otěru a zadírání bez TZ
- odolnost vůči zředěné HCl



Termodifúzní beryliování

Prostředí:

- plyn:
HCl, vzorky v prášku feroberilia
nebo BeO

Struktura:

- dle složení (hlavně C):
- nízkouhlíkové oceli:
- povrch: FeBe_2
- pod povrchem: TR_4Be v Fe
do 4,5 %
- vrstva oxidů pevnější a odolnější

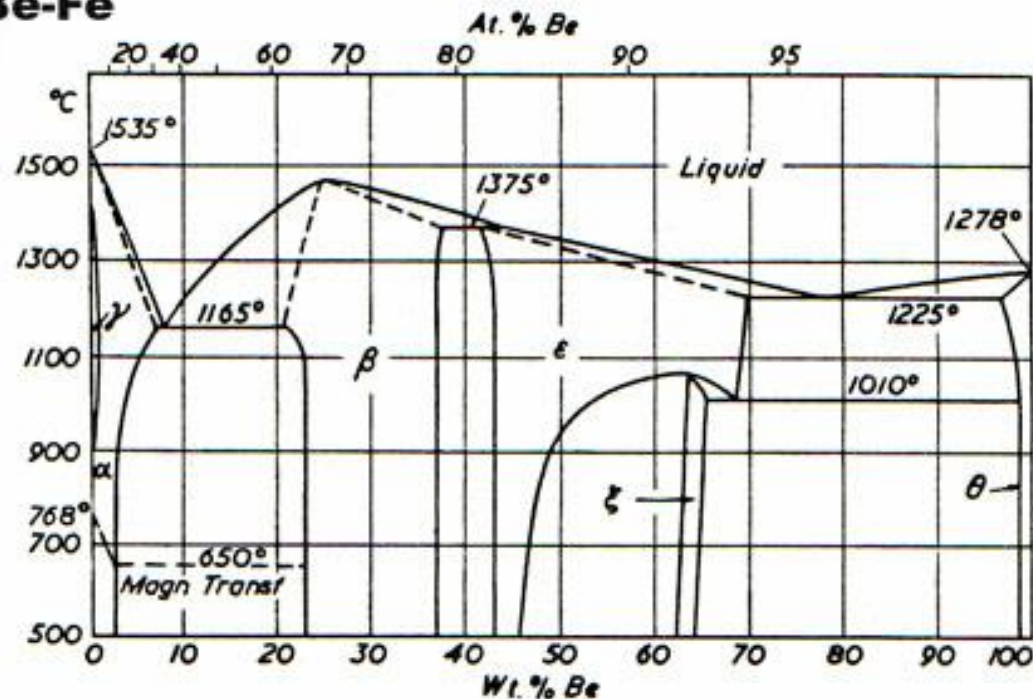
Vlastnosti:

- vysoká tvrdost a odolnost proti
otěru a zadírání bez TZ

Použití:

- proti oxidaci spalovacími
zplodinami

Be-Fe



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

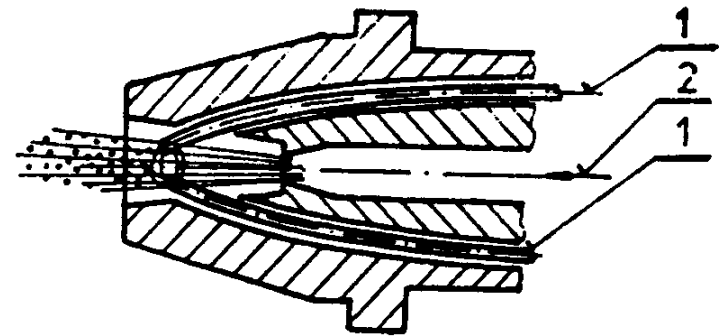
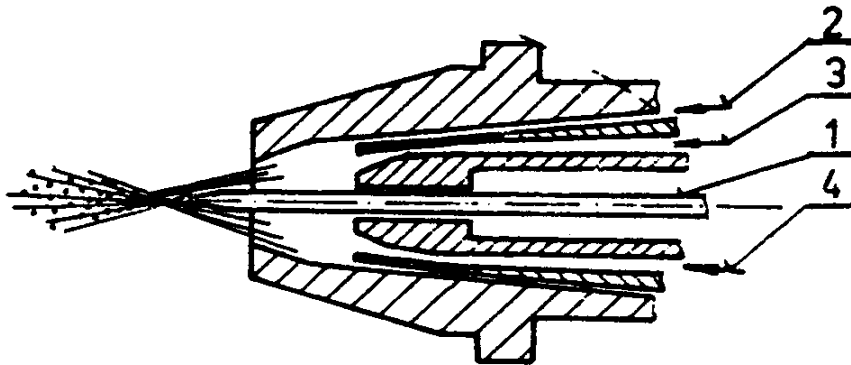
Žárové stříkání kovů - metalizace (šopování)

Princip:

- Částice kovu nebo slitiny
- Proud vzduchu nebo spalin
- Substrát: kov, dřevo, papír, sádra, plastické hmoty, sklo, keramika, tkanina ...
- Předúprava: otryskání ...

