FAKULTA STROJNÍ TUL

Bakalářská práce

Posouzení vlivu předúprav povrchu na kvalitu smaltu

Studijní program:	B0715A270008 Strojírenství
Autor práce:	**Jakub Verner**
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Hanus, Ph.D. Katedra materiálu
Konzultant práce:	doc. Ing. Adam Hotař, Ph.D. Katedra materiálu

Liberec 2026

FAKULTA STROJNÍ TUL

Zadání bakalářské práce

Posouzení vlivu předúprav povrchu na kvalitu smaltu

Jméno a příjmení:	**Jakub Verner**
Osobní číslo:	S23000115
Studijní program:	B0715A270008 Strojírenství
Zadávající katedra:	Katedra materiálu
Akademický rok:	2025/2026

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s aktuálním stavem znalostí v oblasti smaltů. Prostudujte dostupnou literaturu zaměřenou na technologie smaltování a to i s ohledem na předúpravu povrchů.
2. Proveďte experimenty na smaltovaných vzorcích s odlišnou předúpravou povrchů dle doporučených metodik zadavatelem.
3. Proveďte vyhodnocení experimentů, výsledky porovnejte a formulujte závěry.

Rozsah grafických prací:	
Rozsah pracovní zprávy:	25-40 stran
Forma zpracování práce:	tištěná/elektronická
Jazyk práce:	čeština

Seznam odborné literatury:

[1] BOUŠE, Václav; KRAJINA, Antonín and MORAVČÍK, Alfonz, 1986. *Smalty a jejich použití v protikorozní ochraně*. Praha: SNTL. ISBN 978-80-247-4370-7.
[2] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
[3] GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDISATION, 2025. DIN 4753-3:2025-02, *Water heaters, water heating installations and storage water heaters for drinking water – Part 3: Corrosion protection on the water side by enamelling and cathodic protection – Requirements and testing*. Germany.

Vedoucí práce:	Ing. Pavel Hanus, Ph.D. Katedra materiálu
Konzultant práce:	doc. Ing. Adam Hotař, Ph.D. Katedra materiálu
Datum zadání práce:	30. listopadu 2025
Předpokládaný termín odevzdání:	31. května 2027

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 9. října 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

12. května 2026 Jakub Verner

Abstrakt

Tato práce se věnuje posouzení kvality vrstvy smaltu v závislosti na použité úpravě povrchu – konkrétně jde o porovnání moření a pískování.

Klíčová slova: Smalt, smaltování, úprava povrchu, předúprava povrchu, povrchová úprava, moření, pískování, otryskávání, vliv, kvalita, přídržnost

Abstract

This thesis focuses on the quality assessment of an enamel layer in the context of surface treatment, specifically the comparison between pickling and sandblasting.

Keywords: Enamel, enameling, surface treatment, surface pretreatment, treatment of the surface, pickling, sandblasting, blasting, influence, quality,

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Pavlovi Hanusovi, Ph.D., za jeho trpělivost, shovívavost a podporu při psaní této práce.

Velmi děkuji také panu odbornému konzultantovi Jiřímu Slivanskému za jeho ochotu, odborné znalosti a pomoc s přípravou vzorků.

Nakonec velice děkuji své rodině a přátelům za jejich pochopení a podporu po dobu psaní této práce.

Obsah

Abstrakt **5**
Abstract **6**
Poděkování **7**
1 Úvod **10**
2 Teoretická část- Rešerše **11**
2.1 Základní informace o smaltech 11
2.1.1 Základní popis a charakteristika smaltu 11
2.1.2 Vlastnosti smaltu 11
2.1.3 Aplikace a využití 11
2.1.4 Smaltéřská frita 12
2.1.5 Rozdělení 12
2.1.6 Vady smaltu 14
2.2 Základní informace o podkladových kovech 15
2.3 Základní informace o povrchových úpravách 15
2.3.1 Vztah povrchových úprav k vrstvě smaltu 15
2.3.2 Rozdělení povrchových úprav 15
2.3.3 Moření 15
2.3.4 Otryskávání 16
2.4 Současnost a trendy 17
2.5 Konstrukce ohřívačů vody a technologické spojitosti 17
2.6 Informace získané z exkurze ve firmě 19
2.6.1 Smalt 19
2.6.2 **Moření** 20
2.6.3 **Otryskávání** 21
3 Praktická část **22**
3.1 Úvaha o aplikaci poznatků 22
3.1.1 Obecné posouzení vlivu 22
3.1.2 Mechanické vlastnosti smaltové vrstvy a podkladového kovu 22
3.2 Popis zkoušek 23
3.2.1 Měření tloušťky vrstvy smaltu 23
3.2.2 Měření drsnosti 24
3.2.3 Nárazová zkouška 25
3.3 Experimentální část 25
3.3.1 Výroba vzorků 25
3.3.2 Proměření drsnosti povrchu podkladového kovu 25
3.3.3 Smaltování vzorků 26
3.3.4 Proměření tloušťky a drsnosti smaltovaných povrchů 26
3.3.5 Nárazová zkouška 27
3.4 Výsledky 32
3.4.1 Provedené výpočty 32
3.4.2 Nejistoty typu B 33
3.4.3 Hodnoty drsnosti způsobené povrchovými úpravami 35

3.4.4 Hodnoty tloušťky smaltované vrstvy 36
3.4.5 Hodnoty drsnosti smaltovaného povrchu 37
3.4.6 Hodnoty nárazové zkoušky 38
4 Vyhodnocení výsledků 39
4.1 Hodnocení nárazové zkoušky 39
4.1.1 Provedení 39
4.1.2 Výsledky 39
4.2 Srovnání hodnocení přídržnosti vzhledem k drsnosti povrchu a tloušťce vrstvy 42
4.3 Důsledky pro praxi 43
5 Závěr 44
Prohlášení o využití umělé inteligence při zpracování bakalářské práce 45
Použitá literatura 46

1 Úvod

Poslední dobou je lidstvo kvůli stále nepravidelnějšímu klimatu nucené hledat šetrnější a udržitelnější řešení pro své fungování.

Jedním takovým odvětvím je i výroba ohřívačů vody, neboli bojlerů, a s nimi spojené technologické a funkční procesy, od sváření a přenos tepla za provozu, až po korozní ochranu při kontaktu s horkou vodou pomocí smaltování.

Tato práce se věnuje posouzení vlivu povrchových úprav moření a tryskání na kvalitu výsledného smaltu, a to v kontextu cílů zadavatele, firmy DZD, postupně snížit ekologickou zátěž v podobě užívání kyselin pro moření svých výrobků.

