

Vysoká škola: **strojná a textilní** Fakulta: **strojná**

Katedra: **tváření a pleť** Školní rok: **1985/86**

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Ladislava H u b á l k a**

obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Renovace strojních součástí - plamenem - prášky**

## Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií stříkání prášků se zahraničním zařízením ROTOLAY Casto Byn.
2. Prostudujte teoretické podklady - exotermické reakce za použití exotermických prášků /extra Bond 25.000/.
3. Zhotovte nástřiky na vybrané oceli /i tepelně zpracované/ stříkací a navařovací pistolí zhotovené na KPT jako prototyp.
4. Vyhodnoťte přílnost nástřiků a určete nejvhodnější parametry pro nástřik.
5. Výsledky aplikujte při renovaci na vybrané strojní součásti.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5  
PŠČ 461 17

V. 139 / 86 5

KPT | TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: **40 - 50 stran**

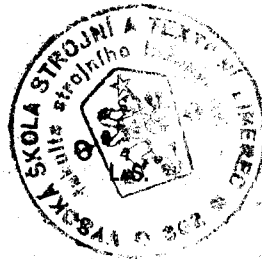
Seznam odborné literatury:

1. Kurz svařování plamenem - prášky, ČSVTS, Nitra 1980
2. Zvarání, časopis VÚZ, ročník 1981
3. KOLÍNSKÝ, J. : Diplomová práce, Renovace strojních součástí - plamenem - prášky, VŠST, Liberec 1982

Vedoucí diplomové práce: **Stanislav Jenší**

Datum zadání diplomové práce: **27. 9. 1985**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. 5. 1986**



*Jenší*  
**Doc. Ing. Jaroslav Jenší, CSc.**  
Vedoucí katedry

*Alaxín*  
**Doc. Ing. Jan Alaxín, CSc.**  
Děkan

V **Liberci** dne **25. 9.** 19 **85**

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

RENOVACE STROJNÍCH SOUČÁSTÍ - PLAMEN , PRÁŠKY

KTP - 209

Ladislav Hubálek

Vedoucí diplomové práce: Stanislav Jenší, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	88
Počet tabulek:	9
Počet obrázků:	35
Počet příloh:	-
Počet výkresů:	-
Počet modelů:	-

23. května 1986

PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou  
práci vypracoval sám s použitím uvedené literatury.

Ladislav Kubaltek

podpis

V Liberci dne 23. května 1986

Děkuji za odborné vedení a pomoc v praktické části  
s. Jenšimu a s. Ing. Beranovi.

Děkuji také všem, kteří mi v průběhu řešení  
diplomového zadání přispěli radou a pomocí.

O B S A H

		strana
1.	ÚVOD . . . . .	8
2.	TEORETICKÁ ČÁST . . . . .	10
2.1.	Rozdělení způsobů nanášení povlaků a jejich porovnání . . . . .	11
2.2.	Metalizace - stříkání kovů . . . . .	12
2.3.	Navarování plamenem . . . . .	15
2.4.	Termický nástřik . . . . .	20
2.4.1.	Teorie o termickém nástřiku . . . . .	20
2.4.2.	Vývoj technologických metod termického nástřiku . . . . .	23
2.4.3.	Přídavné materiály pro termický nástřik . . . . .	24
2.4.4.	Přístroje a zařízení pro termický nástřik . . . . .	25
2.5.	Exotermický účinek práškových slitin . . . . .	29
2.5.1.	Vznik a průběh exotermické reakce . . . . .	30
2.5.2.	Použití prášků s exotermickou reakcí . . . . .	48
2.5.3.	Použití přídavných materiálů - drátů s exotermickou reakcí . . . . .	49
2.6.	Nanášení přídavných materiálů plazmou . . . . .	52
2.6.1.	Plazmové oblouky . . . . .	53
2.6.2.	Zařízení pro stříkání práškových slitin plazmou . . . . .	54
2.6.3.	Použití plazmy . . . . .	56
2.7.	Automatizace a robotizace při ter- mickém nástřiku . . . . .	58
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST . . . . .	60
3.1.	Zařízení pro nanášení práškových slitin s exotermickou reakcí. . . . .	60
3.1.1.	Systém RotoLoy . . . . .	60
3.1.2.	Systém CastoDyn . . . . .	61

3.2.	Výroba vzorků pro sekáčovou zkoušku přilnavosti . . . . .	63
3.3.	Výroba vzorků pro trhací zkoušku přilnavosti . . . . .	64
3.3:1.	Tepelné zpracování vzorků . . . . .	64
3.4.	Výběr a zkoušení lepidla . . . . .	65
3.5.	Příprava povrchu základního materiálu pro nástřik . . . . .	68
3.5.1.	Výroba tryskacího zařízení . . . . .	68
3.5.2.	Tryskání . . . . .	70
3.6.	Stříkání vrstvy . . . . .	70
3.7.	Lepení vzorků . . . . .	72
3.8.	Zkoušky přilnavosti . . . . .	73
3.8.1.	Trhací zkouška . . . . .	73
3.8.2.	Sekáčová zkouška . . . . .	79
3.8.3.	Metalografický výbrus . . . . .	81
3.8.4.	Zhodnocení zkoušek . . . . .	83
3.9.	Renovace hřídele . . . . .	84
3.9.1.	Postup při renovaci . . . . .	84
3.9.2.	Ekonomický rozbor renovace . . . . .	85
3.9.3.	Zhodnocení renovace . . . . .	86
4.	ZÁVĚR . . . . .	87
5.	POUŽITÁ LITERATURA . . . . .	88