Použití:

- Ochrana proti korozi a teplotám
- PÚ nekovů
- Renovace součástí
- Opravy odlitků
- Speciální výroba forem



Metalizační pistole: plynová

elektrická

1. Drát (někdy prášek) - mezi dráty hoří el. oblouk
2. Přívod vzduchu
3. Přívod kyslíku
4. Přívod plynu

Metalizace používající drát

Plynová metalizace

Plamen trysky

- kyslíkoplynový
- vzduchoplynový
- plyn: acetylen, vodík, propan
- kombinace plynů dle taveného materiálu - čím vyšší je bod tání materiálu, tím vyšší teplota plamene
- tlakový vzduch pro rozprašování a vrhání roztavených částic kovu na upravovanou plochu

Elektrická metalizace se vzduchovým rozprašováním

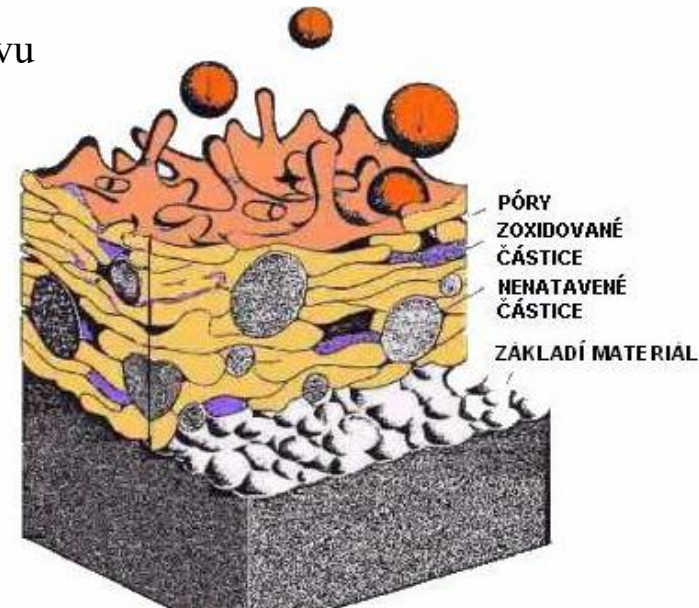
- pro vyšší výkony, nižší provozní náklady
- pro stříkání materiálu s vyšším bodem tání

Povlaky:

- lístkové částice kovu (splaty) oddělené tenkou vrstvou oxidu
- pórovitost
- zvýšení protikorozní účinnosti: utěsnění pórů - nanesení NH ...

Použití:

- Zn, Al, Zn+Al, Cu a její slitiny, ostatní kovy výjimečně
- protikorozní ochrana mostových a stavebních konstrukcí, méně pro PÚ jednotlivých strojních součástí, popř. pro jejich renovaci
- často na volném prostranství (mosty, stavby atd.)



Chemické pokovování

1. redukční postup:

- chemická redukce kovového iontu redukující sloučeninou
- lázně:
 - alkalické i kyselé: roztoky kovových solí + redukční chemikálie
 - stabilizátory upravující pH a průběh procesu
- postup: ponor, potírání (rozměrné předměty), postřik, vyvařování
- výhody:
 - vylučování **na kovech i nekověch**
 - dobrá adheze
 - velká tloušťka

2. postup využívající rozdílného elektrochemického potenciálu kovu:

- ušlechtilější kov je vylučován z lázně za současného rozpouštění kovu méně ušlechtilého
- komplexotvorné přísady - vážou rozpouštěný kov do pevného komplexu
- kontakt:
 - vodivé spojení: kontaktní kov se rozpouští, ušlechtilější kov je vytěsňován z roztoku a usazuje se na předmětu

Chemické pokovování

Speciální technologie:

- ^{29}Ni
- ^{47}Ag
- ^{29}Cu
- ^{50}Sn (jako kotvící mezivrstva)
 - kompozitní povlaky
 - chemické vylučování kovů na sklo v bižuterním průmyslu a při výrobě zrcadel - ^{47}Ag , ^{29}Cu , ^{79}Au , směsné kovy ...