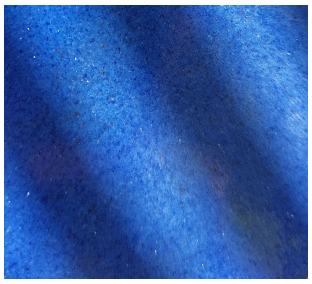
Díky prostudování dostupné literatury, odborné úvahy a navrhnutým měřením/zkouškám by výsledkem této práce mělo být jasné, ale konkrétní stanovisko na tuto problematiku, včetně snahy poskytnout číselné hodnoty, které by mohlo pomoci firmě s plánováním dalšího strategického vývoje a činností.

2 Teoretická část- Rešerše

2.1 Základní informace o smaltech

2.1.1 Základní popis a charakteristika smaltu

Definice: *,,Smalt je sklo komplikovaného chemického složení, které je upraveno tak, aby výsledné fyzikální a chemické vlastnosti umožnily jeho natavení na kov a vytvoření celistvého ochranného povlaku na kovu"* [1 s. 11].



Obrázek 1. Ukázka smaltovaného povrchu.

Smalt (obr. 1) je vyráběn jako směs smaltéřské frity, vody a dalších přísad, které se za mokra nebo za sucha nanesou na předem připravený kovový povrch, a následně dojde za dostatečné teploty k vypálení.

Tím smalt získá svou sklovitou formu, a utvoří tak, při dodržení správných postupů na řádně připraveném povrchu, celistvou vrstvu.

2.1.2 Vlastnosti smaltu

Jak vyplívá z definice, jedná se o sklovitý materiál, tudíž budou jeho vlastnosti sklu podobné.

Výhody lze převážně rozdělit do kategorií chemických a mechanických vlastností:

Výhodné mechanické vlastnosti - povrch je lesklý a vzhledný, otěruvzdorný, tvrdý, bezúdržbový a vrstva smaltu je termicky odolná

Výhodné chemické vlastnosti - chemická odolnost, barevná stálost, hygienická nezávadnost

Mezi nevýhody patří náležitosti spojené s výhodami, a to především v oblasti těch mechanických- vzhledem ke své tvrdosti je smalt křehký, může být snadno porušen nárazy a má menší pevnost v tahu.

[1 s. 10][2 s. 3]

2.1.3 Aplikace a využití

Díky svým výhodám je smalt používán v technické praxi jako skvělý anorganický povrch pro ochranu před korozí, a to v široké škále prostředí a aplikací, od chemického a zdravotního průmyslu pro různé chemické reaktory a nádoby, kde

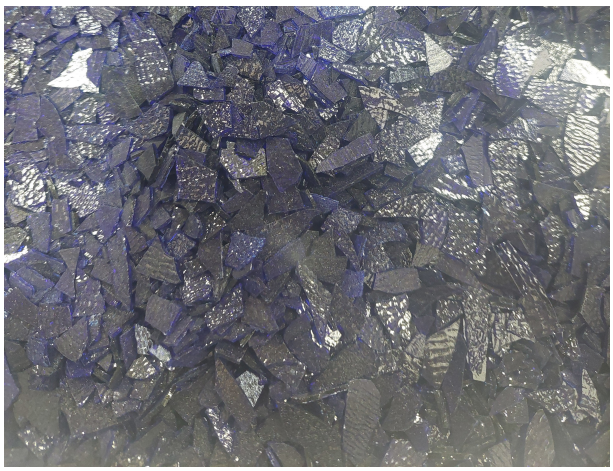
dochází k vystavení různým chemikáliím za různých teplot a vlhkostí, od použití ve strojírenství a energetickém průmyslu pro různá tepelné zařízení, jako jsou tepelné výměníky a ohřívače, ke kterým se tato práce váže.

[1 s. 10][2 s. 3]

2.1.4 Smaltéřská frita

Smaltéřská frita (dále jen frita), je základní materiál pro přípravu jakéhokoliv druhu smaltu. Jedná se též o anorganický sklovitý materiál, který vzniknul tavením směsi surovin, takzvaného kmene, a jeho následným prudkým ochlazením.

Chladí se zejména do vody u jednorázové tavby, čímž vzniknou tzv. granálie, anebo mezi chlazenými válci při kontinuální tavbě, čímž vzniknou tvarově šupiny (obr. 2) [1 s. 18][2 s. 57, 58].



Obrázek 2. Smaltéřská frita v podobě šupin

Kmen pro výrobu frity je většinou složitá silikáto-boritá směs s dalšími příměsemi, jako živec, fluoridy, oxidy a uhličitany kovů. Složení se mezi fritami liší, a bývá vytvořeno na míru konkrétním potřebám specializovanými firmami[1 s. 56].

2.1.5 Rozdělení

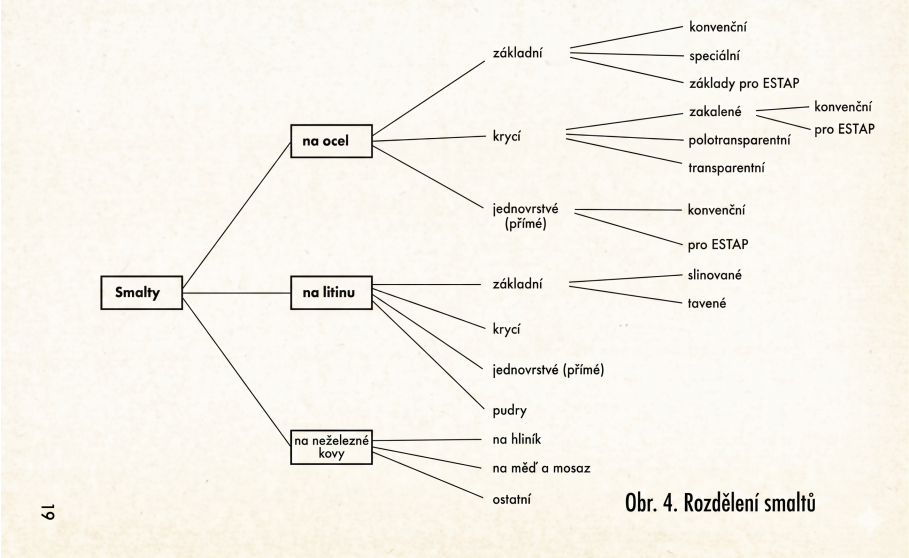
Dělení smaltů je odvislé od chemického složení frity, kovu, pro který je smalt určen a poté podle způsobu aplikace.