Seznam zkratek:

- HV - tvrdost podle Vickerse
- HM - mikrotvrdost podle Vickerse
- HB - tvrdost podle Brinella
- HRC - tvrdost podle Rockwella při použití jako vnikajícího tělesa diamantového kužele s vrcholovým úhlem  $120^\circ$
- HRB - tvrdost podle Rockwella při použití jako vnikajícího tělesa ocelové kuličky o průměru  $1/16''$
- R<sub>a</sub> - střední aritmetická drsnost
- R<sub>max</sub> - maximální výška nerovností



## 1. Ú V O D

Jedním ze základních faktorů rozvoje našeho národního hospodářství je rozvoj vědy a techniky. Zejména ve strojírenství je další zvyšování technické úrovně závislé na rychlém zavádění vědecko-technických poznatků do praxe.

Jestliže chceme stále více zdokonalovat stroje a zařízení, je většinou nezbytné zvyšovat nároky na funkční spolehlivost jejich prvků a na jejich životnost. To vyžaduje používat v jejich konstrukci stále kvalitnější materiály. Tyto materiály jsou však stále hůře dostupné a stále dražší. Proto musíme hledat cesty, jak při zachování nebo zvýšení kvality zařízení minimalizovat náklady na materiál a jeho zpracování. Řešení tohoto úkolu se nabízí s použitím technologie práškového navařování, které se v poslední době velmi rozšířilo při renovaci dílů i při výrobě nových součástí. Velkou výhodou této technologie je její jednoduchost, dostupnost zařízení, možnost vytvářet povrchy s požadovanými funkčními vlastnostmi a velmi dobré výsledky v provozu navařených součástí. Je možno renovovat opotřebené součásti bez použití zdlouhavých a energeticky náročných tepelných zpracování, navařovat i velmi složité tvarově členité a přesné díly s vysokými požadavky na dodolnost povrchu proti opotřebení.

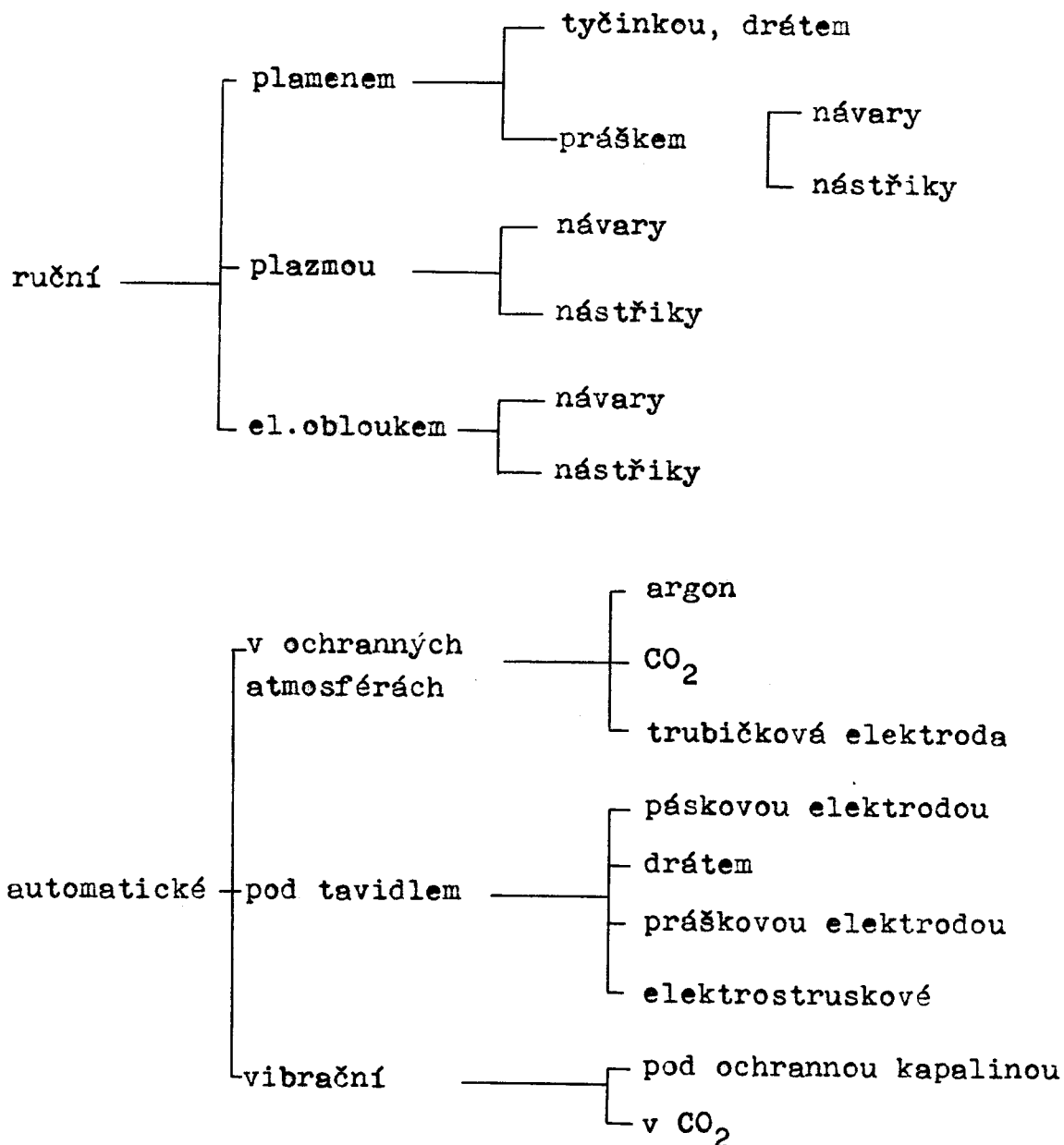
Jestliže je správně provedeno techniko-ekonomické hodnocení technologie navařování, dává tato technologie velmi dobré provozní výsledky. Musí se ovšem dodržet stanovené podmínky, to je vhodná úprava navařovaných hran a ploch, správný technologický postup i vhodný přídavný materiál.

Tato diplomová práce by měla být příspěvkem při řešení možností stříkání ocelí práškem Ultra Bond 25 000 jako podkladové vrstvy a zkoušení přilnavosti nanesené vrstvy. Prášek vykazuje exotermickou reakci a při jeho použití není třeba základní materiál předehřívat. Nástřik probíhá při teplotě asi 20°C a v průběhu procesu se součást ohřeje maximálně na 200 - 250°C. To má za následek vyšší energetickou náročnost než při klasickém navařování a tím dochází ke zlevnění renovace. Další výhodou je možnost renovace i velmi těžkých součástí, jejichž renovace klasickým způsobem při nutnosti předehřevu a tepelném zpracování by byla prakticky neproveditelná. Kladem této technologie je i nízká spotřeba práškových slitin a pohotovost renovace, která snižuje ztráty vzniklé zbytečným prostojem.

Tato práce by měla upozornit na výhody této renovační technologie a tím i přispět k jejímu rychlejšímu zavedení do praxe.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Rozdělení způsobů nanášení ochranných povlaků



mezi další způsoby navařování patří navařování aluminotermické, detonační vlnou, třením a pod.

### 2.1.1 Porovnání jednotlivých způsobů nanášení povrchových vrstev

Jednotlivé druhy nanášení povrchových vrstev se liší zejména způsobem nanášení a vazbou se základním materiálem. Nanášení rozeznáváme v podstatě tyto základní druhy:

- Nanášení roztaveného kovu
- nanášení kovu tavícího se z jedné nebo více odtavujících se elektrod
- nanášení kovů tavícího se z prášku

Nanášení se provádí proudem vzduchu nebo plamenem.

Z hlediska spojení se základním materiálem rozeznáváme tyto vazby:

- adhezní spojení základního materiálu a povlaku, uplatňované při metalizaci
- difuzní spojení základního materiálu a povlaku, uplatňovaného zejména při navařování
- mikrodifuzní spojení (kysličnickové stmelení) základního materiálu a povlaku, uplatňovaného zejména při termickém nástřiku

Jednotlivé způsoby mají své výhody a nevýhody vzhledem k pracem, ke kterým jsou určeny. Jejich specifické použití bude rozebráno v následujících statích.

## 2.2 Metalizace - stříkání kovů

Tento způsob je z historického nanášení povrchových vrstev nejstarší. První použitelný přístroj pro postřiky výrobků roztaveným kovem zhotovil již roku 1912 Dr. Shoop v Curychu, proto se též používalo výrazu Šopování. Tato metalizace sloužila zpočátku pouze k dekoračním účelům a vyjíměčně ochraně proti korozi. Nebylo dostatek zkušeností o metalizačních přístrojích. Rozvoj metalizace a rozšíření jejího použití nastal až v 50. letech.

Stříkání kovů je operace, která spočívá v roztavení, rozprášení a vrhání kapiček roztaveného kovu na předem vhodně upravený povrch. Kapičky po dopadu vytvářejí tenký porovitý povlak, který vnikne do všech nepravidelností povrchu a tím se přimkne k základnímu materiálu. Nastříkané částičky jsou vzájemně vázány mechanickým prolnutím a kysličnickým stmelením. Kov se může tavit buď přímo ve stříkací pistoli nebo vyjíměčně i mimo pistoli ve zvláštním kelímku. V pistoli se taví elektrickým obloukem nebo plamenem. Kov je do pistole dodáván ve formě drátu nebo prášku. Rozprášení je až na malé výjimky zprostředkováno stlačeným vzduchem.

Přestože je vrhán roztavený kov na povrch předmětu, neohřeje se natolik, aby změnil nebo porušil strukturu materiálu předmětu. V tom je výhoda proti navařování. Další výhodou je rychlost a jednoduchost a poměrně nízké pořizovací náklady. Stříkaný povrch má lepší kluzné vlastnosti. Lze také použít libovolné silné vrstvy. Nevýhodou jsou zejména nízké hodnoty pevnosti v tahu, nutnost dodržet nejmenší tloušťku a značný prostřik materiálu (až 80 %).

Obecně můžeme použít jako přídavného materiálu pro nastříkání povlaku každého kovu, který lze tavit. Tavení probíhá v kyslíko-acetylenovém plameni nebo elektrickém oblouku. Povlak zase můžeme zhotovit na každém základním materiálu schopném úpravy povrchů - to znamená zbavení nečistot a kysličníků a získání kovového vzhledu. Nastříkaný povlak má dvě vlastnosti odlišné od kovu, z kterého vznikl: tvrdost a pórovitost. Obě vlastnosti činí povlak vzdorným opotřebení. Porovitostí se udržuje zásoba eleje k vytvoření olejového filmu a jeho stálostí. Jestliže žádáme od povlaku vzdornost proti korozi a opalu porovitosti může škodit.

Další požadovanou vlastností nastříkaného povlaku je jeho soudržnost se základním materiálem a soudržnost částec, z nichž se povlak skládá. Tyto vlastnosti určují vhodnost povlaku pro daný účel. Stříkaným povlakem nelze spojovat dva oddělené kusy. Stříkání nemůže být použito ani u částí podrobených valivému namáhání, protože u nich je nastříkaná vrstva namáhána tlakem a soudržnost nastříkaných částec není dostatečně velká, aby tomuto bodovému namáhání odolala. Z téhož důvodu nelze nastříkat součásti, které budou obráběny řezáním. Nastříkaný povlak drží tím lépe, čím lépe je připraven povrch. Povrch nemá být hladký, otryskává se proudem křemičitého písku, nebo ocelové drti. Musí být řádně odmaštěn.

Metalizovaná vrstva nevytvoří jednolitý povlak, ale částice jsou mezi sebou spojeny mechanicky a stmelěním kysličníků. Jednotlivé částčky mají tvar zvlněných lístků o tloušťce 0,01 až 0,02 mm, na který je kysličníková vrstva asi 0,001 mm. Maximální obsah kysličníků v částce nepřesahuje 6 %.

Podmínky vzniku vrstvy:

1. Všechny částice musí být po dopadu tekuté.
2. Rychlost dopadu musí být větší než 100 m/s
3. Okysličení částic musí být menší než 10 %
4. Interval při překrývání částic dovoluje odstřík kysličníků
5. Částice musí dopadat na základní materiál kolmo nebo pod tupým úhlem
6. Teplota vrstvy musí být menší než 150<sup>0</sup> (pro ocel)

Vlastnosti nanesené vrstvy:

Pevnost v tahu - u ocelí 180 - 200 MPa a u ostatních kovů 30 - 50 MPa. Okysličené vrstvy mají pevnost menší než 150 MPa.

Tvrдость - vrstva je nehomogenní, měření tvrdosti kuličkou Tvrдость HRB 110 je dostatečně velká, aby se vrstva nedala pilovat.

Opracovatelnost - pouze pro tloušťky větší než 0,5 mm. Používá se broušení, soustružení, zaškrabávání, leštění.

### 2.3 Navařování plamenem

Technologií navařování používáme jak při výrobě strojních součástí, tak při jejich reovaci. Navaříme-li na opotřebovaný povrch požadovanou vrstvu přídavného materiálu, získáme tvrdý a otěruvzdorný povrch. Podobně lze postupovat i při výrobě. Navařováním můžeme získat také odolnost proti korozi a jiné požadované vlastnosti. Pro snížení pnutí mezi navařovanou vrstvou a základním materiálem základní materiál předeheříváme.

Na opracovanou a odmaštěnou součást se nanáší roztavený kov plamenem nebo plazmovým hořákem. Stříkaný kov se roztavuje z prášku a proudem kyslíku (vzduchu) se nanáší na součást. Navařovaná vrstva má potom vlastnosti prášku. Znamená to, že složením prášku můžeme ovlivnit tvrdost, otěruvzdornost a další vlastnosti. Navařováním lze nanášet tenké vrstvy s minimálním přídavkem na obrábění. Dochází k difuznímu spojení navařované vrstvy se základním materiálem a teplenému ovlivnění základního materiálu. Protože má základní materiál rozdílný koeficient tepelné roztažnosti než navařovaná vrstva, dochází při navařování větších tlouštěk vrstev (2 mm) ke vzniku trhlin.

Navařování se provádí dvoustupňovými hořáky, jejichž výrobcem je u nás národní podnik Chotěbořské strojírny. Nesou označení NPK 1, NPK 2 a NPK 3. První stupeň hořáku zabezpečuje přisávání prášku do proudu kyslíku. Druhý stupeň je směšovač; dochází ke smíšení s acetylenem.

Před navařováním musí být plocha kovově čistá a odmaštěná. Musí být také odstraněny nátěry a koroze. Jako další úprava navařované plochy se provádí zdrsňení, např. soustružením nebo tryskáním. Na takto připravenou plochu se provádí předpráškování.



Před práškováním je nanesení tenké vrstvy práškového materiálu na ce ou plochu bez natavení této vrstvy. Provádí se z důvodů ochrany před oxidací základního materiálu při zvýšené teplotě vlastního navařování.

Vlastní navařování se provádí d o tloušťky několika desetin milimetru jako jednovrstvé. Předprášková vrstva se roztaví bez přídavku dalšího prášku. Pro větší tloušťky se předprášková vrstva natavuje a současně se přidává další prášek. Správné dávkování je takové, že se nanášený prášek stačí tavit a vznikne lesklý povrch. U rotačních součástí se užívá pro předpráškování rychlostí 15 - 20 m/min. a pro přetavování 10 - 15 m/min. Vzdálenost hořáku u předpráškování je 50 - 55 mm a při přetavování 80 - 100 mm. Je nutné také zabezpečit pomalé chladnutí, nejlépe v peci, aby nevznikaly u tloušťky do 2 mm trhliny. Klikové hřídele se navařovat nedoporučuje vůbec.

#### Práškové přídavné materiály

Výrobcem navařovacích prášků u nás je koncernový podnik ZVL Dolný Kubín.

Základ prášku tvoří Ni + prvky jako B, Cr, Si, W, C, Mo a další. Tvrdost navařované vrstvy při rpném zastoupení těchto prvků dosahuje 20 - 60 HRC. U nás se vyrábí 6 druhů prášků.

Jsou to:

K 20 - obsahuje Ni, B, Si

tvrdost návaru 17 - 25 HRC

teplota tavení je 1 030°C

vhodný pro litinu i ocel na strojní i ruční opracování

odolnost proti namáhání, abrazi, korozi

použití: opravy odlitků, licích forem, výfukového potrubí, ozubených kol, převodovek, skříní čerpadel  
plastičnost vrstvy

- K 30 - obsahuje Ni, B, Cr, Si  
tvrdost vrstvy 30 - 40 HRC  
teplota tavení 1 070 °C  
vhodný pro ocel i litinu pro strojní i ruční  
opracování  
odolnost proti rázovému namáhání, abrazi, korozi  
dobrá obrobitelnost a pružnost vrstvy  
použití: ve sklářském průmyslu, zemědělském i auto-  
mobilovém opravárenství (čerpadla a motory)
- K 40 - obsahuje Ni, B, Cr, Si  
tvrdost 40 - 50 HRC  
teplota tavení 1 070 °C  
vhodný pouze pro ocel, strojní opracování  
odolnost proti rázovému namáhání, korozi, abrazi  
nízký koeficient tření a další použití má při renovaci  
vaček, exentřů, zubových spojek, sedel šoupátek,  
ventilů motorů
- K 50 - obsahuje Ni, B, Cr, Si  
tvrdost 50 - 60 HRC  
teplota tavení 1 010 °C  
vhodný pro ocel, opracování pouze broušením  
odolnost proti rázovému namáhání je dobrá, proti  
abrazi velmi dobrá a v korozi výborná  
nízký koeficient tření  
použití: součásti vystavené korozivnímu a oxidačnímu  
působení za vyšší teploty
- K 55 - obsahuje Ni, B, Cr, Si, W, Mo  
tvrdost 55 - 60 HRC  
teplota tavení 1 050 °C  
vhodné pro ocel, opracování pouze broušením  
odolnost proti rázovému namáhání střední, proti  
korozi dobrá a proti abrazi výborná  
pro stříkání malých průměrů - díky i nízké viskozitě  
při tavení

použití: čepy, vačky, uložení ložisek, řezné nástroje, mísiče, pracovní hrany.

K 60 - obsahuje: Ni, B, W, Cr, Si

tvrdost 60 - 65 HRC

teplota tavení 1 100°C

vhodný pouze pro ocel, opracování pouze broušením

odolnost proti abrazi výborná, proti korozi

dobrá, proti rázovému namáhání střední

použití: výroba a renovace strojních součástí

(třoucí se plochy, vodící lišty, řezné nástroje)

Navářením dostaneme vrstvu požadovaných vlastností. Vytvoří se pevný metalurgicky tavný nebo difuzní spoj dvou kovů - základního a přídatného - o rozdílném chemickém složení.

Vlastnosti základního kovu by měly vyhovovat podmínkám namáhání součásti a vlastnosti navářovaného kovu optimálním podmínkám odolnosti funkčních ploch. Návarový kov představuje heterogenní strukturu rozdílných chemických a mechanických hodnot, které je třeba tepelným zpracováním homogenizovat.

Základní materiál, což bývá obvykle ušlechtilá konstrukční ocel uhlíková nebo legovaná v ovlíněném pásmu je buď hrubozrnně vyžíhaná nebo zakalená. Zakalení kvalifikujeme jako negativní jev. Rozdílná metalografická struktura a rozdílný tepelný spád při ohřevu a chladnutí vyvolávají pnutí a deformace v návaru a základním materiálu, které po překročení dovolené hodnoty způsobují praskliny, trhliny a lom v návaru a základním materiálu. Z těchto důvodů je u náročnějších součástí nutno uvažovat ještě celkové tepelné zpracování. Vznik trhlín a prasklin je možno ovlídnout výběrem vhodného základního materiálu. Zásadně se vyhýbáme konstrukčním ocelím, náchylným k popouštění křehkosti, poněvadž vyšší legovanost návaru návarů tvarově složitějších součástí

jen málokdy dovolují provést ochlazení ze středních popouštěcích teplot do vody či oleje. Základní materiál připravovaný k navařování obvykle normalizačně žiháme, častěji však zušlechťujeme.

Z hlediska požadovaných optimálních vlastností návaru, zejména rovnoměrné tvrdosti, pevnosti, řezných vlastností a odolávání rozličným druhům opotřebení je nutné dosáhnout v návaru přiměřenou karbidickou, bainitickou nebo martenzitickou strukturu. V tom případě návar buď precipitačně vytvrzujeme nebo kalíme přímo, povrchově či izotermicky, případně popouštíme nebo napouštíme. Tvrdonávarové slitiny typu NO, RO po navařování a vícenásobném po sobě následujícím popouštění.

Renovace opotřeбенých součástí představuje zhoršenou podmíněnou svařitelnost, protože základní materiál je se zvýšeným nebo vysokým procentem uhlíku a legur tepelně a mechanicky unavený. Před započítím navařování je nutné zbavit základní materiál pnutí, trhlin, prasklin, snížit tvrdost a pevnost a zvýšit hrubovou houževnatost, což u středně a výše legovaných ocelí představuje složitou tepelnou operaci s přesným dodržením rychlosti ohřevu, výšky a doby výdrže na teplotě a velikost tepelného spádu (interval ochlazování). Tvar povrchu součástí a tloušťka stěny hrají při tom důležitou úlohu.

## 2.4 Termický nástřik

Rozvoj techniky a technologie v mnoha průmyslových oborech vyžaduje stále kvalitnější a funkčně dokonalejší výrobky, které by odolávaly vysokým tlakům, značnému otěru, tepelnému namáhání a jiným vlivům, které snižují životnost zařízení. Detailním rozбором funkce těchto výrobků a dílů se dochází k závěru, že na jejich celkové vlastnosti má rozhodující vliv převážně povrch. Proto se mnoho vědeckých a technických institucí a ústavů prakticky ve všech vyspělých státech zabývá touto problematikou, a to z mnoha fyzikálně - chemických hledisek, která podstatně ovlivňuje konstrukční řešení výrobků.

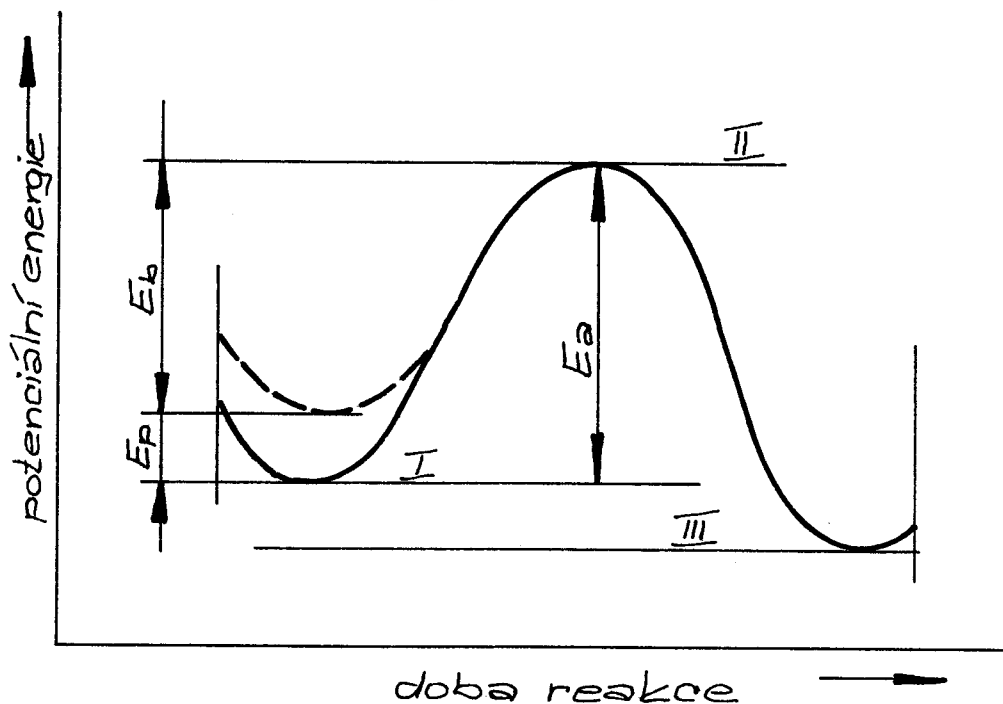
Značnému rozšíření dosáhly metody žárových nástřiků, prováděné různými systémy u nichž se společně uplatňuje hlavně možnost široké škály aplikací a v maloseriové nebo také kusové výrobě, při dosažení dobrých technických parametrů naneseného funkčního povrchu.

### 2.4.1 Teoretické poznatky o termickém nástřiku

Je rozpracováno několik teorií na vznik vazby mezi kovovou nanesenou vrstvou a kovovou podložkou. Některé vycházejí z existence aktivační energie  $E_a$  /12/, jejíž velmi zjednodušený význam je dokumentován na obr. 1. Numericky vyjádřená velikost aktivační energie je v tomto případě dána podle DUBASOVA vztahem:

$$E_a = R \cdot T_k \left[ \ln t_0 + (20 \div 40) \right] \quad 2.4.1.1$$

- I. - výchozí stav
- II. - aktivní vztah
- III. - konečný stav

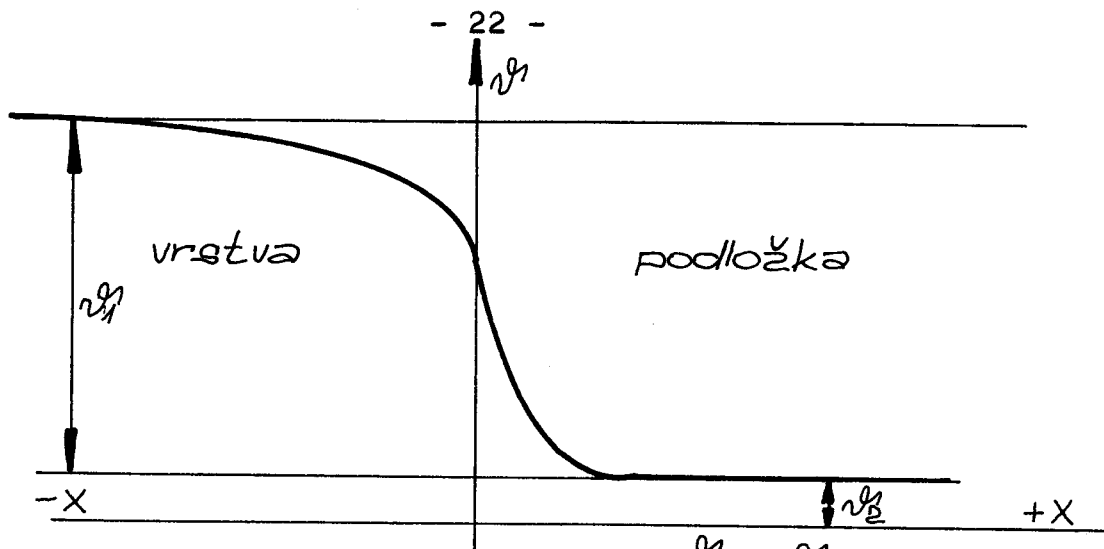


Obr. 1 Význam aktivační energie na vznik vazby mezi kovovou vrstvou termického nástřiku a kovovou podložkou.

Je zřejmé, že autoři vychází z řady předpokladů, které však v praxi nemusí existovat. Je známý také směr dávající přednost a značnou důležitost především fyzikálně - chemickým konstantám nanášeného materiálu (vrstvě) a základního materiálu (podložky) a z nich určující teplotu kontaktu  $\vartheta_m$ . Teplota kontaktu je určena vztahem 2.4.1.2.

$$\frac{\vartheta_1 - \vartheta_m}{\vartheta_m - \vartheta_2} = \frac{b_2}{b_1}$$

2.4.1.2

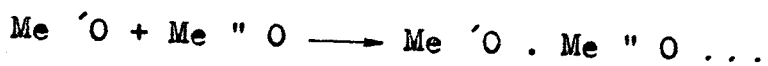


Obr. 2 Znáznornění průběhu teplot  $T_1$ ,  $T_2$  a velikost teplotního kontaktu  $T_m$ .

Obě stručně popsané teorie sice uvažují s vytvořením vazby mezi nanesenými kovovými částicemi na aktivovaný povrch kovové podložky, ale méně se zabývají prokázáním této vazby. Ukázalo se totiž, že současné dostupné fyzikální metody neumožňují identifikovat a zcela jednoznačně prokázat vazbu mezi částicí a podložkou. A tak lze v současnosti pouze tuto vazbu předpokládat.

Jestliže prokazatelnost vazby mezi kovovou vrstvou termického nástřiku a kovovou podložkou je obtížná, pak daleko obtížnější je prokazatelnost existence této vazby mezi keramickou vrstvou a kovovou (nebo keramickou) podložkou. V této souvislosti jsou úvahy směřovány do oblasti vzniku tenkých oxidických plen a vrstev.

Dosti diskutovanou otázkou je také význam a vliv juvelity povrchu podložky, na kterou jsou vrstvy termického nástřiku nanášeny. Stále ještě není dostatečně objasněn vliv tenké kysličnickové vrstvy (někdy hovoříme o filmu) na povrchu kovové podložky. Vzhledem k tomu, že při termickém nástřiku vrstev dochází i k povrchové oxidaci nanášených částic, jsou někteří autoři názoru, že vazba mezi vrstvou nástřiku a kovovou podložkou (oba materiály na povrchu s vrstvou kysličníků) se uskutečňuje substitucí atomů kovů podle teoretického schématu, 2.4.1.3



2.4.1.3

Nejsou však dosud objasněny energetické podmínky vzniku takového vzniku vazby. Jeví se však velmi reálná souvislost mezi eliminováním vlivu uvedených tenkých kysličnickových vrstev a technologickými podmínkami termického nástřiku vrstev, především v oblasti termického nástřiku v ochranných atmosférách a termického nástřiku ve vakuu.

Dosti těsně související oblastí je oblast sledování fyzikálně-chemických pochodů, ke kterým dochází v částicích nanášeného materiálu během jeho průletů vzdáleností a prostředím od ústí hořáku k podložce a to bez ohledu na druh použité technologické metody termického nástřiku.

#### 2.4.2 Vývoj technologických metod termického nástřiku

V současnosti nedochází a pravděpodobně ani v blízké budoucnosti nedojde k zásadním změnám u technologie termického nástřiku plamenem a termickým obloukem. U termického nástřiku plamenem se objevila v poslední době alternativa metody termického nástřiku plamenem nazývána Hypersonic spray system, jíž je využito směsi hořlavého plynu  $\text{C}_2\text{H}_2$  a kyslíku vystupující ze speciálních trysek hořáku. Jak jednoznačně vyplývá z cílů vývoje, všechny tyto alternativy směřují ke zvýšení parametru termického nástřiku (rychlost media i nanášených částic, teplota nanášených částic apod.) a tím ke zvýšení přilnavosti, případně jiných vlastností nanášených vrstev.

Termický nástřik elektrickým obloukem nedoznal stále ještě rozšíření a uplatnění, jakého by si vzhledem ke svým přednostem zaslouhal.

Dochází k mírné renesanci technologické metody nanášení vrstev - detonační nanášení. Noví výrobci a uživatelé této metody ji balí do roušky nevídaných možností.



Praktické výsledky zatím však nepřesvědčily o zvýšené kvalitě nanášených vrstev.

Termický nástřik plazmou si v posledním období zachovává svoje nesporné výhody, ale zůstávají také některé jeho nevýhody. Ukazuje se v současnosti, že uplatnění a využití termického nástřiku vrstev pomocí plazmy bude především v oblastech, kde jsou na nanesené vrstvy kladeny mimořádné požadavky a kde mají mít nanesené vrstvy zcela speciální vlastnosti, což velmi úzce souvisí s nanášením úzce s speciálních přídavných materiálů. Vývoj v oblasti termického nástřiku plazmou lze v poslední době označit za nejprogresivnější a jeho další rozvoj lze očekávat i v následujícím časovém období.

#### 2.4.3 Přídavné materiály pro termický nástřik

Vývoj nových typů přídavných materiálů je především diktován a usměrňován požadavky uživatelů na nanášené vrstvy. Vedle již běžného sortimentu vyráběných přídavných materiálů ve formě drátu nebo prášku je v současné době zaneprázdňován růst produkce některých speciálních materiálů.

V oblasti keramických materiálů jsou to především práškové materiály na bázi  $ZrO_2$  s několika procentní přísadou stabilizátoru  $Y_2O_3$  (až 20 %), případně dalších stabilizátorů jako jsou  $MgO$ ,  $CaO$  a  $HfO_2$ . Uplatnění tohoto typu přídavného materiálu je na vrstvy odolné proti tepelnému působení za spolupůsobení korozních produktů spalování  $V_2O_5$  a  $Na_2SO_4$  (tepelné bariery). Využívá se především vlastností přídavného materiálu  $ZrO_2$  a stabilizátory potlačující objemové změny uvedeného přídavného materiálu při změně jeho modifikací.

Vedle stabilizačního účinku má přísada  $Y_2O_3$  výrazný vliv na korozní odolnost nanesené vrstvy. I nadále se používají termické materiály na bázi  $Al_3O_3$ , zejména pro jeho ekonomickou výhodnost.

#### 2.4.4 Přístroje a zařízení pro termický nástřik a srovnání systému pro termický nástřik

Z celkového pohledu na celou oblast zařízení pro termický nástřik lze konstatovat, že v Evropě existuje v současné době na dvě desítky výrobců nebo prodávajících organizací z nichž každý je schopen dodat zařízení pro jednu nebo více technologií termického nástřiku.

Pro termický nástřik plamenem si lze vybrat ze širokého sortimentu vyráběných zařízení. Zařízení využívající pro provoz běžných plynů dosahující vysokých parametrů, zejména rychlosti nanášených částic.

Pro termický nástřik elektrickým obloukem vyrábí několik evropských výrobců zařízení velmi dobré a zejména ekonomicky výhodné pro technologie termického nástřiku. Zařízení pro detonační nanášení zatím prodělávají renesanci. Ve všech případech technologií termického nástřiku, vyjma snad detonační nanášení jsou snahy po zavádění mechanizace, automatizace a robotizace. Rovněž snahy o zlepšování pracovního prostředí nalézají realizaci především v seriové a hromadné výrobě.

Při dosažení vyššího stupně kvality nanesených vrstev nevystačíme v mnoha případech s běžnou formou termického nástřiku v okolní atmosféře vzduchu. Proto posledním stupněm kvalitativního vývoje termického nástřiku plazmou s použitím plynem stabilizovaných hořáků je termický nástřik v ochranných atmosférách, především v argonu nebo ve vakuu. Je zřejmé, že dosažení lepších vlastností nanášených vrstev je dosahováno zatím s vynaložením značných ekonomických prostředků na pořízení a provoz těchto zařízení.

## Srovnání systému pro žárové nástřiky

### Plynové pistole

Vyznačují se snadnou obsluhou, nižší hladinou hluku a snadným montážním použitím. Jako nevýhoda je jejich malý nástřikový výkon (do 10 kg/hod pro oceli) a nízká přilnavost nanesené vrstvy (do 30 MPa). Používá se pro údržbářské a opravářské práce, renovační nástřiky v kusové a seriové výrobě a pro antikorozi ochranu. Plynové pistole jsou značně rozšířené a pracují hlavně s acetylenem a kyslíkem. Jsou to hlavně AD1 a AD2.

### Obloukové pistole

Mají opět snadnou obsluhu a nižší hladinu hluku, jsou velmi mobilní a mají vysoký výkon nástřiku (30 kg/hod. pro ocel). Nevýhodou je, že se používají pouze pro vodivé dráty a mají vysokou hmotnost. Uplatnění při údržbářských a opravářských pracích, pro renovační nástřiky v kusové i seriové výrobě. Výhodné jsou i pro antikorozi ochranu. Jejich příkon je až 60 kW.

### Plynová plazma

Toto zařízení dosahuje přilnavost až 70 MPa při vysoké hustotě vrstvy. Základní materiál se ohřeje pouze do 150°C. Nevýhodou je malý nástřikový výkon (do 2 kg korundu/hod.), vysoká hladina hluku, omezená mobilnost a nižší účinnost (do 40 %). Používají se pro renovační i inovační nástřiky, v seriové i kusové výrobě, pro antiabrazivní nástřiky a v uzavřených výrobních linkách. Jejich příkon je až 80 kW a vyrábějí se pouze v zahraničí. Nejznámějším výrobcem je firma Union Carbide.