



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**ZVÝŠENÍ ŽIVOTNOSTI NÁHRADNÍCH DÍLŮ STROJŮ
ZPRACUJÍCÍCH PŮDU**

SERVICE LIFE INCREASING OF SPARE PART TOOLS FOR GROUND CULTIVATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Černín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jiří Černín
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Marián Sigmund, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zvýšení životnosti náhradních dílů strojů zpracujících půdu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výběr vhodné technologie nerozebíratelného spojení ocelových dlát s destičkami ze slinutého karbidu (WC) u náhradních dílů pro stroje zpracující ornou půdu, je hlavním kritériem pro celkové zhodnocení technologických, praktických i ekonomických možností. Bude popsána stávající technologie tvrdého pájení, včetně teoretického i experimentálního návrhu možných technologií spojení. S ohledem na vhodné aplikace a úspory, včetně ekonomického zhodnocení stávající a nově navrhované technologie zvyšování životnosti této konkrétní součásti.

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnotit a popsat současné možnosti spojování ocelových dlát s destičkami ze slinutého karbidu ve firmě.
2. Vypracovat literární rešerši o možných technologiích spojení, včetně rozboru použitých materiálů.
3. Vyrobit a otestovat navrhované zkušební spoje z hlediska kvality a celistvosti.
4. Porovnat a vyhodnotit stávající a nově navrhované technologie spojování.
5. Ekonomické zhodnocení navrhovaných technologií.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

MAJER, Lubomír. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-70-5.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

.....
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zvýšením životnosti dílů určených pro kultivaci půdy. Práce hodnotí stávající možnosti zlepšení užitné hodnoty opotřebitelných náhradních dílů. Praktickými zkouškami budou podložena doporučení pro nejvhodnější metody zvýšení životnosti.

Práce také zkoumá doposud nezmapované metody testování pájených spojů. Výsledky jsou vyhodnoceny z hlediska kvality i ekonomické rentability.

Veškeré závěry vyplývající z této práce jsou podloženy praktickými zkouškami všech testovaných dílů v těžkých podmínkách kamenitých půd při běžném pracovním nasazení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Půdo-zpracující, dláto, zvýšení životnosti, slinutý karbid, pájení, sendvič, tvrdo-kovový nástřík.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with increasing the service life of parts intended for soil cultivation. The work evaluates the current possibilities of increasing the utility value of spare parts. Practical tests will provide recommendations for the most appropriate method to increase durability.

The work examines uncharted methods of testing soldered joint. The results are evaluated in terms of quality and economic profitability.

All results from this work are based on the basis of practical tests of plowing machine in rocky soil.

KEYWORDS

Soil-processing, chisel, durability, cemented carbide, soldering, sandwich, hard-metal spraying.

ČERNÍN, J. *Zvýšení životnosti náhradních dílů strojů zpracujících půdu.*

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2019. 66 stran. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Zvýšení životnosti náhradních dílů strojů zpracujících pšedu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří se podíleli na tvorbě mé diplomové práce. Především svému vedoucímu diplomové práce Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D., své rodině a blízkým.

OBSAH

Úvod	3
1 Rozbor zadání	4
1.1 Představení firmy CERNIN DILY	4
1.2 Definice základních materiálů	5
1.2.1 Dláto na kultivaci orné půdy	5
1.2.2 Ocel Durostat B2	5
1.2.3 Destička ze slinutého karbidu	7
1.3 Tepelné zpracování oceli	9
1.3.1 Kalení	9
1.3.2 Popouštění	10
1.4 Žárový nástřik	11
1.4.1 Povlak na kovové bázi	11
2 Technologie spojení dlát s destičkami ze SK	13
2.1 Pájení	13
2.1.1 Mosazná pájka	15
2.1.2 Sendvičová pájka	16
2.2 Lepení	17
2.3 Šroubové spojení	18
3 Zkoušky kvality spoje	19
3.1 Nedestruktivní	19
3.1.1 Vizuální kontrola	19
3.1.2 Ultrazvuková defektoskopie	19
3.2 Destruktivní	21
3.2.1 Mechanický úder	21
3.2.2 Makrostruktura spoje	21
3.2.3 Měření tvrdosti dle Rockwella	22
4 Výroba zkušebního spoje	23
4.1 Výroba dláta na kultivaci půdy	23
4.2 Použití sendvičové pájky	25
4.3 Lepený spoj	28

4.4	Žárový nástřík - povlak NiCrSiB.....	30
4.4.1	Faktory ovlivňující nástřík.....	33
5	Testování kvality spoje	34
5.1	Vizuální kontrola	34
5.2	Tloušťkoměr – odrazová metoda.....	35
5.3	Ultrazvukový defektoskop	36
5.4	Hodnocení makrostruktury	37
6	Praktické zkoušky	39
6.1	Výsledky lepeného spoje	40
6.2	Výsledek sendvičového spojení.....	41
6.2.1	Zkouška sendviče Se4.....	42
6.3	Porovnání sendviče s nástříkem NiCrSiB.....	43
7	Nové technologické poznatky	45
7.1	Překročení pájecí teploty	45
7.2	Nedodržení pracovní teploty při nástříku	48
7.3	Změny v procesu pájení.....	49
7.4	Změny nanesení nástříku	49
7.5	Ekonomické srovnání metod	50
8	Závěr	52
	Literatura	54
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	56
	Seznám obrázků	57
	Seznam tabulek	59

ÚVOD

Kalená ocel není schopná svou životností odolat stále rostoucím nárokům na oteruvzdornost. Neutuchající trend v hledání stále odolnějších materiálů z hlediska životnosti přivedl před více než 10 lety distributory náhradních dílů pro půdo-zpracující stroje k revolučnímu nápadu. Po obráběcích strojích nalézají karbidové destičky ze slinutých karbidů nové pole využití. Díky svým vhodným vlastnostem jako je tvrdost a abrazivní odolnost proti otěru, se jeví jako vhodný materiál k hledanému zvýšení životnosti.

Původní způsob spojení slinutého karbidu s ocelí byl ve firmě prováděn tvrdým pájením mosazí. Při podrobení dílů zkouškám se tato metoda ale neosvědčila. Příliš velké dynamické namáhání způsobovalo časté odpadávání slinutého karbidu z oceli.

Vhodnějšího způsobu spojení bylo dosaženo použitím tzv. sendvičové pájky. Tato metoda se jeví vhodnější z hlediska odolnosti proti dynamickým rázům, zejména díky měkkému měděnému jádru a stříbrnému povlaku pro lepší soudržnost.

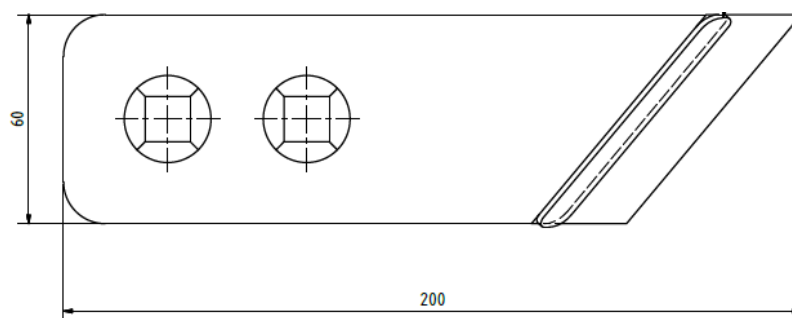
Kvalita pájení je prakticky obtížně doložitelná. V diplomové práci budou navrženy možnosti destruktivní i nedestruktivní kontroly. Některé tyto metody budou reálně otestovány a vyhodnoceny.

Nastíněny budou i další možnosti spojení oceli s karbidovou destičkou lepením nebo šroubovým spojem.

Jakožto ekvivalent ke karbidovým destičkám bude navržen tvrdo-kovový povlak. Svým složením se blíží vlastnostem karbidových destiček a disponuje lepšími možnostmi spojení s ocelí.

V práci budou navrhované postupy vyhodnoceny zejména na základě praktických zkoušek. Závěrem bude navrženo optimální řešení zvýšení životnosti pro stanovený díl.

Předpokládané výsledky této diplomové práce budou mít konkrétní dopady na další činnost firmy CERNIN DILY.



Obr. 1 Dláto pro kultivaci půdy

1 ROZBOR ZADÁNÍ

1.1 Představení firmy CERNIN DILY

Firma CERNIN DILY s.r.o. sídlí ve Chvalíkovicích u Opavy. Svým charakterem je firma zaměřen na strojírenskou výrobu. Jedná se o rodinný podnik navazující na 25letou tradici výroby opotřebitelných náhradních dílů pro stroje zpracovávající půdu.

Zákazníci firmy jsou především velkoodběratelé náhradních dílů, jedná se tedy převážně o B2B trh. Většina výrobků míří do západní Evropy – Německa, Francie a Rakouska. V posledních letech se objevuje stále více zákazníků na tuzemském a slovenském trhu.

V devadesátých letech minulého století firma iniciovala výrobu oceli s obsahem bóru v České republice a jako jedna z prvních se podílela na jejím průmyslovém využití v oblasti zemědělských strojů. Ocel se díky svým význačným vlastnostem, tj. tvrdosti a dostatečné houževnatosti při přijatelné ceně stala dominujícím zástupcem v této branži.

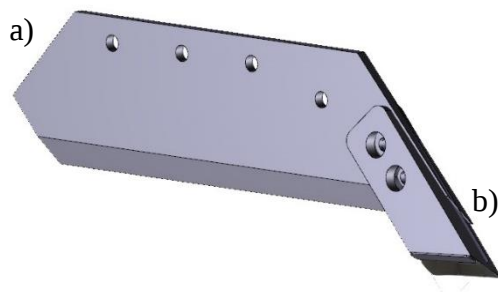
Trend ve zvyšování životnosti dílů byl postupný. Ocel se pro některé druhy použití již nejevila jako dostačující, proto bylo prvotní zvýšení životnosti dosahováno tvrdokovovým návarem. Životnost se tím u dílů zvedla asi o 20 %. S dobou také rostla kvalita navařovacích elektrod. Dnes již jsou k dispozici elektrody zvyšující životnost až o 100 %. Ale ani takto výrazný vzestup životnosti nebyl dostačující. Proto se firma rozhodla investovat do technologie pájení plátků ze slinutých karbidů. Tato metoda se prozatím jeví jako nejžádanější. S rostoucí přidanou hodnotou roste, ale i cena dílů.



Obr. 2 Výrobní hala firmy CERNIN DILY [26]

1.2 Definice základních materiálů

1.2.1 Dláto na kultivaci orné půdy



Obr. 3 Ukázka spojení břitu (a) se zkoumaným dlátem (b) (3D model)

Předmětem této práce je koncový díl pluhového tělesa, tzv. dláto. Zájem o zvýšení životnosti této části pluhu je enormní. Zmíněné dláto jako první vstupuje do půdy a pracuje hluboko pod povrchem. Proto podléhá nejvyššímu stupni opotřebení.

Původně byla dláta vyrobena z oceli tloušťky 12 mm, ale následná snaha zvýšit životnost tvrdo-kovovými návary nebyla příliš efektivní. Po řadě zkoušek se od materiálu tloušťky 12 mm upustilo a začal se využívat materiál silný 25 mm.

Při správném způsobu spojení dláta tloušťky 25 mm a destičky ze slinutého karbidu se odhaduje zvýšení životnosti dláta až osminásobně.

1.2.2 Ocel Durostat B2

Jako základní materiál dláta byla zvolena ocel Durostat B2. Dříve tato ocel byla také označována jako *bórová*. Svůj název si tato ocel vysloužila díky malému množství přídavného bóru, který zásadním způsobem zvyšuje spolu s ostatními prvky prokalitelnost. Jedná se o ocel s velice dobrými vlastnostmi pro daný účel s příznivou cenou.

Tento materiál se v oblasti opotřebitelných náhradních dílů u půdo-zpracujících strojů stal doposud nepřekonaným fenoménem. V následujících třech tabulkách jsou uvedeny základní parametry zkoumané oceli.

Durostat	C max	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al min.	Cr max.	Mo max.	B max.	Ti max
B2	0,30	0,60	2,10	0,025	0,010	0,020	1,00	0,50	0,005	0,050

Tab. 1 Chemického složení oceli Durostat B2 (udáno výrobcem)

Durostat	Tvrđost [HB]	R _{0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]
B2	200	400	650	20

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti oceli Durostat B2 (udáno výrobcem)

mm	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
HRC	49	48	47	47	46	44	39	34	26	22	19	16	15

Tab. 3 Jominiho zkouška prokalitelnosti (udáno výrobcem)

Dle chemického složení, konkrétně obsahu uhlíku, se ocel řadí do skupiny podeutektoidních ocelí. Přítomný mangan příznivě ovlivňuje pevnost a tvrdost. Chrom společně s bórem přispívají k lepší prokalitelnosti.

[6],[26]

Jominiho zkouška prokalitelnosti zaručuje dostatečnou míru tvrdosti i směrem hlouběji k jádru. Tvrđost povrchové vrstvy 49 HRC je pro kultivaci půdy dostačující. Zásadní vliv na vlastnosti oceli, především na tvrdost, má tepelné zpracování (uvedeno v bodě [1.3.](#))

1.2.3 Destička ze slinutého karbidu

Slinuté karbidy (SK) jsou kompozitní materiály složené z dvou nebo více komponentů. Jedná se o velice tvrdé karbidové částice v kovové vazbě. Příprava SK se provádí technologií práškové metalurgie. Základní karbidovou složkou je karbid wolframu (WC) v kobaltovém pojivu, kde se mohou také společně vyskytovat kubické karbidy TiC, TaC a NbC.

Obecně se **vlastnosti SK** odvíjí od typu a velikosti částic, druhu a množství použitého pojiva a procesu výroby. Důležitou vlastností je odolnost vůči korozi.

[2],[27]

Fyzikální vlastnosti

Slinuté karbidy vykazují výbornou odolnost proti opotřebení, která souvisí s jejich tvrdostí. Dále se vyznačují zvýšenou tlakovou a také určitou mírou ohybové pevnosti a houževnatosti.

Měrná hmotnost je u SK poměrně vysoká díky přítomnosti karbidů wolframu (což je dáno vysokou měrnou hmotností vlastního wolframu). S narůstajícím obsahem kobaltu, ale měrná hmotnost klesá. Během výroby vznikají nežádoucí póry, které nelze zcela odstranit. Tato skutečnost měrnou hmotnost poněkud snižuje.

Délková roztažnost závisí především na obsahu kobaltu ve struktuře. Jeho vyšší přítomnost délkovou roztažnost zvyšuje.

Tvrdost se odvíjí zejména podle obsahu kobaltu a velikosti zrna karbidové složky. Nejvyšší tvrdosti dosahují tělesa s jemnozrnnou strukturou a nízkým obsahem Co. Tvrdost SK se pohybuje v rozmezí 80-93 HRA. Nízká termochemická stabilita komplikuje použití SK při vysokých řezných rychlostech. S rostoucí teplotou poměrně rychle klesá jejich tvrdost. V porovnání s ocelí za stejných podmínek si ale tvrdost zachovávají mnohem lépe. Proto nachází SK hojně využití v podobě řezných nástrojů v mnoha oborech.

Pevnost v ohybu roste úměrně s rostoucím obsahem kobaltu do určité hranice, a poté klesá. Obdobně jako u tvrdosti s rostoucí teplotou výrazně klesá.

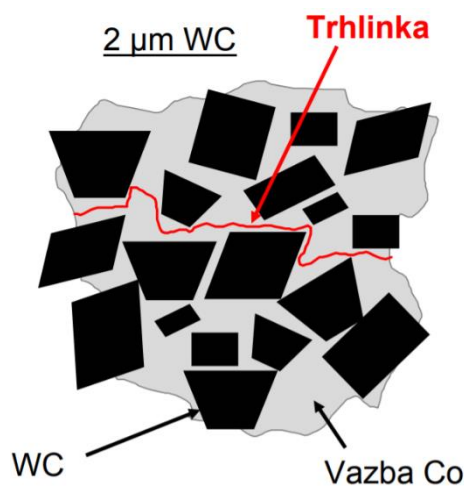
Pevnost v tlaku dosahuje vysokých hodnot. Závisí na obsahu pojiva a klesá s jeho rostoucím obsahem. Jemnozrnné materiály obecně dosahují vyšších hodnot pevnosti v tlaku.

Lomová houževnatost je definována kritickou hodnotou intenzity napětí v okamžiku nestabilního šíření trhliny. Jedná se o míru odolnosti proti křehkému porušení. Riziko roste s narůstajícím obsahem kobaltu a je vyšší pro materiály s hrubším zrnem tvrdé složky. Po překročení určité teploty (500-700 °C) prudce roste nebezpečí lomu.

[13],[27]

Hustota [g/cm ³]	Tvrдост [HRA]	Pevnost v ohybu [MPa]
14,72	90,4	2409

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti SK (udáno výrobcem)



Obr. 4 Šíření trhliny kobaltovým pojivem u SK [28]

Opotřebení

Protože podmínky ovlivňující opotřebení jsou pokaždé jiné, nelze ho v praxi zcela přesně předpovědět. V procesu působí příliš mnoho odlišných mechanismů opotřebení. Níže jsou uvedeny základní způsoby opotřebení vznikající při práci v půdě.

Abraze - brusný otěr způsobený tvrdými mikročásticemi.

Plastická deformace - důsledek mechanického zatížení kumulovaného v čase.

Křehký lom – po nárazu do kamenů, horniny nebo jiné pevné překážky v půdě.

[13]

1.3 Tepelné zpracování oceli

Ocel může díky tepelnému zpracování významně ovlivnit své vlastnosti. V případě pŕdo-zpracujících strojů je požadovaná co nejvyšší tvrdost s dostatečnou mírou houževnatosti. Tohoto stavu lze docílit zušlechťováním oceli. Tento proces se skládá z procesu kalení a následného popouštění. Zmíněné operace jsou založeny na změně struktury oceli.

1.3.1 Kalení

Proces kalení spočívá v zahřátí oceli na kalící teplotu a následném prudkém ochlazení. Kalící teplota je u každé oceli individuální a spolu s vhodnými kalícími prostředky a popouštěcí teplotou jsou většinou uváděny výrobcem oceli.

Kalení je způsobeno difuzí. Ta je ovlivněna výškou maximální teploty a dobou setrvání na této teplotě.

[1]

Zahřívání oceli do teploty 723 °C

Po zahřátí na tuto teplotu jsou možné následující struktury:

ferit (Fe – α) - částčky čistého železa v krychlovém, prostorově středěném krystalu,

cementit (Fe₃C) - krystaly karbidu železa tvořené uhlíkem a železem,

perlit - směs feritu a cementitu.

Zahřívání oceli nad teplotu 723 °C

Po překročení teploty 723 °C dochází v oceli k uvolnění atomů uhlíku od karbidů železa. Ten se rovnoměrně rozděluje mezi všechny krystaly. Dochází ke změně krystalové mřížky na krychlově-plošně středěnou. Tato struktura se nazývá **austenitická**. Při zvyšování teploty dochází již ke zvětšování austenitických zrn.

Možné následující struktury:

austenit + ferit - u ocelí s obsahem uhlíku pod 0,765 %. Dochází k přeměně perlitu na austenit,

austenit + cementit - u ocelí s obsahem uhlíku nad 0,765 %.

Prudké zchlazení

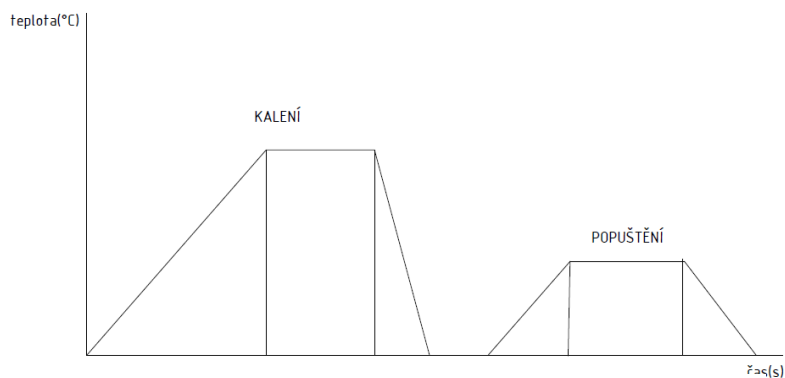
Probíhá změna krystalové mřížky z plošně středěné na prostorově středěnou. Atomy uhlíku jsou pevně ukotveny na svém místě, které zaujímaly u austenitu. Při pomalém ochlazení se atomy uhlíku uvolní a struktura se začne podobat výchozímu stavu.

Prostorově středěná mřížka je objemově menší než plošně středěná. Atomy uhlíku ji deformují a nedochází k difuzi. Výsledkem je vznik **martenzitu**, tj. tvrdá, křehká a jehlovitá struktura.

[1],[2],[3]

1.3.2 Popouštění

Aplikuje se až po získání tvrdé a zároveň křehké struktury po kalení. Tento proces je požadován pro snížení vnitřního pnutí. Zahřátí výrobku na požadovanou teplotu a prodleva na této teplotě vede k úbytku tvrdosti, pevnosti v tahu a meze pružnosti. Na druhé straně přibude tažnost a vrubová houževnatost. Popouštěcí teploty se volí podle druhu oceli. Ukázka kalení s následným popouštěním je vyobrazena na obr. 4.



Obr. 5 Závislost teploty na čase při procesu zušlechťování [6]

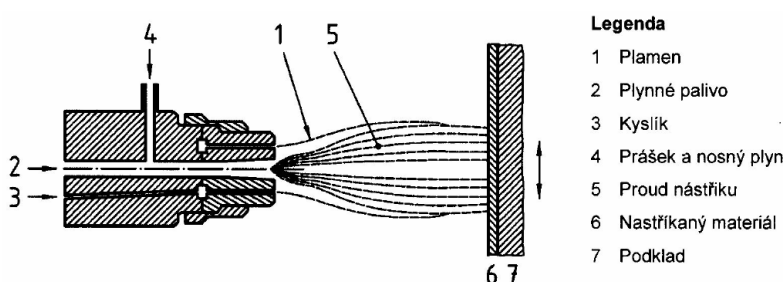
1.4 Žárový nástřik

Cílem žárových nástřiků je zvýšení životnosti otěrových ploch nanesením vhodného povlaku na základní materiál. Průběh je charakterizován zahřátím částic nanášeného materiálu blízké teplotě liquidu. Teplota základního materiálu je zpravidla nižší.

Jedna z hlavních výhod oproti navařování je, že nedochází k natavení základního materiálu a tím i k naředění povlakové vrstvy.

[4], [7]

Žárový nástřik plamenem



Obr. 6 Schéma principu žárového nástřiku plamenem [5]

Zdrojem energie této metody je chemická reakce hoření kyslíko-acetylenového plamene. Vstup č. 2 vhání dopravní plyn (kyslík), vstupem č.3 je hnána směs hořlavého plynu (acetylenu) a kyslíku. Vstupem č. 4 jde přídavný materiál – prášek. Po kontaktu prášku s plamenem dochází k jeho natavení. Pro urychlení částic prášku je potřeba rozstřikovacího, dopravního plynu. (vstup č. 2). Částice směřují společně s expandujícími spaliny na připravený povrch podkladu. Maximální teploty kyslíko-acetylenového plamene jsou 3000 – 3500 °C.

[4],[5]

Faktory ovlivňující technologické parametry nástřiku plamenem:

- množství a kvalita nanášeného přídavného materiálu,
- vzdálenost nástřiku,
- množství kyslíku a hořlavého plynu,
- tlak rozstřikovaného vzduchu.

1.4.1 Povlak na kovové bázi

Jako alternativa oproti destičkám ze SK se nabízí otěruvzdorný povlak z prášku Ni-Cr-Si-B-Fe. Tato sloučenina obsahující wolframové karbidy disponuje vynikajícími otěruvzdornými vlastnostmi a korozivzdorností. Jedna s největších výhod je odolnost vůči vysokým pracovním teplotám a agresivnímu chemickému prostředí.

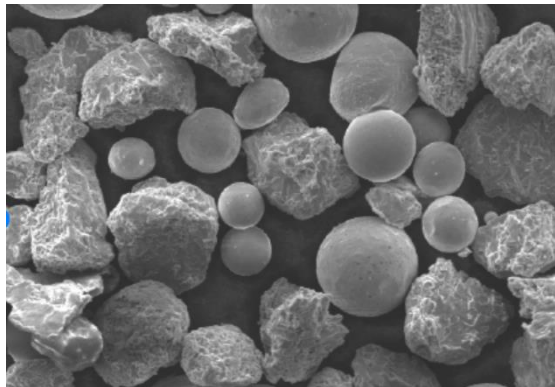
[7], [19]

Mezi tradiční způsob nanášení na základní materiál patří acetylenový plamen s práškovou příměsí. Další metodou nanášení je tzv. *laser cladding*, metoda rychlého nanášení, vhodná pro velké série s vysokými pořizovacími náklady. [8]

Vlastnosti povlaku

- **Oxidické vměstky** - mohou vznikat interakcí horkých letících částic s kyslíkem z okolní atmosféry nebo na povrchu povlaku vlivem vysoké teploty.
- **Pórovitost** - typická vlastnost pro všechny povlaky. Odvíjí se především od dopadové rychlosti a dopadového úhlu částic. Rizika příliš velké pórovitosti spočívají ve vytvoření kanálků vedoucích k základnímu materiálu. Ty umožňují průchod kyslíku, způsobují vlhkost, korozi nebo oxidaci základního materiálu.
- **Přilnavost k základnímu materiálu** - nejdůležitější vlastnost povlaku. Je tvořena působením síly mechanického zakotvení. U nástřikových materiálů je přilnavost uváděna až do 90 MPa. S rostoucí tloušťkou povlaku klesá jeho přilnavost. Je to způsobeno vlivem růstu tahového napětí v povlaku.

[19], [32]



Obr. 7 Ukázka tvrdo-kovové struktury Ni-Cr-Si-B-Fe.

2 TECHNOLOGIE SPOJENÍ DLÁT S DESTIČKAMI ZE SK

Existuje velké množství variant způsobu tohoto spojení. Tato práce vychází z velké části z metody pájení a bude také popsána varianta lepení. V neposlední řadě bude nastíněna možnost mechanického spoje. Jako alternativa spojení bude v navazující kapitole zmíněn tvrdo-kovový nástřík.

2.1 Pájení

Pájením vzniká pevný, nerozebíratelný spoj, který má dobrou vodivost elektrické a tepelné energie. Spočívá v utváření spojení dvou základních materiálů přidáním tzv. **pájky**. Tavicí teplota pájky musí být vždy nižší než tavící teplota základních materiálů. Při správném pájení vzniká nepropustná vrstva, díky které mohou mít základní materiály velmi rozdílné vlastnosti. Např. řezná destička ze SK s držákem z oceli.

[9]

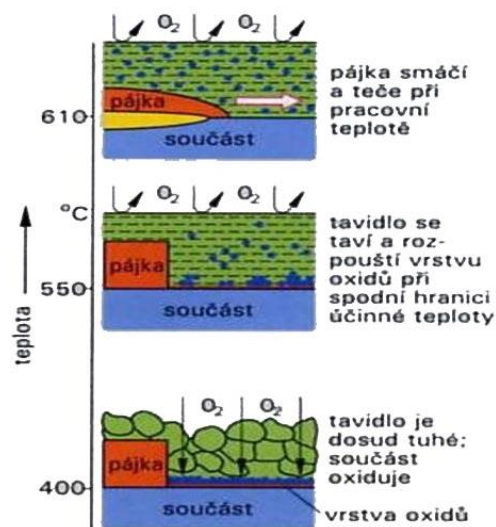
Proces pájení

Na základní materiál se nanese pájka. Vlivem tepelné energie dochází k rozlití roztavené pájky po povrchu součásti. Základním předpokladem pro pájení je zaručení tzv. **smísitelnosti**, tzn. že pájka proniká do základních materiálů a vytváří zde slitiny. Tento proces nazýváme *difuze*. Po dosažení pracovní teploty vzniká kašovitá směs taveniny a krystalů. Při tuhnutí je kašovitá forma pájky velmi citlivá na otřesy, které podstatně snižují pevnost a soudržnost pájeného spoje. Proces pájení je často doprovázen použitím ochranných prvků ve formě tavících přísad, plynů, nebo vakua.

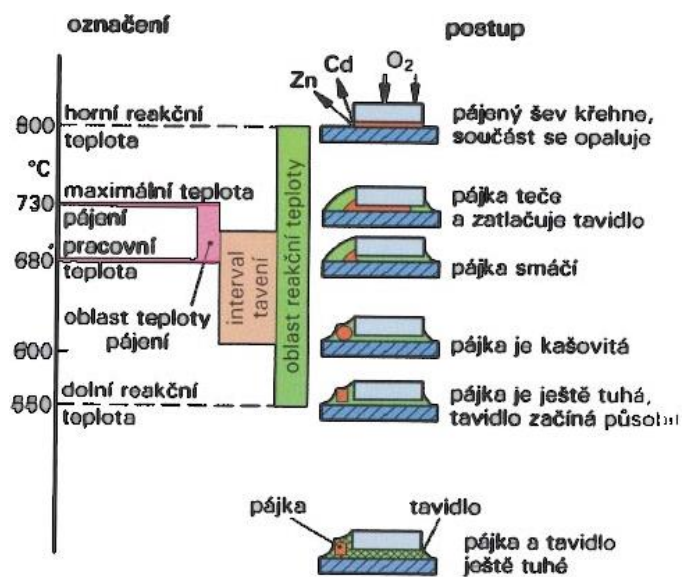
[9]

Tavidla zabráňují další oxidaci zahřátého kovu, který se rychle slučuje s kyslíkem a vytváří oxidační vrstvu, která zabráňuje smáčení. Účinky tavidla musejí začínat pod pracovní teplotou a musejí ji i přesahovat. Tavidlo plní i funkci očištění ploch spojovaných kovů. Nanesení tavidla se doporučuje těsně před letovacím procesem, delší doba ponechání tavidla může způsobit korozi.

[14]



Obr. 8 Vliv tavidla [9]



Obr. 9 Vliv teploty na pájku s přídavkem stříbra s tavidlem [9]

Druhy a způsoby pájení

Měkké pájení - zde leží pájecí teplota **pod 450 °C**. Je vhodné pro spoje s menším mechanickým zatížením. Užívá se především v elektrotechnice, při spojování kabelů, chladičů, tepelně namáhaných spojů apod. Přísadami pájky bývají nejčastěji cín, olovo, měď a zinek.

Tvrdé pájení - pájecí teplota **nad 450 °C**. Vhodné pro pevnostní spoje, lze používat větší tloušťky pájek.

Nánosové pájení - místní ohřev součásti na pájecí teplotu, poté se pájka dotykem roztaví.

Pájení s vloženou pájkou – součást se zahřívá na pájecí teplotu s již vloženou, vhodně tvarovanou pájkou.

Pájení ponorem - zahřátá součást se vloží do lázně s pájkou, která vyplní požadované spáry.

Indukční pájení – spojení dvou nesourodých materiálů přídavným kovem pomocí elektromagnetické indukce. Tvrdé indukční pájení využívá odlišných teplot tavení materiálu. Jedná se o proces umožňující rychlé zpracování kovových dílů.

Střídavý proud o vysoké frekvenci prochází indukční cívkou, uvnitř které se vytváří nestacionární magnetické pole.

V případě vložení vodiče, např. feromagnetické látky do středu cívky dojde v něm k vytvoření indukovaného napětí a proudu, které způsobí ohřev materiálu.

[9,14]

2.1.1 Mosazná pájka

Prvotní pokusy k dosažení vhodného spojení mosazným pojivem byly inspirovány břitovými destičkami na soustružnických nožích, které se již delší dobu používají v kovoobrábění.

Při tzv. tvrdém pájení se použila mosazná pájka Ms-Ni 8. Povrch byl zbaven okují tryskáním po kalení a po odstranění prachu byl opláchnut vodou. Jako tavidlo byl nanesen borax. Vlastní pájení bylo uskutečněno kyslíko-acetylenovým plamenem a díl byl po pájení mechanicky začištěn.

Zkoušky v praxi ukázaly, že asi u 50 % dílů došlo k odpadnutí destičky z pájeného spoje.

Tato metoda nebyla pro neuspokojivé výsledky dále využívána.

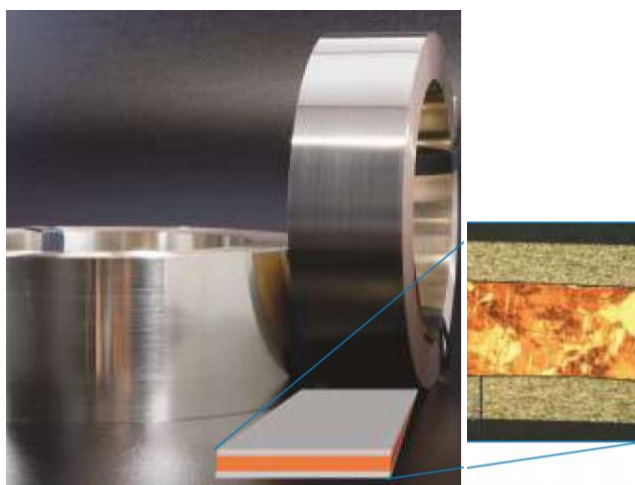
[30]

2.1.2 Sendvičová pájka

Protože výsledky při pájení SK mosaznou pájkou byly neuspokojivé, hledalo se nové řešení. Po konzultaci s dodavateli byla doporučena sendvičová pájka. Tato pájka lépe splňuje náročné požadavky na spojení při dynamickém namáhání a to především díky svému složení.

Sendvičová pájka se skládá ze tří vrstev. Jádrem je většinou měďné, a protože je měkké, lépe absorbuje pnutí způsobené rozdílem v tepelné roztažnosti mezi karbidem a základním materiálem. Povrch je tvořen slitinou na bázi stříbra, které je vhodné pro pevné spojení s ocelovým materiálem.

[31]



Obr. 10 Mikrografické znázornění příčného řezu sendvičovou pájkou [31]

2.2 Lepení

Velmi stará technologie spojování materiálů. V poslední době zaznamenává ohromný rozmach. Lepení řeší většinou spoje, kde jiné technologie nevyhovují. Každý způsob spojování materiálů má své výhody i nevýhody a stejně je tomu i u lepených spojů.

Přednosti lepení:

- snížení nákladů,
- možnost spojení různorodých materiálů,
- spoje s dobrou tepelnou izolací,
- útlum vibrací,
- snížení hmotnosti.

Nedostatky lepení:

- nízká odolnost proti zvýšení teploty a odlupování,
- nutná úprava plochy před lepením,
- přesné dodržování náročných pracovních postupů a podmínek,
- zatím většinou menší pevnost spojení ve srovnání s klasickými postupy,
- náchylnost ke creepu.

Technologie lepení představuje velké množství možností, jak žádaný spoj realizovat. Nejvíce rozšířená je v automobilovém a leteckém průmyslu. Nejkritičtější fází lepení je náročná a precizní úprava lepených povrchů.

Úprava povrchu oceli před lepením

Riziko spojené s lepením oceli představuje hlavně vrstva oxidů, která se tvoří na povrchu oceli. Ocel reaguje s ovzduším a postupně vytváří vrstvu, která není pevně spojena se základním materiálem a snižuje pevnost lepeného spoje.

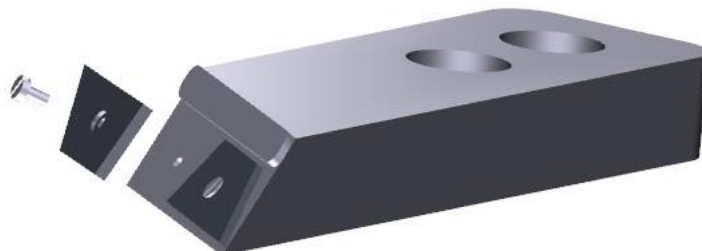
Účelem úpravy povrchu je odstranění této nežádoucí vrstvy. Následně je důležité rychle nanášet lepidlo, případně opatřit ocel vrstvou, která oxidaci zamezí. Často se používá běžné mechanické obrousování. Nanesení lepidla se doporučuje do 4 hodin po obroušení.

U tenkých materiálů, kde je možnost mechanického obroušení omezena je používáno odmaštění s následným mořením (např. v peroxidu síranu amonném, kyselině chromsírové apod.). Následuje oplach etylalkoholem a sušení.

[29]

2.3 Šroubové spojení

K vyřešení problému spojení SK a oceli se také nabízí mechanické spojení. Obráběcí nástroje v minulosti byly také původně pájeny. Dnes se tato metoda téměř nepoužívá. Návrh mechanického řešení u dláta ilustruje obr. č 10.



Obr. 11 Návrh řešení mechanického spoje (3D model)

K dosažení toho spoje vznikne největší problém u otvoru SK. Destička ze slinutého karbidu je velice tvrdá a křehká, viz kapitola [1.2.3](#).

Spojení by bylo realizováno použitím destičky s vnitřním otvorem, která se pomocí šroubu spojí s dlátem, ve kterém se před zakalením musí udělat otvor se závitem. Z důvodu velkého namáhání musí být použit vysokopevnostní šroub. Je velice pravděpodobné, že destička bude praskat v okolí otvoru při provozu a následně odpadne.

Zmíněné teoretické řešení nebudu v práci dále rozebírat.

3 ZKOUŠKY KVALITY SPOJE

V této kapitole budou rozebrány navrhované možnosti kontroly pájených spojů. Tyto zkoušky budou nedestruktivní při použití ultrazvuku a vizuální kontroly. Dále budou popsány metody destruktivního testování .

3.1 Nedestruktivní

3.1.1 Vizuální kontrola

Vyhodnocení vad viditelných na povrchu pouhým lidským okem je nejjednodušší defektoskopickou kontrolou. Vizuální zkouška by měla předcházet každé následující zkoušce. Tato zkouška zahrnuje zkoumání rozměrové přesnosti stanovené u výrobku, drsnost povrchu, trhliny, praskliny, porozitu, rovinnost apod. Posouzení výrobku se provádí pouhým okem, případně jednoduchými pomůckami (*lupy, zrcátka, etalony povrchů, měrky, apod*). (Převzato z [10], s 10.). Mohou zde být využity i pomocná technická zařízení (*endoskopy, foto nebo video kamery*). (Převzato z [10], s 10.). Často se těchto přístrojů využívá pro nepřímé kontroly u skrytých objektů nebo u špatně dostupných míst, např. uvnitř trubek nebo ve zdraví nebezpečném prostředí (*radioaktivní s vysokým tlakem, teplotou apod*).

[10],[12]

Základní podmínky pro správné splnění vizuální kontroly jsou:

- vhodně osvětlený povrch denním nebo umělým světlem,
- dostatečná zraková schopnost pracovníka,
- dobré psychické a fyzické vlastnosti pracovníka, rozeznání barvy, kontrastu, jasu, ostrosti obrysů,
- odpovídající délka pozorování,
- vhodná úprava povrchu.

[10],[12]

3.1.2 Ultrazvuková defektoskopie

Zkouška ultrazvukem se řadí mezi nejpoužívanější nedestruktivní metody zkoušení materiálu. Jedná se o objemovou metodu, která je u materiálu schopná detekovat plošné i objemové vady v celém sledovaném prostoru. Nejčastější využití spočívá v detekci bublin, pórů, prasklin, trhlin i povrchových vad (převzato z 10, s 3.). Velmi dobře detekuje tloušťku, strukturu a tím i vlivy koroze nebo abraze. V neposlední řadě lze uplatnit ultrazvuk pro zjištění vlastností materiálu jako je modul pružnosti, pevnosti apod. [10], [11], [15]

Fyzikální princip

Metoda ultrazvukové defektoskopie je založená na změnách prostupnosti a odrazivosti ultrazvukové vlny vlivem necelistvosti v materiálu. Akustické vlny se šíří materiálem rychlostí závislou na mechanických vlastnostech prostředí.

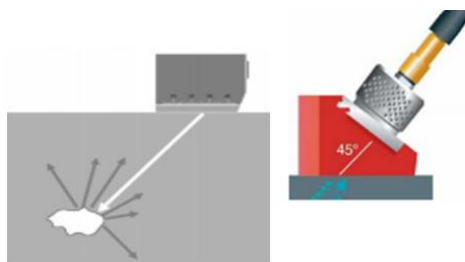
Ultrazvukové vlnění se pohybuje nad mezí slyšitelnosti (nad 20 kHz). Pomocí sondy se do zkoumaného prostředí vyšle krátký, ultrazvukový impuls, který se odráží od všech rozdílných rozhraní necelistvosti zkoumaného materiálu. Přístroj zaznamená počáteční impuls. Dále zachytí tzv. poruchové echo (vzdálenost uražená od sondy (necelistvost) zpět k sondě). Poslední zaznamenaná hodnota je tzv. koncové echo. vzdálenost od počátečního impulsu ke koncovému echu představuje celkovou tloušťku materiálu. [10], [11], [15]

Metoda **průchodová** - vyslaná vlnová délka musí být menší než požadovaná zjistitelná vada. Vhodná pro silné materiály se špatným odrazem, lepené spoje apod. Je potřeba umístění dvou sond.

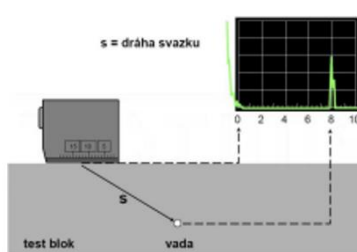
Metoda **odrazová** - nejčastěji využívaná metoda v praxi. K vysílání a přijímání se využívá pouze jedna sonda.

Metoda **rezonanční** - je založena na principu vysílání vln s rozlišnou frekvencí, které se při stojaté vlně dostanou do rezonance. Je vhodná pro kontrolu lepených spojů.

[17], [18]



Obr. 12 Ukázka sondy pro měření pod úhlem [18]



Obr. 13 Výstupem na displeji při zachycení vady [18]

3.2 Destruktivní

3.2.1 Mechanický úder

Z dosavadních zjištěných zdrojů nebyla doposud definována účinná nedestruktivní metoda zkoušení tohoto typu spojení. Proto byla využita destruktivní (nenormovatelná) zkouška mechanickým úderem do připáčené destičky.

Po připájení SK byla odzkoušena kvalita spojení mechanickým úderem kladiva do karbidu. Pokud nedojde k odpadnutí destičky, lze daný výrobek považovat za správně připájený. Během této zkoušky nejsou sledovány žádné metriky, proto nelze tuto zkoušku brát jako průkaznou. Pouze na základě osobních zkušeností lze predikovat vadu spojení.

Vlivem mechanického nárazu byly zaznamenány změny intenzity zvukové vlny. Možná, že v budoucnu lze očekávat nalezení nedestruktivní metody měření zaměřené na vyhodnocování charakteru akustické vlny.



Obr. 14 Mechanická zkouška kladivem

3.2.2 Makrostruktura spoje

Jedná se o zkoumání struktury pouhým okem, s využitím lupy. Předmětem makrostruktury jsou tyto údaje:

- heterogenita složení v různých místech řezu,
- makroskopické útvary vzniklé při spojování materiálů (svařováním, pájením, lepením apod),
- hloubku tepelného ovlivnění materiálu,
- hloubku poškození povrchu vlivem vnějších a vnitřních sil.

Provedení makrostruktury upravuje norma ČSN ISO 1087-1.

[34]

3.2.3 Měření tvrdosti dle Rockwella

Tvrlost se značí jako odolnost materiálu proti proniknutí cizího tělesa. Metoda měření je vhodná zejména pro tvrdé materiály. Pro kalibraci tvrdoměrů se využívá referenčních tvrdoměrných destiček se známou hodnotou tvrdosti.

Rockwellova zkouška využívá k měření diamantového indentoru kuželového tvaru s vrcholovým úhlem 120° . Čím méně se indentor vnoří do materiálu tím vyšší je jeho tvrdost. Na obr 14 je detail diamantu rockwellova tvrdoměru. V provozu firmy je vyžadováno, aby byl během výroby každý desátý kus podroben zkoušce tvrdosti.

[26]



Obr. 15 Diamantový indentor Rockwellova tvrdoměru [26]

4 VÝROBA ZKUŠEBNÍHO SPOJE

Kapitola popisuje postup při výrobě zkoumaného dláta. V prvním bodě je uveden postup výroby základního tvaru dláta. Tento postup je u každého vzorku totožný. V následných popisech bude popsána metoda pájení, lepení a nánosu tvrdo-kovového nástřiku.

4.1 Výroba dláta na kultivaci půdy

Základní popis:

vypálení obrysu dláta z plechu tloušťky 25 mm kyslíkovým plamenem,

vyfrézování náběžné hrany pod úhlem 40°, který byl stanoven na základě předchozích zkoušek. Příliš ostrý úhel vede k obroušení nosného materiálu pod destičkou a k jejímu následnému odlamování,

zaznačení otvorů pro vrtání pomocí vrtací šablony,

předvrtání důlků a vrtání otvorů Ø13,

zahloubení zahlubovacím vrtákem Ø25 s vrcholovým úhlem 90° pro ochranu šroubu,

proražení čtvercového otvoru 13x13,

naváření vrcholu náběžné hrany tvrdo-kovovou elektrodou pro zvýšení životnosti výsledná tvrdost návaru 70 HRC,

vložení do obloukové pece, ohřev na austenitickou teplotu 830 °C a ponechání 20 min. na teplotě,

uchopení rozžhaveného kusu kleštěmi a vložení do kalícího lisu na rovný přípravek a následné ponoření do vodní lázně s teplotou 22 °C. Zchlazení podkritickou rychlostí tlakovým proudem vody pro odstranění páry a rychlejšího ochlazení, ponechání v lázni do vyrovnání teplot,

otryskání povrchu ocelovými broky,

změření tvrdosti výsledné struktury. Pokud tvrdost povrchu nepřekročí 52 HRC, lze přejít k operaci spojení s karbidovými destičkami. U experimentálně zvolených kusů byla tvrdost 45 HRC, což je pro předpokládané použití dostatečné,

při zjištění vyšší tvrdosti než 52 HRC následuje operace popouštění v peci, tj. 3 hodiny při teplotě 400 °C ke snížení vnitřního pnutí. Případně je možné lokální popouštění acetylenovým plamenem v kritických místech přípojných otvorů pro snížení rizika prasknutí. V tomto místě bývá nejčastější inicializace lomu. Komplexní technologický postup je uveden v následujícím bodě.

Technologický postup výroby dláta

TECHNOLOGICKÝ POSTUP Výroba dláta		NÁZEV SOUČÁSTI Dláto na kultivaci půdy	
Materiál: Durostat B2		Polotovár: plech 25 mm	
Číslo operace	Druh operace	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla
1/10	Pálení	Vypálení základního obvodu dláta z plechu	Autogen
2/10	Frézování	Vytvoření náběžné hrany dláta pod úhlem 40°	Frézka
3/10	Značení otvorů	Vytvoření důlků pro následné vrtání	Vrtací šablona
4/10	Předvrtání	Předvrtání pro přesnější vrtání	Vrták Ø4 mm
5/10	Vrtání	Vyvrtání dvou otvorů Ø13	Vrták Ø13 mm
6/10	Zahloubení	Zahloubení otvorů pro zapadnutí šroubu	Zahluovací vrták Ø25 mm, s vrcholovým úhlem 90°
7/10	Ražení	Vyražení čtvercového otvoru	Razník 13x13
8/10	Tvrdo-kovový návar	Navaření otěruvzdorné vrstvy	Elektroda 70 HRC
9/10	Kalení	Ohřev na kalící teplotu, výdrž, prudké zchlazení	Oblouková pec, kalící lis
10/10	Kontrola	Měření tvrdosti,	Rockwelův tvrdoměr

4.2 Použití sendvičové pájky

Jeden z hlavních záměrů této práce je definovat a porovnat užití sendvičové pájky na požadovaný spoj dláta, které je vyrobeno dle technologického postupu uvedeném v předchozím bodě. Dlata byla označena zářezy pro jejich snadné odlišení. Tloušťky sendvičových pásků byly přiděleny jednotlivým zářezům. Použité tloušťky a k nim přidělené zkratky uvedeny níže.

Sendvič tloušťky	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1
Zvolené označení	Se8	Se5	Se4	Se2	Se1

Tab. 5 Přehled použitých sendvičů

Dlata byla opětovně otryskána pro zdrsnění povrchu. SK byl před letováním ručně zdrsněn diamantovým brouskem. Byla změřena teplota vzorků pyrometrem: 18 °C.

Dláto bylo opláchnuto v čisté vodě a následně vysušeno vzduchem. SK byl vložen do benzínu pro jeho odmaštění. Sendvičová pájka se upravila tak, aby u všech použitých tlouštěk kopírovala tvar použité karbidové destičky. Pájka byla odmaštěna také v benzínu a vysušena. Spodní část dláta byla na špičce označena termo-křídou s hodnotou 830 °C pro zpětnou kontrolu, aby nedošlo v kritickém místě k přehřátí.

Na základní materiál se nanasla první vrstva pasty. Poté byl přiložen sendvič, na něj se nanasla další vrstva pasty. Pasta byla rozetřena v malém množství s důkladným zakrytím letovaného povrchu. Přiložily se plátky ze SK a celá sestava se vložila do cívky induktoru. Během celé operace bylo důsledně dbáno na čistotu a zamezení dotyku pájených ploch rukou. Pro usnadnění manipulace byla použita pinzeta.

Pro bezpečné ustavení byl zhotoven přípravek, který zajistil požadované umístění a přítlak destičky při pájení. Přípravek byl vložen do indukční cívky tak, aby plátky nebyly vystaveny tepelnému šoku, tzn. lehce za cívku. Další kritické místo je špička dláta, kde nesmí dojít k nežádoucímu přehřátí. Tato část je k přehřátí velmi náchylná a v minulosti v tomto místě docházelo ke špatnému přiletování.

Po usazení se cívka induktoru musela v intervalech zapínat a vypínat, aby bylo umožněno pozvolné sálání tepla do materiálu. Tím se dosahuje pozvolného a konstantního ohřevu v požadovaném místě. Během ohřevu byla na kritických místech kontrolována teplota povrchu pyrometrem. Těsně před dosažením pájecí teploty 710 °C byla přiložena termo-křída 700 °C. Po jejím roztavení má povrch vhodnou pájecí teplotu. Následuje přitlačení a vyrovnaní SK ocelovým přípravkem a roztečení pájky do všech koutů pájeného spoje. Následuje ochlazení proudem vzduchu, nejdříve ve spodní části kvůli zamezení tepelného šoku a dochlazení ze strany destiček. Chladí se až na teplotu 300 °C, celý proces je průběžně kontrolován pyrometrem. Díl se dochladí ponořením zadní části do vody tak, aby nedošlo k velkému tepelnému šoku v blízkosti destiček.

Nakonec probíhá konečná vizuální kontrola dláta včetně ověření, zda u špičky nedošlo k přehřátí roztečením nanesené linie termo-křídou s hodnotou 830 °C. Tento proces je vizuálně popsán chronologicky v koláži, obr.14:

Proces byl proveden u všech jednotlivých uvedených tloušťek sendvičů, jak je výše uvedeno v tabulce.



Obr. 16 Koláž procesu pájení sendvičové pájky

Technologický postup pájení

TECHNOLOGICKÝ POSTUP Pájení SK na dláto		NÁZEV SOUČÁSTI Dláto na kultivaci půdy	
Materiál: Durostat B2		Polotovár: dláto	
Číslo operace	Druh operace	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla
1/8	Očištění	Zbavení dláta, sendviče a SK plátku nečistot	Voda, benzín
2/8	Nanesení pasty a sendviče	Prvotní vrstva pasty, položení sendviče, a opět vrstva pasty	Sendvič, pasta
3/8	Položení SK	Ustavení SK na připravené místo	SK destičky
4/8	Vložení do přípravku	Pracovní poloha	Přípravek
5/8	Pájecí proces	Pozvolný ohřev až k dosažení pájecí teploty	Indukční ohřev
6/8	Kontrola vhodné pracovní teploty	Ověření správné pájecí teploty	Pyrometr, termo-křída
7/8	Ochlazení	Pozvolné ochlazení pájeného místa	Vzduchová pistole
8/8	Kontrola	Vizuální kontrola a ověření, zda nedošlo k překročení teploty 830 °C	Oko

4.3 Lepený spoj

Největší výhodou lepeného spoje je absence tepelného šoku na základní materiál a SK. Nedojde k popouštění a ocel si zachovává svou původní tvrdost po zakalení. Riziko mikrotrhlin u SK vznikajících teplotním šokem je odstraněno. Lepidlo nám umožní umístit SK i do špatně dostupných míst. Aplikace lepeného spoje vyžaduje čisté a neprašné prostředí. Velký důraz je kladen na dodržení pokojové teploty obzvláště na lepených dílech.

4.3.1 Postup lepení

Povrch základního ocelového materiálu je nutné mechanicky zdrsňit smirkovým plátnem společně s povrchem SK. Cílem tohoto broušení je odstranění prachové a oxidační vrstvy přítomné na materiálech. Zdrsňení povrchu se doporučuje u obdobných zatékavých spojů. Větší pórovitost obou povrchů povede k lepšímu zatečení lepidla do hloubky materiálu a k následnému zvýšení pevnosti spoje.

Po zdrsňení lepeného povrchu následuje odmaštění. Jako odmašťovadlo byl zvolen rozprašovací čistič S. Tento přípravek ve spreji byl nanesen na oba lepené povrchy, pronikl do hloubky materiálu a z pórů vynesl nečistoty. Po naklonění došlo k samovolnému vytečení. Po dokončení nenásledoval žádný oplach nebo čištění benzínem jako u letovaného spoje. Nástrík spreje se po určité době samovolně na vzduchu vypařil.

Lepidlo R se vylilo do mísící špičky a takto bylo vloženo do dávkovací pistole. Lepidlo se na základní materiál nanese a rozeťrelo míchací špachtlí. Následně byl SK jemně přitlačen na základní materiál. Pro vytvoření kvalitního spoje mezi SK a ocelí byla hlídána konstantní přítomnost lepidla R mezi jednotlivými povrchy. Spoj byl ponechán volně k vytvrdnutí.

Lepení bylo provedeno při teplotě 20 °C. Tato teplota byla dodržena i na lepených dílech. Pro ochranu zdraví před aplikací byla použita ochranná pěna na ruce.

Životnost lepidla dle dodavatele je 6 až 12 měsíců.



Obr. 17 Sada pro lepení

Technologický postup lepení

TECHNOLOGICKÝ POSTUP Lepení SK na dláto		NÁZEV SOUČÁSTI Dláto na kultivaci půdy	
Materiál: Durostat B2		Polotovar: dláto	
Číslo operace	Druh operace	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla
1/5	Mechanické broušení	Zdrsnění povrchu pro lepší zatékavost	Smirkové plátno
2/5	Odmaštění	Odstranění zbylých nečistot	Sprej S
3/5	Nanesení lepidla	Nanesení lepidla dávkovací pistolí, rozetření špachtlí	Lepidlo R, dávkovací pistole, špachtle
4/5	Přitlačení SK	Přitlačení SK k roztečení lepidla	
5/5	Vytvrzení	Ponechání dláta pro vytvrzení	

4.4 Žárový nástřík - povlak NiCrSiB

Po teoretickém rozboru problematiky a mnoha konzultacích vznikl návrh na vyzkoušení nové technologie. Inspirací se stala technologie používaná ke zvýšení životnosti zubů lopat bagrů a jiných podobných výrobků. Výhoda této metody spočívá v pevném difuzním spojení tvrdo-kovového prášku se základním materiálem. Výsledný spoj je podstatně více houževnatý, což eliminuje problém, který se vyskytuje u křehkých karbidových destiček. Další velkou výhodou je možnost servisování dlát, tzn. opětovné nanesení ochranné vrstvy po určitém opotřebení dílů. Díky tomuto faktu se zmíněná metoda využívá u velkých, nákladných strojů, kde by častá výměna bez možnosti opravy byla finančně neúnosná. Testované dláto bylo opět vyrobeno dle původního postupu uvedeného v bodě [4.1](#).

Postup nanesení povlaku NiCrSiB:

před samotným nástříkem musel být povrch dláta ohřátý na teplotu 600 °C. Proces ohřevu acetylenovým plamenem je velice zdoluhavý a nákladný. Proto bylo dláto podloženo pásnicí, která byla ohřátá na teplotu 800 °C v obloukové peci. Při následném vyrovnání teplot se provádí kontrola teploty povrchu dláta pyrometrem,

při dosažení požadované teploty může začít samotný proces nanášení povlaku. Ocel při zahřátí oxiduje a tento jev lze spatřit pouhým okem. Jedná se o modrou vrstvičku na povrchu. Pokud nanese nástrík na vrstvu oxidů je velice pravděpodobné, že v praxi povlak upadne. Proto musí být proces nanášení velice pozvolný. Významnou roli hraje i velikost vrstvy povlaku. Doporučená tloušťka se udává mezi 1–3 mm. Pokud bude doporučená tloušťka překročena, vzniká velké riziko upadnutí celého povlaku. Dodavateli doporučený technologický postup jasně předepisuje kalení před nanesením tvrdo-kovového povlaku. V rámci experimentu, byl vytvořen jeden vzorek kalený před nástříkem a druhý kalený až po nástříku,

samotný proces nanášení trval u jednoho kusu 10 minut. Povlak se nanášel postupně po tenkých vrstvách až k dosažení požadované tloušťky. Během procesu byla kontrolována teplota s občasným dohříváním dláta na pracovní teplotu. Na následujících obrázcích je ukázka procesu nanášení povlaku s pomocí acetylenového plamene a kontrolou teploty pyrometrem. Na obr. 17 jsou zobrazena obě hotová dláta. Jak bylo uvedeno, jedno dláto je kaleno až po nánosu a druhé před nánosem tvrdého povlaku. Celý technologický postup je uveden níže.

Technologický postup nástřiku dláta

TECHNOLOGICKÝ POSTUP Nanesení nástřiku na dláto		NÁZEV SOUČÁSTI Dláto na kultivaci půdy	
Materiál: Durostat B2		Polotovár: dláto	
Číslo operace	Druh operace	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla
1/6	Tryskání	Odstranění okují, zdrsnění povrchu v místě nástřiku	Tryskač, ocelové broky
2/6	Odmaštění	Zbavení mastnoty a nečistot	Odmašťovací prostředek, utěrka
3/6	Příprava pro nástřik	Zakrytování chráněných míst, upevnění dláta, odjištění plynových lahví	Pracovní stůl se svěrákem, kyslíkoacetylenová plynová lahev
4/6	Vlastní nástřik	Postupné nanášení přídavného materiálu, dodržení předepsané teploty základního materiálu	Hořáková pistole
5/6	Závěrečná úprava	Očištění případných vad	Brusný papír
6/6	Kontrola	Vizuální kontrola nástřiku, kontrola trhlin	Oko, případně lupa



Obr. 18 Nanášení povlaku NiCrSiB plamen



Obr. 19 Dláta po nanesení povlaku NiCrSiB

4.4.1 Faktory ovlivňující nástřik

Po konzultaci s dodavatelem byly optimalizovány faktory ovlivňující celý proces. Jednalo se zejména o velikost a vhodný typ trysky, tlak v acetyléno-kyslíkových bombách a lidský faktor.

Z experimentu vypnulo, že změna tlaku na plynových lahvích acetylenu a kyslíku nehraje měřitelnou roli při výrobě doporučeném tlaku acetylenu – 0,6 bar a kyslíku – 2,5 bar. Oproti vyššímu tlaku acetylenu - 1,35 bar a kyslíku – 5,5 bar nebyl zaznamenán žádný rozdíl. Důležité bylo zachování poměru obou plynů. U nižšího tlaku byla nevýhoda slabší síly plamene a tím také delšího výrobního času.

Z hlediska měřených faktorů u jednotlivých hořáků nebyl daným způsobem zjištěn žádný podstatný rozdíl. Při porovnání ztrát ale vykazuje americký výrobce nižší hodnoty. Vyšší kvalita zde souvisí s podstatně vyšší cenou hořáku a tím i cenou opotřebitelných dílů.

Z ekonomického hlediska spotřeby prášku bude tato metoda rozebrána na konci práce v bodě [7.5.](#)



Obr. 20 Český hořák



Obr. 21 Americký hořák

5 TESTOVÁNÍ KVALITY SPOJE

Prioritní důraz byl u pájení SK kladen na vizuální zkoušku. Díky pouhému pozorování okem se dá rozpoznat příliš velké množství vytečené pájky způsobené překročením pájecí teploty. Při hrubém překročení teploty byly patrné i černé, struskovité zbytky spáleného stříbra (okolo 900 °C).

Po teoretické rešerši možných způsobů nedestruktivních zkoušek byly navrženy tyto metody.

5.1 Vizuální kontrola

Jedná se o prvotní posouzení výsledku práce pracovníkem. Jako bylo uvedeno, někdy jsou budoucí ze špatného spojení viditelné na plný pohled. Je to zejména přítomnost černé struskovité vrstvy na povrchu dílu v blízkosti spoje, nebo viditelná absence sendvičové pájky pod destičkou.

I přes důkladnou vizuální kontrolu není možné každý špatně přiletovaný díl odhalit. Vzniká zde potřeba nalezení metody nové.

5.2 Tloušťkoměr – odrazová metoda

Jako prvotní návrh na nedestruktivní zkoušku byl doporučen tloušťkoměr MX-5, disponující 0,5 MHz. Tento přístroj byl zvolen pro svoji příznivou cenu.

Princip tohoto zařízení spočívá ve změně rychlosti šíření zvuku v materiálu. Podrobnější popis je uveden v teoretické části pod bodem [3.1.2](#).

Původní hypotéza spočívala v hledání dislokace v pájeném spoji. Pokud by mezi SK a ocelí vznikla vzduchová bublina, přístroj by ji měl odhalit, protože rychlost šíření ve vzduchu a v pevném materiálu je odlišná. Přístroj naměří v daném místě jinou tloušťku. Podstatným faktorem je dodržení kolmé plochy odrazu ultrazvuku. Úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Pokud se signál neodrazí zpět do přístroje vyvolá to chybu měření.

Pro toto měření byl vytvořen záměrně špatný vzorek. U dláta došlo k přehřátí pájky Se4 na cca 900°C.

Výsledky experimentálního měření: experimentálně byla zjištěna rychlost šíření zvuku v SK=6954 m/s a borové oceli=5930 m/s. Byla změřena samostatná tloušťka SK 4,1 mm před letováním. Po naletování bylo měření opakováno. Výsledkem byla opět naměřená tloušťka 4,1 mm. Ultrazvuk nebyl dostatečně silný, aby prošel za SK. Měření nebylo úspěšné.

Závěr experimentu: tloušťkoměr MX-5 není vhodný pro zjištění kvality letovaného spoje. Bylo doporučeno přejít na vyšší frekvenci přístroje (1 MHz) nebo použít nový měřicí přístroj, tzv. defektoskop.

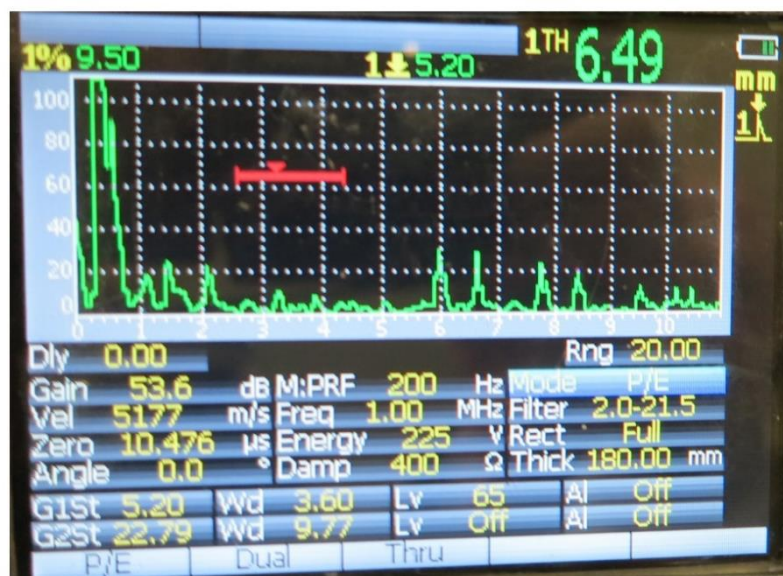


Obr. 22 Zkušební měření tloušťkoměrem MX-5

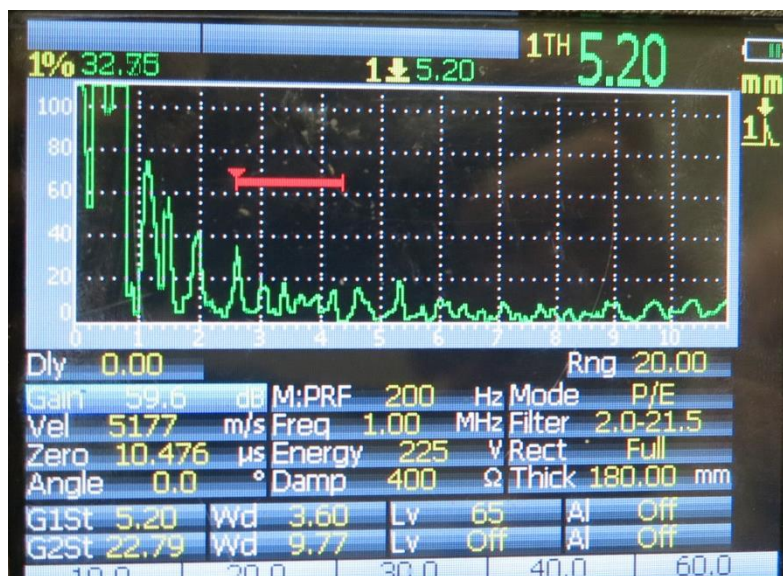
5.3 Ultrazvukový defektoskop

Po předchozím doporučení byla provedena zkouška silnějším ultrazvukem. Ve zkoušce byl použit ultrazvukový defektoskop Panametrics-NDT Epoch XT. Přístroj funguje na podobném principu jako tloušťkoměr uvedený v bodě 5.1. Pořizovací náklady tohoto zařízení jsou ale řádově vyšší.

Pro zkoušku byly zhotoveny dva vzorky letované metodou sendvič Se4 s technologickým postupem uvedeným v bodě [technologický postup pájení](#). Vzorky byly přiletovány na rovný povrch materiálu durostat B2, pro jednodušší měření. Jeden ze vzorků byl připájen vhodnou teplotou 710 °C, u druhého byla teplota pájení záměrně překročena pro simulaci chybného připájení.



Obr. 23 Výsledek Se4 s vhodnou pájecí teplota (710 °C)



Obr. 24 Výsledek Se4 s překročenou pájecí teplotou (900 °C)

Výsledky experimentálního měření: přístroj zaznamenal rozdíly u jednotlivých vzorků. Tyto rozdíly ale nebyly operátorem vyhodnoceny jako průkazné potvrzení špatně pájeného spoje. Měření bylo považováno za neúspěšné.

Závěr experimentu: ultrazvukový defektoskop Panametrics-NDT Epoch XT nezaznamenal vyhodnotitelné výsledky. Ovšem tato metoda zkoumání pájeného spoje se jeví jako správná. K dalšímu zkoumání by mělo být využito více vzorků pro jasnější určení odchylky v měření. Dá se předpokládat, že operátor byl zvyklý vyhodnocovat zcela jiný charakter vzorků (bublina ve svaru) a tento případ nebyl schopen posoudit.

5.4 Hodnocení makrostruktury

Prvotní pokus přípravy vzorků se nezdařil. Kotouč Discatom 5/-6 vhodný pro vysoce tvrdé materiály i keramiku byl při kontaktu se SK neúčinný. Pro pokračování experimentu byl k řezání doporučen diamantový kotouč nebo vodní paprsek.

Diamant nebyl využit pro své vysoké pořizovací náklady na jeden kotouč. Řezání vodním paprskem bylo velice problematické. Karbidová vrstva kladla velký odpor. Bylo využito nejsilnějšího dostupného tlaku a postupným opisováním řezu se karbid podařilo narušit.



Obr. 25 Ukázka řezání dláta vodním paprsek

Výsledná struktura řezu byla nerovnoměrná. Kvalita povrchu byla těžko hodnotitelná. Rozdílná tloušťka řezané plochy zapříčinila nerovnoměrnost řezané plochy. Doba řezání jednoho dláta překročila 20 min.



Obr. 26 Řez dlátem



Obr. 27 Přiblížený řez dlátem

Výsledky experimentálního měření: další pokusy tvorby vzorků byly pozastaveny pro svou náročnost spojenou s vysokými náklady. Při pozorování pouhým okem lze konstatovat, že pájka byla rozlita v celé délce řezu pod plátkem. Mikrostruktura se jeví jako vyhovující.

Závěr experimentu: vyhodnocení kvality pájeného spoje nelze z uvedené fotografie zcela určit. Spojení se zdá být celistvé, nejsou zde viditelné žádné aspekty rizika odpadnutí destičky.

6 PRAKTICKÉ ZKOUŠKY

Po výrobě jednotlivých typů vzorků bylo přistoupeno k praktickému posouzení v reálných podmínkách v provozu, pro které byly díly určeny. Testování bylo provedeno koncem roku v náročných půdních podmínkách, v okolí Opavy. Na obr 28 níže je stroj tažený traktorem na kterém se prováděly zkoušky. Jedná se o polonesený pluh osazený šestnácti radlicemi určený pro hlubokou orbu před zimním obdobím.



Obr. 28 Polonesený, otočný pluh

6.1 Výsledky lepeného spoje



Obr. 29 Fotka dláta před a po 12 ha

Alternativní technologie lepení se ukázala dle výsledků z praxe jako nevyhovující. Dláto již po několika málo hektarech ztratilo jednu karbidovou destičku. Životnost dláta byla poté velice krátká. Po ztrátě destičky došlo k rychlému úbytku oceli pod destičkou. Docházelo k rychlému úbytku materiálu převážně na straně scházející destičky. Dláto muselo být po ztrátě své pracovní délky asi po 35 ha vyměněno.

Lze konstatovat, že lepený spoj nebyl schopen vydržet velké dynamické rázy, které se v provozu vyskytují. Při narušení lepené vrstvy zřejmě dochází k náhlému poklesu celistvosti pod celým jedním karbidovým plátkem a k jeho následné ztrátě.

Zhodnocení: metoda lepení karbidových destiček pro tento druh dláta není vhodná. Pro lepší výsledek by bylo vhodné vytvořit uzavřenou plochu, ve které bude karbid při provozu lépe snášet zejména boční nárazy.

6.2 Výsledek sendvičového spojení



Obr. 30 Dláto před zkouškou



Sendvičová pájka	Se2	Se5	Se8	Se4	Se1
Tloušťka [mm]	0,2	0,5	0,8	0,4	0,1

Obr. 31 Dláta po 80 ha v kamenité půdě s rozdílnou tloušťkou sendviče

Výsledek po absolvování 80 hektarů orby stanovil, jaká tloušťka sendvičové pájky je pro zkoumané těleso optimální. Původní odhad o volbě menší tloušťky byl vyvrácen. Dláto v této půdě by mělo do konce životnosti vydržet okolo 200 ha.

Se1 sendvič s nejmenší tloušťkou ztratil soudržnost po celé své délce. Po ztrátě karbidové destičky dochází k rychlému úbytku materiálu. Průběh další životnosti dláta bude obdobný jako v bodě [7.1](#).

Se2 udržel asi 60 % SK na dlátě. Tento výsledek nebyl špatný. Pro tento díl je všem nedostačující.

Se4 vyšel z výsledku velice dobře.

Se5 vykázal obdobný výsledek jako Se4, pro vyšší cenu byl zamítnut.

Se8 sendvič tloušťky 0,8 mm je dle výsledku nejvhodnější pro pájení slinutých karbidů k oceli. Tato sendvičová pájka ale příliš zvyšuje cenu dláta.

Zhodnocení: po vyhodnocení této zkoušky se ukázalo, že čím větší je tloušťka sendvičové pájky, tím déle se SK na dlátě udrží. Silnější měděné jádro je zřejmě schopné absorbovat více dynamického namáhání. Z ekonomického hlediska není vhodné volit sendvič tloušťky 0,8 mm, protože příliš zvyšuje cenu dláta a jeho použití není rentabilní. Jako optimální v poměru ceny a dosaženého výkonu byla vyhodnocena tloušťka sendviče 0,4 mm.

6.2.1 Zkouška sendviče Se4

Po závěru z předchozího bodu byl sendvič Se4 podroben další zkoušce. Test proběhl koncem roku v tvrdé a kamenité půdě.



Obr. 32 Dláto po 10 a 63 ha

Podmínky při práci mají na životnost dílů zcela zásadní vliv. Během tohoto testu bylo vystaveno dláto doposud nejtěžším podmínkám. Po absolvování 63 ha se dláto dostalo na hranici své životnosti.

Slibné opotřebení ze začátku testu, kdy došlo pouze k ulomení špičky nemělo dlouhého trvání. Po delší dobu testu, dle výpovědi uživatele, docházelo k postupnému odlupování částí karbidové destičky. Jakmile se destička vyštípla, tak ocel, která v daném místě nebyla chráněná, velice rychle ubývala. Tento proces se neustále opakoval až do konce životnosti dláta.

Zhodnocení: na základě tohoto výsledku je zřejmě možné konstatovat nižší kvalitu firmou používaných karbidových destiček. Jako vždy je to především otázka pořizovací ceny.

6.3 Porovnání sendviče s nástřikem NiCrSiB

V této praktické zkoušce byla ověřována i vlastní kvalita SK a její vliv na životnost dlát v provozu. Pro porovnání byly použity SK využívané pro frézování o rozměrech: 15x15 a 20x20. Jednalo se o slinuté karbidy bez povlaku, vyrobené v ČR. Plátky byly k dlátu připájeny sendvičovou pájkou tloušťky 0,4 mm způsobem uvedeným v tabulce [technologický postup pájení](#).



Obr. 33 Dláta před zkouškou



Obr. 34 Dláta po zkoušce cca 30 ha

Výsledky zkoušky jednoznačně nepotvrdily nízkou kvalitu používaných karbidových destiček. Z obr. 31 je zcela patrné, že nasazení destiček SK s ověřenou kvalitou nemělo za následek zvýšení životnosti dílu. Došlo ke ztrátě i odštipování, tak jako u minulých testů. Dá se konstatovat, že destičky formátu 15x15 a 20x20 nejsou pro pájení na tento druh dláta vhodné.

Dosavadní používaná metoda Se4 a SK plátku zkouškou prošla, ale došlo k deformaci špičky dláta, což zcela určitě sníží další životnost dláta.

V konečném důsledku se dá konstatovat, že použití dostupných karbidových destiček a jejich připevnění na pracovní díly popsanými metodami není úplně stoprocentní a také nevyhovuje poměr ceny a kvality.

Nad očekávání dobře dopadla dláta s povlakem NiCrSiB. Na první pohled je patrné, že dláta ztratila vlivem abrazivního opotřebení nejmenší část materiálu ze všech zkoušených dílů. Úbytek byl patrný pouze ve spodní části dláta a tam, kde na špičce nebyl nanesen žádný povlak. Dláto získalo optimální pracovní úhel, což příznivě ovlivňuje další průběh opotřebení.

Otázku kalení před nebo až po nanesení povlaku není možné z fotky jednoznačně určit. Po důkladném prozkoumání a přeměření obou dílů byl u dláta kaleného před nástřikem zjištěn trochu větší úbytek materiálu. Toto bylo zřejmě způsobeno popouštěním oceli vlivem tepla přeneseného z plamene při nanášení. I přes doporučení dodavatele nebyl zjištěn důvod, proč by nemohl nástřik projít kalícím procesem.

Zhodnocení: horší kvalita používaných destiček nebyla z hlediska charakteru opotřebení prokázána. Nástřik NiCrSiB vykázal lepší vlastnosti pro podmínky při práci v půdě. Destičky ze slinutých karbidů hůře odolávají nárazům do kamenů.

7 NOVÉ TECHNOLOGICKÉ POZNATKY

Během výroby jednotlivých vzorků a jejich následného zkoušení bylo zjištěno, že cesta ke zvyšování životnosti u těchto typu dílů je správná. Dalším vývojem se musí zajistit co nejlepší spojení otěruvzdorných materiálů s díly. Je nutné dbát ohled na ekonomické aspekty procesu.

7.1 Překročení pájecí teploty



Obr. 35 Správně přiletovaná sendvičová pájka (22 °C, 720 °C)



Obr. 36 Degradace sendvičové pájky (897 °C)

Pro demonstraci správného postupu pájení byl zvolen následující pokus. Na část pásnice z bórové oceli byl správným způsobem přiletován plátek sendvičovou pájkou. K zamezení oxidace byla užita stříbrná pasta A8. Pájecí teplota byla kontrolována pyrometrem. Při dosažení teploty povrchu 720 °C byl proces ukončen. Bylo patrné, že výsledný spoj byl čistý a pevný. V místě styku bylo lehce roztečené stříbro. Vlivem vysoké frekvence induktoru měl sendvič tendenci odskakovat.

Problém byl vyřešen vložením šamotové nevodící vložky. Šamot je pro své vhodné vlastnosti ve firmě hojně využíván zejména při letování.

Důležité je zdůraznit, že hlídání teplot při pájení je nezbytné. Dříve časté přehřívání sendviče vedlo k jeho poškození a následnému upadávání destiček. Po sérii testů a konzultacích se tento problém podařilo odstranit. Při správném letování se pájka musí jen minimálně roztékat. Pokud je dláto silněji potečené pájkou, jedná se o varovný signál.

Pro získání co největšího množství informací bylo provedeno chybné pájení s přehřátou pájkou. Stejným postupem jako na obr. 32 byl připraven vzorek. Při postupném ohřevu se kontrolovala teplota. Proces byl ukončen po dosažení teploty 897 °C. Jaký důsledek má takto vysoká teplota na sendvič, je patrné z obr. 33. Výsledkem je spálená, černá struskovitá hmota.

Špatně přiletované SK plátky jsou vidět na obr. 33. Tyto plátky byly sejmuty z dláta opětovným ohřevem v indukční cívce. Je viditelné, že byla opět značně překročena pájecí teplota. Černá barva pod plátkem odpovídá obrázku vedle. Výskyt diskutované spáleniny na dlátě představuje velký vykřičník. Téměř jistě došlo ke spálení a spoj nemůže být v praxi funkční

Pokud teplota nebude při pájení kontrolována a bude překročena, tak dláto u zákazníka se bude chovat následujícím způsobem.



Obr. 37 Přehřáté spodní dva plátky dláta



Obr. 38 Dláto po 15 ha a po 30 ha

Pokud dojde k přehřátí pájky, tak na poli se tento problém projeví téměř okamžitě. Již po několika hektarech dochází odloupení obou předních plátků. Z obr. 35 je zřejmé, jakou měrou byl sendvič spálen. Tato část se po nasazení okamžitě odloupila. Pokud dláto není chráněno karbidem, jeho životnost je poměrně malá. Po ujetí dalších hektarů dochází k postupnému obrušování oceli. Pokud je pracovní úhel dláta příliš ostrý, začne se obrušovat ocel pod ním a karbidová destička se postupně odlupuje. Po celkovém odstranění karbidu se dláto začne jednotně opotřebovávat v celé své šířce i délce. Pokud je už tak tenké – obr. 35, po 30 ha, a vylézá hlava šroubu, musí být dláto vyměněno. Další případ nutné výměny je po ztrátě potřebné délky dláta. Při nedostatečné délce se začne totiž opotřebovávat i břit, na kterém je dláto uchyceno. Břit cenově vychází podstatně draž a měl by vydržet několik výměn standartních dlát.

Důležitou věcí při výrobě dláta je, jak již bylo zmíněno, zvolení správného náběžného úhlu. Tento problém byl vyřešen již v minulosti. Pokud je pracovní úhel položení plátků příliš ostrý, tak není pod plátky dostatečné množství materiálu a plátek se snáze vyštípává. Podle vyjádření zákazníků je životnost dláta až o polovinu menší, než při úhlu 40° . Pokud byl zvolen úhel příliš tupý, dláto kladlo v zemi zbytečně velký odpor. Po sérii testů a zkoušek v praxi byl zvolen optimální pracovní úhel 40° .

Letování 4 plátků na jedno dláto bylo z technologických důvodů zastaveno. Tenká špička se rychleji ohřívala než zbytek letované plochy a nebylo možné docílit konstantního ohřevu celé plochy. Dodržení správné teploty u takto velké plochy není při aktuálních možnostech firmy reálné. V budoucnu bude zapotřebí pořízení silnějšího induktoru a vhodné volby cívky pro konstantní ohřev.

7.2 Nedodržení pracovní teploty při nástřiku

Nejčastějším problémem při nástřiku bylo nedodržení pracovní teploty základního materiálu. Při nižších teplotách se nalétávající prášek odráží od studené oceli. Důsledkem bylo, že docházelo k rychlému ochlazení prášku pod teplotu liquidu. Povlak neutvořil ucelenou plochu, ale stáhl se do formy kapiček na povrchu dláta. V této formě je povlak lehce odstranitelný a tím i nefunkční.



Obr. 39 Ukázku užití nižší pracovní teploty

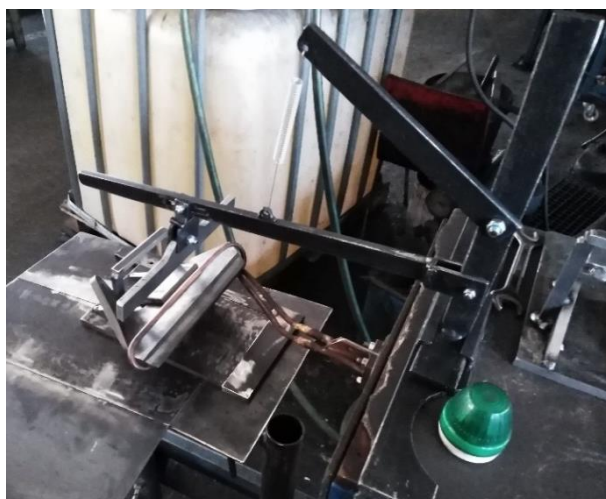
V opačném případě, při překročení pájecí teploty, může dojít k natavení základního materiálu. Tento fakt může způsobit promísení dvou likvidních složek, tj. prášku a materiálu. Vlastnosti povlaku by byly znehodnoceny naředěním základním materiálem. Tento problém vzhledem k vysoké teplotě tavení oceli nebyl v dané operaci pravděpodobný, proto dále v práci není rozveden.

7.3 Změny v procesu pájení

Během hledání chyb v procesu pájení byla snaha, co nejvíce omezit vliv lidského faktoru. Bylo vytvořeno nové speciální pracoviště se speciálními přípravky, jedním pracovním a druhým přípravným. V praxi jeden pracovník provádí samotný proces letování, zatímco druhý připravuje další díl ve vedlejší přípravku. Dbá se na správné umístění cívky, aby se sálavým teplem docílilo požadované teploty v celé délce letované plochy. Po dosažení pracovní teploty jsou plátky bezprostředně zatlačeny speciální pákou, která zajistí konstantní tlakovou sílu v celé pájené ploše.

Kontrola teploty se prováděla termo-křídou a pyrometrem. Zkušený pracovník je schopen poznat správnou teplotu oceli i pouhým okem.

Na závěr, pro zmírnění ztráty tvrdosti, je dláto mimo plátky pozvolně dochlazováno. Mezitím druhý pracovník přesune druhý díl do cívky a proces se v tomto sledu znovu opakuje.



Obr. 40 Nové pracoviště pro pájení s pákovým zdvihem

7.4 Změny nanesení nástřiku

Pro efektivnější ohřev dílu byl nově využit indukční ohřev, který celou operaci urychlil. Kontrolovaný ohřev lépe umožňuje docílení pracovní teploty a zamezení případného přehřátí materiálu.

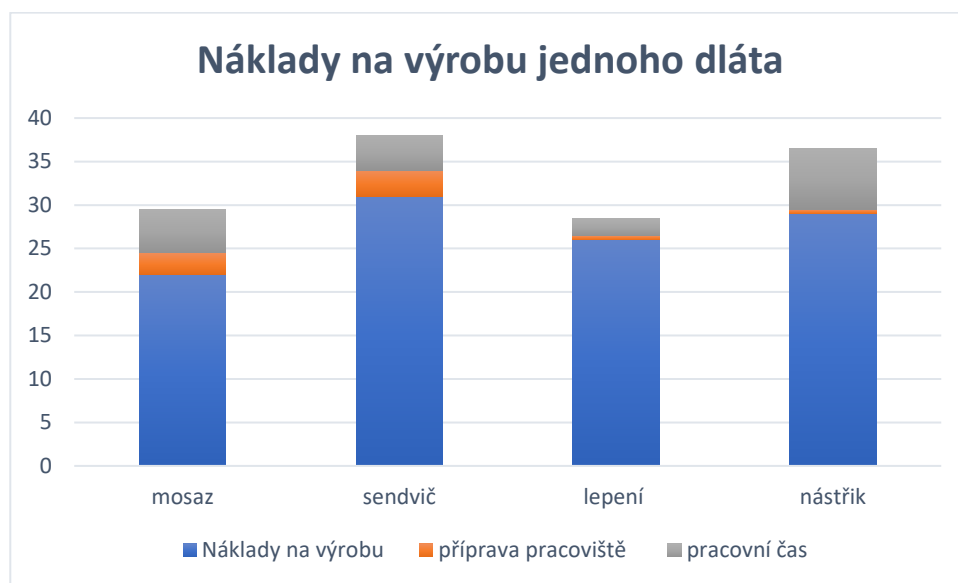
Praktické zkoušky ukázaly, že kalení nástřiku na oceli nezměnilo jeho vlastnosti. Výsledný díl disponuje vyšší tvrdostí a tím i vyšší životností.

7.5 Ekonomické srovnání metod

Stanovení ceny výrobků firmou se provádí kalkulací celkových nákladů na výrobu a připočtením požadované provize. Cena výrobku je citlivý údaj. Konkrétní hodnota vypočtených nákladů nebude v práci zmíněna. Pro ilustraci nákladů na výrobu jsou hodnoty uvedeny bez jednotek. Kalkulace byla stanovena pro zhotovení 100 kusů dlát. V uvedeném grafu jsou níže popsány čtyři základní metody, které byly v práci zpracovány. Do stanovení kalkulace se promítla cena použitého materiálu pro jednotlivé postupy, čas na přípravu pracoviště a pracovní čas pro výrobu jednoho dílu. Ceny ukazují rozdíly v nákladech mezi jednotlivými postupy.

	Mosaz	Sendvič	Lepení	Nástřík
Náklady na výrobu	22	31	26	29
Příprava pracoviště	2,5	3	0,5	0,5
Pracovní čas	5	4	2	7

Tab. 6 Náklady na výrobu dlát



Obr. 41 Graf porovnání nákladu jednotlivých metod

Cena nástříku je přibližně stejná jako cena karbidové destičky. Nižší náklady o necelých 10 % jsou způsobeny možností přizpůsobit tloušťku nástříku dle konkrétní potřeby na díl. V určitých místech lze nástřík přidat a opačně ubrat. Díky tomu je výsledná cena příznivější.

Metoda lepení a mosazné pájky vychází v kalkulaci nejlépe, ale pro své nedostačující vlastnosti nejsou pro tyto díly vhodné.

Spotřeba prášku při nástřiku

Po úspěšném zvládnutí technologie nástřiku tvrdo-kovového prášku, vznikla potřeba přesné kalkulace ceny. Nástřik byl vytvořen po celé náběžné ploše v přibližné tloušťce 1,5 mm.

Bylo zaznamenáno množství prášku vsypané do zásobníku pistole. U tří dlát byla změřena průměrná celková hmotnost spotřebovaného prášku na 1 kus. Dále byla zjištěna hmotnost dláta před a po nástřiku, kvůli zjištění ztrát. Prvotní měření ukazovalo na vysoké procento ztrát prášku do okolí.

Při experimentu byl měřen i čas nanášení. Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce.

Tryska [mm] Hořák: A-Americká Č-Česká	Průměrná hmotnost uchyceného prášku na dláto [g/ks]	Celková průměrná spotřebovaná hmotnost prášku [g/ks]	Ztráta [%]	Výrobní čas [min]
A-1	14	28	50	18
A-1,7	19	33	42,42	12
Č-1,5	10,67	22	51,51	13
Č-2	11	20	45	10

Tab. 7 Faktory ovlivňující průběh navařování

Menší průměr trysky oproti očekávání vedl ke zvýšení ztrát. Tento závěr je asi úzce spjat s lidským faktorem. Při reálném zkoumání procesu, užší tryska skutečně vykazuje menší ztráty, ovšem jen v krátkém časovém intervalu. Po překročení určité časové meze začne tryska vykazovat ztrátu. Bylo zjištěno, že volba užší trysky je vhodnější pro navařování menších ploch.

Výsledné doporučení.

Volba trysky průměru 2 mm znamená kratší výrobní čas, ale vyšší ztráty rozptylem. Výhodná je výroba tří dlát v jednom pracovním intervalu najednou. Do kalkulace je nutné zahrnout 45 % ztrátu prášku pro 1 kus.

Je vhodné použít dávkovač prášku do pistole pro optimální gramáž na jedno dláto.

8 ZÁVĚR

Po zkušenostech vzniklých na základě častých reklamací se metoda pájení destiček mosaznou pájkou přestala používat.

Nově byla otestována metoda pájení za použití sendvičové pájky. Optimální tloušťka sendvičové pájky byla stanovena na 0,4 mm.

Původní záměr snižovat tloušťky sendvičové pájky se neosvědčil. Zkouška v praxi jasně ukázala, že větší tloušťka pájky je pro životnost dlát vhodnější. Větší tloušťka pájky umožňuje snášet silnější dynamické rázy při orbě. Vyšší pořizovací cena této sendvičové pájky, ale neumožňuje širší využití při výrobě.

Alternativní řešení v podobě lepení SK se prozatím ukázalo jako nevyhovující. Ovšem díky stále rostoucí kvalitě dostupných lepidel, lze do budoucna očekávat větší uplatnění této moderní technologie.

Makrografická analýza neodhalila známky naznačující špatné přiletování. Problém s tvrdostí plátků neumožnil provést řez materiálem, který by umožnil lepší posouzení kvality spoje.

Během hledání vhodné nedestruktivní zkoušky bylo prokázáno, že ultrazvuk o nízké frekvenci 0,5 MHz nelze pro kontrolu kvality pájeného spoje použít. Možné řešení lze očekávat u metody ultrazvuku s frekvencí vyšší. Prozatím nebyly výsledky použitelné, ale tato metoda by v budoucnu mohla vést k řešení.

Po provedení série zkoušek se v praxi ukázalo, že používaná geometrie dlát pro destičky se SK není zcela vhodná. Nevhodné se ukázaly i ostré rohy destiček, které se při každé zkoušce na poli velice rychle ulomily.

Dalším možným nedostatkem zjištěným při porovnání životnosti dlát je nižší kvalita použitých karbidových destiček. Častým problémem u slinutých karbidů je použití recyklovaných prášků pro výrobu nových destiček.

Proces pájení je velice citlivá operace, proto by měl být kladen důraz na snížení vlivu lidského faktoru.

Možná alternativa volby šroubového spoje by mohla vést k odstranění dosavadních problému se ztrátou karbidových destiček, ale mohou se objevit další nepředvídatelné problémy.

Karbidové destičky se podle dosavadních výsledků jeví jako vhodnější volba pro písčité půdy. Velká a ostrá karbidová zrna destiček o vysoké tvrdosti nejsou vhodná do kamenitých půd. Při práci docházelo k neustálému vylamování a odštipování částí destiček.

Nejdůležitější přínos této práce spočívá v nalezení náhrady destiček ze slinutých karbidů tvrdo-kovovým nástřikem na bázi NiCrSiB. Tato nová metoda vykazala lepší odolnost v těžkých podmínkách, které vznikají při orbě. Z ekonomického hlediska vychází lépe. Nedochází k popouštění oceli jako u pájení, protože je možnost kalení až po nanesení nástřiku.

Nástřik je možné umístit na jakýkoliv ocelový povrch v různých tloušťkách. Výhodou je docílení více vyváženého dílu, který lépe odolává opotřebení.

Kontrola kvality spojení nástřiku s ocelí se projeví již při procesu kalení. Pokud zůstane oxid mezi nástřikem a ocelí, tak při kalení nástřik samovolně odpadne. Nevzniká zde důvod pro hledání náročné nedestruktivní zkoušky pro ověření kvality spojení.

Předpokládaným důvodem vyšší odolnosti nástřiku při dynamickém namáháním jsou zřejmě kulatá karbidová zrna a vyšší obsah pojiva ve struktuře.

Novým řešením pro spojení odolné a oteruvzdorné vrstvy s ocelí by mohlo být pořízení CDP plátek (Castodur Diamond Plates). Jedná se o kompozitní materiál, který se skládá ze dvou vrstev. Snadno svařitelné ocelové desky a slitinou odolnou vůči abrazi. Ocel by se dala jednoduše svařit k ocelové části dláta a tím by se eliminoval citlivý proces pájení. Tato technologie je hojně využívána u operací, které také podléhají velkému opotřebení jako jsou dopravní šneky, dmychadla, potrubí apod.

LITERATURA

- [1] FRISCHHERZ, Adolf. *Technologie zpracování kovů 1: základní poznatky*. 5. vyd. Praha: SNTL, 2004. ISBN 80-902655-5-3.
- [2] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [3] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 807183-024-0.
- [4] AMBROŽ, Oldřich a Jiří KAŠPAR. *Žárové nástriky a jejich průmyslové využití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 8003003474.
- [5] Norma ČSN EN ISO 14917 [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/74478-nahrady-038700-csn-en-657.html>
- [6] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka : doplňková učebnice na středních průmyslových školách hutnických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada hutnické literatury.
- [7] Hemmati I., Ocelík & De Hosson; *Evolution of microstructure and properties in laser cladding of a Ni-Cr-B-Si hardfacing alloy* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/271492471_Evolution_of_microstructure_and_properties_in_laser_cladding_of_a_Ni-Cr-B-Si_hardfacing_alloy
- [8] Hemmati I., Ocelík & De Hosson. *Effects of the alloy composition on phase constitution and properties of laser deposited Ni-Cr-B-Si coatings*; University of Groningen, The Netherlands; 2011[online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389213000965>
- [9] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN isbn80-86706-09-5. (10) nedestruktivní zkoušky ISSN 1213-3825
- [10] MÍŠEK, Bohumil a Luděk PTÁČEK. *Zkoušení materiálu a výrobků bez porušení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1968. Knižnice strojírenské výroby.
- [11] EISENKOLB, Friedrich. *Železo a jeho zliatiny*. Bratislava: SVTL, 1964.
- [12] PTÁČEK, L. uděk a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. dopl. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-130-4.
- [13] HUMÁR, A., *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2008. 236 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [14] KONVIČNÁ I. [online]. [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: Metodického portálu www.rvp.cz; ISSN 1802-4785
- [15] *Metody kontroly ultrazvukem* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.controltest.cz/metody-ndt/kontroly-ultrazvukem.php>
- [16] ŠTARMAN, Stanislav. *Zvýšení citlivosti ultrazvukové EMAT technologie*. 1. vyd. Praha: 2009, České vysoké učení technické v Praze
- [17] REGAZZO Richard, REGAZZOVA Marcela. *Základy ultrazvuku, skripta pro ultrazvukové kurzy*. Ultrasonic Testing

- [18] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4
- [19] *Powder spray fusing* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.castolin.com/sites/default/files/product/downloads/Eutalloy-powder-spray-fusing.pdf>
- [20] DVOŘÁK, Milan. a kol. *Technologie II*, 2.vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
- [21] PILOUS, Václav. *Materiály a jejich chování při svařování*, 1.vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*, 1.vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
- [23] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*, 1.vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
- [24] KOLEKTIV AUTORŮ. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení*, 1.vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
- [25] KOLEKTIV AUTORŮ. *Výroba a aplikování inženýrství ve svařování*, 1.vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1
- [26] ČERNÍN, J. *Optimalizace tepelného zpracování oceli - 27MnCrB5-2* [online] [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=101020 Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. 2017.
- [27] *Slinuté karbidy* [online] [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03007.html>
- [28] *Vliv mikrostruktury slinutých karbidů na životnost nástrojů a strojních součástí* [online] [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/fraktografie_prednaska2.pdf
- [29] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1980.
- [30] KRŇÁK, Rudolf. *Kapesní příručka svařování, řezání, pájení*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973.
- [31] *Materiály pro pájení* [online] [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.welmet.cz/pajeni/sendvicove-pajky-trimetals/>
- [32] KUBÍČEK Jaroslav, *Žárové nástřiky*, VUT FSI, prezentace 2018, [online] [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_zarov_e_nastriky_2018_kubicek.pdf
- [33] *Morphology of spray powders* [online] [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Morphology-of-spray-powders-a-WC-Co-FeCrSiB-b-Cr-3-C-2-Ni-NiCr-SiB_fig3_267243513
- [34] *Struktura a vlastnosti materiálu a jejich zkoušení* [online] [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3-1_makrostruktura-a-mikrostruktura.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Borová ocel	Název pro ocel s význačným podílem boru
$R_{p0,2}$	Mez pevnosti v kluzu
R_m	Mez pevnosti v tahu
A_5	Prodloužení při zkoušce tahem do roztržení
HB	Zkouška tvrdosti podle Brinella
HRC	Zkouška tvrdosti podle Rockwella pro tvrdé materiály
Liquid	Kapalná fáze
Koercivita	Síla pole vyžadovaná ke snížení magnetické indukce magnetického materiálu na nulu.
Podeutektoidní	Ocel s obsahem uhlíku do 0,765 %
HRA	Zkouška tvrdosti podle Rockwella pro křehké materiály
Creep	Tečení materiálu
SK	Slinutý karbid
Z.m.	Základní materiál
Se1	Sendvičová pájka tloušťky 0,1 mm
Se2	Sendvičová pájka tloušťky 0,2 mm
Se4	Sendvičová pájka tloušťky 0,4 mm
Se5	Sendvičová pájka tloušťky 0,5 mm
Se8	Sendvičová pájka tloušťky 0,8 mm
A	Americký hořák
Č	Český hořák

SEZNÁM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dláto pro kultivaci půdy	3
Obr. 2 Výrobní hala firmy CERNIN DILY [26]	4
Obr. 3 Ukázka spojení bříty (a) se zkoumaným dlátem (b) (3D model)	5
Obr. 4 Šíření trhliny kobaltovým pojivem u SK [28]	8
Obr. 5 Závislost teploty na čase při procesu zušlechťování [6].....	10
Obr. 6 Schéma principu žárového nástřiku plamenem [5]	11
Obr. 7 Ukázka tvrdo-kovové struktury Ni-Cr-Si-B-Fe.....	12
Obr. 8 Vliv tavidla [9].....	14
Obr. 9 Vliv teploty na pájku s přídavkem stříbra s tavidlem [9]	14
Obr. 10 Mikrografické znázornění příčného řezu sendvičovou pájkou [31].....	16
Obr. 11 Návrh řešení mechanického spoje (3D model).....	18
Obr. 12 Ukázka sondy pro měření pod úhlem [18]	20
Obr. 13 Výstupem na displeji při zachycení vady [18]	20
Obr. 14 Mechanická zkouška kladivem.....	21
Obr. 15 Diamantový indentor Rockwellova tvrdoměru [26].....	22
Obr. 16 Koláž procesu pájení sendvičové pájky.....	26
Obr. 17 Sada pro lepení	28
Obr. 18 Nanášení povlaku NiCrSiB plamen.....	32
Obr. 19 Dláta po nanesení povlaku NiCrSiB.....	32
Obr. 20 Český hořák	33
Obr. 21 Americký hořák	33
Obr. 22 Zkušební měření tloušťkoměrem MX-5.....	35
Obr. 23 Výsledek Se4 s vhodnou pájecí teplota (710 °C)	36
Obr. 24 Výsledek Se4 s překročenou pájecí teplotou (900 °C)	36
Obr. 25 Ukázka řezání dláta vodním paprsek.....	37
Obr. 26 Řez dlátem	38
Obr. 27 Přiblížený řez dlátem	38
Obr. 28 Polonesený, otočný pluh.....	39
Obr. 29 Fotka dláta před a po 12 ha.....	40
Obr. 30 Dláto před zkouškou.....	41
Obr. 31 Dláta po 80 ha v kamenité půdě s rozdílnou tloušťkou sendviče.....	41

Obr. 32 Dláto po 10 a 63 ha.....	42
Obr. 33 Dláta před zkouškou	43
Obr. 34 Dláta po zkoušce cca 30 ha.....	43
Obr. 35 Správně přiletovaná sendvičová pájka (22 °C, 720 °C)	45
Obr. 36 Degradace sendvičové pájky (897 °C)	45
Obr. 37 Přehřáté spodní dva plátky dláta.....	46
Obr. 38 Dláto po 15 ha a po 30 ha	47
Obr. 39 Ukázku užití nižší pracovní teploty	48
Obr. 40 Nové pracoviště pro pájení s pákovým zdvihem.....	49
Obr. 41 Graf porovnání nákladu jednotlivých metod	50

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemického složení oceli Durostat B2 (udáno výrobcem)	6
Tab. 2 Fyzikální vlastnosti oceli Durostat B2 (udáno výrobcem)	6
Tab. 3 Jominiho zkouška prokalitelnosti (udáno výrobcem).....	6
Tab. 4 Fyzikální vlastnosti SK (udáno výrobcem)	8
Tab. 5 Přehled použitých sendvičů	25
Tab. 6 Náklady na výrobu dláta.....	50
Tab. 7 Faktory ovlivňující průběh navařování.....	51