Základními třemi skupinami podle materiálu jsou smalty na ocel, na neželezné kovy a na litinu.

Dále se vždy dělí podle způsobu aplikace, neboli zda se bude jednat o dvouvrstvý smalt, tvořený základním a krycím smaltem, anebo zda to bude jednovrstvý smalt.

[1 s. 18]

Podrobnější dělení viz. obr. č. 3:



Obrázek 3. Rozdělení smaltů. (Upraveno rozlišení). [1 s. 19]

Pro ocel lze využít smalty jak dvouvrstvé, tak jednovrstvé.

Základní smalty

Základní smalty tvoří základ, na který je následně aplikován krycí smalt. Vytváří přídržnou mezivrstvu, která pojí smalt s podkladovým materiálem. Bývají zpravidla méně odolné než krycí smalty, a proto se samotné téměř nevyužívají. Vypalovací teplotu mohou mít jak vyšší, než smalty krycí, a to do 900°C, tak stejnou, v rozmezí 760-840°C. V takovém případě se označují jako nízkoteplotní. Tloušťka vrstvy by měla být co nejmenší (po vypálení 80-120 mikrometrů), jelikož přílišná tloušťka vede ke špatné adhezi a kohezi vrstvy [1 s. 18, 19].

Krycí smalty

Krycí smalt je aplikován na smalt základový, a tvoří již hotový funkční povrch, který splňuje požadované chemické, termické, mechanické a případně optické vlastnosti.

Jsou děleny podle použité frity na:

1. Zakalené- Zákal je důsledkem frity, a při přípravě břečky již není potřeba žádných úprav. Jsou většinou bílých, anebo velmi tmavých barev.
2. Polo-transparentní- Jde o směs zakalených frit s fritami polo-transparentními a aditivy jako jsou barvící oxidy, které dělají výsledný smalt transparentnější a světlejší. Přidávají se také kalidla, a to zirkoničitá, titaničitá nebo antimonitá.
3. Transparentní- Jsou připravovány z transparentních frit, a jsou též barveny oxidy přidávanými při mletí suspenze. Tyto smalty tvoří většinu smaltů pestrých barev, jejich nejčastější použití je tedy dekorativního rázu. Lze je ale hodně přizpůsobit požadovaným vlastnostem. Pro lepší chemickou odolnost je nutné nanesení na odolnější podklad, aby nehrozilo pod-korodování od hran výrobku [1 s. 20].

Jednovrstvé smalty (přímé)

Jednovrstvé smalty jsou takové smalty, které kombinují vlastnosti smaltů základových a krycích. Dosáhnuto je toho pomocí frity, která poskytuje jak potřebnou přídržnost smaltu k podkladu, tak veškeré vlastnosti povrchové vrstvy. Většinou jsou založeny na bázi nikelnaté, kdy tvoří šedé smalty, anebo na bázi kobalnaté, kdy mají tmavě modrou barvu. Nanášeny jsou v rozmezí od 100 do 400 mikrometrů a to jak najednou, tak i po více vrstvách, podle konkrétních potřeb. Zároveň tento druh smaltu nepotřebuje speciální úpravy povrchu typu niklování, a vystačí tak moření nebo pískování [1 s. 21].

Nanášení

Všechny zmíněné druhy smaltů lze na ocelový povrch nanášet dvěma způsoby:

1. Za mokra (konvenčně)- Nanesení vodné suspenze (břečky), vysušení a vypálení.
2. Za sucha- Nanesení jemné práškové frity v elektrostatickém poli.

   [1 s. 22]

2.1.6 Vady smaltu

V závislosti na zvoleném podkladovém materiálu, jeho povrchových úpravách a parametrech při technologických procesech se mohou na smaltovaném povrchu projevit určité vady. Každé z nich lze předejít použitím správných postupů.

Rybí šupiny- Název pro odprýsknutí smaltu o dobré přídržnosti. Mohou tedy být způsobené externími mechanickými vlivy (nárazy), anebo interními ději. Konkrétně nasycením a únikem vodíku v podkladovém kovu, který u výrobků smaltovaných z obou stran dosáhne rozmezí kov-smalt, a při dosáhnutí určitého tlaku způsobí jeho odprýsknutí ve tvaru rybí šupiny. Lze jim tedy předejít jednostranným smaltováním, dostatečných zachycením vodíku, jeho upuštěním pomocí tzv. zrnítka a také ochrannou před nárazy.

Bubliny a vpichy- Způsobené nečistým povrchem podkladového materiálu, příliš prudkou předúpravou povrchu, anebo nevhodným vypalovacím procesem.

Měděné hlavičky- Vznikají, když se dostane oxid železa na povrch smaltu. Projevují se zčernalým místem, jsou lokální.

Malá přídržnost- Vznikají při nízké teplotě vypalování, nevhodné kvalitě oceli anebo při příliš rozsáhlé oxidaci povrchu podkladového kovu.

Znečištění smaltu- Kontaminace různého původu v břečce/ prášku.

Z výše zmíněných závad mají povrchové úpravy největší vliv na tvorbu bublin a vpichů, které poškozují vrstvu smaltu absencí materiálu.

[3 s. 38]

2.2 Základní informace o podkladových kovech

Podkladové kovy vhodné ke smaltování lze rozdělit na několik skupin, a to konstrukční oceli, speciální oceli, litiny a barevné kovy, přičemž nejpočetnější skupinu tvoří právě konstrukční oceli ČSN třídy 11.

Obecně je pro smaltování vhodná ocel, která je nízkouhlíková s minimem příměsných prvků (P, S, Si, Al, Mn, ...), je dobře svařitelná, mořitelná, neobsahuje výrobní nečistoty a vady (okuje, šupiny, trhliny, rýhy ...), má hladký povrch a dokáže zabránit prostupu zachyceného vodíku na povrch do smaltu.

[1 s. 72]

2.3 Základní informace o povrchových úpravách

2.3.1 Vztah povrchových úprav k vrstvě smaltu

Kvalita vrstvy smaltu je nejvíce ovlivněná adhezí smaltu k podkladovému kovu a kohezí smaltu. To je přímo ovlivněné kvalitou surovin smaltu a kovů, a taktéž technologickými operacemi smaltování předcházejícím, které mají zajistit co nejčistší povrch od všech nečistot (tuky, oleje, minerální látky...) a co nejoptimálnější geometrii povrchu. Důraz je kladen na naprostou, celkovou čistotu povrchu [1 s. 89][2 s. 25].

2.3.2 Rozdělení povrchových úprav

Přípravné technologie povrchu se dělí hlavně na chemické a mechanické. Chemické zahrnují odmaštění, moření, neutralizaci pasivním a občas niklování. Mechanické mají za cíl to samé, jako chemické procesy, a zahrnují především čištění abrazivními materiály- otryskávání, konkrétně pískování. [1 s. 89]

2.3.3 Moření

Moření je většinou označení pro sekvenci samostatných technologií obsahující taktéž moření. Konkrétně se jedná o odmaštění, moření a pasivaci, někdy niklování, přičemž mezi těmito procesy ještě dochází k oplachům vodou o vhodném složení, aby nedošlo k míchání chemikálií a zhoršování kvality procesu [1 s. 90][2 s. 33].

Celý proces zajišťuje odstranění okují, rzi a úpravu reliéfu povrchu.

Odmašťování

Odstraňuje mastnoty a nečistoty po předchozích technologických procesech, jako je lisování nebo převoz (konzervace oleji). Nejčastěji jsou použity pro odmaštění alkalické roztoky, a ze všech procesů trvá nejdéle. Je proto většinou z provozních důvodů rozdělováno na více fází v kaskádě. Hlavním cílem je vytvořit hydrofilní povrch, který je důležitý pro úspěch dalších kroků moření [1 s. 90][2 s. 29].

Moření

Moření zajišťuje očištění geometrického rázu- zbavuje povrch okují, rzi, a celkově zlepšuje reliéf pro následné operace. Mořícím médiem jsou nejčastěji kyseliny, a to sírová a chlorovodíková, anebo ekologičtější alternativy, jako kyselina dusičná, fosforečná, citronová anebo síran železitý [1 s. 91][2 s. 34–36].

Pasivace

Pasivuje zbytky kyselin a zastavuje chemické reakce. Nejčastější pasivační činidla tvoří alkalické soli. Zbytkové množství solí má v případě následného nanášení smaltu elektrostaticky negativní vliv při vypékání smaltu- vytváří do vrstvy vpichy. U mokrého způsobu dojde k rovnoměrnému rozprostření a potlačení účinků [1 s. 93].

Niklování

Provádí se před pasivací a téměř výlučně pro přípravu povrchu na tzv. přímé bílé smaltování (z ekologických důvodů), které je prováděno krycím smaltem bez základového. Reakce síranu nikelnatého zlepšuje přídržnost následné smaltové vrstvy [1 s. 93][2 s. 37].

2.3.4 Otryskávání

Čištění abrazí dosahuje čistého, drsného a zpevněného povrchu vrháním abraziva (kuliček, šrapnelů, písku, ...) mechanicky či pneumaticky oproti povrchu obrobku. Ačkoliv je zde drsnost povrchu způsobená technologií žádoucí, není to primární podmínka pro správně připravený podklad pro smalt. Tou je co nejlepší fyzická čistota, kterou není snadné hodnotit.

Jako dobrý typ tryskacího média pro smalty na ocelový povrch lze brát ocelovou drť (obr. 4), která má ostrohranný povrch a nízkou prašnost.



Obrázek 4. Příklad vhodného média s ostrohrannými částicemi

Nevhodné média pro následné smaltování jsou média velmi tříštivá, zanechávající prach a uhlíková.

[1 s. 99]

2.4 Současnost a trendy

Zatímco dosud byly v práci zejména popsány konvenční a klasické postupy a technologie smaltování, v praxi se použití smaltů často drobně odlišuje, a to zejména ve fázi přípravy smaltovací břečky.

Trendem posledních let je totiž přesun přípravy směsi z výrobce na dodavatele smaltu. Výsledkem je tak “ready to use” směs ke smaltování- takzvaný “premix” [3 s. 11].

Jedná se o jemný, rozdrcený prášek, který stačí smíchat s vodou, někdy, v případě potřeby, ještě s barvítky pro dosažení požadovaného barevného odstínu.

Zbytek vývoje a trendů ve smaltéřském odvětví je již charakteru vlastností samotného smaltu- výrobci smaltovaných produktů přirozeně tlačí na výrobce frit, aby výsledný materiál měl ještě lepší vlastnosti, než doposud.

2.5 Konstrukce ohřívačů vody a technologické spojitosti

Ohřívač vody, neboli bojler, se primárně skládá z nádoby, ve které je ohřívána a skladována ohřátá voda, a pláště, který nádobu chrání, a poskytuje termoizolaci, která snižuje tepelné ztráty do okolí. Z perspektivy aplikace smaltu nás zajímá hlavně vnitřní, ohřevná nádoba.

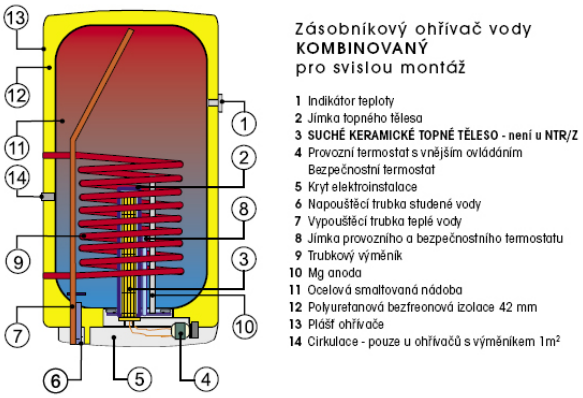
Vnitřní nádoba- samotný ohřívač, může být konstruována více způsoby, a to podle typu tepelného zdroje, anebo podle provedení konstrukce.

Dle tepelného zdroje se bojlery dělí na přímotopné, nepřímotopné a kombinované.

Přímotopné mají nejjednodušší konstrukci, tvořenou nádobou a vložkou, ve které je umístěno suché keramické odporové topné těleso.

Nepřímotopné jsou složitější, jelikož jsou vytápěny pomocí přenosu tepla z tepelného výměníku, většinou spirálovitého tvaru, v jehož potrubí proudí horká voda, většinou z kotle.

Kombinované jsou kombinací předešlých 2 typů, a mají tak nejsložitější konstrukci nádoby (viz. obr. č. 5).



Obrázek 5. Řez kombinovaným bojlerem

Existují 2 tradiční konstrukční řešení ohřívačů vody, dle kterého se dělí na evropský a americký typ.

Americký typ

Toto konstrukční řešení vychází z rozdělení bojleru do 2 částí- Tělesa bojleru a krytu s vyhříváním.

Obě části bojleru jsou nejprve samostatně smaltovány, a poté svařeny k sobě. To dovoluje snazší přístup dovnitř nádoby při výrobě, a snazší manipulaci.

Nevýhodou je však rizikovější manipulace s již hotovým smaltovaným povrchem, nutnost ochránit místa budoucích svarů před smaltem a jejich následná ochrana před korozí.

[2 s. 249, 250]

Evropský typ

Oproti tomu evropský tip bojleru je vyráběn jako jeden celistvý svařenec, většinou s jediným otvorem dovnitř, který je smaltován najednou.

To má za výhodu celistvost výsledného smaltovaného povrchu, a tudíž i menší šance na defekty vrstvy, ale přináší to komplikace ve výrobě, a to ve všech fázích.

Použití povrchových úprav je přímo ovlivněno vnitřní konstrukcí bojleru- zda je přítomný tepelný výměník a jeho parametry.

Smaltování je ovlivněno horší manipulací s bojlerem v jednom kuse.

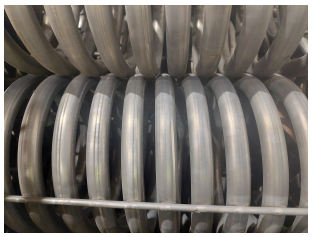
A kontrola povrchu je díky limitovanému náhledu dovnitř o dost obtížnější.

[3 s. 36][2 s. 249, 250]

Na smaltovaný povrch bojleru, jeho životnost a kvalitu tudíž nemají vliv pouze jen materiálové vlastnosti smaltu samotného, podkladového povrchu a použitých technologií, ale nepřímo také konstrukční řešení bojleru jako takového.

2.6 Informace získané z exkurze ve firmě

Zkoumaná část procesu výroby pracuje se svařencem tvořeným nádobou bojleru, a uvnitř-vinutým tepelným výměníkem (obr. 6), přivařeným uvnitř nádoby. Konstrukčně jsou tedy všechny vyráběné bojlery evropského typu.



Obrázek 6. Tepelný výměník před navařením do nádoby.

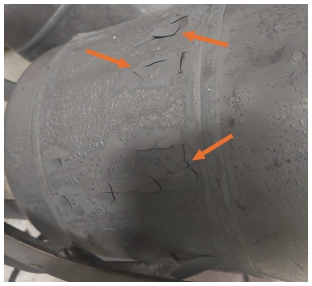
Nádoba má poté do vnitřku, kde se následně skladuje ohřátá voda, jediný vhodný technologický přístup zespoda. Tímto otvorem se provádí všechny další operace, tzn. pískování nebo moření a smaltování.

2.6.1 Smalt

Ve firmě je používána frita tmavě modré barvy ve formě šupin pro všechny metody a výsledný smalt je jednovrstvý. Toto podle teorie napovídá, že by se mělo jednat o jednovrstvý smalt na bázi kobaltu.

Na výrobky je nanášen dvěma způsoby- za mokra ve formě břečky, a elektrostaticky práškově za sucha.

Za sucha se aplikuje pouze zvenčí nádob pro zabránění odpadávání okují (viz. obr. 7) při vypékání. Okuje následně odpadávají a způsobují problémy ve výrobě.



Obrázek 7. Nádoba s okujemi.

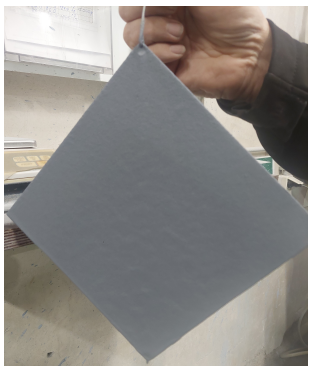
Pro postup za mokra je smalt připravován smícháním s vodou a zrnítkem, mletím v mlýně s mlecími koulemi (obr. 8). Poté vypuštění a 24 hodinové stání břečky v nádobě.



Obrázek 8. Kulový mlecí mlýn pro mletí suspenze.

Výsledná požadovaná tloušťka vrstvy je přibližně 150 mikrometrů.

Břečka je v praxi testována na správné složení uchycením na namočené desce (obr 9). Deska je poté zvážena, a výsledky hmotnosti jsou porovnány.



Obrázek 9. Testovací deska s břečkou na povrchu.

2.6.2 Moření

Moření probíhá v několik fázích v bazénech vedle sebe. Je užíváno pro bojlery s hustě vinutým tepelným výměníkem, které by nešlo spolehlivě opískovat. Fáze procesu:

1. Odmaštění- alkalické pomocí metakřemičitanu sodného, na 2 fáze.

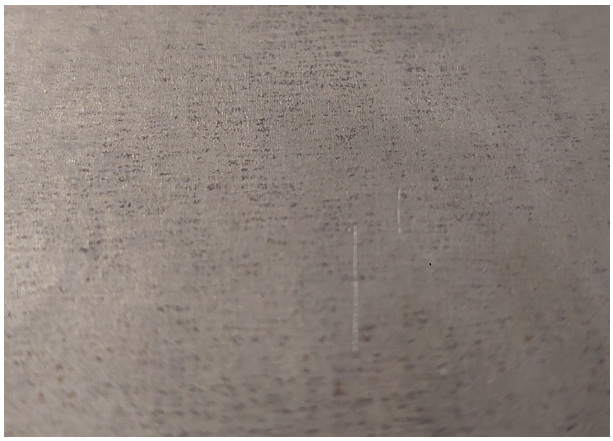
2. Voda- alkalický oplach.

3. Moření- kyselinou sírovou o koncentraci 10-20% a teplotě 55°C. Hlídá se rozpuštěné Fe. Zajišťuje hrubost povrchu přibližně o hodnotě Ra=2 µm.

4. Voda- acidický oplach.

5. Pasivace- na bázi alkoholu, zabraňuje další korozi.

6. Sušení ošetřeného povrchu (obr.10)



Obrázek 10. Ukázka mořeného povrchu.

2.6.3 Otryskávání

Preferováno z ekologických a technologických důvodů, ale lze provádět pouze u bojlerů s řídce-vinutými tepelnými výměníky.

Tryskací médium je tvořeno ocelovou drtí o přibližné zrnitosti 0,2 až 0,6 mm skupiny s nejvyšší tvrdostí GH, která disponuje tvrdostí 62 až 67 HRC.

Probíhá v jednom boxu, kde je svařenec zavěšen technologickým otvorem dolů, visí na otočném kolejnicovém závěsu, rotuje, a tryskací tryska vyjíždí zespod dovnitř, kde začne vysunutá nejvýš, a postupně klesá po 3 fázích. Tryska se vůči svařenci nachází a pohybuje uvnitř topné spirály svařence a nerotuje.

