

**Technická sdělení**

# **Boridování s použitím produktů Durferrit DURBORID®**

**Frank Trautmann**

## OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Úvod.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2 Základy provozních postupů.....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>3 Materiály.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>4 Produkty DURFERRIT DURBORID®.....</b>                             | <b>6</b>  |
| <b>5 Průběh provozních postupů.....</b>                                | <b>6</b>  |
| 5.1 Předběžná příprava dílů pro boridování.....                        | 7         |
| 5.2 Technická zařízení.....  | 8         |
| 5.3 Provedení provozního postupu boridování v prachovém prostředí..... | 9         |
| 5.4 Provedení provozního postupu boridování s použitím pasty.....      | 11        |
| <b>6 Tepelné zpracování po boridování.....</b>                         | <b>13</b> |
| <b>7 Možnosti vzniku chyb – chyby a příčiny.....</b>                   | <b>15</b> |
| 7.1 Boridování v prachovém prostředí.....                              | 15        |
| 7.2 Boridování s použitím pasty.....                                   | 17        |
| 7.3 Kalení po boridování.....  | 17        |
| <b>8 Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí.....</b>           | <b>18</b> |

# 1. Úvod

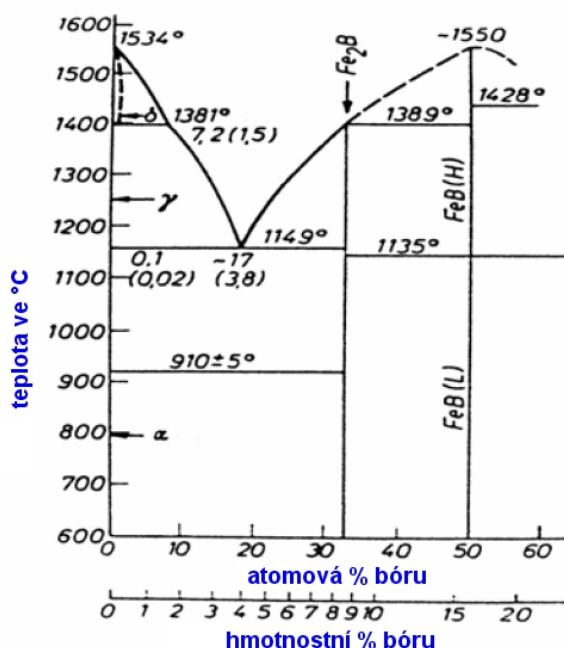
Optimální ochrana různých konstrukčních dílů před otěrem a korozí je nyní stále důležitější. Vedle konstrukčních materiálů, splňujících tyto zvýšené nároky, byly vyvinuté provozní postupy pro pozitivní ovlivnění otěrové a protikorozní odolnosti povrchu konstrukčních dílů. Nejdůležitější provozní postupy pro tepelně chemické zpracování oceli představuje nitridace, povrchové kalení a cementování, a rovněž boridování.

Již na začátku minulého století bylo známo, že se pomocí nadifundování bóru do povrchové vrstvy ocelových konstrukčních dílů mohou dosahovat povrchy s mimořádnou tvrdostí a odolností proti otěru. Jako dárce bóru přicházejí teoreticky do úvahy kapalná, plynná a pevná média. Na základě technické problematiky provozních postupů se ale do dnešní doby nemohlo prosadit boridování v solných taveninách a boridování z plynné fáze. Také vývojové práce pro boridování v plazmě se ještě nacházejí ve fázi pokusů. V praxi se nyní může jako jediný provozní postup rentabilně nasazovat boridování s použitím pevných bórovacích prostředků v různých variantách.

Boridové vrstvy se zvláště osvědčují v případě aplikací s abrazivním otěrem konstrukčních dílů.

## 2. Základy provozních postupů

Pod pojmem boridování se rozumí obohacování povrchové vrstvy obrobku bórem při použití tepelně chemického postupu. Na základě tepelné energie se atomy bóru vnášejí do mřížky základního materiálu a zde spolu s atomy základního materiálu vytvářejí příslušné boridy. V ocelových materiálech vznikají převážně boridy železa, u kterých jsou známy dvě modifikace, a to „FeB” s vyšším obsahem bóru, a „Fe<sub>2</sub>B” s nižším obsahem bóru. Obrázek 1 znázorňuje příslušný stavový diagram železo - bór podle Hansena.

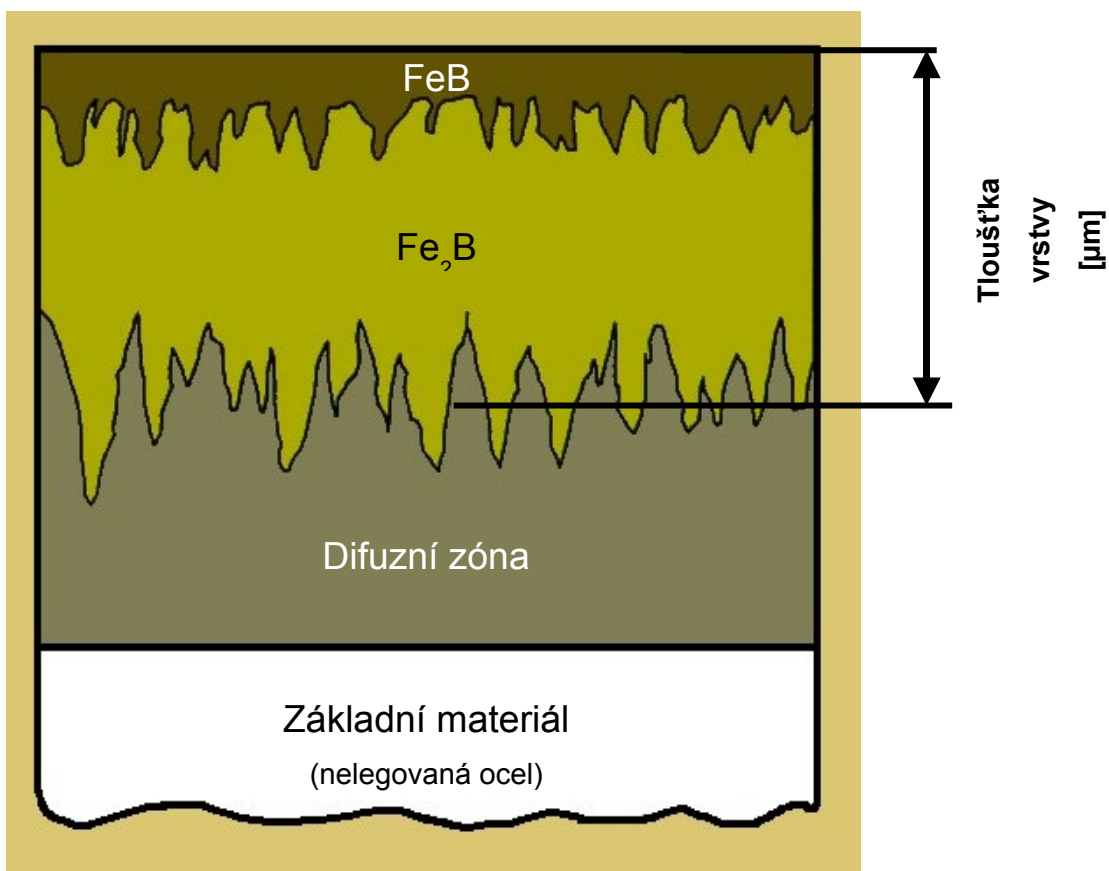


Obrázek 1

Ze stavového diagramu je možné odvodit, že oba prvky tvoří při složení 3,8 hmotnostních procent bóru a 96,2 hmotnostních procent železa eutektikum s bodem tavení 1149°C.

V závislosti na složení boridovacího prostředku, na teplotě boridování a na době zpracování mohou vznikat jednofázové vrstvy (jen Fe<sub>2</sub>B), nebo dvofázové vrstvy (vně FeB, uvnitř Fe<sub>2</sub>B). Jednofázové vrstvy vykazují výhodnější vlastnosti. Borid Fe<sub>2</sub>B je tvárnější a houževnatější, než velmi tvrdý a křehký FeB. Proto jsou produkty **DURFERRIT** nastavené tak, aby při normálních podmínkách zpracování vznikaly jednofázové vrstvy. Pokud je borid FeB vytvořený ve formě jednotlivých zubů, nemá to žádný vliv. Vzniku uzavřené vrstvy by se mělo vždy předcházet, pokud nejde o výhradně abrazivní otěr. Dosažitelná síla boridové vrstvy je závislá na teplotě a na době zpracování a na zvoleném materiálu.

V závislosti na zvoleném materiálu se v průběhu zpracování vytváří více nebo méně silná zubovitá vrstva, jak to schematicky znázorňuje obrázek 2.



**Obrázek 2**

Boridování se může uskutečňovat při použití práškového nebo pastového prostředku. Společnost **DURFERRIT GmbH** vyvinula k tomuto účelu boridovací prostředky, uvedené v kapitole 4.

Po provedeném boridování se mohou díly zakalit a popustit, nebo se mohou zušlechtit.

Průběhy jednotlivých provozních postupů se probírají podrobněji v následujících kapitolách.

### 3. Materiály

Toto sdělení se zabývá jen boridováním železných materiálů. V zásadě je možné s dobrým výsledkem boridovat i neželezné kovy a slitiny, ovšem s částečně změněnými provozními postupy.

Boridovat se mohou v podstatě všechny železné materiály, to znamená všechny oceli, od konstrukčních ocelí až k vysokovýkonným ocelím pro práci za tepla, dále také lité oceli, šedé a tvárné litiny, nelegované a sintrované železné materiály, železo Armco a elektrolytické železo.

Tvorba vrstvy závisí na stupni legování zvoleného materiálu. V principu při jinak stejných parametrech zpracování bude boridová vrstva o to méně zubovitá, o co vyšší bude obsah legujících prvků. K závislosti rychlosti růstu boridové vrstvy na obsahu legur v ocelích se ještě později vrátíme (viz k tomu odstavce 5.3 a 5.4; a obrázky 5 a 6).

Je potřeba připomenout dvě výjimky z tohoto všeobecného zjištění.

První výjimka se týká obsahu křemíku a hliníku u ocelí pro boridování, které musejí být pod úrovní 1 % (Si), popřípadě pod 0,3 % (Al). Oba tyto prvky se v boridové vrstvě nerozpouštějí a dochází k jejich obohacení pod vrstvou. To vede k feritizaci a k tvorbě měkkých „příkopů“ pod boridovou vrstvou, takže se může tvrdá povrchová vrstva při tlakovém namáhání snadno prolomit.

Druhá výjimka se týká rychlořezných ocelí, které se sice bezvadně boridují, ale není možné je zakalit. Při kalících teplotách, potřebných pro rychlořezné oceli, dochází vlivem eutektika železo - bór (viz odstavec 2) k natavení boridovaného povrchu. Boridovaná a naměkko vyžíhaná rychlořezná ocel ovšem nemá z technického hlediska žádný smysl.

Při výběru materiálu pro určitý konstrukční díl se často mohou s boridovanou nelegovanou nebo nízkolegovanou ocelí dosáhnout vyšší doby životnosti, než s vysokolegovanou ocelí při konvenčním tepelném zpracování. Uvádíme zde dva příklady : razník, vyráběný z oceli typu 1.2436 (X 210 CrW 12), s konvenčním tepelným zpracováním, byl vyrobený z boridované oceli typu 1.2550 (60 WCrV 7) a poskytl pětinasobné až šestinasobné zvýšení doby životnosti. Otěrové plechy pro zpracování kamene, vyráběné z oceli typu 1.2025 (110 Cr 2) s konvenčním zakalením, byly nahrazené boridovanými plechy z oceli typu 1.0308 (St 35) a dosáhly dvojnásobnou dobu životnosti.

Úvahy o možném dalším zlepšení při boridování vysokolegované oceli nejsou všeobecně odůvodněné, protože vytváření boridové vrstvy je na vysokolegované oceli méně příznivé (menší propojení zubů). Výjimku by představovalo například částečné boridování ocelí odolných proti korozi.

V každém případě se vyplatí věnovat volbě materiálu a konstrukci značnou pozornost a podle podmínek provést několik předběžných zkoušek.

## 4. Produkty DURFERRIT DURBORID®

Pro boridování jsou k dispozici následující prostředky :

| <b>boridovací prostředek</b> | <b>použití</b>   | <b>pracovní teplota ve °C</b> |
|------------------------------|--|-------------------------------|
| <b>DURBORID® G</b>           | Prachový prostředek pro vytváření optimálně uspořádaných boridových vrstev pro nejvyšší nároky.  | 850 až 1000                   |
| <b>DURBORID® PASTE</b>       | Boridovací pasta na vodném základě, s možností aplikace ponořováním a stříkáním, se sníženou stékavostí, pro nejvyšší kvalitu vrstev. Zvláště vhodná k částečnému boridování. Předpokládá použití ochranného plynu (Ar, N <sub>2</sub> nebo formovací plyn). | 850 až 1000                   |
| <b>DURBORID® SL</b>          | Vysoce aktivní prachový prostředek k boridování speciálních materiálů.   | 850 až 1000                   |
| <b>DURKRIT</b>               | Produkt pro ochraně proti boridování v prachovém prostředí a k vyplnění oblastí, ve kterých není boridování žádoucí.   |                               |

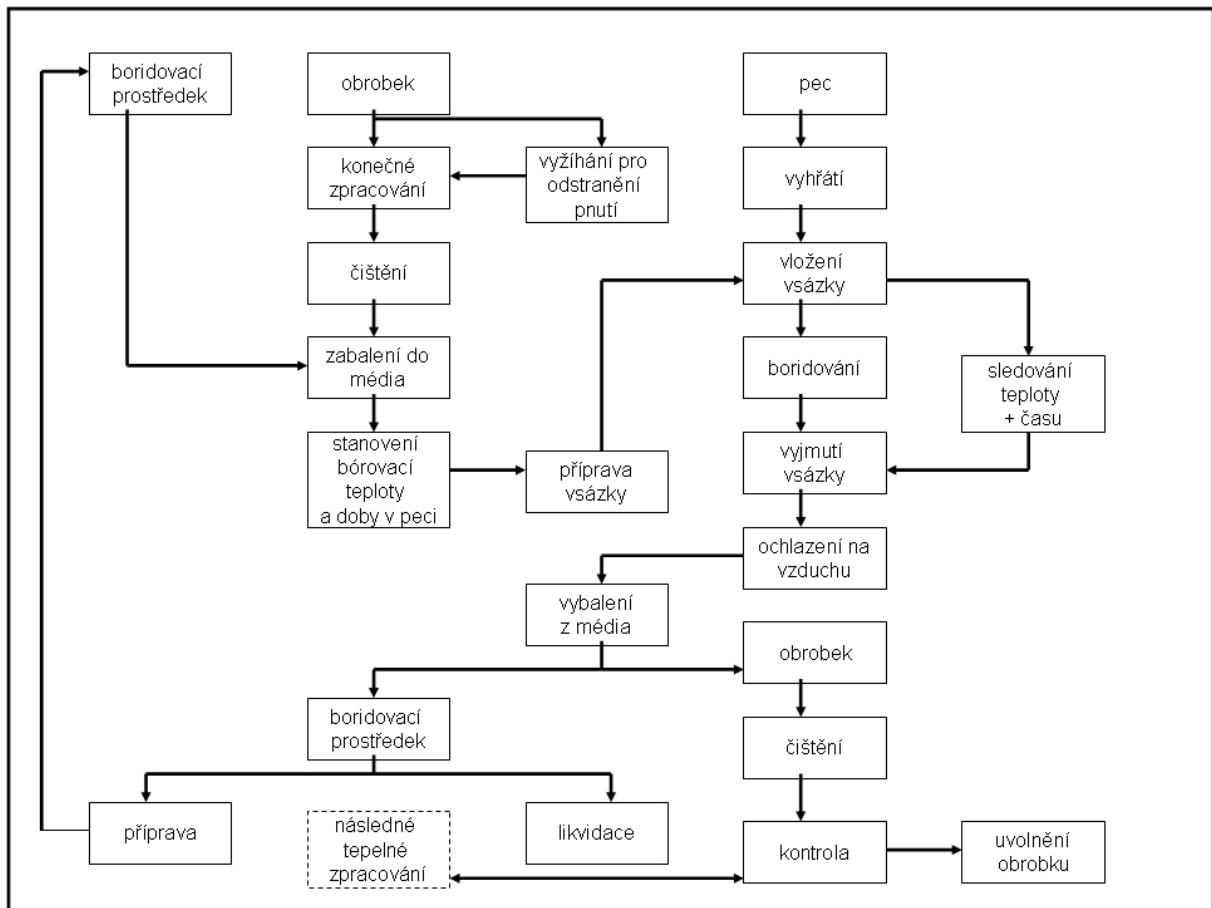
Dřívější pevné boridovací prostředky vykazovaly po nasazení tendenci k silnému zesintrování a tím bylo ztížené vyjímání obrobků z boridovacího prostředku. Díky důslednému dalšímu vývoji našich produktů zůstávají naše prachové boridovací prostředky po nasazení sypké, a tím se vyjmutí konstrukčních dílů výrazně zjednodušuje.

Výhodně se projevuje i menší sypná hustota, která vede k nižší spotřebě boridovacího prostředku a tím i ke snížení nákladů na tepelné zpracování.

Dále není možné ponechat bez povšimnutí, že ve srovnání s dřívějšími produkty bylo možné o zhruba 50 % snížit emise s obsahem fluoridu v odpadových plynech, které jsou u všech bórovacích provozních postupů nevyhnutelné. To slouží ke snadnějšímu dodržení mezních hodnot složení odpadových plynů a k dosažení vyšší šetrnosti k životnímu prostředí. Další údaje k tomuto tématu jsou uvedené v kapitole 8 „Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí“.

## 5. Průběh provozních postupů

Boridování v pevných prostředcích je uspořádané poměrně jednoduše a způsob provedení se podobá nauhličování v granulátu. Použití ochranného plynu se vyžaduje jen u částečného boridování v případě použití pasty, ale přináší výhody i při boridování v prachovém prostředí (lepší kvalita povrchu). Obrázek 3 ukazuje schéma průběhu provozního postupu.

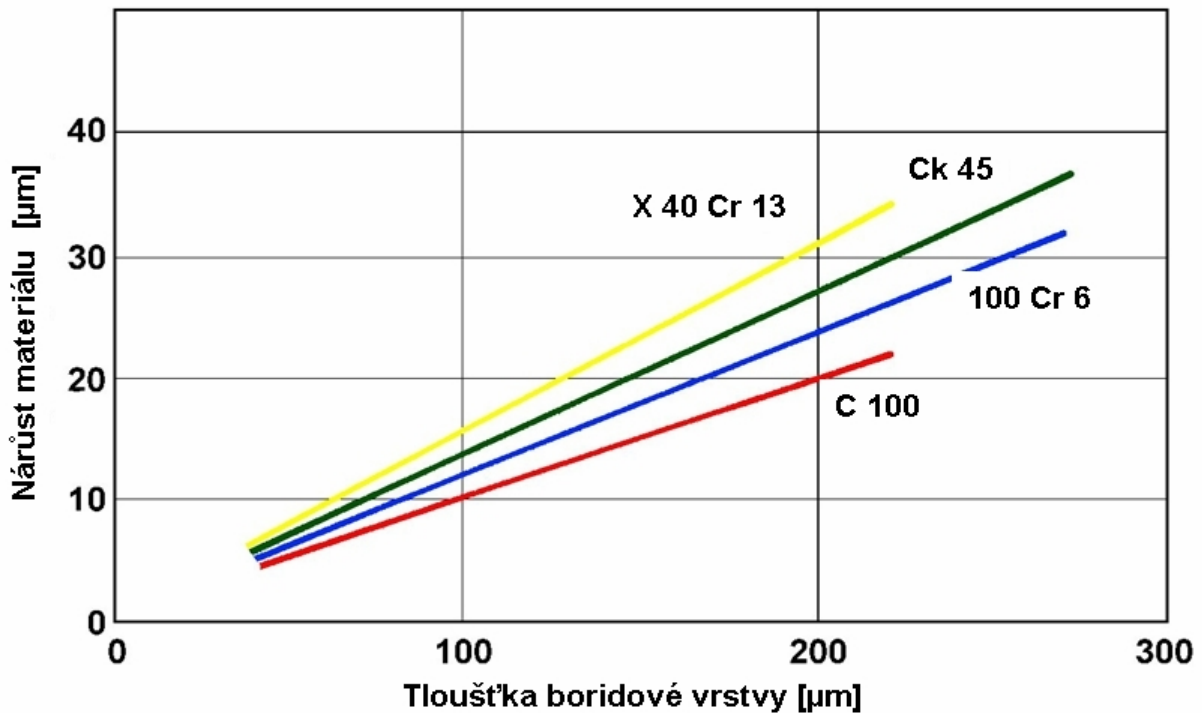


**Obrázek 3**

## 5.1 Předběžná příprava dílů pro boridování

V souvislosti s vysokou tvrdostí vytvořené boridové vrstvy je potřeba podle možností předejít provádění obtížného a nákladného následného opracování. Z toho důvodu se díly zpravidla boridují již v hotově opracovaném stavu.

V závislosti na podmínkách boridování a na použitém materiálu dochází k rozměrovým změnám, které jsou dobře reprodukovatelné. Vznikající rozměrové změny jsou vždy pozitivní, to znamená, že dochází k narůstání rozměrů dílů. Tento nárůst závisí na materiálu a u konstrukčních ocelí a u ocelí pro zušlechťení odpovídá asi 20 % z hodnoty síly vrstvy. V případě vysokolegovaných ocelí může nárůst představovat až 80 % z hodnoty síly vrstvy. Popřípadě je nutné díly vyrábět s patřičně zkrácenými rozměry a příslušné hodnoty stanovit pomocí předběžných zkoušek. V obrázku 4 je znázorněn nárůst materiálu pro různé oceli. Protože síly boridové vrstvy přes 100  $\mu\text{m}$  spíše představují výjimku, tak zůstávají změny rozměrů všeobecně v rozsahu pod 10  $\mu\text{m}$ .



**Obrázek 4**

Pro díly citlivé na deformaci doporučujeme před posledním mechanickým obráběním provést žíhání na odstranění pnutí.

K dosažení optimální kvality vrstvy je potřeba používat jemně broušené povrchy s výškou nerovností do 2 až 4 μm. Leštění se používá jen u slabých boridových vrstev. U silnějších vrstev není tento pracovní krok účelný, protože boridování zde vede ke stejné hodnotě drsnosti povrchu jako v případě broušeného výchozího stavu (hodnoty  $R_a$  asi 3 až 5 μm při síle vrstvy 100 μm).

Konstrukční díly, určené ke zpracování, musejí být před zabalením do práškového prostředku nebo před pokrytím pastou v čistém stavu a bez mastnoty. Bezvadné odmaštění je zvláště důležité při použití pasty **DURBORID PASTE**.

Okujené povrchy není možné boridovat. Na pískovaném povrchu vzniká boridová vrstva jen v nízké kvalitě.

Boridování kalených nebo cementovaných dílů nemá smysl, protože při boridovacích teplotách dochází k oddifundování uhlíku a tak se neprojeví žádná přeměna struktury. Kromě toho obsah uhlíku má za následek nižší nadifundování bóru.

Nitridované a karbonitridované konstrukční díly se pro boridování nehodí.

## 5.2 Technická zařízení

K boridování v pevném médiu se osvědčily komorové pece nebo narážecí pecní zařízení s nepřímým nebo s přímým elektrickým vyhříváním. Pro boridování s použitím pastového prostředku jsou vhodné hrncové pece s plynotěsnou retortou.

Pece musejí splňovat následující předpoklady :

- Je nutné dosahovat dobré rozdělení teploty, aby se všechny díly v dané vsázce rovnoměrně prohřály.



- Výkyvy teploty nesmějí překračovat  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Průběh teploty se musí sledovat pomocí vhodného záznamového zařízení (například zapisovač).
- Při ohřívání na teplotu zpracování je potřeba co nejrychleji projít oblastí teplot od  $400$  do  $800^{\circ}\text{C}$ . K tomu musí být pec patřičným způsobem uspořádaná a velikost vsázky musí být v souladu s pecí.
- Boridování v prachovém médiu se uskutečňuje nejlépe pod clonou ochranného plynu Ar nebo  $\text{N}_2$ , v nouzi i na vzduchu. Boridování s použitím pastového prostředku se musí uskutečňovat vždy pod ochranným plynem.
- Argon (postačuje svařovací argon) má narozdíl od dusíku vyšší měrnou hmotnost, než vzduch. Proto může z retorty lépe vytěšňovat kyslík a oxid uhličitý a tak je jako ochranný plyn vhodnější než dusík nebo než formovací plyn. Nevhodné jsou jakékoliv plyny s obsahem oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého, a rovněž vlhké ochranné plyny.
- Je potřeba zajistit odsávání, popřípadě čištění odpadových plynů, protože dochází ke vzniku odpadových plynů s obsahem fluoridu.
- Pokud nejsou známy vyhřívací charakteristiky pece v závislosti na velikosti vsázky, je potřeba předem provést patřičná měření.

Jako nádoba pro zpracovávané díly se při boridování v pevném prostředí mohou použít dobře vyčištěné nauhličovací skříně. Pokud se vyrábějí nádoby speciálně pro boridování, tak se pro jejich výrobu nejlépe hodí žáruvzdorný ocelový plech (například typ 1.4841 nebo typ 1.4828) v síle 2 až 4 mm. Tvar nádoby je potřeba co nejlépe přizpůsobit k rozměrům zpracovávaných dílů.

Nádoby musejí mít takové rozměry, aby v nich byly díly ke zpracování obklopené vrstvou boridovacího prostředku o síle 10 až 20 mm.

Celková vsázka by neměla v peci zabírat více než 60 % prostoru. V zájmu rovnoměrného prohřátí je často účelné použít větší počet menších nádob než jednu velkou nádobu.

### 5.3 Provedení provozního postupu boridování v prachovém prostředí

Výrobky v řadě **DURFERRIT DURBORID** se v podstatě skládají z karbidu bóru, aktivátorů, plnicích látek a aditiv. Aktivátory ovlivňují nárůst a rozvoj boridové vrstvy, plnicí látky zamezují zesintrování boridovacího prostředku.

Na bórovací prostředek je potřeba klást následující požadavky :

1. Dobrý boridovací účinek, tedy tvorba rovnoměrné, bezchybné vrstvy. Na jedné straně se požaduje pokud možno rychlý nárůst vrstvy, současně ale mají při všech teplotách zpracování vznikat jednofázové vrstvy z  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Takové vrstvy vykazují lepší tažnost a otěrové vlastnosti, než dvofázové vrstvy z  $\text{FeB}$  a  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Nevadí menší podíly  $\text{FeB}$ , pokud netvoří uzavřené vrstvy.
2. Pokud možno snadná manipulace, tedy jednoduché zabalení a vybalení dílů. Kromě usnadnění práce je tento požadavek důležitý v tom případě, kdy se má z boridovacího procesu kalit. Boridovací prostředek proto musí být dobře sypký a musí se ze zpracovaných dílů snadno uvolňovat.

Tyto požadavky není možné splnit s jedním bórovacím prostředkem. Proto se nabízí k výběru dva pevné bórovací prostředky.

### **DURFERRIT DURBORID G**

Produkt **DURFERRIT DURBORID G** představuje velmi jemnozrnný produkt, který při zpracování oceli nabízí optimální kvalitu vrstvy. Produkt DURBORID G je univerzální produkt, který je vhodný pro jakýkoliv způsob použití. Produkt po zpracování vykazuje velmi dobrou sypkost.

### **DURFERRIT DURBORID SL**

Produkt **DURFERRIT DURBORID SL** byl speciálně vyvinutý pro vytváření boridových vrstev na zvláštních legovaných materiálech. Produkt po zpracování vykazuje dobrou sypkost a je zvláště vhodný pro zpracování legovaných materiálů na bázi niklu.

Oba tyto boridovací prostředky představují bezpečné pracovní látky.

Všechny typy produktů **DURBORID** jsou určeny k vícenásobnému použití, pokud se při prvním zpracování nepřekročí obvyklé doby zpracování, například 1 až 3 hodiny při teplotě 900°C. V takovém případě je potřeba před každým dalším zpracování přidat čerstvý boridovací prostředek v rozsahu 20 až 25 % produktu **DURBORID G**, popřípadě na základě menší sypné hustoty 30 až 40 % produktu **DURBORID SL**. Při vyšších teplotách a při delší době prvního zpracování je potřeba použít vyšší přídavky čerstvého prostředku, nebo podle okolností již nebude další použití produktu možné.

Sypná hustota je pro produkty :

**DURBORID G** = 1,65 kg/dm<sup>3</sup>

**DURBORID SL** = 1,45 kg/dm<sup>3</sup>

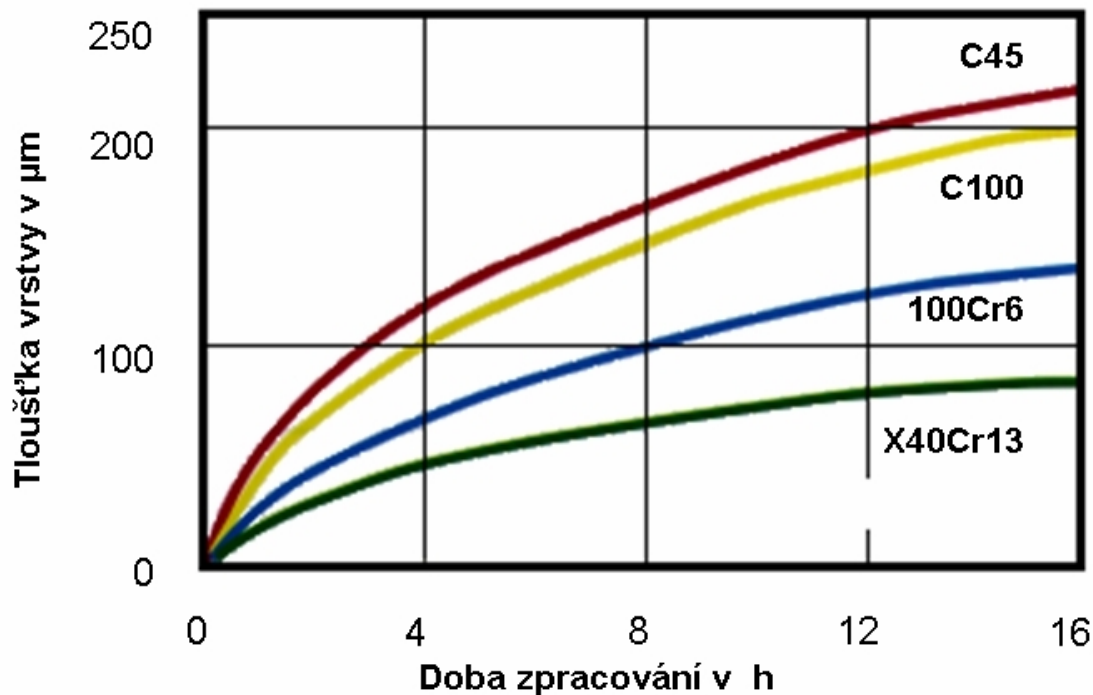
Díly, určené ke zpracování, jsou zpravidla již hotově obrobené (k předběžné přípravě konstrukčních dílů ke zpracování viz odstavec 5.1) a spolu s boridovacím prostředkem se balí do skříní nebo do trubek ze žáruvzdorné oceli. Přitom by měla být mezi jednotlivými díly vrstva boridovacího prostředku o síle asi 20 mm, a díly by potom měly být zakryté vrstvou boridovacího prostředku o síle 5 až 10 cm.

Skříně nebo trubky se volně uzavřou krytem, který není vzduchotěsný, a takto se zavedou pece vyhřáté na boridovací teplotu, pokud možno pod ochranným plynem.

Teplota zpracování leží v rozsahu mezi 850 a 1000°C, přednost se dává ovšem zpracování při teplotě kolem 900°C, zvláště v případě nástrojů, u kterých se vyžaduje slabší síla vrstvy, než tomu je u konstrukčních dílů, vystavených minerálnímu otěru.

Použitá doba boridování se řídí podle daného materiálu, určeného k boridování, a podle síly vrstvy, potřebné pro daný případ použití.

Obrázek 5 ukazuje pro čtyři typy oceli závislost síly boridové vrstvy (střední hodnota na špičkách zubů) na době zpracování při teplotě 900°C v produktu **DURBORID G**.



**Obrázek 5**

Po proběhnutí požadované doby zpracování se skříně nebo trubky vyjmou z pece a zpravidla se nechají ochladit na vzduchu. Vysoce legované oceli se mohou také po provedeném zpracování ochlazovat z bórovacích teplot v oleji, v horké lázni, nebo pomocí stlačeného vzduchu. Popouštění takto zakalených konstrukčních dílů se řídí podle daného materiálu a podle účelu použití. Další podrobnosti jsou uvedené v odstavci 6 „Tepelné zpracování po boridování“.

K zakrytí ploch neurčených k boridování je velmi vhodná hmota pro ochranu proti vytvrzení („Härteschutzmasse“) **DURFERRIT CONTRADUR WSP 300**.

#### **5.4 Provedení provozního postupu boridování s použitím pasty**

Díly, určené k převrstvení, musejí být čisté, suché a bez mastnoty, aby se zajistilo dokonalé přilnutí hmoty. V případě nedostatečně vyčištěného obrobku se může boridovací prostředek v peci odlupovat (viz k tomu odstavce 5.1).

Produkt před nanášením důkladně promíchejte, aby se docílily dobré zpracovatelské vlastnosti. Produkt ve stavu připraveném k použití představuje homogenní, vláčnou hmotu. Viskozita produktu se může podle potřeby bez problémů upravit s použitím vody. Přitom je potřeba dávat pozor na přidání maximálně 10 až 15 % vody, aby nedocházelo k narušení boridovacího účinku.

K natírání je potřeba pastu nastavit tak, aby ji bylo možné rovnoměrně nanášet bez stékání. Pro boridové vrstvy o síle od 30 do 50 μm, obvyklé ve strojírenství, postačuje vrstva pasty o síle 1,5 až 3 mm. Pro vytvoření silnější boridové vrstvy se požaduje vícenásobné nanášení produktu. Při nanášení produktu pomocí natírání doporučujeme používat měkký štětec. Opotřebované štětce se nemají dále používat.

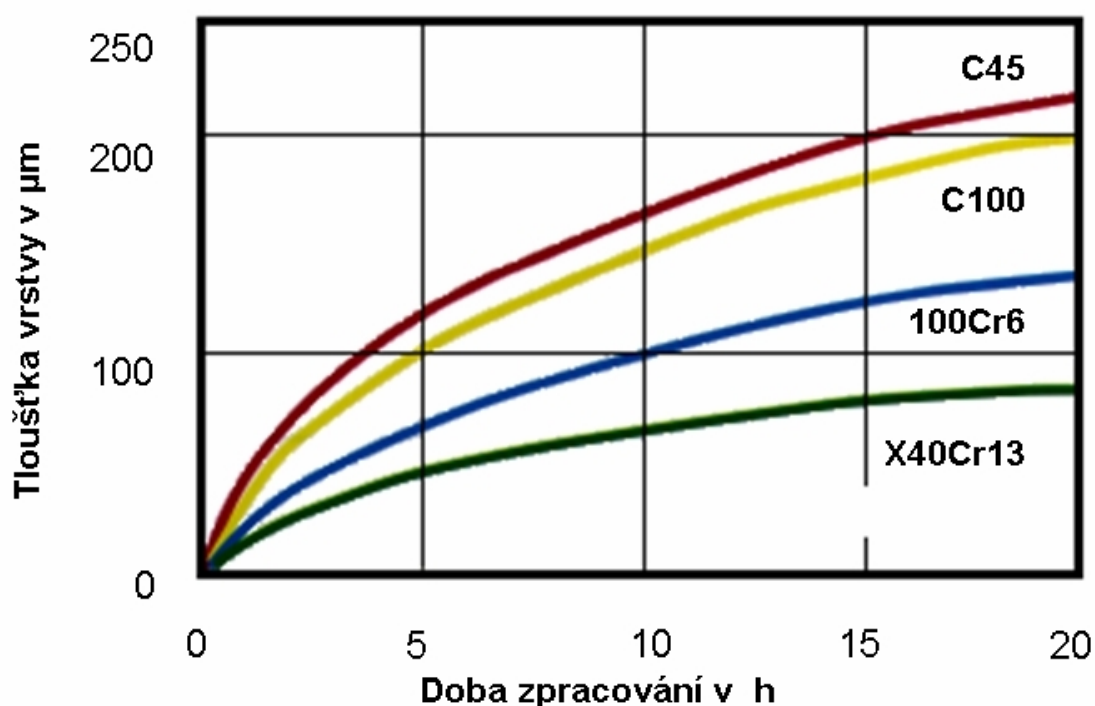
K nanášení je potřeba nastavit produkt tak, aby došlo k plnému smočení ploch, určených ke zpracování. Je potřeba zabránit nadměrnému naředění

produktu vodou, aby se předešlo příliš silnému odtékání pasty. Obvyklé doby na odkapání jsou podle zpracovávaného obrobku mezi 1 a 5 sekundami.

Ochrana ploch, které nejsou určené k boridování, se nepožaduje.

Ohřátí konstrukčních dílů na teplotu zpracování se má uskutečnit co nejrychleji, protože by díly jinak setrvaly v oblasti příliš nízkých teplot a mohlo by dojít ke vzniku FeB. Z tohoto důvodu je potřeba předcházet použití doby ohřívání přesahující 2 hodiny.

Obrázek 6 ukazuje závislosti síly vrstvy na době boridování pro boridování pod čistým dusíkem, popřípadě pod argonem, při teplotě zpracování 900 °C. Doba boridování se přitom počítá bez doby ohřevu. Uvedené časové údaje představují jen směrné hodnoty, protože nárůst vrstvy je kromě jiného závislý na velikosti pece a na velikosti vsázky.



**Obrázek 6**

Použití argonu je nejvhodnější, protože na základě svojí poměrně vysoké měrné hmotnosti velmi dobře vytěsňuje vzdušný kyslík.

Odstranění vrstvy pasty po provedeném boridování je možné provést lehkým okartáčováním (rýžový kartáč), otryskávání plochy skleněnými perličkami obvykle není zapotřebí.

#### **Krátký návod :**

1. Odmaštění dílů.
2. Ponoření dílů do pasty s patřičnou viskozitou, v případě komplikovaně tvarovaných dílů při použití míchání, setřásání nebo vibrací.
3. Vysušení dílů po prvním nánosu pasty v době asi 1 hodina při pokojové teplotě.

4. Případný druhý nános pasty pomocí namáčení, a vysušení dílů v době asi 1 hodina při pokojové teplotě.
5. Vysušení dílů po dobu asi 30 minut až 1 hodina ve vzduchu při teplotě 150°C. Pokud se provádí vícenásobné nanášení pasty, musí se zásadně sušit po každém nanášení.
6. Vložení konstrukčních dílů do studené retorty.
7. Předběžné propláchnutí ochranným plynem pro odstranění vzdušného kyslíku, nashromážděného v retortě.
8. Nasazení retorty do pece, předeřtáte na provozní teplotu.
9. Boridování pod ochranným plynem při teplotě 850 až 1000°C, přednostně při teplotě 950°C.
10. Vyjmutí retorty z pece a ochlazení dílů v retortě pod ochranným plynem až do teploty asi 200°C (do pece je mezitím možné zavěsit další připravenou retortu.)
11. Vyčištění dílů.

## 6. Tepelné zpracování po boridování

Pokud se v průběhu provozního nasazení dílu vyskytují vysoké plošné tlaky nebo bodové rázové zatížení, tak často pro boridovou vrstvu nedostačuje únosnost základního materiálu. V těchto případech je potřeba konstrukční díly nakonec zušlechtit, pokud jde o použití oceli k zušlechtění. Následné zušlechtění by se mělo uskutečňovat jen v tom případě, pokud se u nelegovaných a nízkolegovaných ocelí nepřekračuje síla vrstvy 100 až 120 µm, popřípadě u vysokolegované oceli síla vrstvy 50 µm. Při silnější vrstvě může docházet ke vzniku trhlin.

Pokud se kalení, popřípadě zušlechtění, provádí až po vychladnutí dílů, tak je potřeba díly ohřát v neutrální solné lázni, jako je například GS 540/ R 2, nebo ve vakuu, nebo v ochranném plynu (Ar, N<sub>2</sub>). V žádném případě se nesmí pro austenitizaci použít lázeň s obsahem kyanidu, jako je například Cecontrol, GS 540/C 3 nebo obdobný produkt, protože by docházelo k napadání boridové vrstvy. Rovněž škodí zpracování dílů v atmosférách s obsahem amoniaku nebo uhlíku. Austenitizační teplota závisí na použitém materiálu.

### Upozornění :

Pokud je austenitizační teplota nad hodnotou 1050°C (pozor u vysokolegovaných nástrojových ocelí!), mohlo by docházet k natavování povrchu (viz k tomu odstavec „Základy provozních postupů“).

Zachlazení probíhá podle materiálu do horké lázně, do oleje, nebo na vzduchu. I nízkolegované oceli poskytují při zachlazení do oleje nebo do horké lázně bezvadnou přeměnu martenzitu, protože uhlíkové obohacení a boridová difúzní zóna pod boridovou vrstvou výrazně snižují kritickou rychlost ochlazení. Zachlazení do vody může mít za následek vznik prasklin v boridové vrstvě.

Při boridování s použitím pasty se může při patřičném konstrukčním provedení pece zachlazení přímo z boridovací teploty do horké lázně nebo do oleje. Předpokladem je kromě vhodné volby materiálu poměrně slabý nános pasty, aby uchycené zbytky pasty nezpůsobovaly výrazné snižování rychlosti ochlazení.

V takových případech je ovšem potřeba počítat s obtížným čištěním, protože zbytky pasty tvoří s olejem, popřípadě se solí, pevně ulpívající nános.

Popuštění se provádí analogicky s austenitizací v inertním médiu. Mohou se zde použít horké lázně, ochranný plyn, vakuum nebo vzduch (při nízkých popouštěcích teplotách).

## 7. Možnosti vzniku chyb – chyby a příčiny

### 7.1 Boridování v prachovém prostředí

| chyba  | příčina  |
|--|--|
| Slepování zrna, narušování povrchu v důsledku vzniku $B_2O_3$ (nad $650^\circ C$ kapalina).  | Vlhké prachové médium v důsledku neodborného skladování.   |
| Boridování není rovnoměrné.  | Nedostatečné utěsnění ploch, špatně provedené balení do média.   |
| Horní oblasti nejsou boridované, práškové médium se sesedá.  | Vnitřně naplněný válec se boriduje ve vodorovné poloze.  |
| Vytváří se měkká, porézní zóna.  | Díl, určený k boridování, je obklopený příliš slabou vrstvou prachového prostředí. V důsledku chybějící nabídky bóru dochází k ochuzení vrstvy.  |
| V důsledku izolačního účinku prachového prostředí je ohřívání dílů příliš pomalé. Doba prodlevy v kritické oblasti teplot je příliš dlouhá, tvoří se FeB. Příliš krátká doba výdrže na boridovací teplotě poskytuje menší boridové vrstvy. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Díl, určený k boridování obklopuje příliš silná vrstva prachového prostředí.</li> <li>2. Výkon pece je příliš slabý.</li> <li>3. Je příliš dlouhá doba ohřívání mezi teplotami <math>600^\circ C</math> a <math>800^\circ C</math>.</li> </ol> |
| Nevyrovnaná síla boridových vrstev v důsledku teplotních rozdílů uvnitř vsázky.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Je příliš velký počet jednotlivých dílů v jedné velké nádobě.</li> <li>2. Jsou rozdílné rozměry zpracovávaných konstrukčních dílů.</li> </ol>  |
| Nevyrovnaná síla a kvalita boridových vrstev.  | Je špatně promíchané použité a čerstvé prachové médium.  |
| Příliš slabé boridové vrstvy.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Teplota zpracování byla příliš nízká.</li> <li>2. Chybný odhad doby prohřátí u vsázky s masivními díly.</li> <li>3. Nádoba je příliš velká.</li> </ol>   |
| Prachové médium vytváří tvrdou hmotu.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Příliš malé zakrytí produktu DURKRIT při vzduchové atmosféře v peci.</li> <li>2. Zrno se slepuje v důsledku vzniku <math>B_2O_3</math>.</li> </ol>   |
| V jednotlivých místech nedošlo k naboridování. Okolí vykazuje projevy ochuzení, dochází ke vzniku $B_2O_3$ s tvorbou krusty.   | Okujené povrchy, přítomnost licí kůry na odlitku.  |
| V jednotlivých místech došlo k horšímu naboridování. Dochází ke vzniku $B_2O_3$ s tvorbou krusty.  | Silně zrezlé plochy.   |
| Přes ideální zabalení se díly deformují.   | Před boridováním chybí žíhání ke snížení pnutí.  |
| Přes ideální zabalení dochází k tvorbě FeB.  | Doba prodlevy při ohřevu mezi teplotou $600^\circ C$ a teplotu zpracování byla příliš dlouhá, pec nebyla dostatečně přehřátá.  |

Zdroj : Odborné sdělení hutní praxe - zpracování kovů, svazek 25, číslo 9 1987.

## 7.2 Boridování s použitím pasty

| chyba  | příčina  |
|--|--|
| Hrubé, narušené povrchy, s obtížnou nebo velmi špatnou možností čištění.                               | Pasta vyschla příliš pomalu, došlo ke vzniku koroze.   |
| V některých oblastech není žádná boridová vrstva. Tam se v pastě ukazují trhliny až k povrchu obrobku. | Pasta byla nanesena v silné vrstvě a vyschla příliš pomalu.  |
| Vytváří se měkká, porézní okrajová zóna.   | Byla nanesená příliš slabá vrstva pasty. V důsledku chybějící nabídky bóru se ochuzuje boridová vrstva.                          |
| V důsledku vzniku $B_2O_3$ pasta tvrdne a dochází k narušování povrchu oceli.                          | Nános pasty nebyl vysušený.  |
| Pasta tvrdne a špatně se uvolňuje z obrobku.   | V žíhací nádobě je přítomný kyslík ve formě sloučenin (například z okujených dílů). Ochranný plyn je vlhký nebo obsahuje kyslík. |
| V důsledku nánosu produktu na jedné straně dochází k deformacím (tlakové napětí).                      | Slabé díly se zčásti bórují na jedné straně.   |
| Na hranách nebo ve vrubech dochází při boridování u již zakalených dílů ke vzniku trhlin.              | Zakalené díly nebyly před boridováním vyžíhané naměkko, nebo byly před zavezením nedostatečně přehřáté.                          |

Zdroj : Odborné sdělení hutní praxe - zpracování kovů, svazek 25, číslo 9 1987.

## 7.3 Kalení po boridování

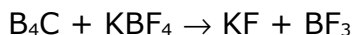
| chyba   | příčina   |
|---|---|
| Síťové trhliny v boridové vrstvě; v axiálním směru na povrchu pláště, v radiálním směru na čelních plochách, a zčásti na povrchu pláště v důsledku délkové roztažnosti. | Příliš silná boridová vrstva, která v důsledku většího objemu martenzitu praská.  |
| Dochází k odboridování se vznikem měkké vrstvy Fe a pod ní ležící porézní zóny.   | Pecní atmosféra není dostatečně inertní, jsou v ní ještě sloučeniny kyslíku.  |
| Dochází k odboridování s korozním narušením povrchu.  | Solné lázně nebyly neutrální.   |
| Dochází k odboridování za vzniku porézní povrchové zóny.  | Příliš dlouhá doba výdrže na austenitizační teplotě (nebezpečí v případě velkých průřezů), chybí přísun bóru z vnější strany. |

Zdroj : Odborné sdělení hutní praxe - zpracování kovů, svazek 25, číslo 9 1987.

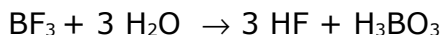


## 8. Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí

Produkty **DURFERRIT DURBORID** neobsahují **žádné nebezpečné složky**, a proto nepředstavují nebezpečné látky podle zákona o chemikáliích ani podle ustanovení přepravních předpisů. Jak se ale již uvádí v odstavci 3, při všech boridovacích provozních postupech nevyhnutelně dochází k emisím odpadových plynů s obsahem fluoridu, který vzniká v průběhu boridovacího procesu podle následující rovnice :



Uvolňovaný fluorid boritý se působením vzdušné vlhkosti rychle rozpadá podle následující reakce :



Na základě důsledného dalšího vývoje bylo možné emise odpadových plynů s obsahem fluoridu omezit asi o polovinu. Přesto by se ale měl každý uživatel použitím vhodného odsávání a přívodu čerstvého vzduchu postarat, aby byly dodrženy stanovené mezní hodnoty pro emise kyseliny fluorovodíkové a anorganických fluoridů v okolí jeho zařízení, a rovněž v průběhu vyjímání vsázky, zpracování a čištění.

Případně by mělo být k dispozici propírání odpadového vzduchu pomocí vápenného louhu, ve kterém se fluoridové podíly z odpadového plynu budou vázat ve formě těžko rozpustného fluoritu (kazivec,  $\text{CaF}_2$ ).

Zákony, předpisy, technická pravidla (TRGS) v oblasti bezpečnosti práce a ochrany životního prostředí jsou v takovém pohybu, že nepovažujeme za vhodné, abychom jejich znění nebo výtahy z nich uváděli v provozním návodu. Proto odkazujeme na příslušné materiálové bezpečnostní listy, které předáváme každému uživateli při zakoupení našich produktů. Bezpečnostní listy se průběžně udržují na úrovni nejnovějších znalostí a uzpůsobují se podle nových předpisů, a bez vyžádání se odesílají našim zákazníkům.

V bezpečnostních listech jsou obsaženy veškeré pokyny pro bezpečnostní techniku a ochranu životního prostředí pro jednotlivé produkty a pro jejich použití.

*Naše údaje pro naše produkty a přístroje, a rovněž pro naše zařízení a provozní postupy, se zakládají na rozsáhlé výzkumné práci a na aplikačně technických zkušenostech. Předáváme tyto výsledky slovem a písmem podle nejlepšího vědomí, ale nepřijímáme tím žádné ručení nad rozsah příslušné jednotlivé smlouvy, a vyhrazujieme si provedení technických změn v průběhu vývoje produktu.*

*To ale nezavazuje uživatele jeho povinnosti k ověření našich údajů a doporučení na vlastní zodpovědnost před jejich použitím pro vlastní aplikaci. To platí - zvláště v případě zahraničních dodávek - také s ohledem na ochranu autorských práv třetích stran a rovněž pro aplikační metody a provozní postupy, které jsme neuvedli výslovně a v písemné formě.*

*V případě vzniku škody se naše ručení omezuje na náhradní plnění ve stejném rozsahu, jak se to předpokládá podle našich všeobecných prodejních a dodacích podmínek pro závady na kvalitě.*

**EXPROHEF-CZ s.r.o.**  
**V Zahradách 21/786**  
**108 00 Praha 8**  
**Tel: 00420-724 913 837**  
**Fax: 00420-266 313 409**  
**Email: exprohef-cz@exprohef-cz.cz**

**Durferrit GmbH**  
**Postfach 101 362, D-68013 Mannheim**  
**Industriestrasse 3,**  
**D-68169 Mannheim**  
**Telefon +49 (0)621 - 3 22 24 - 0**  
**Telefax +49 (0)621 - 3 22 24 - 800**