Chemicko - mechanické vylučování kompozitního povlaku ^{30}Zn :

- chemické pokovení a mechanické působení (tlak)
- povlaky složené ze speciálně vytvořených částic - vloček
- hromadné zpracování - většinou rotační zvony
- použití: drobné ocelové díly a součásti, kde nesmí nastat vodíková křehkost (pružiny, vysokopevnostní spojovací materiál, speciální drobné součástky...)
- výhoda: možnost řízení tloušťky povlaku až na úroveň žárového pokovení (stovky μm)

Chemické mědění

- z modré skalice CuSO_4
- měkké vrstvy - dráty před tažením za studena: lisování plechů, hromadná úprava drobných součástek
- pro ocel
- pro Al - horší přilnavost k oxidu

Chemické cínování

- Al a jeho slitiny - pro zabíhání pístových strojů
- Cu a její slitiny - elektrotechnika
- slitiny Fe - obtížnější



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Chemické chromování

- slitiny Fe - obtížné
- lépe po pomědění nebo po poniklování (lepší adheze)
- kapalné prostředí, někdy s katalyzátorem
- pomalé vylučování: cca 2 μm / hod.
- povlaky:
 - houževnaté, korozivzdorné
 - rovnoměrné i na členitých předmětech, včetně dutin

Chemické zinkování

- Al a jeho slitiny: zinečnaté mořidlo
- Cu a její slitiny
- před galvanickým pokovením

Chemické stříbření

- Cu a její slitiny
- slitiny Fe - po pomědění
- tenké povlaky, bižuterie, vodivé povlaky



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Chemické niklování

Lázně:

- slabě kyselé - rozšířenější
- slabě alkalické - vysoce lesklý povlak s nižším obsahem P, nižší vylučovací rychlost, pro Al

Složky lázní:

- ionty Ni^{2+} : nikelnaté soli: chlorid nebo síran nikelnatý
- redukční činidlo (fosfornan sodný, hydrazin nebo boran): redukce Ni^{2+} na Ni, zdroj P
- komplexotvorné činidlo: udržení pH, udržení Ni ve formě komplexu, zabraňuje tvorbě fosforitanu nikelnatého
- urychlovače: organické kyseliny nebo fluoridy: zvýšení vylučovací schopnosti
- stabilizátory: zabránění vylučování Ni na nečistotách
nerozpustné sloučeniny: As, Mo, Bi, PbS ...
stopové množství: 0,1 - 0,5 mg / l
vyšší množství zastaví vylučování kovu

Složení povlaku:

- eutektikum Ni a P
- 5 - 12 % P: neporézní povlak



Chemické niklování

Výhody:

- nízká pórovitost - vysoká korozní odolnost - vyšší než u galvanických povlaků
- rovnoměrná vrstva i na členitých předmětech, nevyžaduje další broušení
- dokonalá přilnavost
- tvrdost po pokovení 440 - 660 HV (45 - 58 HRC)
- možnost vytvrzení až na 1100 HV (69 HRC) → netoxická náhrada tvrdého chromování
- zdravotní nezávadnost
- vysoká otěruvzdornost, nízký součinitel tření, dobrá smáčivost olejem: kluzné aplikace
- pololesklý až lesklý vzhled, možnost zabarvení povrchu do černa
- nízká absorpce vodíku, přibližně 1/5 v porovnání s elektrolytickým niklováním a 1/10 v porovnání s tvrdým chromováním
- ochrana proti mechanickému vzniku zápalné jiskry
- tloušťka: 3 - 80 μm

Základní materiály :

- ocel, litina, hliník a jeho slitiny, měď a její slitiny

Použití:

- strojírenský průmysl:
hřídele, válce, slévárenské formy ...
- automobilový průmysl:
brzdové písty, spony, díly do převodovek ...
- naftový, plynový a chemický průmysl:
příruby, trubky, čerpadlové komponenty, ventilová tělesa
- elektrotechnika, letectví, zdravotnictví, potravinářství ...



Ekologie chemického pokovování

- vznik nerozpustných sloučenin
(komplexotvorné přísady ...)
- jednorázové lázně → větší objem
koncentrovaných nečistot
- vzdušina - složky lázně ve formě aerosolu
- teplota - blízko bodu varu:
redukční procesy
→ vývoj plynů
→ výkonné odsávání



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Povlaky z mikrolamel

Zn, Al

- spojovací součásti...
- nanášení suspenze mikrolamel a vhodného pojiva, někdy s mazivem: máčení, stříkání, technologie dip-spin coating (namáčení a odstředění v bubnu)
- vysušení
- vytvrzování teplem → spojování mikrolamel a pojiva
- elektricky vodivý povlak → **katodická ochrana**
- nevývívá se **žádný vodík**
- předběžné úpravy:
 - metody bez vývinu vodíku (např. tryskání...)
 - metody s možností absorpce vodíku (elektrolytické odmašťování, moření...) → řízení procesu z hlediska vodíkové křehkosti



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY