



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNICKO-EKONOMICKÉ ŘEŠENÍ NOŽŮ ODKORŇOVAČE

TECHNICAL AND ECONOMICAL SOLVING OF BARKING KNIVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2008

ABSTRAKT

Cílem studie je podat teoretický výklad o podmínkách vzniku pájeného spoje s ohledem na základní a přídatný materiál. Dále podrobná rozborová analýza stávajícího technického problému a následné navržení metody řešení. Obsahem studie je rovněž technologický postup výroby odkorňovacího nože a zároveň její zajištění v podobě výběru vhodného výrobce.

Klíčová slova

Odkorňovač, nůž, tvrdé pájení, smáčivost, wolframkarbid, metalografický rozbor, teplota předehřevu.

ABSTRACT

The target of the study is theoretical explaining the condition of creation of the soldered point with regard to basic and additional mat. Below, the detailed analysis of the existing technical problem and consecutive design of the solution method. Content of the study is also technological process of production of the barking knife and choice of the efficient producer.

Key words

Barking machine, knife, brazing, wettability, tungsten carbide, metallographical analysis, preheating temperature.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOTNÝ, Petr. *Technicko-ekonomické řešení nožů odkorňovače*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 68 s. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Technicko-ekonomické řešení nožů odkorňovače“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 20. 5. 2008

.....
Petr Novotný

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále pak paní Ing. Marii Ptáčkové za pomoc při metalografickém rozboru nože odkorňovače, který byl pro moji studii bezpodmínečně nutný a v neposlední řadě panu Ing. Rudolfu Jedličkovi za zpřístupnění jednotlivých informačních toků v rámci zúčastněných firem, podílejících se na dané problematice odkorňování.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah.....	6
Úvod	8
1 OBRÁBĚNÍ DŘEVA	9
1.1 Základní pojmy procesu řezání.....	9
1.2 Fyzikální jevy při obrábění dřeva	9
1.3 Proces otupování břitu	9
1.4 Dřevoobráběcí stroje	9
1.4.1 Základní dřevoobráběcí stroje	10
1.4.2 Průmyslové dřevoobráběcí stroje	10
1.5 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.....	13
1.6 Základní dřeviny pro dřevozpracující průmysl.....	13
1.7 Technologie odkorňování.....	16
2 technologie pájení	18
2.1 Význam pájení	18
2.2 Fyzikální podstata pájení	18
2.2.1 Povrchové napětí.....	19
2.2.2 Smáčivost a roztékavost.....	20
2.2.3 Vzlínavost	22
2.3 Metalurgické vlastnosti pájení.....	23
2.3.1 Adhezní spojení	23
2.3.2 Difúze	23
2.3.3 Rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce.....	25
2.4 Vlastnosti pájeného spoje	25
2.5 Tavidla	26
2.5.1 Funkce tavidla.....	26
2.5.2 Složení tavidel	27
2.5.3 Tavidla pro tvrdé pájení	27
2.6 Přehled pájek pro pájení natvrdo	28
2.6.1 Tvrdé pájky na bázi mědi.....	28
2.7 Závěrečné shrnutí.....	32
3 Kompozitní materiál Wolframkarbid.....	34
3.1 Co to je kompozitní materiál	34
3.2 Základní komponenty kompozitů	34
3.2.1 Matrice.....	34
3.2.2 Vyztužující fáze.....	35
3.3 Částicové kompozity s keramickou maticí	36
3.4 Karbid wolframu v praktickém užití	36
3.4.1 Typ wolframkarbidu	37
3.4.2 Typ zrna wolframkarbidu	37
4 Uvedení do problematiky	40
4.1 Situace v obchodním světě.....	40
4.2 Odkorňovač WRD 800-2.....	40
4.2.1 Výrobce a dodavatel.....	40
4.2.2 Použití v souladu s určením stroje a vstupní materiál.....	41

4.2.3	Technické údaje a náčrt stroje	41
4.2.4	Popis funkce stroje	42
4.3	Definování cílů a úkolů	43
4.4	Nůž odkorňovače	44
5	postup vývoje technologie výroby nástroje	46
5.1	Předvýrobní analýza	46
5.1.1	Metalografický rozbor	46
5.1.2	Tvrdost zrn	48
5.2	Výstup z předvýrobní analýzy	48
5.3	Výroba prvních kusů	49
5.4	Zvýšení jakosti nože	51
5.5	Shrnutí stávající technologie výroby	55
5.6	Inovativní návrhy na technologii výroby nože	55
5.6.1	Změna geometrie nástroje	55
5.6.2	Změna zrnitosti karbidu	57
5.6.3	Návary karbidických zrn	58
5.6.4	Změna úhlu paty nože	59
6	Ekonomické zhodnocení	60
6.1	Zjednodušený postup určení prodejní ceny	60
6.2	Přínos pro firmu Kronospan	61
	Závěr	62
	Seznam použitých zdrojů	64
	Seznam použitých zkratk a symbolů	66
	Seznam příloh	68

ÚVOD

V oblasti strojírenství a strojírenské technologie je v dnešní době stále spousta nezodpovězených otázek. Bádání, zkoumání a experimentování, při pokusech o zjištění a rozkrytí odpovědí na tyto otázky, je hnáno stále více lidskou potřebou, která se jmenuje - snižování nákladů na výrobu.

Dávno nám je jasné, že čím více jsme schopni při výrobě nějakého výrobku či zařízení ušetřit, s tím větším ziskem potom můžeme prodat. Tím pádem uspokojíme jednu z našich základních lidských potřeb o to více, mám teď na mysli libido a slast. Tak trochu „freudovský“ byla teď popsána touha manažerů a vlastníků továren či menších firem po rostoucím zisku.

V dnešní době, ať se to člověku líbí nebo ne, peníze vládnu světu a strojírenství se tomu musí přizpůsobit.

Je očividné, že pokud chceme začít šetřit na výrobě určitého zařízení či výrobku, musíme celý sled výrobních i předvýrobních fází rozložit na „prvočinitele“. Pokud bychom se bavili odborně, tak je vrcholně důležité navrhnout správně výrobní postup takového výrobku. Pro zpracování výrobního postupu potřebujeme konstrukční, plánovací a normativní dokumentaci, dále je nutno znát technologicko-organizační charakteristiku dílny či provozu v továrně. Zde se otvírá velký prostor a možnosti jak ušetřit a optimalizovat výrobu k vlastnímu prospěchu. S trochou nadsázky to je možno přirovnat se soubojem mechaniků stáje týmu formule jedna, kdy každá úspora setiny času na kolo je pro tým jako celek vrcholně důležitá. Ve strojírenství je možno říci, že každá koruna úspory nákladů na výrobek je pro továrnu či menší firmu důležitá minimálně podobně.

Moje práce se zabývá pouze jedním z mnoha faktorů, který vede ke kýžené úspoře nákladů. Do celé problematiky, kterou se budu v mé studii zabývat pronikneme v úvodních kapitolách. Bude zmíněna problematika obrábění dřeva, pro zajímavost bude krátce pojednáno o fyzikálních vlastnostech této suroviny. Dále bude popsáno, co to je a jak vypadá odkorňovač, jaká je jeho náplň práce a jak tento proces funguje u jednoho z největších a nejmodernějších výrobců velkoplošných materiálů na bázi dřeva v Evropě. Dále se v mé práci lze setkat s pojmem technologie pájení, který bude podrobně rozebrán. Bude zodpovězena otázka, co jsou to wolframkarbidy a jaké mají fyzikálně-mechanické vlastnosti. Bude uskutečněn i pohled do mikrostruktury nože odkorňovače.

V této práci, jelikož jsem studentem oboru, který se zabývá také ekonomickou stránku výroby, si vysvětlíme ekonomické dopady na návrh výroby a celkové zhodnocení rentability po uvedení do praxe, kde hlavním cílem bude zvýšení životnosti nástroje při úspoře nákladů na výrobu.

1 OBRÁBĚNÍ DŘEVA

1.1 Základní pojmy procesu řezání

Obrábění dřeva je podobné obrábění kovů a jejich slitin. Jsou dřeva těžko obrobitelná a naopak. Obrábění dřeva je dnes složitý proces a vystupují v něm stejné veličiny jako u obrábění kovových materiálů. Jde o řeznou rychlost, posuv, velikost třísky a mnohé další.¹

Každý dřevoobráběcí nástroj má podobu klínu nebo má řadu klínů uspořádaných za sebou v přímce (pila) nebo v kružnici (fréza). Klín vniká do materiálu účinkem mechanické síly tím lépe, čím menší je úhel tohoto klínu. Velikostí tohoto úhlu je podmíněna pevnost nástroje a není tedy možno jej zmenšovat libovolně. Tvar rovnoramenného klínu mají nástroje ojedinele. Většinou jsou to klíny nerovnoramenné, jako např. zuby pil, dláta apod. Ploše klínu, po níž klouže odřezávaná tříska, říkáme čelo, ploše obrácené k obráběnému předmětu hřbet nože. Hrana, v níž se čelo a hřbet protíná, je břit. Vtlačíme-li břit nástroje do materiálu a uvedeme-li nástroj nebo materiál v pohyb, překonává břit nástroje pevnost materiálu a odděluje z něho třísku, která se láme a odpadává v kusech, nebo se stáčí v souvislou šroubovici.¹

1.2 Fyzikální jevy při obrábění dřeva

Proces oddělování třísky nástroje lze rozdělit do několika fází:

- Deformace materiálu v místě styku nástroje a materiálu, která je úměrná:
 - pružnosti opracovaného materiálu
 - stupni otupení břitu
 - velikosti úhlu řezu
- Oddělování obráběného materiálu po překonání určitého napětí, které se rovná pevnosti ve stříhu daného materiálu.
- Odklonění třísky čelem nástroje.
- Tření třísky o čelo nástroje.
- Tření hřbetu zubu o obrobenou plochu.
- Tření bočních ploch o materiál v řezné spáře.²

1.3 Proces otupování břitu

Opotřebením břitu se zejména rozumí mechanické opotřebení, avšak svůj význam má i proces elektrochemického opotřebení. Otupování lze charakterizovat jako postupnou změnu mikrogeometrie břitu během řezání. Nástroj je tupý tehdy, když dochází k nepřijatelnému zhoršení jakosti obrobeného povrchu, zvýšení řezné síly, pálení, vzniku rozměrových nepřesností.²

1.4 Dřevoobráběcí stroje

Jsou určeny pro všechny druhy práce se dřevem, usnadňují a zjednodušují práci, umožňují dosáhnout větší produktivity a šetří čas oproti obrábění dřeva ručně. Současně však vytvářejí podmínky pro vznik úrazů podstatně vážnějšího charakteru než při použití ručních nástrojů a náradí. Při

koupi těchto strojů by měl podnik předem uvážit, zda má dostatek schopností a lidských faktorů pro práci s nimi, zda rozsah plánované práce je úměrný investici, jestli má vhodné pracoviště a přívod elektrické energie atd.²

1.4.1 Základní dřevoobráběcí stroje

Kotoučová pila – na trhu je několik průmyslově vyráběných typů určených pro použití při domácí práci. Pracovním nástrojem kotoučové pily je kotouč průměru obvykle do 600 mm. Jednodušší pilové kotouče jsou zhotoveny z nástrojové oceli a podobně jako ruční pily mají ozubení podle druhu řezu, ke kterému jsou určeny. Tyto pily jsou nejen nejnebezpečnější, ale také nejhluchnější dřevoobráběcí stroje. Kotouče z nástrojové oceli se mohou ostřit ručně pomocí přípravku, který je k dispozici v obchodní síti, ale spolehlivější je nechat je naostřit na automatické ostříčce ve specializované provozovně.²

Srovnávačka – užitečný nástroj, který nahradí práci s hoblíkem. Setkáváme se se staršími typy, amatérskými výrobky i novými stroji, řešenými většinou v agregaci s dalšími dřevoobráběcími stroji nebo jako adaptéry ke kotoučovým pilám a vrtačkám. Při koupi staršího stroje je nutné si všimnout, zda nemá otáčivý čtyřhran, který je nyní zakázán státní normou. Je velice nebezpečný neboť způsobuje velmi těžká poranění. Povoluje se pouze hřídel kruhového průřezu.²

Jednomužná motorová pila – uplatní se nejen při výrobě palivového dřeva, ale i při tesařských pracích. Člení se podle výkonnosti do několika kategorií. Motorové řetězové pily se dovážejí ze zahraničí. Náhradní díly se obtížně obstarávají a servis zajišťují jen některé firmy.²

Elektrické ruční nářadí – uplatní se pro práci v malém rozsahu. Postupně se tímto nářadím nahrazují všechny hlavní dřevoobráběcí stroje. Je to řešeno jako soubor jednoúčelových elektrických strojků nebo sada adaptérů k elektrické vrtačce.²

Truhlářská pásová pila - výkonný stroj, který nahrazuje pracné řezání s ruční pilou. Její pilový list se otáčí ve vysokých otáčkách kolem dvou kol umístěných nad sebou. Pásové pily mohou být vyráběny v různých velikostech v závislosti na rozměrech řezaného materiálu.²

1.4.2 Průmyslové dřevoobráběcí stroje

V průmyslové výrobě je možno se setkat s celou řadou známých či podobných strojů, které známe ze strojírenské výroby. Zde je výčet strojů, které jsou uplatňovány v dřevoobráběcím průmyslu. Jsou to především: frézky, spodní frézky, horizontální frézky, CNC frézky, srovnávací frézky, tloušťkovací frézky, pásové brusky, širokopásové brusky, hranové a čelní brusky, soustruhy, CNC soustruhy, pásové pily, lisy, podavače a další.²

Některé atypické stroje jsou doplněny o komentář a případný orientační obrázek.

Spodní frézka – konstrukce a většinou bohatá výbava těchto frézek umožňuje provádět na těchto strojích široký rozsah operací, tj. od jemné výroby profilovaných lišt až po výrobu např. EUROoken.³



Obr. 1.1 Spodní frézka Robland T 120TS³

Univerzální frézka s překlopitelnou hřídelí – Netradiční patentované řešení s hřídelí naklopitelnou od $-45,5^\circ$ do $+95,5^\circ$ umožňuje zcela nové pracovní postupy a použití. Revoluční je nastavení pomocí frézovací jednotky. Odpadá časově náročné přestavení pomocí frézovacího dorazu.⁴



Obr. 1.2 Univerzální frézka s překlopitelnou hřídelí Hofmann UFM 210 VISION⁴

CNC obráběcí centra – Počítačově řízené centrum má 3 řízené osy. Bývá ideálním řešením pro většinu menších i větších provozů, pokud jim to ekonomická situace dovoluje. Takové centrum je schopno zvládnout široké spektrum úkonů od zpracování lamina přes výrobu kancelářského nábytku, interiérů, kuchyní až po kompletní výrobu oken nebo dveří. Je možno opracování jak plošných materiálů, přes běžné opracování masivu.⁵



Obr. 1.3 Obráběcí centrum Holzher PROMASTER⁵

Srovnávací a tloušťkovací fréza s odklápěcími stoly – stroj umí polotovary jako např. fošny srovnávat na určitou rovinnost a zároveň danou volenou tloušťku.⁶



Obr. 1.4 Kombinovaná srovnávací a tloušťkovací frézka Robland typ SD-510⁶

1.5 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva vycházejí z fyziky. Konkrétněji se bavíme o fyzice pevných látek. Tato surovina je předmětem zejména technologického zájmu a znalosti vlastností dřeva jsou rozhodujícím předpokladem pro jeho zpracování a obrábění. Přírodní, rostlé dřevo je rozřezáváno, roztrískováno, lepeno, vařeno, chemicky modifikováno, ale přesto i po tomto zpracovávání si dřevo zachovává většinu svých výhodných i nevýhodných vlastností.⁷

Zde je jejich krátký výčet:

Výhodné vlastnosti:

- Ve srovnání se svojí hmotností vykazuje vysokou pevnost a pružnost.
- Má dobré tepelné a elektroizolační schopnosti.
- Má malou teplotní roztažnost.
- Nekoroduje a je odolné vůči středně koncentrovaným kyselinám.
- Je snadno opracovatelné při malé spotřebě energie.
- Je ekologicky odbouratelné a recyklovatelné.
- Má výborné akustické vlastnosti – výroba hudebních nástrojů.⁷

Nevýhodné vlastnosti:

- Má schopnost měnit svoje vlastnosti podle vlhkosti okolního prostředí; je to hygroskopický materiál.
- Důsledkem jsou rozměrové změny a také změny v pevnosti a pružnosti při mechanickém namáhání.
- V podélném, radiálním a tangenciálním směru se výrazně liší výše zmíněné mechanické vlastnosti – výrazná anizotropie.
- Dřevo je hořlavým materiálem.
- Dřevo je jako biologicky rostlý materiál nehomogenní (jádro, běl, jarní a letní dřevo).⁷

Na základě poznání těchto vlastností lze některé výše uvedené vlastnosti částečně eliminovat, viz. literatura, ze které bylo čerpáno.

1.6 Základní dřeviny pro dřevozpracující průmysl

Borovice lesní

Šířka běli: široká (nad 5 cm)

Barva dřeva: běl je nažloutlá, narůžovělá, často tzv. zamodráni běle (dřevozbarvující houby); jádro je zpočátku u čerstvě pokáceného dříví světlehnědé, později na vzduchu tmavne a je až červenohnědé.

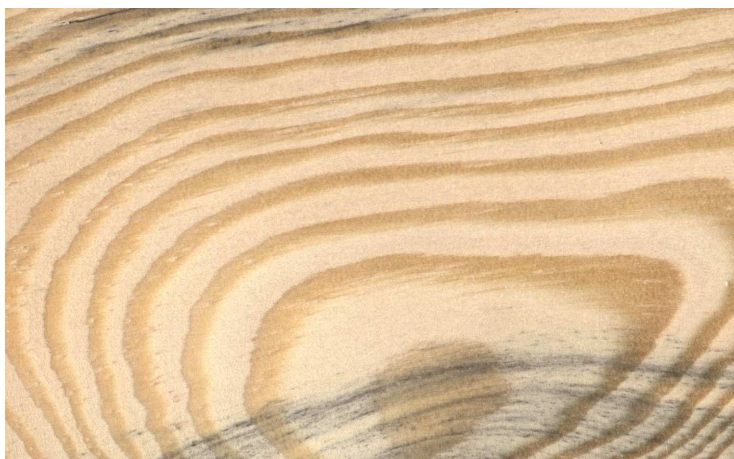
Trvanlivost: jádrové dřevo oproti běli (náchylná na zamodralost) je trvanlivé a odolné.

Opracovatelnost: dobře se suší, opracovává (pryskyřice zhoršuje opracovatelnost povrchů), běl se lépe impregnuje než jádro.

Využití: široké uplatnění, stavební a konstrukční materiál na venkovní i vodní stavby (mostní konstrukce), v nábytkářství, truhlářství (okenní a dveřní rámy), telegrafní sloupy, pražce, v chemickém průmyslu (buničina, dřevitá vlna) atd.; z pryskyřice se vyrábí terpentýn.

Hustota při $w_{0\%}$: 505 [kg.m⁻³]

Tvrдост: 28,5 [MPa]⁸



Obr. 1.5 Struktura borovice lesní⁸

Smrk

Barva dřeva: žlutobílé až světle žlutohnědé

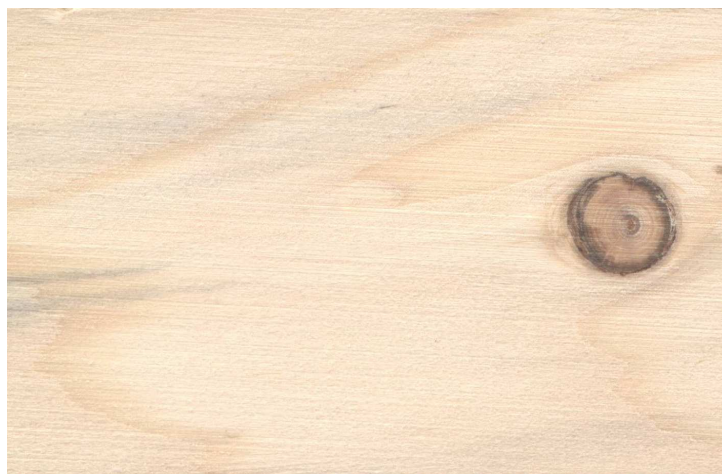
Trvanlivost: méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům.

Opracovatelnost: dobře se opracovává, suší, hůře se impregnuje.

Využití: naše nejdůležitější užitkové dřevo, stavební a konstrukční dřevo pro nadzemní i podzemní stavby (stožáry, sloupy, střešní a mostní konstrukce, lešení, podlahovina, důlní dříví atd.), v nábytkářství (nábytek, dýhy, překližky, lišty), na chemické a polochemické zpracování (buničina, dřevovina, dřevovláknité a dřevotřískové desky); dřevo se souměrnými úzkými letokruhy, bez vad, poskytuje rezonanční dřevo; cenné je lískovcové dřevo, které zvyšuje dekorační hodnotu smrkového dřeva.

Hustota při $w_{0\%}$: 420 [kg.m⁻³]

Tvrдост: 26 [MPa]⁸



Obr. 1.6 Struktura smrku⁸

Jedle

Barva dřeva: šedobílá až hnědošedá, bez lesku

Trvanlivost: méně odolné vůči vnějším vlivům, středně odolné proti biotickým škůdcům.

Opracovatelnost: snadno se opracovává (hůře než smrk), je lehce štípatelné, dobře se suší, hůře impregnuje.

Využití: podobné využití jako dřevo smrkové, pro lepší trvanlivost ve vodě se upřednostňuje při vodních a pozemních stavbách (čluny, piloty atd.), na střešní krytiny (šindele), v bednářství atd.; oproti smrku má horší vlastnosti, hůře se opracovává vzhledem k nestejně tvrdosti jarního a letního dřeva, je odlupčivé a má tmavší matné zbarvení.

Hustota při $w_{0\%}$: 435 [kg.m⁻³]

Tvrдост: 28 [MPa]⁸



Obr. 1.7 Struktura jedle⁸

Jilm

Šířka běli: úzká (do 1-3 cm)

Barva dřeva: běl žlutobílá až hnědobílá, jádro světle až tmavohnědé; dobře zřetelná hranice mezi letokruhy i mezi jarním a letním dřevem v rámci letokruhů.

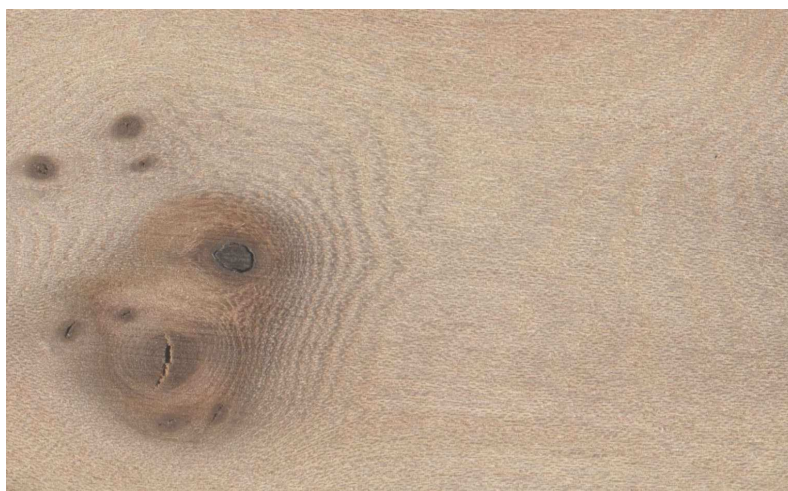
Trvanlivost: méně trvanlivé.

Opracovatelnost: výborné vlastnosti (pevné, pružné, houževnaté), dobře se suší a opracovává.

Využití: na výrobu nábytku, okrasných dých, obklady stěn, ale i v dalších oblastech výroby jako jsou sportovní potřeby, pažby k luxusním zbraním, na vodní stavby, v kolářství, soustružnictví a řezbářství.

Hustota při $w_{0\%}$: 640 [kg.m⁻³]

Tvrдост: 63 [MPa]⁸

Obr. 1.8 Struktura jilmu⁸

1.7 Technologie odkorňování

Tato oblast zpracování dřeva je v mé studii nejdůležitější, neboť nástroj, který tuto činnost primárně vykonává je předmětem této práce. Technologie odkorňování je činnost, která je jako jedna z prvních u zpracování surového dřeva. Definujeme ji jako výkon, při němž se pokácené kmene, popřípadě jiné sortimenty dřeva, zbavují kůry k získání holého kmene, který lze dále zpracovávat. Sloužit může také k rychlejšímu vysychání dřeva a k jeho ochraně před napadením hmyzem a houbami. Typu odkorňování je několik, viz. následující rozřídění.⁹

Tab. 1.1 Druhy odkorňovačů⁹

Rotorový (rotor s tupými noži)	hlavní použití v pilařství
Frézovací (hlava s ostrými noži)	hlavní použití v dýhárenství
Hydraulický (vodním paprskem)	hlavní použití ve výrobě papíru a celulózy
Sdírací (výřezy vzájemně o sebe)	hlavní použití ve výrobě papíru a celulózy

Rotorové odkorňovače:

Hlavní části:

- **rotor**
 - světlost (vnitřní průměr) – (35) - 45 - 66 - 80 (- 110) cm
 - rychlost otáčení 180 – 500 ot/min.
 - jeden nebo dva rotory (protiběžné)
 - pevné nebo pohyblivé uložení rotoru
 - vodorovný posun – výměna nástrojů, údržba
 - svislý posun – středění polohy rotoru podle průměru výřezu⁹

- **nože**
 - odkorňovací
 - počet nožů - 3 - 9 kusů
 - šířka (= délka břitu) - 3 – 6 cm šířka
 - poloha břitu musí být rovnoběžná s osou výřezu
 - ostrost (poloměr ostří břitu) - 0,5 - 2 mm
 - břit v celku s držákem nože nebo výměnné (otočné) destičky
 - předřezávací
 - použití - jen u čerstvé, vlhké suroviny
 - (pevné pružné lýko - nabalování provazců kůry na nože)
 - počet předřezávacích nožů - 1 (nahrazuje odkorňovací nůž)
 - řezná hrana nože je kolmo na osu výřezu (předřezávání kůry s lýkem)⁹
- **čistící škrabka** čistí vnitřní plochy rotoru od nalepené kůry.⁹
- **podávací zařízení** je na vstupní i výstupní straně rotoru a má funkce:
 - podávání výřezu
 - středění výřezu (nebo je výškově stavitelný rotor)
 - upevnění výřezu během odkorňování
 - podávací válce
 - masivní, ojhlené (obvykle 2 x 3 nebo 4 x 3 kusy) nebo kuželové se šípovým ozubením (2 x 2 nebo 4 x 2 kusy)
 - simultánní otevírání (při středění výřezu pomocí válců)
 - spodní pevně v úrovni vstupního dopravníku, horní přítlačný (při středění rotoru)
 - pomocné válce ("baby rolls") pro podávání krátkých výřezů
 - vstupní dopravník - pevný, řetězový (při středění polohou rotoru), výškově stavitelný (středění válci, hlavně pro dlouhé kusy)⁹
- **vodící zařízení** se nachází na výstupní straně, udržuje polohu kusu (při středění pomocí válců)⁹
- **pohon** zajišťuje elektromotor 20 – 50 Kw⁹

Výběr z užitečných vlastností:

- malé a střední průměry kulatiny (10 – 80 cm)
- vysoký výkon
- střední jakost odkornění
- nižší jakost u tvarově složitě suroviny (hlavně listnaté)⁹

2 TECHNOLOGIE PÁJENÍ

2.1 Význam pájení

Pájení patří k nejstarším způsobům spojování za tepla. Tuto metodu používali již staří Egypťané dlouho před naším letopočtem a na našem území věhlasní šperkaři Velkomoravské říše v polovině devátého století. Přesto se rozmach této metody v průmyslové výrobě datuje až do třicátých let dvacátého století. Výhodné použití pájení je při spojování kombinovaných železných a neželezných materiálů, při spojování komplikovaných výrobků ze žárovevých, žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí a slitin s vysokou pevností a všude tam, kde není možno použít tavného svařování. Při pájení totiž nenastává v místě spoje roztavení základních spojovaných materiálů, ale pouze jejich ohřátí na cca 50 °C nad likvidus použité pájky. Teplota pájení je podstatně nižší než teplota tání spojovaných materiálů. Spojení nastává nejčastěji v důsledku vzájemné difúze a rozpustnosti pájky a základních materiálů.¹⁰

2.2 Fyzikální podstata pájení

Pájení je definováno jako způsob metalurgického spojování kovových součástí roztavenou pájkou, přičemž pájené plochy nejsou nataveny, ale jen smáčeny použitou pájkou. Základní podmínkou je tedy dobrá smáčivost spojovaného materiálu tekutou pájkou. Povrchové atomy základního materiálu a tekuté pájky se přitom dostanou do tak malé vzdálenosti, že vznikají adhezní (adheze - přilnavost) a kohezní (koheze - soudržnost) síly. Při tom dochází i k vzájemnému rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů. Vlivem kapilárního tlaku, který se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm, nastává tečení pájky v mezeře spoje do všech směrů. Při pájení je hnací silou kapilární tlak, který nutí tekutou pájku vyplnit mezeru všemi směry, což lze s trochou nadsázky analogicky porovnat s vodou ve vodorovném potrubí, kde je hnací silou tlak čerpadla. Na základě této podobnosti byly aplikovány zákony hydromechaniky, s jejichž pomocí byly vysvětleny dvě charakteristické vlastnosti kapilárního pájení – **smáčivost a vzlínavost**. Důležitou úlohu při pájení má **povrchové napětí** v dotykových plochách mezi tuhým materiálem, tekutou pájkou a tavidlem. Pojmy povrchové napětí, smáčivost, roztékavost a vzlínavost jsou objasněny v následujících podkapitolách, viz. podkapitola 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3.¹⁰

U spoje, který je pájený, odlišujeme několik oblastí s odlišnou strukturou. Je to pájka, jejíž složení se mění v průběhu pájení z důvodu toho, že se v ní obvykle rozpouští základní materiál, a to především v přechodové oblasti, kde probíhají difúzní pochody a metalurgické reakce.¹¹

Možné kombinace rozpustnosti pájky a základního materiálu jsou:

1. Pájka a základní materiál jsou částečně mísitelné v tuhém stavu.

Této kombinaci odpovídá většina rozšířených způsobů pájení. Dochází k rozpouštění základního materiálu, k difúzi po hranicích zrn. V jistých případech dochází i k vytvoření intermetalické sloučeniny. Jako příklad lze uvést Fe – Cu, Cu – Sn.¹¹

2. Pájka a základní materiál jsou dokonale mísitelné v tuhém stavu.

V tomto případě pájka a základní materiál tvoří nepřetržitou soustavu tuhých roztoků. Mizí zde ostré rozhraní mezi pájkou a základním materiálem. Platí např. pro kombinace Au – Cu, Ag – Au, Cu – Ni.¹¹

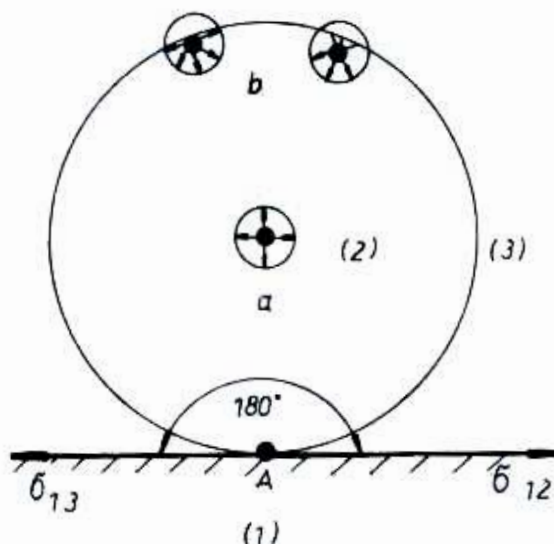
3. Pájka a pájený materiál jsou téměř nemísitelné v tuhém i tekutém stavu

Pokud nastane tento případ kombinace pájky a základního materiálu je nezbytně nutné legovat pájku z důvodů vyšší difuzivity a vyšší smáčivosti. Vzniká ostrá hranice mezi pájkou a základním materiálem bez strukturních změn. Platí pro uvedené kombinace Fe – Ag, Ni – Ag, Cu – Pb, Fe – Sn.¹¹

Vedle uvedených metalurgických reakcí hrají u pájení důležitou úlohu i fyzikální vlastnosti pájky.

2.2.1 Povrchové napětí

Vznik povrchového napětí v kapce tekuté pájky můžeme vysvětlit vzájemnou přitažlivostí, která existuje mezi různými částicemi tekutiny. Přitažlivé síly uvnitř tekutiny se navzájem kompenzují. Jinak je tomu ale u částic, které jsou na povrchu tekutiny. Na jejich spodní část působí přitažlivé síly molekul tekutiny, které se jich dotýkají, na jejich vrchní část tyto síly nepůsobí.¹⁰



Obr. 2.1. Znázornění povrchového napětí tekutiny¹⁰

a – uvnitř tekutiny; b – na povrchu tekutiny

1 – základní materiál; 2 – tekutina; 3 – atmosféra

Povrchové napětí vzniká tedy tím, že molekuly na povrchu kapaliny nejsou ze všech stran obklopeny jinými molekulami stejného druhu, a proto jsou mezimolekulárními silami vtahovány zpět do kapaliny. Molekuly nacházející se na povrchu jsou pod vlivem jednosměrné přitažlivosti směřující kolmo na povrch tekutiny. Z toho plyne že povrch tekutiny má oproti zbytku přebytek energie. Tento přebytek energie se sníží tím, že kapalina nabude

dokonale kulového tvaru, tj. tvaru, který má při daném objemu ze všech geometrických útvarů nejmenší povrch. Vlivem povrchového napětí má tedy povrch snahu se stáhnout na co nejmenší plochu. Tato snaha je výsledkem již zmíněných sil, působících na povrch kapaliny a tento jev nazýváme povrchové napětí. Matematická definice by potom zněla: Síla, která působí kolmo na délkovou jednotku povrchu v jeho rovině. Jednotkou je $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ nebo menší $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1} = 0,001 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$.¹⁰

Obecně se dá říci, že povrchové napětí pájky klesá se stoupající teplotou, viz. tab. 2.1. Kromě teploty má na jeho velikost vliv také složení tavidla, redukční atmosféry, stupeň vakua a malá množství povrchově aktivních prvků pájky.¹⁰

V následující tabulce je uvedena závislost povrchového napětí σ různých kovů a slitin na teplotě.

Tab. 2.1 Hodnoty povrchového napětí¹⁰

Materiál	Teplota [°C]	σ [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
Cín	240	350
Olovo	320	463
	350	440
	650	426
	850	409
Zinek	420	824
	600	780
Hliník	670	915
Stříbro	995	920
	1100	910
Ag72Cu	800	960
Ag44Cu	910	1040
Ms 60	650 – 1000	900 – 550
Cu	1200	1160
	1145	1100

Pozn. U mědi si lze všimnout opačného trendu při zkoumané závislosti než u ostatních kovů a slitin.¹⁰

Povrchové napětí při pájení ovlivňuje jak smáčivost a roztékavost pájky na povrchu tuhého základního materiálu, tak i kapilární vztlínavost pájky v mezeře spoje. Pojednání v následujících podkapitolách.

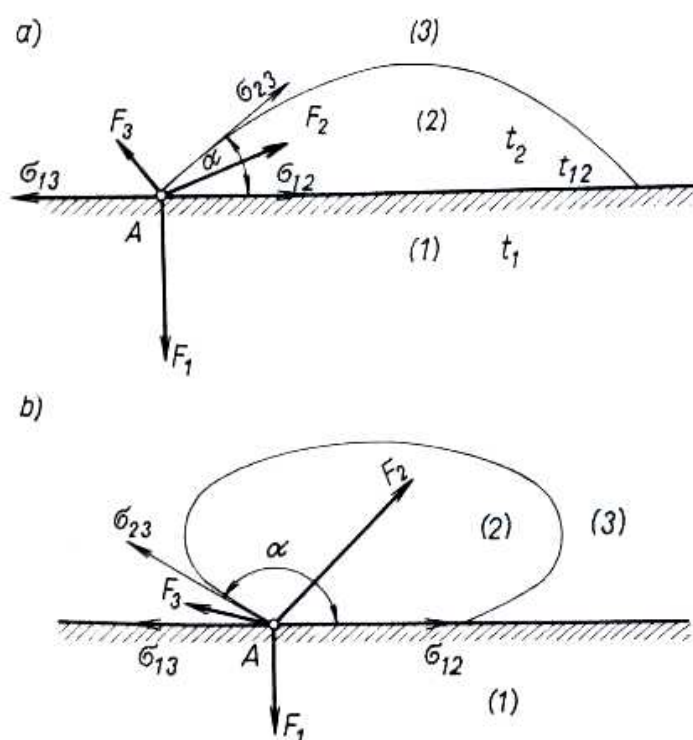
2.2.2 Smáčivost a roztékavost

Smáčivost definujeme jako schopnost tekuté pájky (tavidla) přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při určité pracovní teplotě. Roztékavost tekuté pájky je schopnost roztéci se při určité teplotě po vodorovném povrchu základního materiálu. Při smáčení nabude kapka roztavené pájky takového tvaru, při kterém je povrchová energie soustavy základní materiál – pájka – tavidlo (např. atmosféra, tavidlo) minimální a mohou tedy působit meziatomové síly.¹⁰

Při smáčení začínají působit meziatomární síly, jejichž účinkem vznikají na místech mezifázového rozhraní vazby, které se rychle rozšiřují po celé ploše styku. Lze říci, že dva volné povrchy se mění v jedno mezifázové

rozhraní mezi pevným a tekutým kovem. Vzniklým fyzickým kontaktem přecházejí atomy (ionty) roztavené pájky do oblasti působení krystalické mřížky základního materiálu. Atomy (ionty) se ukládají v určitém krystalografickém směru, který je určen minimem hodnoty mezifázové energie. Tedy při vzájemném působení atomů základního materiálu a pájky dochází ke slučování jejich elektronů a tím k vytvoření kovové vazby. Nevytváří-li se tedy ve stykové ploše základní materiál – pájka společné fáze, nenastane ani proces smáčení.¹⁰

Mírou smáčení je úhel, pod kterým se okraj pájky stýká se základním materiálem, odpovídající rovnováze sil. Čím je tento úhel menší, tím lépe pájka smáčí povrch, lépe se roztéká a vniká do pájené mezery. Pro názornost je uveden obr. 2.2, kde je naznačena dobrá a špatná smáčivost.¹⁰



Obr 2.2. Schématické znázornění smáčivosti¹⁰

a – dobrá smáčivost; b – špatná smáčivost; F_1 – přitažlivé síly sousedních atomů základního materiálu (1); F_2 – přitažlivé síly sousedních atomů tekuté pájky (2); F_3 – přitažlivé síly sousedních atomů plynů (3); α – úhel smáčení; σ_{12} – mezipovrchové napětí mezi základním materiálem (1) a pájkou (2); σ_{13} – mezipovrchové napětí mezi pájkou (2) a atmosférou (3).

Podle velikosti úhlu smáčení α rozeznáváme různé stupně smáčení. Dokonalá resp. úplná smáčivost nastává při $\alpha = 0^\circ$. Velmi dobrá smáčivost nastává při úhlu $\alpha < 20^\circ$ a tzv. dobrá smáčivost nastává, pokud je α v intervalu $20^\circ - 90^\circ$. Pokud je úhel $\alpha > 90^\circ$, pak se jedná o smáčivost špatnou. Příznivý vliv na smáčivost pájky má také snížení hodnoty mezipovrchového napětí. Toho můžeme dosáhnout legováním jak pájky tak základního materiálu a samozřejmě také vhodnými podmínkami pájení. Bylo zjištěno, že stoupající obsah uhlíku v oceli zlepšuje smáčivost v důsledku snížení mezipovrchového

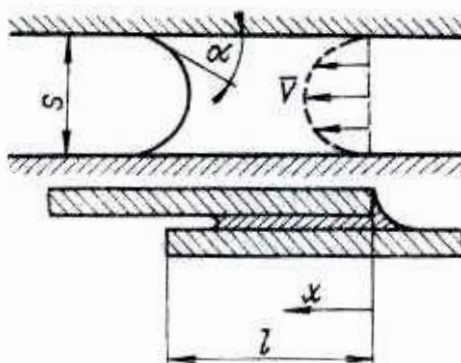
napětí mezi základním materiálem a pájkou (na obr. 2.2. je to σ_{12}). Dále bylo zjištěno, jak uvádí literatura, že deformace povrchové vrstvy, která vzniká např. při třískovém obrábění, smáčivost pájky rovněž zlepšuje.

K tomu, aby nastalo smáčení tuhého základního materiálu s tekutou pájkou, je třeba vytvořit určité podmínky a jednou z nich je minimální teplota, která je závislá na tepelné vodivosti základních materiálů. Materiály s vysokou tepelnou vodivostí (měď, hliník) musí mít teplotu pájeného povrchu před stykem s roztavenou pájkou předeřhátou na teplotu solidu pájky. U materiálů se špatnou tepelnou vodivostí (korozivzdorná ocel), může být minimální teplota pájeného povrchu asi o 25% nižší, než je solidus pájky. Jednoduše to znamená, že zde není nutný tak vysoký předeřev.¹⁰

Teplotu, při které nastává pouze smáčivost pájky bez toho, aniž by se také roztekla, nazýváme teplotu smáčecí. Tyto podmínky vyhovují nánosovému pájení, pro kapilární je nutné i tečení pájky (roztékavost). Špatná smáčivost a roztékavost pájky na tuhém základním materiálu se dá zlepšit, jak již bylo zmíněno, přidáním malého množství legující přísady jako je např. Pd, Li, Si, Ni, Mn, Be, V, B, P apod.¹⁰

2.2.3 Vztlínavost

Jednou z dalších neméně důležitých vlastností tekuté pájky je vztlínavost. Dle literatury je vztlínavost definována jako schopnost pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil. Postupující čelo pájky je v důsledku povrchového napětí zakřiveno do půlkruhového tvaru a je důsledkem vzniku hnací kapilární síly. Pro názornost poslouží obr. 2.3.¹⁰



Obr 2.3 Schématické znázornění proudění pájky ve vodorovném spoji¹⁰
 v – střední rychlost tečení pájky; α – úhel smáčení; s – šířka mezery spoje;
 l - vzdálenost proteklá pájkou

Při obrobení pájených ploch řezným nástrojem vznikají větší či menší rýhy, které mohou ovlivňovat tečení a vztlínavost pájky. Mohou nastat teoreticky jen dva případy: Buď zvětšení nebo zmenšení kapilární mezery.¹⁰

Zvětšení průřezu mezery má při kapilárním pájení u vodorovného spoje za následek prodloužení celkové doby pájení. Plyne to z rovnice kontinuity, která říká, že ve všech místech trubice je zachován stejný objemový průtok, což znamená, že rychlost tečení pájky se zmenší, čímž i celková rychlost pájení. U svislého spoje může zvětšení mezery stoupání tekuté pájky úplně zastavit.¹⁰

2.3 Metalurgické vlastnosti pájení

Při pájení je tekutá pájka a tuhý základní materiál ve vzájemném styku po určitou dobu, která je závislá na druhu ohřevu a může být dlouhá od několika sekund až po několik minut. Tím je splněn předpoklad pro vznik metalurgických reakcí v oblasti spoje.¹⁰

Podle druhu pájky a základního materiálu mohou nastat následující varianty metalurgických reakcí.¹⁰

- Adhezní spojení
- Vzájemná difúze prvků pájky a základního materiálu
- Rozpouštění základního materiálu použitou pájkou
- Reakce složek pájky s povrchovým oxidem základního materiálu

Ve většině případů se při pájení vytvoří přechodové vrstvy, které mají určité tloušťky a chemické složení. Od toho se potom odvíjí také jejich odlišné fyzikální a mechanické vlastnosti od původních spojovaných materiálů. Vlastnosti těchto přechodových oblastí určují užité vlastnosti nově vytvořeného pájeného spoje.¹⁰

2.3.1 Adhezní spojení

Jedná se o takový případ spojování, při kterém nedochází k vzájemné rozpustnosti pájky a základního materiálu. Využití tohoto spojení se uplatní tehdy, když potřebujeme zachovat chemické složení spojovaných materiálů. Adhezní spoj se vyznačuje dobrou elektrickou vodivostí, má ale menší pevnost ve smyku a ohybu.¹⁰

2.3.2 Difúze

Podmínkou vzniku difúze je přemístění atomů pájky a základního materiálu. Toto přemísťování je podmíněno nehomogenitou složení. Směr pohybu je dán gradientem koncentrace, vliv mají také poruchy struktury a gradient teploty. Pro matematické vysvětlení zákonitostí difúze lze použít Fickovy zákony. I. Fickův zákon popisuje skutečnost, že difúzní tok se zmenšuje tím více, čím více se složení (pájky a základního materiálu) přibližuje homogennímu stavu. II. Fickův zákon vychází z podmínky zachování celkového počtu atomů difundujícího prvku a na základě této úvahy popisuje časovou změnu koncentrace v daném místě nebo na dané ploše.¹⁰

$$\text{I. Fickův zákon} \quad I_A = -D_A \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} \right) \quad (2.1)$$

$$\text{II. Fickův zákon} \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.2)$$

Pomocí základních rovnic difúze (2.1) a (2.2) byla empiricky zjištěna závislost součinitele difúze D na teplotě T .¹⁰

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \quad (2.3)$$

Uvedené vztahy platí jen pro difúzi v čistých kovech. Jev difúze ve vícesložkových slitinách, což je nejčastější případ při pájení, je velmi složitý. U vícesložkových pájek, u kterých jednotlivé prvky mohou vytvářet tuhé roztoky, eutektické a intermetalické sloučeniny, probíhá difúze v několika fázích. Součinitele difúze jednotlivých složek budou mít v různých podmínkách různé hodnoty a ty se dají jen velmi těžce vyjádřit na základě součinitelů čistých kovů.¹⁰

V těchto podmínkách a případech stačí pro hodnocení charakteru difúze určit hloubku difúzní vrstvy podle vztahu (2.4).¹⁰

$$x^2 = 2Dt \quad (2.4)$$

Difúzní procesy v pevných kovech jsou závislé na typu a nepravidelnosti stavby jejich krystalické mřížky. U kovů s prostorově centrovanou kubickou mřížkou probíhá difúze rychleji než např. u kovů s mřížkou plošně centrovanou. Součinitel difúze vzrůstá se zvyšováním hustoty poruch krystalické mřížky.¹⁰

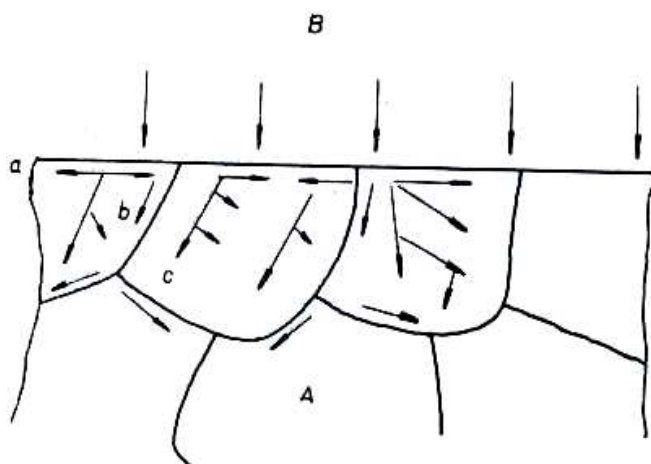
Hustota vakancí a dislokací, velikost zrna a množství pružných deformací, závisí na způsobu výroby kovu a jeho mechanickém a tepelném zpracování. Plastická deformace zvyšuje hustotu dislokací a způsobuje vznik drobných zrn. Na druhou stranu kalení nebo např. ozáření jadernými částicemi zvyšuje koncentraci vakancí v kovu. Tyto uvedené procesy zvyšují heterogenitu materiálu, tudíž difúzi zrychlují. Rychlost difúze je závislá i na rozměrech difundujícího prvku. Součinitel difúze jednotlivých prvků pájky se mění v závislosti na teplotě, na vlastní koncentraci i na koncentraci zbývajících prvků. Pro názornost poslouží tabulka uvedená níže.¹⁰

Tab. 2.2 Hodnoty difúzního součinitele D pro různé kombinace¹⁰

Základní materiál	Difundující prvek	Teplota [°C]	D [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
Sn	Cu	160	$9 \cdot 4 \cdot 10^{-13}$
Cu	Ni	800	$3 \cdot 5 \cdot 10^{-10}$
Cu	Ni	840	$3 \cdot 6 \cdot 10^{-10}$
Cu - Zn	Ni	840	$7 \cdot 10^{-10}$
Cu - P	Zn	700	$2 \cdot 10^{-10}$
Cu	Zn	800	$4 \cdot 5 \cdot 10^{-10}$
Cu	Zn	840	$3 \cdot 10^{-9}$

V předchozí tabulce je znázorněna závislost difúzního součinitele na teplotě a na kombinaci difundujícího prvku do základního materiálu. V následujícím schématu je možno spatřit způsoby difúze. Nejnižší aktivační energii (tzn. již při nízkých teplotách) vyžaduje difúze podél hranic zrn. Při rychlé difúzi po hranicích zrn může někdy dojít k postranní difúzi do mřížky zrn základního materiálu. Třetím typem difúze je objemová difúze substitučních

atomů do mřížky základního materiálu při teplotě pájení podél celé stykové plochy. Při ní vznikají komplexní tuhé roztoky.¹⁰



Obr 2.3 Schéma difúze pájky do základního materiálu¹⁰
 A – základní materiál; B – tekutá pájka;
 a – po povrchu; b – po hranicích zrn; c – uvnitř zrn

2.3.3 Rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce

Současně s difúzí do základního materiálu nastává jeho rozpouštění v tekuté pájce. Podstatou rozpouštění je přechod atomů ze stykové plochy základního materiálu do tekuté pájky. Snížení teploty tavení stykové plochy základního materiálu nastává důsledkem změny chemického složení této stykové plochy a je způsobeno vzájemnou difúzí pájky a základního materiálu. Atomy tuhých roztoků eutektických fází přecházejí z těchto stykových oblastí, ve kterých teploty tavení odpovídají teplotě pájení.¹⁰

Zvyšování teploty pájení vede ke zvýšení rozpustnosti základního materiálu v tekuté pájce. Rozpouštění základního materiálu je nežádoucím jevem nejen u spojování tenkostěnných materiálů, ale i při pájení povlakovaných materiálů tenkými vrstvami cínu, stříbra nebo zlata. Rozpouštění zákl. mat je nežádoucí také u pájení polovodičů a supravodičů, jelikož by se tím změnily jejich vodivostní a chemické vlastnosti.¹⁰

2.4 Vlastnosti pájeného spoje

Pevnost spoje ovlivňují materiálové, technologické a geometrické faktory, tj. nejen složení a pevnost pájky, ale také teplota pájení, tavidlo, doba pájení apod. Pájený spoj bez defektů má pevnost vyšší, než čistá pájka a při optimální šířce pájené mezery může dosáhnout až pevnosti základního materiálu. Pokud je pájená mezera širší než optimální, převládá vliv nižší pevnosti pájky. Zhoršení pevnosti v případě velmi úzké mezery je možno vysvětlit tím, že se pájka buď příliš brzo nasatí základním materiálem a předčasně ztuhne, nebo ze spoje neuniknou zbytky tavidla či plynu. V obou případech klesá pevnost, protože spoj není dokonalý. Optimální šířka mezery se pohybuje od 0,02 do 0,05 mm až 0,1 mm u hustě tekoucích pájek.

Plasticita spoje klesá hlavně v důsledku tvorby křehkých fází po dlouhém setrvání na pájecí teplotě, což se nepříznivě projevuje především při namáhání ohybem. Především v místech s vrubovým účinkem se nemohou odbourat špičky napětí plastickou deformací a dochází k iniciaci trhlin.¹¹

2.5 Tavidla

2.5.1 Funkce tavidla

Dokonale kovově čistý povrch je základním předpokladem spojení pájky a pájeného materiálu. Povrch musí být tedy zbaven nečistot, které mohou být dvojího druhu: buď organického původu jako např. mastnota nebo vytvoření oxidické vrstvy na povrchu základního materiálu.¹¹

Odmaštění povrchu je nutné proto, že tepelným rozkladem mastnoty mohou vzniknout residua (zbytky), která brání smáčení. Také oxidy se předběžně odstraňují, znovu se pak samovolně tvoří během ohřevu dílce na pájecí teplotu a je proto nezbytné odstraňovat tyto oxidy i v průběhu pájení. V praxi se nejvíce osvědčily následující způsoby uvedené v odstavcích níže.¹¹

- **Tavidlem** se oxidická vrstva redukuje za vzniku nízkotavitelné nebo plynné sloučeniny, případně tavidlo s oxidy tvoří nízkotavitelná skla (např. boraxová skla). Od tavidla se vyžaduje, aby dobře smáčelo pájené plochy a bylo dostatečně aktivní za teploty nižší o 50 – 100°C, než je teplota solidu pájky. Musí být také schopné odstranit i větší vrstvu oxidů a současně musí chránit pájku i kov před další oxidací. Vedlejší, ale neméně důležitou, funkcí tavidla je snížení povrchového napětí na rozhraní pájka – tavidlo a tím zlepšení smáčivosti pájky. Většina tavidel zanechává pevná residua, která mohou mít korozivní účinek a musejí se pracně odstraňovat. Tyto tavidla jsou již ale většinou hudbou minulosti. Modernější jsou tavidla, která byla vyvinuta v posledních letech, a ty za pájecí teploty zplyňují a zanechávají jen nepatrnou vrstvičku residuí.¹¹
- **Redukcí plynnou atmosférou** obsahující obvykle oxid uhelnatý nebo vodík jako redukční činidlo, je také možno odstranit oxidy bez vzniku pevných residuí.¹¹
- **Tepelným rozkladem oxidů ve vakuu** lze rovněž u některých materiálů získat kovově čistý povrch, ideální pro spojení pájky se základním materiálem.¹¹

Tavidla mají mít ještě následující funkce a vlastnosti:

- Účinná reakční teplota tavidla, tzn. teplota tání musí být o 50 až 150 °C nižší, než je teplota tání pájky.
- Množství tavidla je závislé na tloušťce a rozsahu oxidických vrstev.
- Základní úlohou tavidla je v rovnoměrné tloušťce pokrýt pájený spoj a zamezit přístupu vzduchu.
- Rozpuštěné oxidy nesmějí změnit chemické složení tavidla natolik, aby došlo k velkému zvýšení jeho povrchového napětí.
- Tavidla s krystalickou strukturou mají lepší pájecí vlastnosti.

- Hustota tavidla musí být vždy nižší než hustota pájky. Důvodem je vyplavení tavidla na povrch lázně.
- Zbytky tavidla se musí dát po pájení snadno odstranit a nesmějí být příčinou koroze v případě, kdy se tyto zbytky neodstraňují.¹⁰

2.5.2 Složení tavidel

Tavidla lze rozdělit podle pájek. Pro tvrdé pájení je většina tavidel na bázi alkalických boritanů, kyseliny borité a sloučenin fluoru nebo chloru, kterými se upravuje teplota, kdy tavidlo nejlépe působí. U tvrdého pájení hliníku se používají tavidla na bázi chloridů a fluoridů alkalických kovů a zemin. Pro měkké pájení slitin železa se používají sice velmi účinná, ale silně agresivní tavidla, obsahující chlorid zinečnatý (ZnCl_2), chlorid amonný (NH_4Cl), kyselina chlorovodíková (HCl), pro měď a mosaz méně účinná tavidla na bázi pryskyřic a aktivátorů. Při pájení elektronických obvodů jediným spolehlivě neagresivním, i když méně účinným tavidlem, je roztok čištěné kalafuny nebo kyseliny jantarové v ethylalkoholu.¹¹

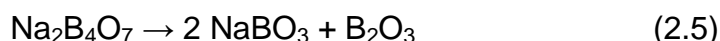
Při pájení segmentu odkorňovače se jedná o pájení tvrdé, proto jsou v této práci více rozebrány tavidla pro tento typ pájení.

2.5.3 Tavidla pro tvrdé pájení

Základní složkou tavidel pro pájení těžkých kovů, jak již bylo zmíněno, jsou boritany. Přesněji krystalický a bezvodý borax, kyselina boritá a jejich směsi.¹⁰

Borax, jehož vzorec je $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, je již dlouho používán jako základní složka tavidel pro tvrdé pájení. Jeho použití je vhodné u pájek s teplotou tání nad $800\text{ }^\circ\text{C}$. Je rozpustný ve vodě, žárovzdorné oxidy rozpouští slabě.¹⁰

Roztavený borax je směs metaboritanu sodného (NaBO_3) a oxidu boritého (B_2O_3). Reakce probíhá dle rovnice (2.5).¹⁰



Je málo viskozní a není tedy vhodný pro kapilární pájení. Zbytky boraxu jsou po pájení sklovité a špatně odstranitelné. S oxidy tvoří tavitelnou sklovinu a je použitelný a optimálně účinný při pájecí teplotě kolem $800\text{ }^\circ\text{C}$.¹⁰

Kyselina boritá (H_3BO_3) je dobře rozpustná ve vodě, lihu a oleji, často se používá ve formě pasty. Při ohřevu dehydratuje podle rovnice (2.6), přičemž vzniká B_2O_3 s vysokou viskozitou.¹⁰



Ochlazením tuhne ve sklovitou látku, která je snadno odstranitelná. Reakční účinnost při teplotě tavení je nízká, výrazně se zlepšuje se zvyšující se teplotou. Za zmínku stojí i její dobrá krycí schopnost. Směs borax – kyselina boritá – boritany se používají pro pájky s teplotou v rozsahu 700 až $1200\text{ }^\circ\text{C}$.¹⁰

Boritany na bázi Na, Li, K jsou vysoce tavitelné složky tavidla. Mají dobrou čistící a ochrannou schopnost i po delší dobu pájení. Boritany jsou účinné kolem teploty 750 °C a výše.¹⁰

Fluoroboritany reagují podobně jako boritany, v roztaveném stavu však mají lepší roztékavost, čistící schopnost, ale horší ochrannou funkci. Používají se ve směsi s jinými boritany nebo alkalickými uhličitany.¹⁰

Fluorokřemičitany mají vyšší teplotu tání než fluoroboritany, vyznačují se i dobrou ochrannou schopností a mají dobrou adhezi. Jejich použití je ale omezeno a dáno právě jejich vysokou teplotou tání.¹⁰

Směsi boritanů – fluoridů – chloridů v různé kombinaci umožňuje vytvářet koloidní směsi, které jsou základem pro výrobu pastových tavidel. Umožňují nalisování tavidel na jádro pájky a vyrábění pájek obalených tavidlem.¹⁰

Plynná tavidla lze označit jako zvláštní typ tavidel. Příkladem plynného tavidla je BF₃ (fluorid boritý), který se používá pro pájení v peci. Jeho použití však vyžaduje speciální postup vzhledem k jeho škodlivosti. Známým a používaným plynným tavidlem (je zdravotně zcela nezávadné) je alkylborátový typ tavidla zvaný „Gasflux“ nebo „Lindeflux“, který je vháněn do proudu spalovaného plynu přes směšovač plynů. Tavidlo se používá pro nánosové pájení mosazí pájkami s pracovní teplotou nad 800 °C. Tavidlo není vhodné pro kapilární pájení. Tavidlo se účinkem spalných plynů spálí na B₂O₃ a pokryje spoj tenkou vrstvou o tloušťce několika mikrometrů. Ta potom chrání pájený spoj před oxidací a spálením. Zbytky není nutné po zchladnutí otloukat, je jich málo a rozpouštějí se vodou.¹⁰

2.6 Přehled pájek pro pájení natvrdo

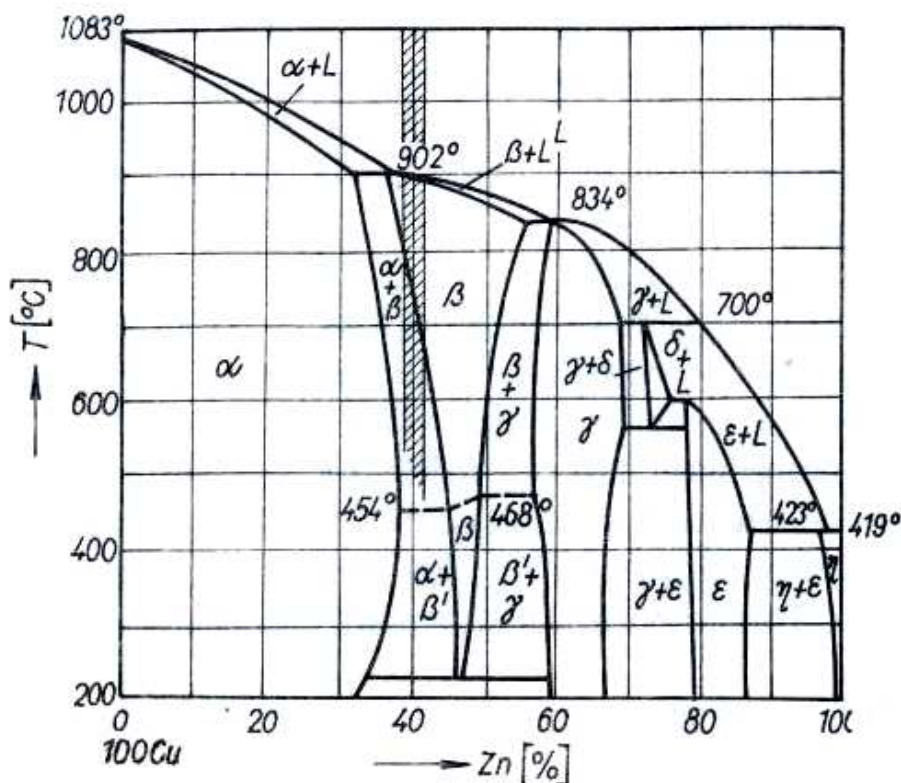
Pájky se obecně dělí podle tavicí teploty do dvou základních druhů:

- Měkké pájky – mají tavicí teplotu nižší než 450 °C, jsou měkčí a méně pevné
- Tvrdé pájky – mají tavicí teplotu vyšší než 450 °C, mají vyšší tvrdost a pevnost

V následující podkapitole se ovšem zaměříme na pájky pro typ pájení, který je uveden v nadpisu této podkapitoly. Důvod je ten, že studovaný segment odkorňovače je vyráběn ručně právě pájením natvrdo.¹¹

2.6.1 Tvrdé pájky na bázi mědi

Pájky této skupiny jsou vhodné pro pájení železných a neželezných kovů s teplotou tání nad 1000 °C. Pro názornost je na následující straně uveden rovnovážný diagram slitiny Cu – Zn. Zvýrazněna je oblast směsi tuhých roztoků $\alpha + \beta$.¹⁰

Obr 2.4. Rovnovážný diagram slitiny Cu – Zn¹⁰

Pájka Cu (pájka je vyrobena z čisté bezkyslíkaté mědi) se používá pro kapilární pájení vysokotavitelných materiálů jako je ocel, nikl a jeho slitiny. Má velmi dobrou roztékavost, tudíž dobře vyplňuje i velmi úzké mezery, které jsou i pod 0,02 mm. Pracovní teplota je cca 1150 °C. Měděná pájka se vyrábí ve formě drátů, pásků, pruhů, fólií a pasty. Je nutné dbát na čistotu pájky, protože i malé množství nečistot v pájce mění její hlavní pájecí vlastnosti.¹⁰

Železo zhoršuje tekutost, jelikož zvyšuje viskozitu pájky. Při obsahu 5% Fe může pájka vyplnit mezeru až 1,8 mm. Na druhou stranu např. nikl zlepšuje tekutost pájky, zvyšuje pevnost spoje i jeho korozní odolnost. Zvyšuje však i likvidus pájky (např. 5% Ni zvyšuje likvidus o 30 °C), což je v některých případech nežádoucí.¹⁰

Pájka Cu – P10 je slitina, jejíž složení odpovídá složení oblasti kolem eutektického bodu (tj. teplota 710 °C – 8,6% P). Po užívání se pro pájení mědi a jejich slitin. Není vhodná pro pájení ocelí a slitin obsahujících více než 10% Ni, protože při jejím použití se tvoří křehké přechodové oblasti. Při pájení mědi pájkou Cu – P10 není třeba použít tavidla. Pájka je zvláště vhodná pro ruční pájení plamenem a je dodávána ve tvaru lité tyčky a průměru 3 – 5 mm nebo i drátu.¹⁰

Mosazné pájky se skládají ze slitiny Cu – Zn typu Ms 60 s pracovní teplotou pájení cca 900°C. Pájky s obsahem mědi pod 60% jsou sice levnější a mají nižší teplotu tání, ale dávají poměrně křehké spoje. Jakost mosazných pájek závisí na obsahu zinku, jenž má být nižší než 40%. Zinek má jednu

zápornou vlastnost a to sice tu, že vře při 913 °C, přičemž již při nižších teplotách dosahuje tlak nasycených par vysokých hodnot, takže už při 650 °C můžeme pozorovat vypařování zinku. Toto vypařování je nežádoucí dvěma způsoby. Odpařovaný zinek společně s vodíkem způsobuje pórovitost spoje a také tyto výpary jsou obsluhujícímu pracovníkovi zdraví škodlivé, což je nepřijatelné. Za nejlepší se tedy považují pájky na bázi mosazi typu Ms 60 s přídavkem malého množství dalších legovacích přísad, jako jsou např. Sn, Si, Ag, Ni, Mn apod. Funkce těchto povrchově aktivních prvků je ta, že tvoří s prvky základního materiálu mezislitiny s negativní entalpií. Tím se uvolňuje určité množství tepelné energie a zlepšuje se smáčení.¹⁰

Cín snižuje teplotu tání a zlepšuje tekutost pájky. Křemík v malém množství (0,1 až 0,25%) zmenšuje pórovitost tím způsobem, že zmenšuje rozpustnost vodíku. Tvoří s ním hydridy a zabraňuje přepalu zinku, jenž způsobuje póry. U pájek s minimálním či nulovým obsahem křemíku se zabrání vypálení zinku použitím tavidla s vysokou viskozitou. Cín a křemík může také působit jako dezoxidační činitel pájky, přičemž zlepšuje i její mechanické vlastnosti.¹⁰

Stříbro podporuje tekutost, snižuje pracovní teplotu, ale přitom nedochází ke křehnutí pájky. Například 10% Ag sníží pracovní teplotu až o 200 °C, přičemž se zvýší elektrická vodivost pájky.¹⁰

Nikl zlepšuje pevnost a houževnatost pájky a nahrazuje v pájce měď. Zvyšuje však teplotu tání pájky a její cenu. Přidáme-li do pájky malé množství B nebo Li, můžeme Ms-pájku pro pájení oceli bez tavidla (oba prvky mají v pájce funkci tavidla).¹⁰

Jiné prvky jako jsou např. Al, Mg, Cd a P, již při malém množství (<0,01%) působí křehkost pájeného spoje ocelí. Obsah Pb, Bi, Sb působí za tepla praskliny. Aby nedošlo ke křehnutí spojů, musí být obsah Cd u Ms-pájek maximálně 2 %. Na druhou stranu u Ag – pájek nevzniká křehkost ani při 20% Cd.¹⁰

Mosazné pájky na bázi $\alpha + \beta$ Ms 60 mají dobré pájecí vlastnosti. Při pokojové teplotě poskytují i dostatečnou pevnost pájeného spoje, viz. tab 2.3. Mechanické vlastnosti vytavené pájky kolísají v určitém rozsahu.¹⁰

Pevnost v tahu	400 – 700 MPa
Tažnost	20 – 40 %
Tvrdość	100 – 170 HB ¹⁰

Tab. 2.3 Pájecí a mechanické vlastnosti pájených spojů, zhotovených pájkami na bázi mědi (dle ČSN)¹⁰

Typ pájky	Tavidlo	Základní materiál	Roztékavost [mm ²]	Kapilarita [mm]	Pevnost v tahu	Pevnost ve smyku
B – CuP10	-	Cu99,5	800	60	180 – 220	180 – 220
B – Cu60ZnAg	FB 11 - 13	Cu99,5	170	60	140 – 160	140 – 180
B – Cu60ZnSi		Cu99,5	130	60	150 – 220	100 – 180
		11 373	300	80	240 – 350	100 – 210
B – Cu50ZnN		11 373	250	70	300 – 420	180 – 220

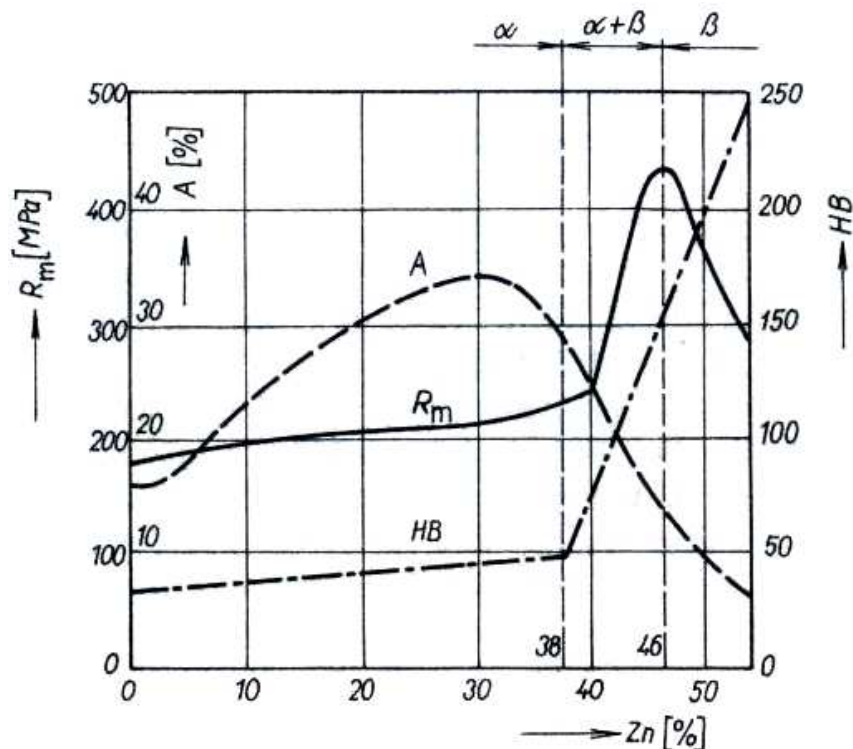
Podstatný vliv má na mechanické vlastnosti obsah Cu resp. Zn (viz. obr. 2.5) neboli poměr množství fáze α : β (viz. obr. 2.6) S rostoucím obsahem fáze β se zvětšuje pevnost, ale snižuje tažnost pájky. Již malá změna chemického složení pájky v oblasti fáze $\alpha + \beta$ vyvolá velkou změnu mechanických vlastností pájky (pozn. lze vypočítat i z rovnovážného diagramu, který je uveden jako obr. 2.4).¹⁰

V tabulce níže je uveden základní přehled mosazných tvrdých pájek.

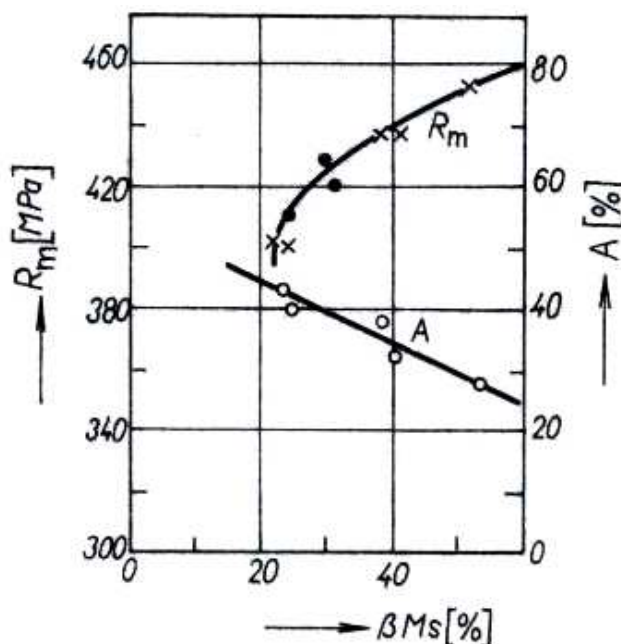
Tab. 2.4 Přehled mosazných tvrdých pájek (dle ČSN)¹²

Označení pájky	Teploty tavení [°C]	ČSN
B – Cu50ZnNi	890 – 920	ČSN 05 5682
B – Cu60ZnAg	880 - 900	ČSN 05 5684
B – Cu60ZnSi	880 – 900	ČSN 05 5686
B – Ag15CuP	635 – 700	ČSN 05 5660
B – Ag25CuZn	680 – 840	ČSN 05 5662
B – Ag28CuZnMnNi	680 – 860	ČSN 05 5664
B – Ag30CuZnCd	620 – 760	ČSN 05 5666
B – Ag40CuZnCd	595 – 630	ČSN 05 5668
B – Ag45CuZn	680 – 740	ČSN 05 5670
B – Ag50CuZnCd	630 – 740	ČSN 05 5672
B – Ag60CuZn	700 – 760	ČSN 05 5674
B – Ag66CuZn	735 – 790	ČSN 05 5676

Pozn. Dražší jsou mosazné pájky se stříbrem pro nižší teploty pájení, které se při obsahích stříbra větších než 50 hm. % stávají slitinami stříbra, stříbrnými pájkami.¹²



Obr. 2.5 Mechanické vlastnosti mosazi v závislosti na obsahu Zn¹⁰



Obr. 2.6 Mechanické vlastnosti mosazi v závislosti na obsahu β fáze¹⁰

Mosazné pájky jsou použitelné pro všechny metody pájení kromě pájení v redukční atmosféře a ve vakuu. Při nánosovém pájení se nejlépe uplatňují pájky obalené tavidlem. Nejdůležitějším požadavkem je dodržení předepsané pájecí teploty.¹⁰

Při nánosovém pájení nože odkorňovače je použita speciální mosazná pájka, jejíž materiálový list je uveden v příloze (příloha č. 1). Jako tavidlo je použito tavidlo plyné. Tato podkapitola byla proto popsána podrobněji.

2.7 Závěrečné shrnutí

Zde je pojednáno o hlavních výhodách použití metody pájení. Výhodné je použití např. při spojování kombinovaných železných a neželezných materiálů, při spojování komplikovaných výrobků ze žárovečných, žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí a slitin s vysokou pevností a všude tam, kde není možno použít metod tavného svařování ať už z technologických či metalurgických důvodů. Pájení se proto používá např. při výrobě oběžných kol turbokompresorů, plynových a parních turbín, tepelných výměníků, palivových článků do jaderných elektráren. Dále se zhotovují nosné a vodivé spoje, utěšňují se spáry nebo trhliny, pokrývají se různé povrchy nebo se upravují jejich tvary.¹¹

K hlavním výhodám pájení zejména patří.

- menší spotřeba tepelné energie
- větší pracovní rychlost
- vysoká hospodárnost i při využití dražší pájky
- vysoká produktivita práce
- možnost spojování kovů všech slitin, kombinovaných kovových i nekovových materiálů

- možnost spojování jednoduchých i složitých tenkostěnných nebo tlustostěnných součástí
- možnost mechanizace a automatizace pájení, přičemž pro obsluhu zařízení není složité¹¹

Možnosti pájení ještě nejsou zcela vyčerpány, neustálý vývoj a výzkum v budoucnu přinese další využití pro tuto technologii.

3 KOMPOZITNÍ MATERIÁL WOLFRAMKARBID

Je důležité pojednat o této oblasti, jelikož mosazná pájka určená pro nánosové pájení nože odkorňovače obsahuje zrna drceného wolframkarbidu, které jsou stěžejní pro technologii odkornění.

3.1 Co to je kompozitní materiál

Pojem kompozitní znamená složený, jedná se tedy o materiály, které jsou tvořeny dvěma i více složkami. Ovšem tato definice je příliš nepřesná, protože bychom mohli takto definovat většinu látek vyskytujících se v přírodě. Přesněji lze říci, že za kompozity lze považovat materiály složené ze dvou nebo více složek (fází), odlišného chemického složení a zároveň fyzikálních a mechanických vlastností. Základní komponentou soustavy je spojitá (kontinuální) fáze, zvaná matrice, v níž je uložena sekundární, obvykle nespojitá (diskontinuální) vyztužující fáze, tvořená nejčastěji vlákny nebo částicemi různého tvaru a druhu. Dalším důležitým kritériem pro zařazení vícefázových materiálových systémů mezi kompozity je jejich příprava míšením složek (matrice a vyztuže) a podíl vyztuže minimálně 5 %. Jiné vícesložkové soustavy, které uvedené podmínky nesplňují, nelze za kompozitní materiály považovat.¹³

Od slitin kovů se liší kompozity tím, že jednotlivé složky vložené (vmísené) do systému si ponechávají své charakteristiky, z nichž se uplatňují především jejich přednosti (fyzikální, mechanické, chemické). Takto získaná soustava disponuje vlastnostmi, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou samostatně ani jejich součtem. Jednotlivé fáze ovlivňují výsledné vlastnosti kompozitu vlastními charakteristikami a také vzájemnou interakcí jejich povrchů, která má na nové kvalitě kompozitního materiálu hlavní podíl.¹³

3.2 Základní komponenty kompozitů

Kompozitní soustava je tvořena **matricí** (fáze spojitá), která je armována **vyztuží**, jež je obvykle fází nespojitou.¹³

3.2.1 Matrice

Základní funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na vyztužující fázi. Je požadována dobrá soudržnost matrice s materiálem vyztužující fáze, tzn. dokonalá smáčivost bez chemické reakce na mezifázovém povrchu matrice a vyztuže. Důležitým aspektem pro matrici je také důraz na její nízkou hmotnost. Má zpravidla nižší pevnostní vlastnosti a vyšší plasticitu. Materiály pro výrobu kompozitů plnící funkci matrice mohou být:

- Kovy
 - dobrá elektrická a tepelná vodivost, smyková pevnost, odolnost proti opotřebení, možnost povlakování a spojování,
 - nejčastěji jsou to slitiny na bázi Al, Mg, Ti, Ni¹³
- Polymery
 - nejčastěji pro výrobu kompozitů
 - nízká měrná hmotnost, korozně odolné, není nutná povrchová úprava, tlumí kmity, mají nízkou tepelnou a elektrickou vodivost

- používají se termoplasty (chemická odolnost), reaktoplasty (dosahují nejvyššího modulu pružnosti), elastomery (dominantní vlastností je tažnost)¹³
- **Keramika**
 - dobrá chemická odolnost, malá tepelná vodivost, vysoká teplota tání, vysoká tvrdost a pevnost v tlaku, odolnost vůči tečení, elektricky jsou nevodivé, vhodné použití při vysokých teplotách
 - hlavní nevýhodou je značná křehkost, nesnadná obrobitelnost a velká citlivost na vnitřní defekty¹³

3.2.2 Vyztužující fáze

Vyztužující fáze má jako základní funkci zabezpečit přenos převážné části vnějšího zatížení. Od vyztužujících fází se vyžaduje vysoká pevnost a modul pružnosti E o řád vyšší než modul matrice, malá deformace do lomu při vysokém podílu pružné deformace. Mechanismus pevnostního chování kompozitu je závislý na **tvary, koncentraci a orientaci** výztuže.¹³

Tvar částice může být uvažován přibližně jako koule (práškové formy výztuže) nebo jako válec (vlákna). Jejich velikost a distribuce řídí texturu kompozitu a spolu s objemovým podílem určují také mezifázový povrch, který má důležitou úlohu při určování rozsahu vzájemného působení na zpevnění mezi vyztužením a maticí.¹³

Koncentrace představuje objemovou část vyztužující fáze, udává se v objemovém nebo hmotnostním podílu. Je jedním z nejdůležitějších parametrů, které ovlivňují vlastnosti kompozitu.¹³

Orientace vyztužující fáze ovlivňuje izotropii systému. Mají-li vyztužující částice tvar a rozměry ve všech směrech přibližně stejné (jsou rovnoosé, např. prášky), chová se kompozit v podstatě jako izotropní materiál, jehož vlastnosti jsou nezávislé na směru. Systémy vyztužené spojitou válcovou výztuží vykazují (vlákna) anizotropii vlastností.¹³

Podle geometrického hlediska rozdělujeme vyztužující fáze na:

- **Částicové** (partikulární) – jsou to prášky s částicemi různých tvarů i velikostí. Používají se většinou prášky anorganických sloučenin typu oxidů (MgO , BeO , Al_2O_3 , ZrO_2 , CdO , CrO_2 , aj.), karbidů (SiC , TiC , B_4C , Al_4C_3 , WC , W_2C , aj.) nitridů, boridů, příp. křemičitanů.¹³
- **Vláknové** – jsou to kovová vlákna, polymerní, keramická, skleněná nebo vláknové monokrystaly. Pevnost vlákna závisí především na jeho průřezu. Se zmenšujícím průřezem pevnost vlákna roste, protože se uplatňují zpevňující procesy, které jsou závislé na stupni deformace. Vlákna mají většinou kruhový průřez o průměru v rozpětí od 10 μm do 1 mm.¹³
- **Skeletové** – je to takové vyztužení, ve kterém matriční a sekundární fáze vytváří skeletové útvary, jež jsou navzájem mechanicky proniknuté. Rozlišujeme matriční a armující skelet. Podstata je v infiltraci matričního skeletu kapalnou látkou, která po ztuhnutí vytváří armující skelet.¹³

3.3 Částicové kompozity s keramickou maticí

Protože wolframkarbid nespadá do slitin kovů, jak je již patrné z předchozích kapitol, ale do kompozitních materiálů na bázi keramiky, je nyní o této problematice krátce pojednáno.

Keramické matrice jsou významné pro použití při vysokých teplotách pevnost, odolnost vůči creepu a oxidaci. Většinou používané keramické matrice jsou na bázi oxidů, nitridů a karbidů různých prvků nebo také grafitu.

K této skupině kompozitů se řadí systémy:

- keramika – keramika
- **keramika – kov**
- kompozity na bázi grafitu¹³

V této studii se zaměříme na systém **keramika – kov**, protože sem řadíme wolframkarbidy. Tyto systémy se obecně označují jako cermety (z anglického ceramics – metal). Vyrábí se na oxidové či karbidové bázi. Za cermet považujeme kompozity s obsahem keramické složky větším než 50 obj. %, zbytek tvoří fáze kovová. Cermety představují kombinaci vlastností kovů (plasticitu, dobrou tepelnou a elektrickou vodivost) a keramiky (žárovzdornost, žárupevnost a chemickou stálost). Hlavní oblastí využití je letecký a raketový průmysl, elektronika, jaderná energetika, strojírenství a hutnictví.¹³

Cermety na **karbidové bázi**, jako jsou např. WC-Co, se používají na součásti, které vyžadují velmi vysokou povrchovou tvrdost, houževnatost, pevnost a otěruvzdornost. Jsou to řezné nástroje, břitové destičky, průvlastky na tažení drátů, části ventilů a přesná měřidla, samozřejmě také jako volně vložená „přísada“ do žárových nástříků a návarů, kde je potřebná zvýšená tvrdost a odolnost proti opotřebení. O jednom z užití makroskopických zrn karbidů pojednává tato studie. Je to nánosové pájení na vysokonamáhané nože odkorňovače.¹³

Karbid titanu v niklové nebo kobaltové matici se používá pro vysokoteplotní aplikace na turbínových částech, hořácích a částech horké válcovny. Karbid chromu s kobaltovou fází tvoří cermet vysoce odolný proti korozi a obrusu. Je vhodný na ventilové součásti, trysky a vysoce namáhaná ložiska pracující za vysokých teplot.¹³

3.4 Karbid wolframu v praktickém užití

Wolframkarbid má v praxi široké spektrum využití. Obzvláště v oblastech, kde se bavíme o ochranných vrstvách proti opotřebení. Hitem v poslední době jsou návary, příp. nánosové pájení, kdy jsou zrna karbidu různého tvaru a velikosti „vložená“ do této matrice (maticí je myšleno v tomto případě svarový kov či pájka). O této oblasti bude pojednáno v následující kapitole.

Jednoduše tyto kompozitní materiály mají svá specifika, které je jednoznačně řadí na špici mezi materiály na ochranu proti opotřebení (otěr, abraze, kavitace apod.) Je třeba připomenout, že cenová hladina těchto materiálů je vyšší než klasické návarové materiály, ale jejich životnost nebo užitná hodnota takto provedených vrstev mnoho násobně převyšuje životnost standardních materiálů na bázi vysokých obsahů C, Cr a dalších legur. Tedy

materiálů jež mají legovanou ledeburitickou strukturu s karbidy Cr a dalších legur.¹⁴

Pro porovnání jeden příklad z praxe: Lopatky mísiče slévárenského písku pro přípravu směsi na formy pro odlitky. Slévárenský písek na formy má vysokou tvrdost cca 1000 HV a v kombinaci s vlhkým prostředím působí vysoce abrazivně. Pro navaření lopatek se používala elektroda EB 518 (C = 3,4% Cr = 29 %, tvrdost návaru 58 HRC). Touto elektrodou navařená lopatka měla po 24 hodinách provozu úbytek návaru cca 2,0mm. Lopatka navařená elektrodou s wolframkarbidem (Terradur U, trubičková elektroda pro ruční svařování plněná WC) měla po 120 hodinách provozu povrch pouze vyleštěný a úbytek návaru byl neměřitelný.¹⁴

V těchto extrémních provozních podmínkách se materiály s wolframkarbidy jednoznačně osvědčily jako vysoce kvalitní návar, který má úsporný a ekonomický efekt.¹⁴

Pokud bude provedeno krátké ekonomické zhodnocení nové technologie, tak jednoduchou úvahou lze dospět k názoru, že se výrazně omezily odstávky mísiče kvůli výměně lopatek a tím odpadlo několik cyklů nutných pro nové navaření lopatek. Samozřejmě se tím uspoří i práce spojená s touto výměnou (demontáž, příprava, navaření, montáž). Podstatně se tedy prodlouží doba mezi odstávkami zařízení. Zařízení které je v odstávce nevyrábí a tím se snižuje produkce.

Příkladů lze pravděpodobně demonstrovat mnohem více. Tento měl pouze poukázat na fakt, že se materiály s wolframkarbidy i přes svoji vyšší cenu staly standardními materiály pro návary v oblasti ochranných vrstev proti opotřebení.

3.4.1 Typ wolframkarbidu

Při výrobě wolframkarbidu vznikají dva druhy vazeb a to **WC** a **W₂C**. Již tyto dva druhy mají rozdílné vlastnosti, které jsou jedním z určujících parametrů zrn. Uvedeno v tabulce 4.1.¹⁴

Tab. 3.3. Základní vlastnost wolframkarbidů¹⁴

Wolframkarbid	Hustota g/cm ³	Tvrdost HV	Teplota tání °C
WC	15,7	2400	2870
W ₂ C	17,2	3000	2730

Typ wolframkarbidu je závislý na tepelném zpracování a obsahu uhlíku. Proto používat pro drcené (FTC) wolframkarbidy pouze typ W₂C je nesprávné. Při obsahu uhlíku v rozmezí 3,8 – 4,1 % se pohybuje v binární soustavě wolfram – uhlík v oblasti eutektika na rozhraní tvorby WC a W₂C a proto je poměr těchto karbidů v rozmezí 78 – 80% W₂C a 20 – 22% WC.¹⁴

3.4.2 Typ zrna wolframkarbidu

Rozměry zrn wolframkarbidu z makroskopického hlediska jsou ve značném rozpětí. Velikost se řídí podle použití a technologie pro provedení návaru či napájení. Wolframkarbidy se sférickými zrny se vyrábějí v rozsahu od 0,05 – 1,0 mm. Drcené wolframkarbidy v rozsahu od 0,18 mm až po velké zrna o rozměrech 8,0 x 12,0 mm.¹⁴

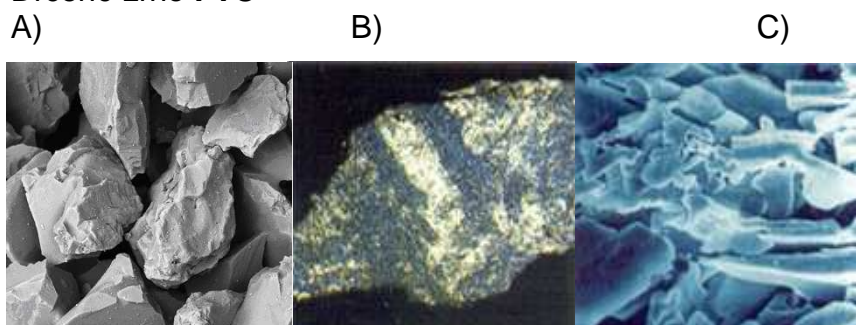
Wolframkarbidy se vyrábějí tavením. Směs taveniny a matrice se odlévá do předem připravených forem, kde tuhne. Dále pro žárové nástřiky sintrováním (spékání práškovitých kovů v soudržný celek při teplotách pod teplotou tání). Dalším určujícím parametrem je zpracování samotných zrn.¹⁴

Zrna se vyrábějí jako:

- **Mletý nebo drcený** wolframkarbid označovaný také jako **FTC** (**Fused Tungsten Carbide**). Má nerovnoměrný, jehlicový (acikulární) tvar zrn.
- **Sférický** wolframkarbid označovaný také jako **SFTC** (**Spherical Fused Tungsten Carbide**). Má rovnoměrný kulatý tvar zrn.
- **Sintrovaný** (spékaný) wolframkarbid je speciálně vyráběn pouze pro žárové nástřiky. Tvar zrn je kulatý a je sintrován většinou ve směsi s kobaltem. Obsah kobaltu je v rozpětí 8 – 18 % a zbytek tvoří wolframkarbid. V menší míře se sintrují s niklem (cca 12 % Ni).¹⁴

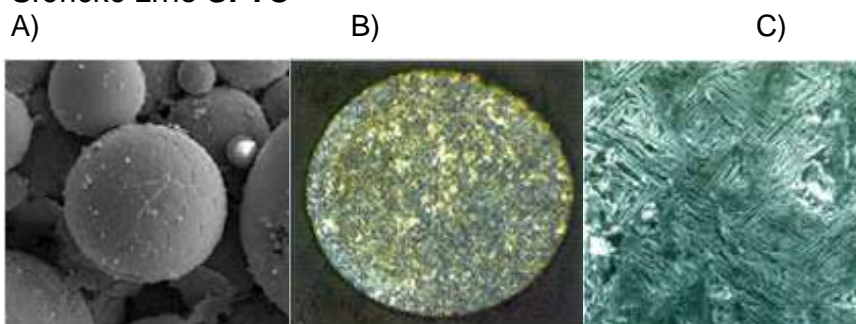
Na soustavě obrázků níže jsou uvedeny skutečné fotografie drceného a sférického karbidu.

Drcené zrno **FTC**



Obr. 3.1. Drcené zrno FTC A) skutečná velikost B) zvětšeno 200x C) zvětšeno 3000x¹⁴

Sférické zrno **SFTC**



Obr. 3.2. Sférické zrno SFTC A) skutečná velikost B) zvětšeno 200x C) zvětšeno 3000x¹⁴

Tab. 3.3. Základní vlastnosti zrn wolframkarbidů dle způsobu výroby¹⁴

Vlastnost	Drcené zrn	Sférické zrn
Tvrlost	2200 – 2400 HV	2800 – 3200 HV
Tvar zrn	Jehlice (acikulární)	Sférický (lobulární)
Struktura	Jemné zrn	Velmi jemné jehlice
Smáčivost v matrici	Dobrá	Vynikající

Závěrem je třeba připomenout, že opracování vrstev s wolframkarbidy navařenými nebo napájenými lze pouze broušením. Podrobnější informace jsou rozvedeny v následujících kapitolách, kde je přímo pojednáno o technologii nánosového pájení se zrny wolframkarbidu.

4 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

4.1 Situace v obchodním světě

V podkapitole 1.7 byly záměrně uvedeny hlavní části rotorového odkorňovače. Je to jednoduše proto, že o jeho součásti tzv. **noži odkorňovače** a jeho vlastnostech celá studie pojednává. Nůž odkorňovače je segment rotoru, díky kterému dochází k oddělení kůry od kmene stromu, viz. podkapitola 4.2.4. Popis funkce stroje.



Obr. 4.1. Nože odkorňovače na hlavním rotoru

Odkorňovací stroj, o kterém je pojednáváno v této studii je využíván ve společnosti Kronospan, a.s. v Jihlavě. V krátkosti se proto o této společnosti zmíním.

Firma Kronospan, a.s. v současnosti vyrábí dřevotřískové desky, které dále zpracovává na laminované dřevotřískové a pracovní desky. V roce 2005 byla zprovozněna nová linka, která obohatila jejich nabídku o stavební desky SUPERFINISH. Vlastní produktová řada je rozšířena o výrobky na bázi dřeva sesterských společností. Například dřevovláknité, dýhované dřevotřískové desky a další materiály nejen pro výrobce nábytku.

Je jistě jasné, že spotřeba surového dřeva je vysoká a proto je nutné obrábět na kvalitních a bezporuchových strojích. Dodávka kompletního odkorňovacího zařízení byla realizována polskou firmou HFHN Machines Sp.z o o. Servisní práce a náhradní díly zabezpečovala německá firma s názvem HFHN Wood Engineering GmbH. Předmětný nůž do odkorňovače společnost HFHN dodávala formou subdodávky. Společnost HFHN se ovšem dostala do konkurzního řízení a nebyla schopná nadále zajišťovat subdodávku náhradních dílů. Společnosti Kronospan, a.s. tedy „vyschl“ tok dodávající náhradní díly.

Tuto situaci bylo třeba urychleně řešit a obnovit přísun náhradních dílců, aby nehrozilo zastavení výroby. Cílem této práce je tedy tento výrobní a zároveň dodavatelský problém vyřešit.

4.2 Odkorňovač WRD 800-2

4.2.1 Výrobce a dodavatel

Tento stroj s typovým označením WRD 800-2 se nachází ve výrobní hale firmy Kronospan Jihlava, spol s r. o. Lze prohlásit, že není mnoho podobných strojů, zastávajících tuto funkci ve firmách v České republice. Spíše je možno se setkat se stroji mnohem menšími a to jak svými rozměry tak svou

produktivitou. V následujících dvou odstavcích je popsán výrobce a stávající dodavatel náhradních dílů.

Výrobce:

HFHN Maschines Sp.z o o.
ul. Pszczyńska 167
43-175 Wry
Polsko

Dodavatel náhradních dílů a servisní středisko:

HFHN Wood Engineering GmbH.
Rathausstrasse 12
665 57 Illingen
Německo

4.2.2 Použití v souladu s určením stroje a vstupní materiál

Stroj je dimenzován zvláště pro zpracování materiálu uvedeného v tab. 4.1 umístěné níže. Odlišné využití není doporučeno a je považováno za odlišné od určení stroje. Riziko nese uživatel, protože za škody vzniklé při zpracování odlišného materiálu výrobce neručí.¹⁵

Ve skutečnosti samozřejmě na rotory odkorňovače padají i silně znečištěné klády. Kmeny stromů nejsou umývány, proto je třeba počítat s hlínou a kameny, jež tvoří součást povrchu opracovávaného kmene stromu.

Tab. 4.1 Parametry vstupního materiálu¹⁵

Vstupní materiál	Dřevěné kmeny
Druh dřeva	Převážně borovice
Průměr materiálu	80 mm – 800 mm
Délka materiálu	1800 mm – 3200 mm

4.2.3 Technické údaje a náčrt stroje

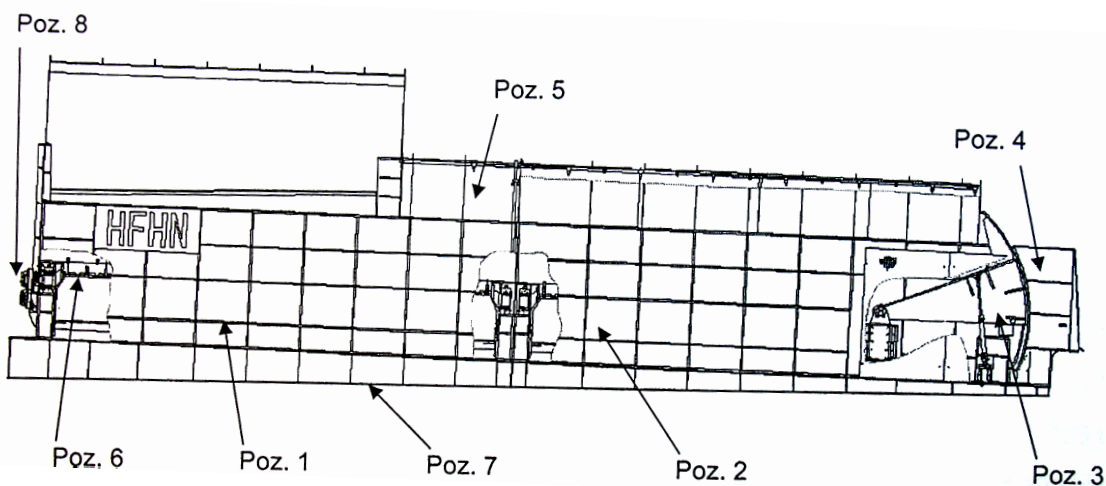
Technické údaje jsou vyvedeny do tabulky 4.2 a 4.3. Za povšimnutí lze považovat skutečnou hmotnost stroje, která činí 135 tun. Schematický náčrt stroje pak níže pod tabulkami.

Tab. 4.2 Odkorňovač WRD 800-2¹⁵

Otáčky rotoru	5 – 40 min ⁻¹
Výkon (prosazení)	40 t/h
Sklon	2°
Hmotnost úplného stroje	135 t
Úplné statické zatížení strojem	1 350 kN
Úplné dynamické zatížení strojem	3 375 kN

Tab. 4.3 Rotor¹⁵

Počet odkorňovačích výstupků (nožů)	90 / rotor
Délka rotoru	9 000 mm
Hmotnost rotoru včetně hydromotoru	8 465 kg
Hlavní pohon rotoru	2 x 75 kW
Napětí	400 / 690 V
Kmitočet	50 Hz

Obr. 4.2. Náskres stroje WRD 800-2¹⁵

Pozice-

1. Žlab 1 s nosníkem, hřebenovými segmenty a výplněmi
2. Žlab 2 s nosníkem, hřebenovými segmenty a výplněmi
3. Brána se zamykatelným plotem
4. Vynášecí šachta
5. Nástavby se zabudovanými rozstřikovači vody
6. Rotory vč. ložisek a pohonu
7. Klín
8. Hydraulika

4.2.4 Popis funkce stroje

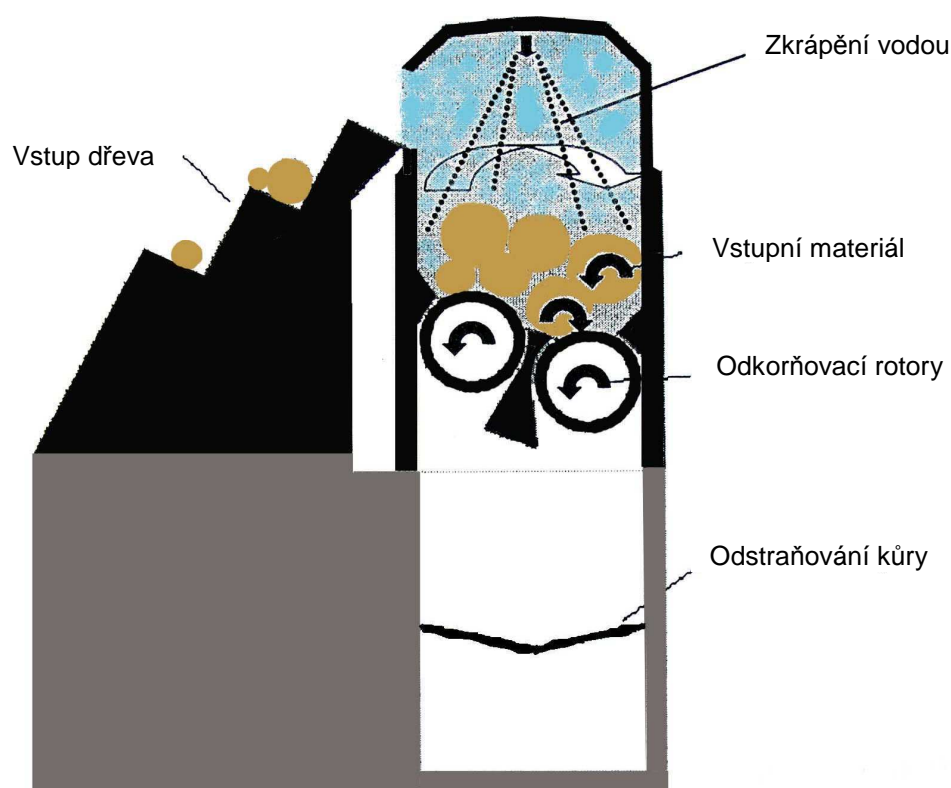
Vstupní materiál přivádí pracovník dopravníkem rovnoběžným s nápravou odkorňovače. Ve žlabu odkorňovače se nacházejí hydraulicky poháněné rotory osázené výstupky (noži odkorňovače), které uvádějí kmeny do rotačního pohybu. Odkorňovací proces spočívá v kombinaci přímého mechanického působení odkorňovačích nožů na kmeny, jakož i ve vzájemném odírání kmenů o sebe. Tento postup je podporován zkrápěním vodou zabudovaným do krytu stroje.¹⁵

Dopředný pohyb kmenů strojem se uskutečňuje díky náklonu stroje a umístěním nožů na rotoru do šroubovice. Doba pobytu kmenů v odkorňovači se dá pozměňovat pomocí brány. Pohybem brány se brání kmenům v opuštění stroje anebo se uvolňuje jejich vypouštění z něj. Výkon stroje (tzv. prosazení) popřípadě kvalita odkorňování se dá ovlivňovat těmito parametry:

- stupeň naplnění stroje
- otevření brány
- otáčky rotoru
- vstupní materiál
- **stupeň naostření nožů**¹⁵

Kůra vypadáva ze stroje na dopravní pás a je dále zpracovávána. Odkorněný materiál opouští stroj po dalším dopravníku.¹⁵

Stupeň naostření nožů lze považovat za jeden z nejdůležitějších faktorů kvalitního odkornění. V této studii je pojednáno právě o životnosti dílce, tzn. době, kdy je dílec dostatečně naostřený tak, aby pracoval s vysokou účinností. Dále o technologii výroby, která tuto životnost zaručí.



Obr. 4.3 Princip funkce odkorňovače¹⁵

4.3 Definování cílů a úkolů

Úkolem vrcholného managementu společnosti GOOS, s.r.o., s jejíž spoluprací tento projekt vznikl, je převzít dodávku náhradních dílů, tedy segmentů odkorňovače v plném rozsahu. Zároveň zlevnit výrobu a zvýšit kvalitu těchto nožů, jenž spočívá především ve zvýšení životnosti. Tyto faktory jsou pro společnost GOOS vysoce důležité, zejména z důvodu zvýšení své prestiže a pak také samozřejmě proto, že je třeba vytvořit oproti stávajícímu dodavateli konkurenční výhodu, tak aby mohl být obchod dojednán k plné spokojenosti zúčastněných stran.

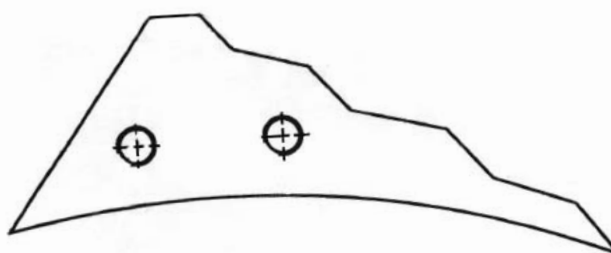
Cílem této studie je tedy navrhnout technologii na výrobu náhradního dílce s vysokou životností, s nižší prodejní cenou než stávající díl od

původního dodavatele a zároveň firmě přinést zisk. Jakým způsobem toho dosáhnout, to je účelem tohoto technického projektu.

Je nutné zmínit, že technické řešení nože odkorňovače je dlouhodobý proces, který se datuje do loňského roku a je sledován a dokumentován mou osobou už od počátku jeho vzniku. V následujících podkapitolách jsou zmíněny cesty, kterými se ubíral výrobní vývoj. Z hlediska ekonomického je třeba zdůraznit, že prioritní úkol je vyrábět stejně kvalitní nástroj jako konkurence za nižší výrobní náklady a tím nabídnout nižší cenu. Je nutné uspokojit zákazníka dobrou kvalitou, tak aby byl ochoten za ni zaplatit. Následně je žádoucí kvalitu zvyšovat, protože odběratel je nadnárodní společností, tudíž je zde potenciál na další obchodní jednání, pokud se nově navržená technologie v praxi osvědčí.

4.4 Nůž odkorňovače

Nejprve je nutno si popsat, jak nůž odkorňovače vlastně vypadá a zjednodušeně vysvětlit, jak je vyráběn. Jak již bylo zmíněno, nůž (někdy také nok) odkorňovače je segment, který se nachází na obvodu rotoru (válce) stroje. Povrch nože je jediná funkční plocha, díky které dochází k odkornění. Samotný nůž se skládá z matrice neboli základního materiálu, který je vyroben z ocelového plechu o šířce 2,5 cm jako výpalek. Po provedené povrchové úpravě na hřbetu nože je nůž připraven na pájení. Hřbet je nutno předeheat na stanovenou teplotu a poté nánosovým pájením vytvořit vrstvu s karbidickými zrny. Trvanlivost takto vyrobeného nože ve stroji se pohybuje mezi 6 – 9 měsíci, v závislosti na tom, ve které části rotoru je daný kus umístěn. Nože umístěné na vstupu jsou namáhány výrazně více, jelikož zde dochází i k výraznému dynamickému namáhání. Proto jejich trvanlivost je na samotné spodní hranici uvedeného rozpětí, oproti kusům umístěným u výstupní části. Následující obrázek ukazuje schematický náčrt základního materiálu. Přesné rozměry jsou zachyceny na výkresu, který je součástí studie jako příloha 2.



Obr 4.3 Schéma výpalku pro nůž

Pro názornost je uvedeno další foto na obr. 4.4. Zde je již nůž napájen a připraven k použití.



Obr. 4.4 Pohled na nůž odkorňovače

Další pohled je zaměřen na detail pájky a zrn karbidu. Lze si povšimnout nepravidelného uspořádání zrn karbidů, které je účelné.



Obr. 4.5 Detail umístění karbidických zrn v nanesené pájce

Pohled z boku pro úplnou představu, jak daný nok vypadá. Vyřezané díry slouží k upevnění segmentu na rotor stroje.



Obr. 4.6 Boční pohled na vyrobený nůž

Tato krátká fotodokumentace vypovídá o tom, že se jedná o poměrně jednoduchý nástroj. Ovšem výrobní cena jednoho takového kusu je poměrně vysoká. Nejdražší na celé výrobě je speciální pájka. Nejen o ní studie pojednává v následující kapitole.

5 POSTUP VÝVOJE TECHNOLOGIE VÝROBY NÁSTROJE

5.1 Předvýrobní analýza

Z předchozích kapitol je zřejmé, že cílem mé studie je nahradit stávajícího dodavatele nožů novým výrobcem v rámci České republiky. Nový výrobce měl splňovat požadavky na kvalitu a životnost výrobku a zároveň se pohybovat v cenové relaci, která měla být nižší než od stávajícího dodavatele.

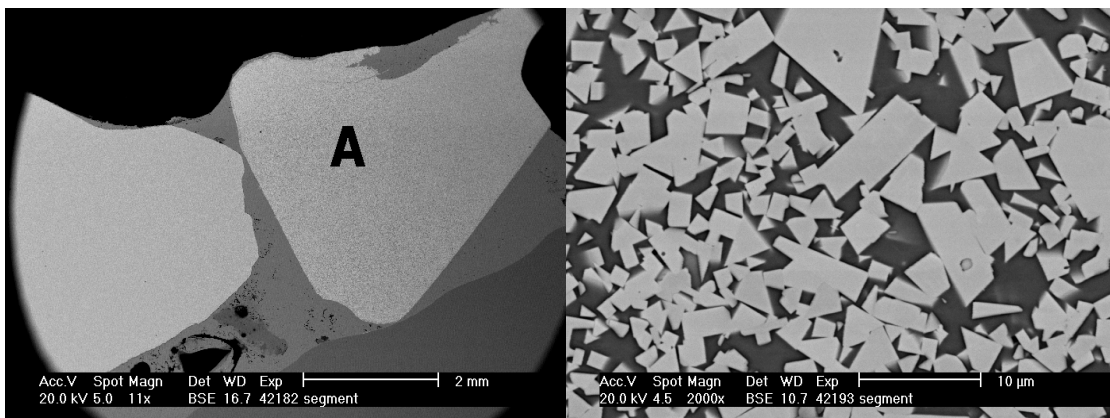
Byl získán původní originální nůž od zahraničního dodavatele, který posloužil pro rozbor materiálových charakteristik. Aby bylo zjištěno složení nože a mohla být provedena analýza, bylo přistoupeno ke spolupráci s VUT, s Ústavem materiálových věd a inženýrství. Byl udělán metalografický rozbor.

5.1.1 Metalografický rozbor

Nůž byl rozříznut a byl vyhotoven výbrus. Ten byl pod elektronovým rastrovacím mikroskopem podroben metalografickému rozboru, který určil přesné složení základního materiálu, použité pájky a zrn karbidů.

Na základě tohoto rozboru bylo zjištěno, že základní materiál nože je podeutektoidní ocel s obsahem uhlíku stanoveným odhadem ze struktury na 0,4% C. Byla zjištěna rovněž přítomnost základních prvků (0,75% Si a 1,4% Mn). Dále bylo zjištěno, že karbidická zrna, která jsou na pracovní části (na čepeli) nože nejsou stejně velká, jak je vidět na obrázku níže.

Zrno A – bílé částice jsou WC; tmavá fáze na bázi Co (14% Co; 86% W)

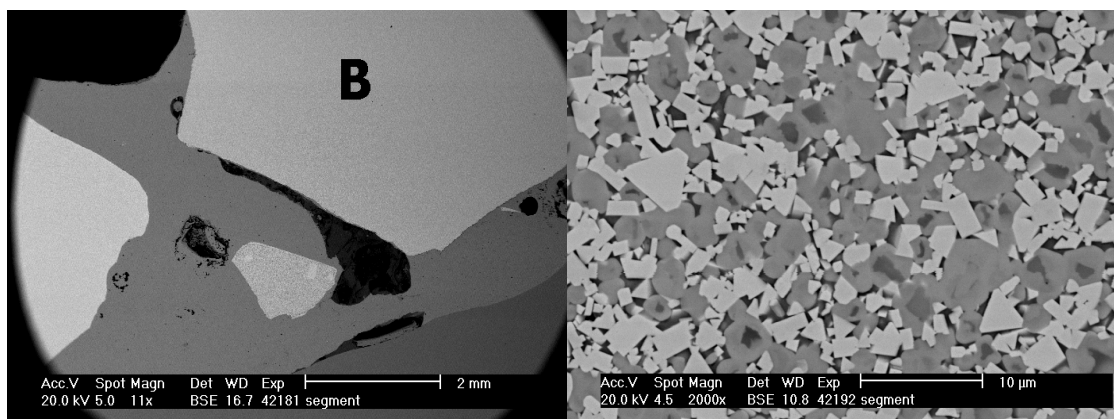


Obr. 5.1 Zrno A, zvětšeno 11x a 2000x.

Jednotlivá, okem viditelná zrna jsou sintrována a spékána z drobných karbidických frakcí o velikosti 2 – 5, někdy i 10 μm .

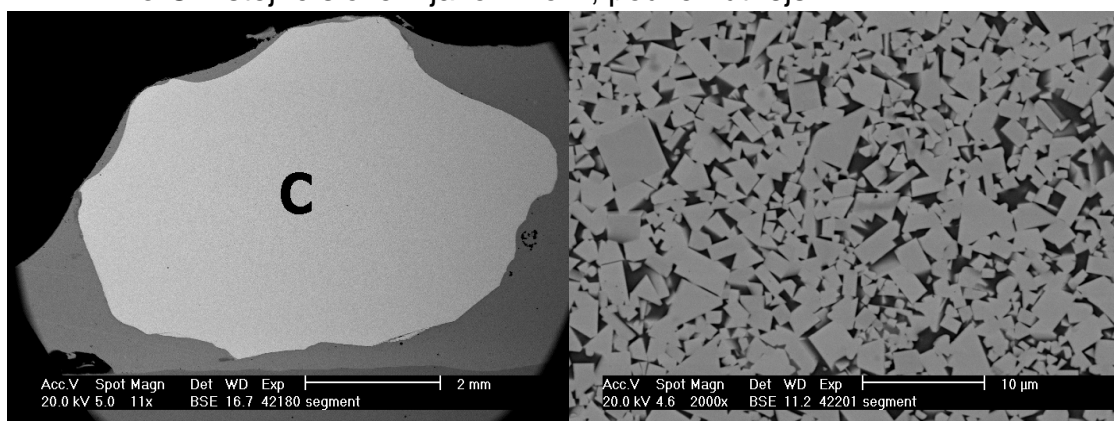
Při porovnání struktury zrna A a C (obr. 5.3) lze vidět, že zrno C je hutnější. Znamená to, že bude vykazovat vyšší tvrdost než zrno A. Důvodem je, že v zrnu C je menší obsah měkkého pojiva na bázi Co než u zrna A.

Zrno B – bílé částice jsou WC; šedé částice (TiW)C (12,66% Ti; 8,53% Co; 78,80% W), (obr. 5.2)



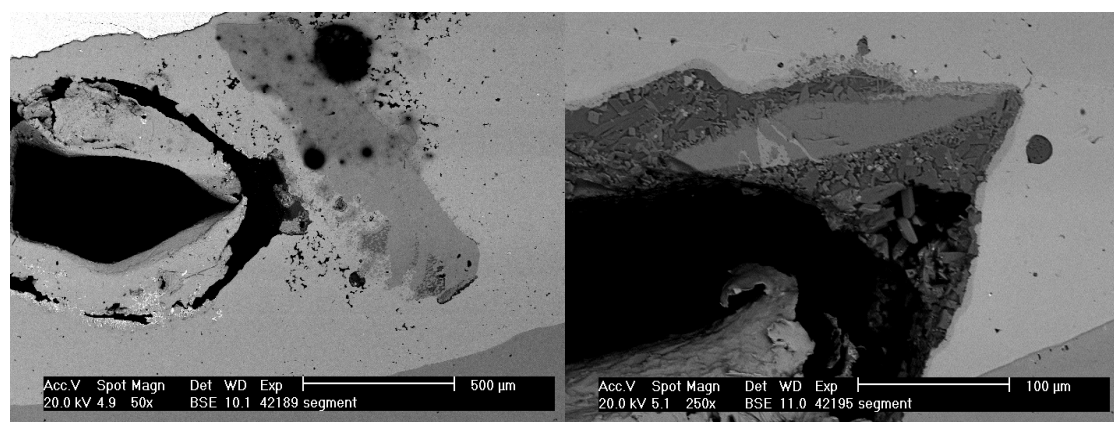
Obr. 5.2 Zrno B, zvětšeno 11x a 2000x.

Zrno C – stejné složení jako zrno A, pouze hutnější



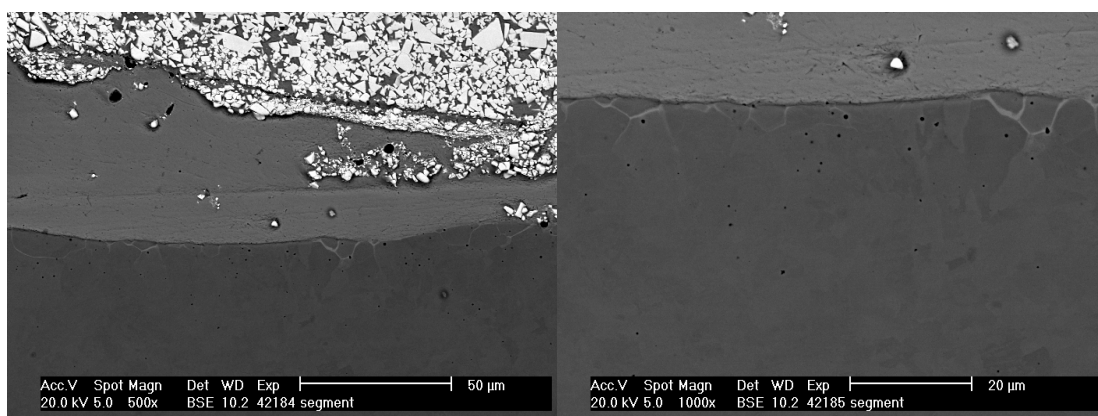
Obr. 5.3 Zrno B, zvětšeno 11x a 2000x.

Dále bylo zjištěno chemické složení pájky. Byl stanoven obsah prvků v hmotnostních procentech a to: 0,65% Fe; 11,22% Ni; 49,75% Cu; 37,39% Zn. Na obrázku 5.4 jsou vidět defekty, které jsou způsobené špatnou zabíhavostí pájky. Defekty obsahují oxidy Fe, Si a Zn.



Obr. 5.4 Defekty v pájce, zvětšeno 50x a 250x.

Na rozhraní pájka – kov je vidět, že dochází k částečné difúzi mezi pájkou a kovem po hranicích zrn.



Obr. 5.4 Difúze mezi pájkou a zákl. materiálem, zvětšeno 500x a 1000x.

5.1.2 Tvrdość zrn

Dále bylo provedeno měření tvrdosti karbidických zrn v pájce. Karbidy wolframu jsou velmi tvrdé materiály, proto byla provedena zkouška tvrdosti podle Vickerse dle ČSN EN ISO 6507-1 HV 5. Výsledky měření jsou zpracovány do tabulky.

Tab. 5.1 Tvrdość zrn wolframkarbidu

Počet měření	1	2	3	4	5
Tvrdość HV 5	1719	1730	1778	1719	1756

Tato hodnota vyjadřuje tvrdost částic karbidů v makroobjemu. Makrotvrdość je plošným vyjádřením hustoty karbidů a pojivové složky. Pokud by byla měřena mikrotvrdość zrn, potom by naměřené hodnoty dosahovaly přes 2000 HV.

5.2 Výstup z předvýrobní analýzy

Na základě provedeného rozboru a zkoušky tvrdosti byl po konzultaci s vedoucím mé studie vybrán přídatný materiál. Při hledání byla orientace zaměřena na pájku, která bude mít požadované vlastnosti jako originál. Tedy dobrou požadovanou pevnost při pracovní teplotě stroje. Důvodem je nutnost „udržet“ karbidická zrna v pájce tak, aby nedocházelo k vylamování zrn při jejich pracovním zatížení. Dále dobrou přilnavost a smáčivost pájky, aby byla zaručena pevnost pájeného spoje. Samozřejmostí muselo být, že zrna wolframkarbidu budou součástí pájky.

Parametrům, které byly a nadále jsou požadovány na přídatný materiál, vyhovuje mosazná pájka od firmy Zander Schweisstechnik pod názvem Durit CS G. Proto byla pro výrobu nožů zvolena.

Tato pájka se používá pro nánosové tvrdé pájení povlaků, které jsou odolné v těžkých podmínkách abraze. Jde o speciální tyče s vloženými zrny wolframkarbidu. Kromě použití v odkorňovacím průmyslu nachází uplatnění např. při pancéřování vrtných korunek pro hlubinné vrty a sondy, čelní frézy

dobývacích strojů atd. Teplota tání pájky je 915 °C, teplota solidu pájky je 905 °C a pevnost matrice v tahu za normálních podmínek (20 °C) deklaruje výrobce 510 N/mm², což je způsobeno zvýšenou přítomností niklu, který pevnost i houževnatost pájky zvyšuje. Další velice kladná vlastnost je excelentní smáčivost pájky. Těmito vlastnostem odpovídá i cena pájky, o které je krátce zmíněno v ekonomickém zhodnocení. Tyče se dodávají v délce 350 mm. Dále je možno si zvolit velikost zrn wolframkarbidu. V pájce mohou být zrna o rozměrech 1,6 – 3,0 / 3,0 – 4,7 / 4,7 – 6,0 / 6,0 – 8,0 / 8,0 – 12,0 (mm). Tyč se skládá z cca 65 % zrn wolframkarbidu a 35 % matrice. Výrobce deklaruje tvrdost zrn wolframkarbidu 2600 HV (mikrotvrdost zrna) a tvrdost matrice 74 HRB. V tab. 5.2 je uvedeno chemické složení nanesené pájky, na obr. 5.5 foto pájky ve stavu, v jakém přijde od dodavatele. Materiálový list pájky je součástí studie, uveden je jako příloha 1.¹⁶

Tab. 5.2 Chemické složení pájky¹⁶

Prvek	Cu	Ni	Si	Zn
Chem. složení [%]	48	10	0,1	zbytek (cca 42)



Obr. 5.5 Pájka Durit CS G

Jako základní materiál byla vybrána konstrukční ocel 11 523 (číslo normy jakosti ČSN 41 1523). Obsah uhlíku je maximálně 0,2% C, zaručená tavná svařitelnost a běžně se používá např. na mostní a jiné svařované konstrukce namáhané staticky i dynamicky, tlakové nádoby, tlaková potrubí.¹⁷

V poslední fázi bylo nutné najít společnost, která by byla technologicky schopná „spojit“ základní materiál s přídatným tak, aby vznikl kýžený výsledek. Po analýze trhu a konzultaci se superviselem projektu byla vybrána česká společnost Wirpo, s.r.o, která se zabývá problematikou svařování, návarů a povrchových úprav.

5.3 Výroba prvních kusů

Ačkoliv bylo zmíněno, že nástroj vypadá více či méně jednoduše, výroba je o to složitější. Tvar základního materiálu byl převzatý z původně dodávaného dílce. Jeho výkresová dokumentace byla k dispozici a byla postoupena společností Kronospan.

Nyní k samotné výrobě nože. Každý jednotlivý kus je zbaven povrchových nečistot, odmaštěn a tryskán křemičitým pískem. Vlastní pájení probíhá ručně zaškoleným páječem za použití tavidla a s potřebnou hygienou

práce. Je třeba ještě zmínit, že tento typ nánosového pájení je v republice zcela unikátní. Žádná jiná specializovaná firma není schopna podobnou technologii použít. Nicméně po vyrobené první vzorové sérii vyvstal velký problém, který bylo nutno urychleně vyřešit.

První kusy nasazené do stroje byly po dvou měsících reklamovány a vráceny. Důvodem byla velice nízká životnost noků v oblasti na vstupu materiálu. Naznačeno na obr. 5.6.



Obr. 5.6 Oblast rychle opotřeбенých nožů (pohled shora)¹⁵

Šlo o to, že docházelo k předčasnému opotřebení jednotlivých noků a nástroj přestával být funkční. Při bližším ohledání reklamovaných kusů bylo zjištěno, že docházelo k „odlupování“ celých ploch pájky i se zrna wolframkarbidu od základního materiálu. Je jasné, že takto „opotřeбенý“ kus se stal nefunkční a musel být vyměněn. Z analýzy pak šlo také vypožorovat, že karbidická zrna byla na některých místech z pájky vylomena či byla rozštípnuta. Viditelná koroze na obr. 5.7 jen podtrhuje úvahu o oddělení celé vrstvy pájky.

Došlo tedy k situaci, kdy nože nebyly schopny odolat vysokému dynamickému zatížení při vpadu materiálu na rotor.



Obr. 5.7 Reklamované kusy, příklad špatně provedeného pájení

Výsledek zkoumání jednoznačně ukazoval na špatnou přilnavost pájky k základnímu materiálu. Na některých místech nedošlo ke spojení pájky a základního materiálu vůbec. Pevnost spoje tudíž byla téměř nulová a to mělo


za následek již zmíněné odlupování celých ploch s nanesenými karbidy. Situace vyžadovala rychlé objevení příčiny a sjednání nápravy.

5.4 Zvýšení jakosti nože

Pro zvýšení jakosti bylo třeba nejdříve identifikovat příčinu. V podstatě lze říci, že se technický problém řešil formou brainstormingu. Hledala se příčina v použité pájce, v použitém základním materiálu a samozřejmě tavidle. Zde problém nebyl zjištěn, protože teorie danou kombinací „nezakazuje“. Chyba musela být nutně v samotné technologii pájení. Brainstormingovou úvahou v rámci zúčastněných stran bylo rozhodnuto, že technický problém byl způsoben chybou lidského faktoru, což se následně také potvrdilo. Odlupování vrstvy pájky bylo způsobeno vznikem tzv. studeného spoje (obr. 5.7). Tato vada vznikne v případě nedostatečného ohřevu základního materiálu na předepsanou teplotu předehřevu. Pokud je materiál přehřát na vyšší teplotu, zvyšuje se oxidace povrchu a dochází ke zvýšenému rozkladu tavidla, což způsobuje zvýšení povrchového napětí a nárůst kontaktního úhlu pájky. Bylo tedy bezpodmínečně nevyhnutelné zvýšit důraz na technologickou kázeň pracovníka provádějícího pájení. Obzvláště pak striktně dodržovat teplotu předehřevu základního materiálu a pracovní teplotu pájky. V konečném návrhu technologického postupu byl změněn typ tavidla. Jako účinnější varianta bylo shledáno tavidlo plynné, které je schopno částečně eliminovat chyby páječe právě při předehřevu základního materiálu.

Dílce, u kterých se zvýšil důraz na technologickou kázeň, nevykazovaly průvodní problém s odloupenou pájkou. Pájený spoj byl pevný. Tím se tedy potvrdilo, že při řešení technického problému bylo přijato správné rozhodnutí. Takto vyrobené dílce splňují nároky na kvalitu i potřebnou životnost. Konečný sestavený návrh technologického postupu je předložen na následující straně a je důležitou součástí studie.



Tab. 5.1 Navržený postup nánosového pájení

Druh pájení :	nánosové pájení	
Kvalifikace :	zaškolený páječ	
Postup:	<ul style="list-style-type: none"> - plocha pro nanesení pájkou je zbavená mechanických nečistot a odmaštěná / otryskaná - nepřehřívat základní materiál, pájka se pak s ním nespojí a dojde ke studenému spoji - nepřehřívat lázeň s roztavenou pájkou, dochází k výraznému propalu zinku a segregaci dalších komponentů pájky - při dodržení pracovních teplot dojde ke správnému smáčení povrchu pájkou a dobrému kotvení zrn wolframkarbidu - pracoviště na kterém se budou tyto práce konat musí mít zajištěnou nucenou ventilaci, páječ bude vybaven příslušnými OOP (kukla s nucenou ventilací) - polohu zrn WC lze v lázni upravovat kovovou tyčí - pájenou vrstvu a nálety oxidů na bocích očistit drátěným kartáčem - v případě přetečení pájky přes hrany (na boky) - nutno očistit 	
Základní materiál	11 523	
Přídavný materiál	Durit CS G zrno 4,7-6,0 mm	žluté značení
Způsob ohřevu	plamen, kyslík-acetylén	redukční až neutrální plamen, hořák GCE č. 6, max. tlak na redukčním ventilu kyslík – 0,15-0,2 bar, acetylen – 0,2 bar
Pracovní teplota	cca 920°C	nepřehřívat lázeň
Solidus,likvidus	905°- 915°C	interval 10°C
Tavidlo	plynné	EN 1045 – FH - 21
Předeheřev	základní materiál na 500°C	nepřehřívat základní materiál
Ochlazování	volně na vzduchu	nechladit vodou

Technologický postup dle normy ČSN EN 13 134 podle TDS Brno – SMS, s.r.o. (Technický dozorčí spolek – Sekce materiálů a svařování) je uveden na následující straně a tvoří součást studie jako příloha 3.¹⁸

Specifikace postupu pájení „BPS“ dle ČSN EN 13 134

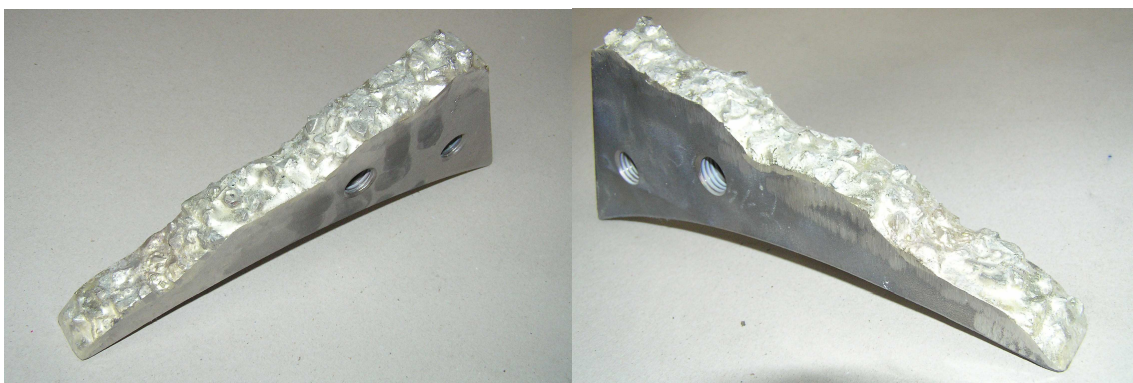
Strana: 1
Počet stran: 1
Revize č.: 1

<p>1. Výrobce : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie Technická 2896/2 616 69 Brno</p>	<p>16. Zkušební organizace : TDS Brno – SMS, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 Brno</p> <div style="text-align: right;">  </div>				
2. Místo : Brno	17. Způsob přípravy spoje :				
3. Číslo dokladu (BPS) : —	18. Čištění před pájením : Odmaštění, otryskání				
4. Číslo BPAR : —	19. Čištění po pájení : Kartáčování				
5. Číslo zkušebního kusu : —	20. Vnitřní čištění (pročištění) : —				
6. Kvalifikace páječe : Zaškolený páječ	21. Přídavný mater.- pájka – forma : Tyčinka				
7. Proces pájení : Nánosové pájení	– typ : Durit CS G				
8. Základní materiál 1 : 11 523 (ČSN 41 1523)	– způsob vkládání pájky do spoje : Nánosové pájení				
9. Základní materiál 2 : —	– místo uložení pájky ve spoji : Hřbet zákl. mat.				
10. Pájená tloušťka stěny [mm]: 10	22. Tavidlo – forma : Plynné				
11. Průměr trubky (tyče) [mm]: —	– typ : EN 1045 – FH – 21				
12. Tvarovka – označení, jakost (T-kus, nátrubek) : —	– způsob vkládání tavidla do spoje : Mísením se směsí plynu a kyslíku				
	– místo uložení tavidla ve spoji : Vyloučení oxidu boritého na povrchu				
13. Tepelné zpracování před : a po procesu pájení : —	23. Měření teploty (kontrola a nastavení sond) : —				
14. Podrobné stanovení přípravků a uchycení : —	24. Časový průběh teplot při pájení : Pracovní teplota 920 °C Solidus – Likvidus pájky 905 – 915 °C				
15. Konstrukční návrh spoje Teplota okolí [°C] : 20 Mezera ve spoji – při teplotě okolí : [mm] – při teplotě pájení :	25. Velikost / číslo hořáku : Hořák CGE č. 6				
	26. Výhřevný plyn (typ, tlak) : Acetylen; 0,2 bar				
	27. Oxidační plyn (typ, tlak) : Kyslík; 0,15 – 0,2 bar				
	28. Druh plamene : Neutrální plamen				
	29. Předehřev před pájením : Zákl. mat. na 500 °C				
	30. Zdroj energie (typ, parametry) : —				
	31. Indukční cívka (konstr. návrh) : —				
	32. Konstrukční návrh elektrod : —				
	33. Nastavení zařízení (tlak elektrod, proud, čas) : —				
	34. —				
	35. Atmosféra (typ, čistota, parametry), proudění : —				
	36. Tlak vakua : —				
	37. Plyn pozadí (typ, tlak) : —				
	38. Složení lázně : —				
	39. Č.pozice	40. Materiál	41. Výrobce, rozměr	42. Počet kusů	43. Norma
45. Další podmínky a poznámky :					
<i>Terminologie v Angličtině a Němčině viz druhá strana, „English“ on second side, „Deutsch“ siehe Rückseite</i>					
46. Výrobce VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie Technická 2896/2 616 69 Brno.			48. Zkušební orgán nebo technická dozorčí (inspekční) organizace		
47. ----- datum, jméno, podpis a razítko svářečského dozoru			49. ----- datum, jméno, podpis a razítko zkušebního orgánu		

Obr. 5.8 Technologický postup dle normy ČSN EN 13 134

Při takto naplánované výrobě je třeba splňovat nutné hygienické předpisy. Zaměstnanec je proto vybaven kromě pracovního oděvu a rukavic také celohlavovou svářečskou helmou s automatickým zatmíváním průzoru a filtrací vstupního vzduchu přes částicový filtr. Vzhledem k nežádoucím účinkům chemických prvků, které se v průběhu práce uvolňují, je nutná zvýšená ochrana dýchacích cest. Proto je nutné, aby pracovník použil ochrannou kuklu s přetlakem vzduchu. Nad pracovním pultem je nutno instalovat odsávání. Nošení ochranné kukly ztěžuje pracovníkovi dýchání, proto jsou doporučovány poměrně časté přestávky.

Při pájení se zrna usazují manuálně nerezovou kulatinkou tak, aby co nejlépe plnila svou funkci. Při přetečení pájky přes okraj hřbetu nože, je nutné začištění, které se provádí až po ztuhnutí. Zachištění probíhá malou flexkou. Povrch se očistí drátěným kartáčem a kus je připraven k použití. Výroba jednoho kusu trvá řádově 15 – 25 minut v závislosti na zručnosti pracovníka. Nutná kvalita a dodržení postupu stojí na prvním místě. Většina pracovníků napájí přibližně 5 kusů a poté následuje půlhodinová přestávka.



Obr. 5.8 Bezchybně vyrobený nůž



Obr. 5.9 Zleva: Chybně vyrobený nůž, kvalitně vyrobený nůž, opotřebený nůž

Na obr. 5.9 je vidět, jaký je mezi noži optický rozdíl. Na noži nalevo je málo pájky, z důvodu přehřátí se jí nepodařilo pracovníkovi nanést, neměla potřebnou přilnavost. Nůž napravo je opotřebený, lze si všimnout výrazného opotřebenění na vyvýšených plochách nože. Detail je znázorněn na obr. 5.10.



Obr. 5.10 Zleva: Kvalitně vyrobený nůž, chybně vyrobený nůž, opotřebený nůž.

5.5 Shrnutí stávající technologie výroby

Navržená technologie výroby dává nástrojům potřebné parametry životnosti. Sledování procesu opotřebení je dlouhodobá činnost. Odkorňovač je stroj, který běží 24 hodin denně a odstávka stroje je jednou měsíčně. Tudiž je velmi náročné tento proces pozorovat. V současné době je v místě největšího dynamického namáhání, tedy na vstupu materiálu, životnost vyrobeného noku 7 měsíců. Požadavek na životnost zněl 6 – 9 měsíců. Předpoklad byl, že 6 měsíců vydrží nože v nejméně namáhaném místě a horní hranice intervalu je určena pro noky, které jsou umístěny u výstupu materiálu. Lze tedy říci, že zákazník je uspokojen. Ale, jak již bylo zmíněno, je zde další potenciál v podobě dodávek těchto náhradních dílců do zahraničních závodů Kronospanu. Protože pokud je objevena technologie, která je funkční a je nákladově levnější, tak pak je konkurenční výhodou na straně dodavatele. Přesto je třeba bádát dál a zákazníka uspokojit buď životností ještě vyšší, aby mohlo dojít i k obchodu na mezinárodní úrovni, nebo naopak hledat cestu, jak navrženou technologii zlevnit a prodávat s vyšším ziskem. Zajistit odbyť pro svoje výrobky ve větším objemu je přirozeně ziskovější.

5.6 Inovativní návrhy na technologii výroby nože

Vyřešením technického problému a vyladěním jakosti výroby na potřebnou úroveň experimentální bádání na tomto nástroji tedy nekončí. Z analýzy opotřebených kusů vyplývá, že k maximálnímu stupni opotřebení dochází u většiny noků na jejich patě, či na vyvýšených plochách, které vznikají v důsledku tvaru základního materiálu. Dále u mála některých opotřebených nožů lze pozorovat uštípnutý karbid nebo dokonce vylomený z pájky. Tato pozorování nasměrovala úpravu technologie výroby na vyladění činné plochy několika směry. O nich je pojednáno v následujících podkapitolách.

5.6.1 Změna geometrie nástroje

Z hlediska rozboru opotřebení a tvaru nože byla optimalizována činná plocha z důvodu nerovnoměrného opotřebení. Největší opotřebení bylo

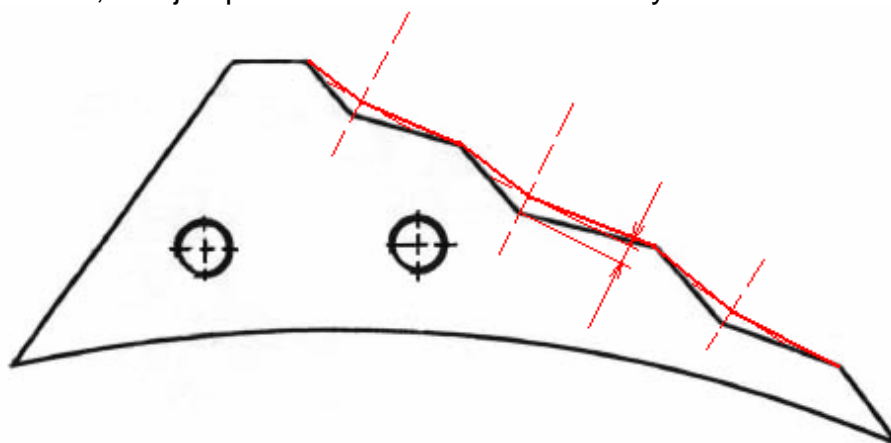
pozorováno na patě nože, zatímco na špičce nože bylo v některých případech téměř zanedbatelné. Dále zvýšené opotřebení bylo zaznamenáno na vyvýšených místech reliéfu základního materiálu. Bylo tedy přistoupeno k úpravě funkční plochy nože.

Na obr. 5.11 je foto skutečného opotřebeného kusu, lze si povšimnout zvýšeného opotřebení na patě, které je až do základního materiálu a zároveň také, že níže posazená místa v reliéfu činné plochy jsou na výrazně nižším stupni opotřebení.



Obr 5.11 Opotřebený nůž

Účelem úpravy bylo vyrobit méně reliéfovaný profil, který by umožnil větší participaci celé činné plochy nože do procesu odkorňování. Toho se dosáhlo „zvýšením“ nejnižších míst profilu o 5 mm. Pro názorné vysvětlení slouží obr. 5.12, kde je úprava znázorněna schématicky.



Obr. 5.12 Schéma úpravy geometrie základního materiálu, zakótovaná vzdálenost značí 5 mm

Bylo tedy rozhodnuto o výrobě první série u dvaceti takto pozměněných noků. Tyto nože s takto upraveným základním materiálem jsou dnes již vyrobeny a na konci dubna roku 2008 vsazeny do rotoru. Vyhodnocení jejich životnosti a funkčnosti již není součástí této studie, avšak z logiky věci vyplývá, že pokud je vyrovnán reliéf, zvětší se činná plocha nože. Tudíž na práci odkorňování se bude podílet téměř celá plocha hřbetu nože a tím dojde ke snížení zatížení na celý hřbet nože. Opotřebení by tedy mělo být nižší, čímž bude docílena vyšší životnost. Takto upravené noky by měly tedy vyšší

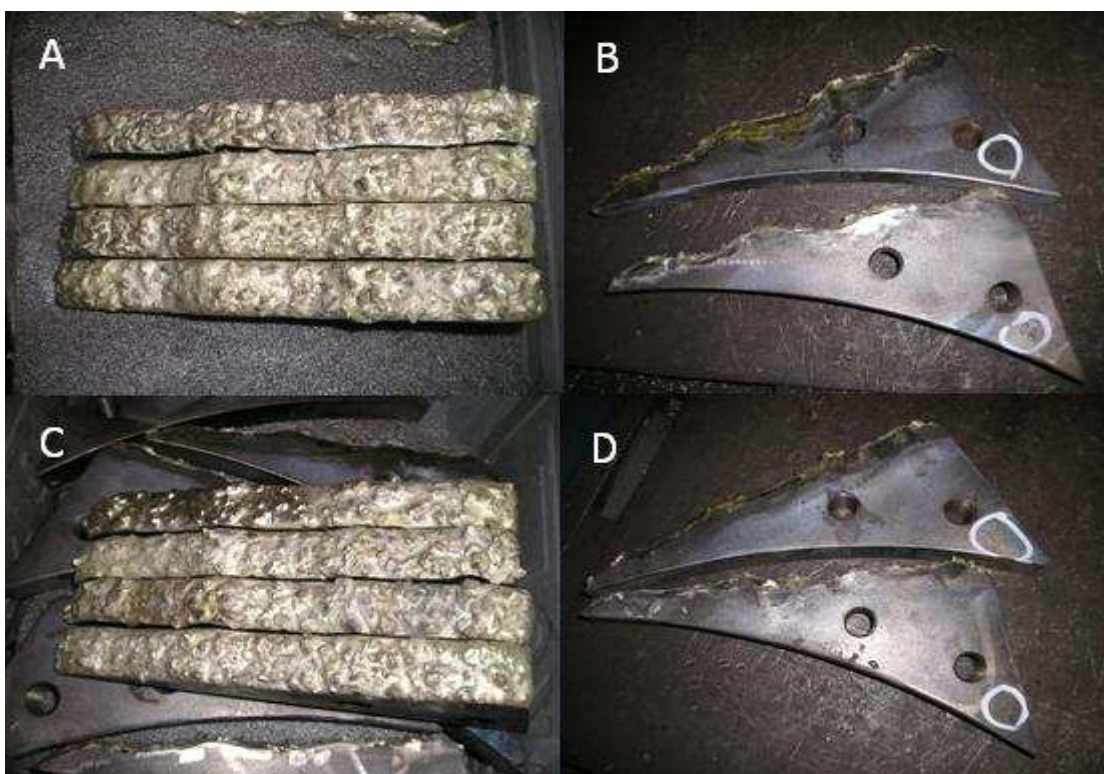
trvanlivost za stejnou cenu. Vyhodnocení a rozbor bude možno provést nejdřív v podzimních měsících letošního roku. Tam se tato hypotéza buď potvrdí či nikoliv. Na následujícím obrázku je takto vyrobený kus.



Obr. 5.12 Nůž s upraveným základním materiálem

5.6.2 Změna zrnitosti karbidu

Za další technologickou inovaci a změnu technologie lze považovat změnu velikosti zrna wolframkarbidu. Z materiálového listu pájky (příloha č. 1) je patrné, že výrobce dodává pájku s několika rozsahy velikostí zrna. Předpoklad byl, že pokud zasadíme do pájky zrno menší velikosti, nebude tolik náchylné na vylamování i na uštípnutí. Na druhou stranu je třeba počítat s nižší účinností, což je rozhodně nevýhoda. Bylo zvoleno zrno o velikosti v rozsahu 3,0 – 4,7 mm.



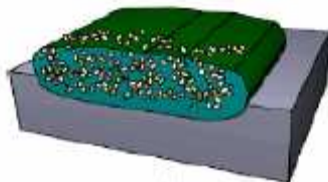
Obr. 5.13 A, B – Menší zrno, stávající tvar; C, D – Menší zrno, nový tvar zákl. mat.

Takto napájené nože jsou už rovněž v provozu od konce dubna. Jedna sada byla napájená na stávající tvar, druhá na inovovaný, méně reliéfovaný tvar, jak je vidět na obr. 5.13. Poznatky bude možné zpracovat opět ke konci tohoto roku.

5.6.3 Návary karbidických zrn

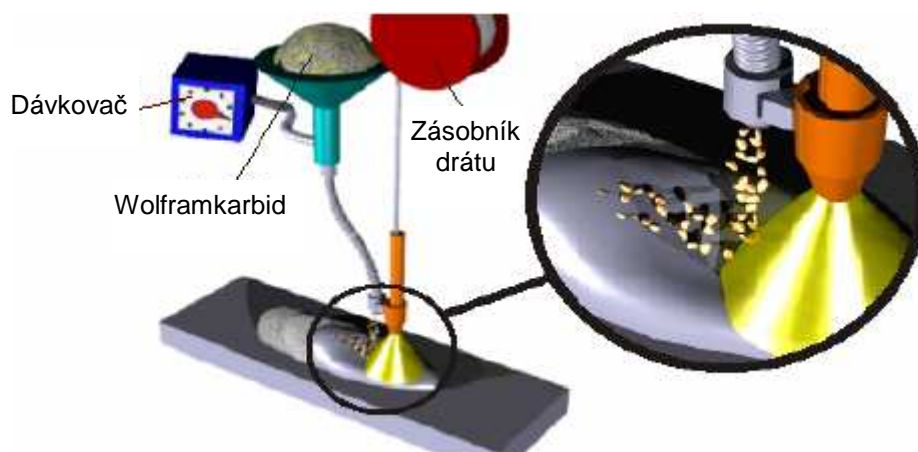
Další inovací nebo lépe řečeno možností výroby je úplná změna technologie. Po konzultaci ve společnosti Wirpo bylo přistoupeno k možnosti danou funkční vrstvu na hřbet odkorňovače navařit. Základní materiál 11 523 zaručuje dobrou svařitelnost, takže není nutné měnit výchozí polotovar.

Tato technologie je velice progresivní a přináší s sebou několik výhod. Martenzitická matrice návaru je tvrdá, dosahuje tvrdosti až 68 HRC, je odolnější oproti opotřebení a má větší schopnost udržet karbid wolframu při dynamickém namáhání. Naopak zde vyvstává problém se zrnitostí karbidických zrn. Tato technologie je prozatím ve fázi výzkumu a není možné ji plnohodnotně popsat a vysvětlit. Zjednodušeně lze říci, že zrno wolframkarbidu se dodává externě do roztavené svarové lázně. Takto navařené nože již jsou vyrobeny, nicméně se zrnitostí karbidů do 2 mm, což nestačí na splnění funkčnosti. Do budoucna je s touto technologií počítáno, protože může výrazně zvýšit životnost nástroje a překvapivě i snížit výrobní náklady. Životnost nástroje prodlouží tvrdší matrice a také to, že zrna karbidu jsou v celém průřezu svarového spoje, nikoliv pouze na povrchu.¹⁴



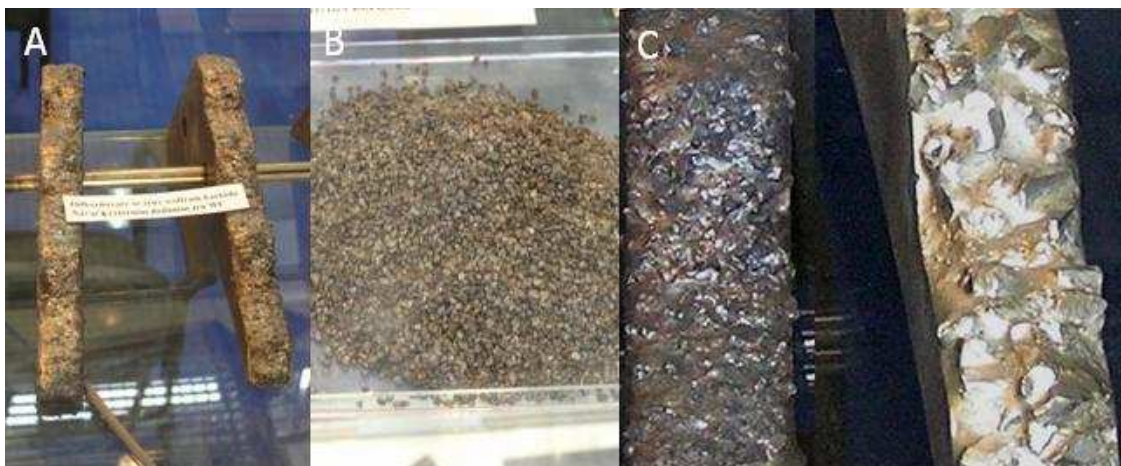
Obr. 5.14 Karbidická zrna v celém průřezu svarového spoje¹⁹

Na následujícím schématu je znázorněna technologie návaru karbidických zrn. Stavitelný dávkovač reguluje kolik zrna se do svarové lázně externě přidá. Svařování probíhá metodou MAG.



Obr. 5.15 Návary karbidických zrn¹⁹

První vyrobené kusy jsou prototypy a s jejich nasazením do stroje se nepočítá. Nicméně práce na výrobě kusů s větší zrnitostí wolframkarbidu pokračuje.

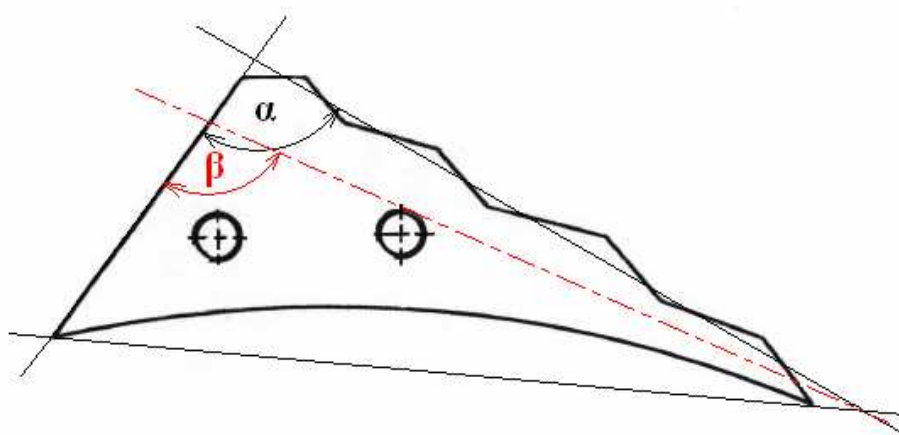


Obr. 5.16 A – nože s návarem zrn wolframkarbidu; B – zrno použité při výrobě (zrnitost 2 mm); C – srovnání navařené a pájené vrstvy

5.6.4 Změna úhlu paty nože

Je třeba předeslat, že tato změna je zatím ve fázi pouze úvah a náčrtů. Není nutno proto zacházet do přílišných detailů. Předpokladem je, jak bylo zmíněno v podkapitole 5.5.1, že k největšímu opotřebení dochází na patě nože. Je tedy zřejmé, že zde působí na nůž největší tlakové zatížení. Úvaha tedy vychází z myšlenky, že pokud by byl úhel na patě nože větší, tlaková síla by se rozložila na složky o menší velikosti a tím by se do záběru dostala větší část činné plochy nástroje.

Na obrázku níže je tato úvaha znázorněna pomocí úhlu α , který znázorňuje stávající stav, a úhlu β , jenž znázorňuje možný budoucí tvar nože.



Obr. 5.17 Návrh na změnu úhlu paty nože

Je počítáno s tím, že první prototypové nože s touto úpravou základního materiálu by mohly být nasazeny ke konci roku 2008.

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Úvodem této kapitoly je třeba zmínit, že ekonomické zhodnocení v tomto pojednání má pouze informativní úlohu, nerozhoduje o tom, zda zavést navrženou technologii do výroby či přijmout nějakou inovaci. Zhodnocení popisuje stav, kterého bylo dosaženo ve vztahu k zákazníkovi díky navržené technologii výroby nože odkorňovače popsané v páté kapitole.

Vraťme se na začátek do doby, kdy bylo třeba řešit poptávku klienta. Klientem je zde v tomto případě společnost Kronospan. Dodavatelem náhradního dílce je společnost GOOS, spol. s r.o., která spolupracuje na výrobě spolupracuje se společností Wirpo, s.r.o., jenž zajišťuje nánosové pájení wolframkarbidů, a blíže nespecifikovanou prostějovskou strojírnu zajišťující dodávku základního materiálu. Cílem studie je uspokojit zákazníka kvalitou vyrobených nožů, inovacemi a zlepšováním podporovat potenciál dalšího obchodu. V neposlední řadě také zajistit, aby byl vyrobený nůž prodáván s co nejvyšší.

Výchozí pozice byla již popsána, ale nastavené cenové hladiny nikoliv. Původní nákupní cena, za kterou byl odebírán náhradní díl od původního výrobce, byla 130 €. Cíl byl tedy specifikovaný jasně. Nabídnout nižší cenu než stávající a z uskutečněného obchodu vytvořit adekvátní zisk.

6.1 Zjednodušený postup určení prodejní ceny

V početní úvaze jsou rozvedeny pouze položky, se kterými bylo kalkulováno. Přesná čísla zůstanou zahalena obchodním tajemstvím. Ovšem konečná prodejní cena je uvedena samozřejmě skutečná. Nejprve tedy začneme u firmy, která zabezpečuje výrobu výpalku, dále společnost, zabezpečující pájení a následně dodavatelský transport konečnému zákazníkovi.

Tab. 6.1 Zjednodušený postup pro určení prodejní ceny

Pracovní výstup	Výpalek	Pájení karbidických zrn	Expedice
Kalkulované jednotkové náklady na:	<ul style="list-style-type: none"> - polotovar - pomocný materiál - energie - mzdy pracovníka - konečnou úpravu (apretura) - transport - marže 	<ul style="list-style-type: none"> - přídavný materiál (pájka) - pomocný materiál - energie - mzdu pracovníka - transport - marže 	<ul style="list-style-type: none"> - transport - konečná marže

Předchozí tabulka informativně nastiňuje s jakými náklady jednotlivé firmy kalkulovaly na jejich prodejní cenu. Prodejní resp. nabídková cena je tedy tvořena součtem nákupních cen od jednotlivých dodavatelů, dále vlastních nákladů firmy GOOS spojených s logistikou, a konečnou marží. Na velikosti konečné marže se odráží finální zisk. V rámci zachování obchodního tajemství konečnou marži nelze uvést. Pohybuje se ovšem ve standardních relacích dnešního strojařského trhu.

Výsledná prodejní cena, za kterou byl nůž nabídnut je 1.920,- Kč. Nabídka byla zákazníkem akceptována.

6.2 Přínos pro firmu Kronospan

Z již uvedeného jednoznačně vyplývá, že přínosem je nižší nákupní cena požadovaného dílce a dodržení předepsané životnosti. Danou jakost je důležité nadále dodržovat. Důvodem je, jak bylo zmíněno v podkapitole 5.4, potenciál dalšího odbytu v zahraničních závodech, kde jsou umístěné stejné odkorňovače.

Úspory, které to přineslo zákazníkovi lze vyjádřit v následujících početních úvahách. Pro přepočítání původní ceny na české koruny budeme uvažovat, že 1 € stojí 25.3,- Kč. Potom dostáváme:

- Přepočítání původní ceny v EUR na české koruny

$$130 \text{ EUR} \times 23,5 \Rightarrow 3.289,- \quad (6.1)$$

- Procentuální vyjádření nové ceny oproti původní

$$(1.920,- \div 3.289,-) \times 100 \Rightarrow 58 \% \quad (6.2)$$

Nákupní cena pro společnost Kronospan je na 58 % původní ceny, neboli na jednom kusu společnost ušetří 1.369,- Kč. Tato úspora je v dnešním světě výrazná.

- Roční spotřeba nožů

Je uvažována devítiměsíční životnost nástroje. Při uspokojení poptávky Kronospanu, která čítá 900 kusů k naplnění stroje, je spotřeba nožů odkorňovače 900 kusů za 9 měsíců. Spotřeba na rok je tedy:

$$(900 \div 9) \times 12 \Rightarrow 1.200 \text{ ks / rok} \quad (6.3)$$

- Roční úspora nákladů na náhradní nože

$$1.369,- \times 1.200 \Rightarrow 1.642.800,- \text{ Kč / rok} \quad (6.4)$$

- Měsíční úspora nákladů

$$1.642.800,- \div 12 \Rightarrow 136.900,- \text{ Kč / rok} \quad (6.5)$$

Disponuji informací, že minimálně tři další podobné závody v Evropě jsou vybaveny odkorňovačem s označením WRD 800-2. Pokud bychom tedy hypoteticky uvažovali, že společnost GOOS se stane dodavatelem pro tyto další továrny, tak by roční úspora nadnárodní společnosti Kronospan činila 6.571.200,- Kč, což není málo ani pro závod.

Převést tuto hypotézu do praxe je samozřejmě záměr a tato studie je jedním z nástrojů jak toho dosáhnout. Pokud se podaří tyto obchody dojednat, celý vývoj této technologie bude pro společnost GOOS, ale i pro její dodavatele výrazně rentabilnější.

ZÁVĚR

Úkol této práce vyvstal díky ekonomickým potížím původního dodavatele náhradních nožů do odkorňovače. Cílem bylo nalézt ekvivalentní technologii výroby nožů a zároveň tuzemského výrobce, který navrženou technologii bezchybně aplikuje do praxe tak, aby produkce ve společnosti Kronospan mohla kontinuálně pokračovat a nebyla ohrožena výpadkem dodávky náhradních dílů.

Díky získanému originálnímu dílci byl proveden ve spolupráci s VUT, Ústavem materiálových věd a inženýrství, metalografický rozbor součásti a zkouška tvrdosti zrn umístěných v pájce. Materiálové analýzy poskytly cenné informace o nástroji, jehož výroba měla být navržena.

Bylo zjištěno přesné chemické složení mosazné pájky a základního materiálu. Obsah niklu v pájce více než 10 % vypovídal o tom, že pájka splňovala zvýšené požadavky na pevnost a houževnatost. Zrna v pájce vznikla spékáním a sintrováním drobných převážně wolframkarbidických frakcí o velikosti 2 – 5, někdy i 10 μm .

Tyto informace nastavili parametry pro výběr přídavného materiálu. Účelem bylo nejen daný náhradní díl vyrobit, ale i splnit požadavky na životnost nástroje. Po zvážení veškerých faktů byla vybrána speciální mosazná pájka plněná karbidickými zrny o velikosti 4,7 – 6,0 mm od firmy Zander Schweisstechnik s technickým názvem Durit CS G. Jako základní materiál byla vybrána konstrukční ocel 11 523.

Technologie nánosového pájení zrn wolframkarbidu není v České republice příliš rozšířena, proto zajistit výrobní proces tak, aby technologie byla jakostně zvládnutá, bylo poměrně obtížné. Po průzkumu trhu byla vybrána společnost Wirpo, která se zabývá problematikou svařování, navařování a povrchových úprav.

První vyrobené kusy nespĺňovaly požadavky na předepsanou životnost a byly ze strany odběratele reklamovány jako nevyhovující. Produkce neshodných výrobků byla odstraněna zvýšeným důrazem na technologickou kázeň páječe a zvláště pak striktním dodržáním předepsané teploty přehřevu. Po zaběhnutí výrobního procesu byly požadavky na jakost již vyhovující.

Je třeba zmínit, že výrobek je uveden na trh v souladu s platnými právními předpisy a to zákonem č. 22/1997 Sb. Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.

Zákon například zmiňuje, že uvedení výrobku na trh je okamžik, kdy je výrobek na trhu Evropského společenství poprvé úplatně nebo bezúplatně předán nebo nabídnut k předání za účelem distribuce nebo používání, nebo kdy jsou k němu poprvé převedena vlastnická práva, nestanoví-li zvláštní zákon jinak.²⁰

V souladu se zákonem se musí výrobce také prokázat tzv. Prohlášením o shodě, kdy prohlašuje, že daný výrobek je ve shodě s předem danými dokumenty (normy, výrobní výkresy atd.). V procesu nánosového pájení se např. jedná o normu ČSN EN 1044, která specifikuje chemické složení a značení tvrdých pájek.²⁰

Studie byla zaměřena rovněž na inovace navržené technologie. Při rozboru opotřebených nožů byla stanovena pata nože a vrcholy hřbetu jako nejvíce namáhaná místa. Z těchto důvodů bylo přistoupeno ke změně

geometrie základního materiálu. Takto vyrobené prototypové nože jsou již namontovány a plní svoji funkci. Analýza opotřebených těchto nožů bude možná nejdříve na přelomu roku, kdy jejich životnost končí. Dle výsledků bude přistoupeno k případným změnám ve výrobě. Další uvedenou inovací, kterou se bude vývoj dále zabývat, je kompletní změna technologie. Jde o návary karbidických zrn. Tato technologie zaručuje vyšší tvrdost a pevnost matrice, tudíž zvyšuje životnost nástroje.

Ekonomicky daná technologie výroby přinesla pro odběratele kýžený efekt. Byl vyroben stejně účinný a trvanlivý nůž při téměř poloviční výrobní ceně. Nabídnout nízkou prodejní cenu oproti předchozímu dodavateli byl jedním z hlavních úkolů práce. Kronospan je nadnárodní společností a předpokládá se, že do budoucna se otevřou pro takto kvalitní a cenově příznivé dodávané dílce nové evropské trhy.

Závěrem si dovoluji konstatovat, že daný cíl mé studie byl splněn.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SOU TECHNICKÉ CHOTĚBOŘ, *Strojní obrábění dřeva*. [online]. © 2004-2006. [cit. 2008-01-20]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.souch.cz/dok/strojni_obraben_i_dreva.doc>.
2. PŮLKRÁBEK, V. Semestrální práce, *Strojní obrábění dřeva*, Ostravská univerzita, Pedagogická fakulta. Červen 2000.
3. EPIMEX, Dřevoobráběcí stroje, s.r.o., Spodní frézka [online] [cit. 2008-01-20]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.epimex.cz/spodni-frezky-robland.html>>.
4. EPIMEX, Dřevoobráběcí stroje, s.r.o., Univerzální frézka s překlopitelnou hřídelí [online] [cit. 2008-01-20]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.epimex.cz/hofmann.html#univerzalni-frezka-UFM-210-VISION>>.
5. EPIMEX, Dřevoobráběcí stroje, s.r.o., CNC obráběcí centra [online] [cit. 2008-01-20]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.epimex.cz/cnc-obrabeci-centra-holzher.html#promaster-5xl>>.
6. EPIMEX, Dřevoobráběcí stroje, s.r.o., Srovnávací a tloušťkovací frézka [online] [cit. 2008-01-20]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.epimex.cz/kombinovane-stroje-robland.html>>.
7. HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vyd. Brno: Mendelova Zemědělská a Lesnická univerzita, 1998. 124 s. ISBN 80-7157-347-7.
8. VAVRČÍK, H., GRÝC, V., MAZAL, P. *Anatomická stavba dřeva*, verze 1.04b. [online]. © 2002, poslední aktualizace 2003-11-11. [cit. 2008-01-22]. Dostupné na World Wide Web: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/ASD/?q=node/9>>.
9. VARKOČEK, J., ROUSEK, M., HOLOPÍREK, J. *Dělení, obrábění a tváření materiálů*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. 117 s. ISBN 80-7157-759-6.
10. RUŽA, V. *Pájení*. Přel. J. Klůna. 2. vyd. Praha: SNTL, 1988. 456 s. ISBN 04-216-88.
11. DVOŘÁK, M. A KOLEKTIV. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 233 s. ISBN 80-214-2032-4.
12. PTÁČEK, L. A KOLEKTIV. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 385 s. ISBN 80-7204-248-3.
13. MÍŠEK, B. *Kompozity*. 1. vyd. Brno: © TDS Brno – Sekce materiálů a svařování, 2003. 79 s. ISBN 80-903386-0-7.
14. HERMAN, P. *Materiály pro navařování a žárové nástřiky s obsahem wolframkarbidů*. [online] [cit. 2008-05-06]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.svarak.cz/c/cz/materialy-pro-navarovani-a-zarove-nastriky-s-obsahem-wolframkarbidu.htm#>>.

15. HFHN Wood Engineering GmbH., Rathausstrasse 12, D-66557 Illingen. *Provozní návod pro odkořovač WRD 800-2*. 56 s.
16. WIRPO s.r.o. *Materiálový list pájky Durit CS G*. [online]. © 2005. [cit. 2008-05-07]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.wirpo.cz/cs/c/tabulky/2-materialy-pro-svarovani-a-navarovani.htm#sekce15>>.
17. SVOBODA, P., BRANDEJS, J., KOVÁŘÍK, R., SOBEK, E. *Základy konstruování. Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 283 s. ISBN 80-7204-214-9.
18. TDS Brno - Sekce materiálů a svařování. *Specifikace postupu pájení BPS dle ČSN EN 13 134*. [online] [cit. 2008-05-8]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.tdsbrnosms.cz/technicke-informace.php>>.
19. POSTLE INDUSTRIES, INC. Cleveland, Ohio, USA. *Mig Tungsten carbide*. [online] [cit. 2008-05-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.postle.com/hardface/weartechology.htm>>.
20. Zákon č. 22/1997 Sb. *Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů*. [online]. © 2006-2008 [cit. 2008-05-17]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.cws-anb.cz/t.py?t=15&i=2>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$w_{0\%}$	[-]	konstanta, vyjadřující vlhkost absolutně suchého dřeva (0 %)
σ	[mN · m ⁻¹]	povrchové napětí tekutiny
α	[°]	úhel smáčení
F_1	[N]	přitažlivá síla sousedních atomů základního materiálu
F_2	[N]	přitažlivé síly sousedních atomů tekuté pájky
F_3	[N]	přitažlivé síly sousedních atomů plynů
σ_{12}	[mN · m ⁻¹]	mezipovrchové napětí mezi základním materiálem a pájkou
σ_{13}	[mN · m ⁻¹]	mezipovrchové napětí mezi pájkou a atmosférou
σ_{23}	[mN · m ⁻¹]	mezipovrchové napětí mezi základním materiálem a atmosférou
v	[m · s ⁻¹]	střední rychlost tečení pájky
s	[mm]	šířka mezery spoje
l	[mm]	vzdálenost proteklá pájkou
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
A	[%]	tažnost
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
I_A	[mol · m ⁻² · s ⁻¹]	difúzní tok prvku A
D_A	[m ² · s ⁻¹]	součinitel difúze prvku A
D_0	[m ² · s ⁻¹]	frekvenční faktor

x	[m]	souřadnicová osa
$\frac{\partial C_A}{\partial x}$	[mol · m ⁻³ · m ⁻¹]	koncentrační spád na vzdálenost x
x	[mm]	hloubka difúze
C _A	[hm. %]	koncentrace prvku A v dané soustavě
Q	[J · mol ⁻¹]	aktivační energie difúze
k	[J · K ⁻¹]	Boltzmannova konstanta (1,380658 ± 0,000012) · 10 ⁻²³
T	[°C]	Teplota
t	[s]	čas
BPS		„Brazing procedure specification“ Specifikace postupu tvrdého pájení

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list pájky Durit CS G
Příloha 2	Výkres nože odkorňovače (Entrinder OSB 2)
Příloha 3	Technologický postup nánosového pájení dle specifikace TDS Brno – SMS dle normy ČSN EN 13 134

Durit CS G

- Typ :** Speciální tyče pro nanášení wolfram-karbidu, pájením plamenem.
- Aplikace :** Pancéřování vrtných korunek pro hlubinné vrty a sondy, čelní frézy dobývacích strojů, odkorňovače ve dřevozpracujícím průmyslu aj.
- Vlastnosti :** Tyče z CuNiZn matrice z vloženými, sintrovanými zrný wolfram-karbidu. Pro nánosové tvrdé pájení povlaků odolných v těžkých podmínkách abraze s vloženými zrný WC. Teplota tání pájky 915°C, interval 10°C, teplota solidu pájky 905°C, pevnost matrice v tahu 510 N/mm², excelentní smáčivost matrice.
- Normy :** ASME SFA 5.8: RBCuZn-D
AWS A5.27 : RBCuZn-A

Velikost zrn WC v mm :

1,6-3,0 / 3,0-4,7 / 4,7-6,0 / 6,0-8,0 / 8,0-12,0
tyče délky 350 mm

Chemické složení nanesené pájky % (typické hodnoty):

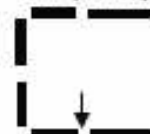
Cu	Ni	Si	Zn			
48,0	10,0	0,10	zbytek			


Složení a tvrdost kompozice :

35% matrice - 74 HRB
65% zrn WC - 2 600 HV



Pro polohy



1. Výrobce : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie Technická 2896/2 616 69 Brno		16. Zkušební organizace : TDS Brno – SMS, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 Brno			
2. Místo : Brno		17. Způsob přípravy spoje :			
3. Číslo dokladu (BPS) :		18. Čištění před pájením :		Odmaštění, otryskání	
4. Číslo BPAR :		19. Čištění po pájení :		Kartáčování	
5. Číslo zkušebního kusu :		20. Vnitřní čištění (pročištění) :		—	
6. Kvalifikace páječe : Zaškolený páječ		21. Přídavný mater. - pájka - forma :		Týčinka	
7. Proces pájení : Nánosové pájení		- typ :		Durit CS G	
8. Základní materiál 1 : 11 523 (ČSN 41 1523)		- způsob vkládání pájky do spoje :		Nánosové pájení	
9. Základní materiál 2 :		- místo uložení pájky ve spoji :		Hřbet zák. mat.	
10. Pájená flouščka stěny [mm]: 10		22. Tavidlo - forma :		Plynné	
11. Průměr trubky (tyče) [mm]:		- typ :		EN 1045 – FH – 21	
12. Tvarovka – označení, jakost (T-kus, nátrubek) :		- způsob vkládání tavidla do spoje :		Mísením se směsí plynu a kyslíku	
		- místo uložení tavidla ve spoji :		Vyloučení oxidu boritého na povrchu	
13. Tepelné zpracování před : a po procesu pájení :		23. Měření teploty (kontrola a ustavení sond) :		—	
14. Podrobné stanovení přípravků a uchycení :		24. Časový průběh teplot při pájení :		Pracovní teplota 920 °C Solidus – Likvidus pájky 905 – 915 °C	
15. Konstrukční návrh spoje		Teplota okolí [°C] : 20		25. Velikost / číslo hořáku : Hořák CGE č. 6	
Mezera ve spoji – při teplotě okolí :				26. Výchřevný plyn (typ, tlak) : Acetylen; 0,2 bar	
[mm] – při teplotě pájení :				27. Oxidační plyn (typ, tlak) : Kyslík; 0,15 – 0,2 bar	
				28. Druh plamene : Neutrální plamen	
				29. Předehřev před pájením : Zákl. mat. na 500 °C	
				30. Zdroj energie (typ, parametry) :	
				—	
				31. Indukční cívka (konstr. návrh) :	
				—	
				32. Konstrukční návrh elektrod :	
				—	
				33. Nastavení zařízení (tlak elektrod, proud, čas) :	
				—	
				34.	
				—	
				35. Atmosféra (typ, čistota, parametry), proudění :	
				—	
				36. Tlak vakua :	
				—	
				37. Plyn pozadí (typ, tlak) :	
				—	
				38. Složení lázně :	
				—	
39. Č.pozice	40. Materiál	41. Výrobce, rozměr	42. Počet kusů	43. Norma	44. Poznámka
45. Další podmínky a poznámky :					
<i>Terminologie v Angličtině a Němčině viz druhá strana, „English“ on second side, „Deutsch“ siehe Rückseite</i>					
46. Výrobce VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie Technická 2896/2 616 69 Brno.			48. Zkušební orgán nebo technická dozorčí (inspekční) organizace		
47. datum, jméno, podpis a razítko svářečského dozoru			49. datum, jméno, podpis a razítko zkušebního orgánu		