Fáze jsou tedy odvislé od fyzické polohy trysky- Nahoře (1. fáze), uprostřed (2. fáze) a výfuk, který je poslední třetí fází, a zajišťuje očištění povrchu (obr. 11) od přebytečného tryskacího média vyfouknutím ven.



Obrázek 11. Ukázka otryskaného povrchu.

3 Praktická část

3.1 Úvaha o aplikaci poznatků

3.1.1 Obecné posouzení vlivu

Tato část BP se zaobírá otázkou, zda má rozdílná povrchová úprava významný vliv na výslednou kvalitu smaltu.

Pro aplikaci v ohřívačích vody jsou kladeny nároky na chemickou odolnost, celistvost povrchu a životnost smaltu. Mechanická odolnost v praxi tak podstatná vzhledem k charakteristice provozu bojleru není (bojler je umístěn staticky a není zatěžován rázy, které by mohli mechanicky porušit smaltovanou vrstvu).

Nicméně základní úvahou můžeme dospět k názoru, že pro zodpovězení otázky vlivu povrchových úprav na vrstvu smaltu budou mít největší, a možná i jediný znatelný vliv právě mechanické vlastnosti podkladového kovu, jeho technologická úprava a chemické reakce při smaltování, které vytvoří mezi vrstvou a kovem spojení.

Vzhledem k tomu, že je zadáním posoudit kvalitu mezi vzorky, které byly připraveny odlišnou úpravou povrchu, ale smalt je mezi vzorky naprosto stejný a při výrobě je vynakládaná vysoká snaha o konzistenci, můžeme tak vliv chemických procesů z hodnocení vyřadit, jelikož by měli být stejné, a navíc není ani realistické sledovat chemické procesy smaltování, jelikož probíhá v peci za vysokých teplot.

Zůstávají nám proto již k posouzení pouze mechanické vlastnosti, jelikož rozdílné technologie a porovnání jejich vlivu jsou podstatou tohoto výzkumu.

3.1.2 Mechanické vlastnosti smaltové vrstvy a podkladového kovu

V teoretické části této práce byl zmíněn záměr, se kterým se provádí povrchové úpravy moření a otryskání. Těmito záměry je hlavně dosáhnutí celkové čistoty povrchu, a jeho aktivace pomocí zdrsnění.

Z tohoto hlediska tak má smysl zaměřit se právě na drsnost povrchů a na mechanismy s ní spojené- adhezi a kohezi.

Koheze je soudržnost, která je zajišťována smaltem samotným, a nemá tak proto význam se kohezí dále zabývat, jelikož je dobrá soudržnost smaltu klíčovou vlastností pro jeho výslednou funkci, a měla by tak být zajištěna již samotným výrobcem frit.

Adheze je naopak přídržnost, která je vždy odvislá od vlastností dotýkajících se systémů, v tomto případě jde o soudržnost kov-smalt.

Po zamyšlení dojdeme k jednoduchému úsudku, že výsledná adheze bude kombinací chemických a geometrických vlastností rozhraní kov-smalt, a jelikož již bylo několikrát zmíněno, že by měla být chemie smaltu vhodná a garantovaná výrobcem, naše finální posuzování se tak bude týkat geometrických vlastností povrchů, neboli jeho drsností.

Pro přesnější posouzení však kromě otestování drsnosti povrchu provedeme také ještě nárazovou zkoušku, jelikož by mohla poskytnout vizuální a jasné výsledky o vlivu povrchových úprav na vrstvu smaltu, a měření tloušťky vrstvy smaltu, jelikož se budou různé tloušťky chovat při nárazu jinak.

3.2 Popis zkoušek

3.2.1 Měření tloušťky vrstvy smaltu

Vzhledem k úmyslu provést nárazovou zkoušku je logickým požadavkem znát tloušťku smaltu na testované ploše vzorku s ohledem na principy mechaniky- větší vrstva smaltu bude vyžadovat jinou úroveň deformační energie k rozrušení, než vrstva menší. Chceme tak tento vliv mít pod kontrolou.

Měření tloušťky lze provádět dvěma způsoby:

-Měření pomocí elektromagnetické indukce

-Měření pomocí mikroskopu

Pro účely této BP byla zvolena metoda měření pomocí **elektromagnetické indukce**, která je popsána **normou ČSN ISO 2178**, jelikož je v praxi tato metoda hojně využívána díky své jednoduchosti, praktičnosti a spolehlivosti.

Měření spočívá v indukci elektrického proudu uvnitř přístroje pomocí interakce kovového podkladu s magnetickým polem vydávaným přístrojem.

Tato indukce je ovlivňována vzdáleností sondy od podkladového kovu, čímž dokážeme zjišťovat tloušťku vrstvy mezi kovem a sondou.

Tato metoda tak má omezení, že ji lze použít pouze pro zjišťování tloušťky nekovových vrstev na kovovém podkladu. Pro použití na měření vrstvy smaltu je to však ideální.

Užití přístroje je velmi snadné a rychlé- stačí přiložit sondu k povrchu a vyčíst hodnotu z přístroje. I přes možnost kontroly vrstvy na několika místech rychle po sobě a získání tak většího přehledu o vrstvě je tato metoda náchylná na chybu lidského faktoru, a to špatným přiložením k povrchu, kdy sonda nemusí být kolmo, a dojde tak ke zkreslení výsledků.

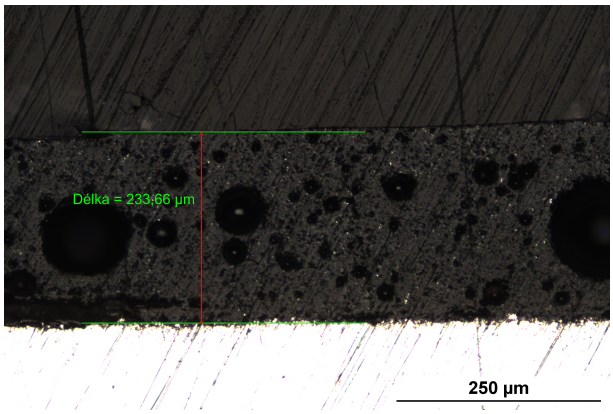
K měření byl pro tuto BP použit firemní přístroj značky Elcometer 456 A456CFBS se sondou Elcometer Straight probe T456CF1S, který lze vidět na obrázku číslo 12.



Obrázek 12. Elcometer 456 A456CFBS se sondou Elcometer Straight probe T456CF1S.

Měření tloušťky pomocí mikroskopu je prováděno stejným postupem, jako příprava metalografického.

Pro demonstraci a náhled na rozhraní kov-smalt byl však zhotoven jeden metalografický výbrus, který lze vidět na obrázku č. 13 .



Obrázek 13. Ukázka měření tloušťky vrstvy pomocí optického mikroskopu

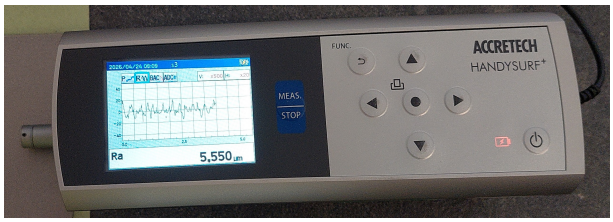
3.2.2 Měření drsnosti

Jak bylo uvedeno v počáteční úvaze, měřením drsnosti by jsme měli zjistit nejzásadnější rozdíly mezi technologiemi úprav povrchu, jelikož jsou velmi rozdílné na první pohled svými principy, tak i vizuálně.

Měření drsnosti si klade za cíl vyjádření složité geometrie povrchu zjednodušením na jediné číslo, pomocí kterého lze přibližně kvantifikovat hodnotu drsnosti povrchu.

Tato hodnota může být vyjádřena různými způsoby, v ČR je však běžné použití typu Ra, neboli střední aritmetické odchylky.

K měření byl pro tuto BP použit firemní přístroj značky Accretech Handysurf 35+ (obr. 14) s nástavcem E-DT-SM49B, který používá jako snímací člen diamantový hrot o průměru vrcholu 2 mikrometry a vrcholovém úhlu 60°.



Obrázek 14. Drsnoměr Accretech Handysurf 35+.

3.2.3 Nárazová zkouška

Pro posuzování kvality smaltu jsou běžně používány nárazové zkoušky.

Existují 2 hlavní zkoušky, obě popsané normami:

- ČSN ISO 4532 - Stanovení odolnosti smaltovaných výrobků proti nárazu
- ČSN EN 10209 - Ploché výrobky válcované za studena z hlubokotažných ocelí určených ke smaltování - Technické dodací podmínky - Příloha C

Zatímco norma ČSN ISO 4532 popisuje nastřelování smaltu 5mm kuličkou, a zkoumá jakékoliv minimální známky poškození, norma ČSN EN 10209 popisuje destrukci smaltu dopadem 1,5kg těžkého závaží na těleso/ kuličku o průměru úderné části 22 mm.

Rozdíl mezi normami je zásadní- Zatímco normou ČSN ISO 4532 je testován pouze smalt, jelikož jsou nárazy malé a nikdy by neměli ovlivnit podkladový kov, u normy ČSN EN 10209 je naopak žádoucí jak destrukce smaltu, tak určitá deformace podkladového kovu.

Pro posouzení vlivu povrchových úprav kovu je tak nezbytné testovat pomocí normy ČSN EN 10209, jelikož pouze ta dokáže skutečně otestovat vliv a chování smaltovaného kovu s užitím různých metod úpravy povrchu.

3.3 Experimentální část

3.3.1 Výroba vzorků

Dle doporučení vedoucího práce byl určen minimální nutný počet vzorků k provedení spolehlivé statistiky a vyhodnocení výsledků na 10ks od obou typů vzorků- otryskaných a mořených.

Následně byla tato informace předána odbornému konzultantovi, který dle zavedených postupů vzorky vyrobil- 2x 10ks, podle použité úpravy povrchu- 10ks vzorků s předúpravou povrchu otryskáním a 10ks vzorků s předúpravou povrchu mořením.

Rozměry vzorků: 80×90×2,3 mm

3.3.2 Proměření drsnosti povrchu podkladového kovu

Po aplikaci povrchových úprav byly ve firemní laboratoři za pomocí firemního přístroje (obr. 15) naměřeny hodnoty drsnosti povrchů, a byla vytvořena tabulka s výsledky.



Obrázek 15. Ukázka měření drsnosti povrchu

3.3.3 Smaltování vzorků

Následovalo smaltování vzorků, které bylo provedeno standartními způsoby užívanými ve firmě.

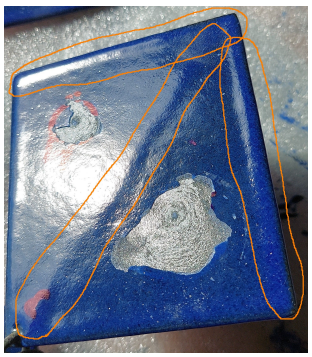
3.3.4 Proměření tloušťky a drsnosti smaltovaných povrchů

Vzorky byly nejprve vizuálně prohlédnuty, a byla určena a označena jednotlivá místa pro měření.

Důvodem je chování smaltu vzhledem k velikosti vzorku. Smalt je aplikován na vzorky jako tekutá, ale viskózní kapalina, která má díky kontrolovanému výrobnímu procesu a poměru surovin (frity a vody) požadované reologické vlastnosti.

To má však za následek nepříznivé chování po okrajích vzorku, jelikož se zde díky vlastnostem smaltovací břečky, jako je viskozita, nashromáždí větší množství břečky, než na zbytku povrchu, a výsledná vrstva smaltu je tak zde o dost silnější, než na zbytku vzorku.

Zároveň došlo ke stejnému jevu i na svislé diagonále vzorku (viz. obr. č. 16), jelikož byly vzorkové destičky, vzhledem k proveditelnosti smaltování, v horním rohu zavěšeny na ocelové háčky, na kterých došlo taktéž k nashromáždění přebytečného množství smaltu, který následně po hlavní diagonále ve větším množství stékal.



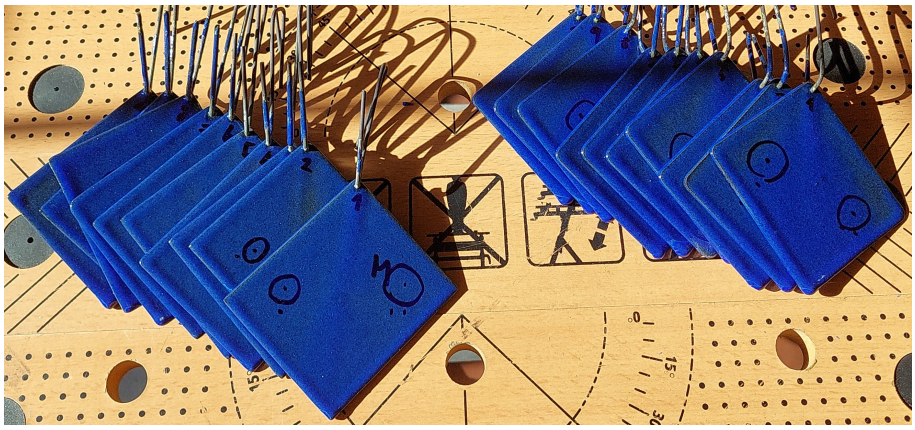
Obrázek 16. Znázornění ovlivněných oblastí tlustší vrstvou smaltu.

V reálných bojlerech však takovýto jev nastává pouze na spodním technologickém otvoru, a vrstva smaltu je tak prakticky všude, až na okolí tohoto otvoru, dostatečně homogenní.

Z těchto důvodu byly jediné vhodné plochy, které by poskytly co nejpřesnější data měření, mezi obvodem destiček a jejich svislou diagonálou, tvořící 2 trojúhelníkové plochy.

Proto bylo také množství měření na jednotlivých destičkách omezeno na 2, jelikož se výsledné nárazy při nárazové zkoušce na tyto plochy vešly spolehlivě vždy pouze 1 (tedy 2 na 1 vzorku).

Tyto vybrané plochy byly následně označeny, jak lze vidět na obr. č. 17.



Obrázek 17. Připravené označené vzorky.

Nakonec bylo již provedeno samotné měření tloušťky vrstvy a její drsnost.

Vzhledem k časovým možnostem osob podílejících se na této BP bylo nakonec provedeno pro každou vytyčenou plošku 5 měření drsnosti podkladového kovu, 5 měření drsnosti smaltované vrstvy a 10 měření její tloušťky.

Měření tloušťky bylo provedeno víckrát, a to díky menší časové náročnosti měření, ale také většímu riziku nepřesnosti.

3.3.5 Nárazová zkouška

Jak bylo zmíněno v podkapitole o nárazových zkouškách, byla samotná provedená nárazová zkouška založena na zkoušce popsané normou ČSN EN 10209.

Bohužel vzhledem k dosažitelným možnostem nakonec provedená zkouška nemohla být vykonána zcela 1:1 oproti normě.

Byla však provedena s co největší dosažitelnou podobností a pečlivostí, aby byly získané výsledky co nejlépe porovnatelné a vypovídající.

Byla tak vzata v potaz hlavní podstata zkoušky, a na stejném principu došlo k navržení samotného experimentu. Shození závaží o definované hmotnosti z definované výšky na geometricky definované těleso, které po dynamickém rázu přenese energii na vzorek, u kterého dojde k odpovídající deformaci smaltované vrstvy a podkladového kovu.

Následně bude možné výsledky ohodnotit stejným způsobem, jako uvádí norma.

Sestrojení

Experiment byl zkonstruován tak, aby co nejvíce odpovídal normované zkoušce.

Podle normy byly zjištěny následující parametry:

Hmotnost závaží: m= 1,5 kg

Průměr kuličky: d= 22 mm

Výška pádu: Pro tloušťky podkladového kovu t= 1,2 mm+ → h= 750 mm

Parametry k dispozici:

Hmotnost závaží: m= 820 g

Průměr kuličky: d= 22,2 mm

Protože nebylo k dispozici takto těžké závaží, ale pouze závaží o m=820 g, byla výška pádu podle jednoduchého vztahu pro potenciální energii v tíhovém poli Země $E = mgh$ přepočítána pomocí jednoduché rovnice na hodnotu h= 1372 mm.

$E = 1,5 * 9,81 * 0,75 = 11,03625\ J$

$E = 0,82 * 9,81 * h$

$m1 * g1 * h1 = m2 * g2 * h$

$1,5 * 0,75 = 0,82 * h$

$h = (1,5 * 0,75)/0,82 = 1,372\ m$

Vzhledem k tomu, že byl problém dostupné hmotnosti závaží vyřešen, stačilo již pouze zajistit dostatečně dlouhé, vhodné vedení pro závaží, a dostatečně vhodný podklad, na kterém bude při experimentu umístěn vzorek.

Zajištění zkušebního aparátu

Závaží

Jako vhodné závaží byly použity 4 kalené soudečky valivého ložiska (obr. č. 18), které k sobě byly zajištěny a závaží bylo opatřeno dostatečně dlouhým lankem pro manipulaci. Soudečky lze vidět na obrázku č. 19.



Obrázek 18. Kalená tělesa užitá pro závaží

Každý soudeček měl hmotnost m=200 g, což při počtu 4 dává hmotnost m=800 g.

Výsledná hmotnost byla potom součtem hmotnosti samotného závaží a spojovacího materiálu. Výsledná hmotnost m tedy činila 820 g.



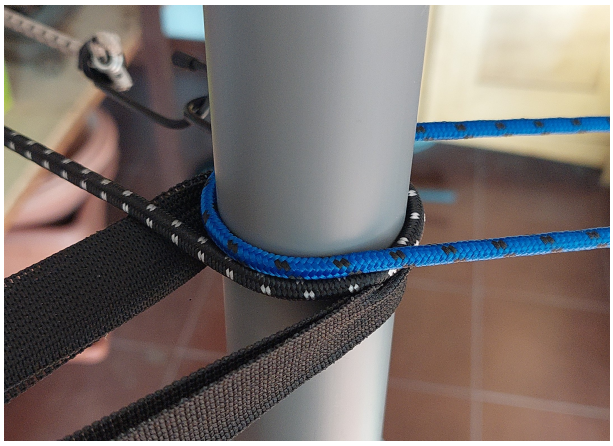
Obrázek 19. Zhotovené závaží.

Vedení

Jako vedení závaží při pádu bylo zvoleno potrubí s označením 40 mm o délce l=1,5 m.

Takovéto potrubí bylo dostupné, a disponovalo dostatečně velkým vnitřním průměrem a délkou.

Uchyceno bylo následně pomocí 3 lan, což ve 3D prostoru zajistilo dostatečně pevné vedení (obr. č. 20).



Obrázek 20. Ukotvení vedení

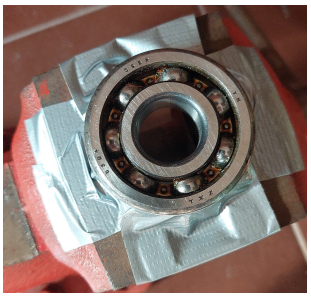
Dopadová plocha

Dopadová plocha musela splňovat podmínku dostatečné tuhosti, aby při pádu závaží nebyla energie dopadu pohlcena namísto vzorkem podložím.

Vhodným materiálem proto byl kov, a za poskytnutých podmínek, s ohledem na geometrii při dopadu, bylo zvoleno řešení dostatečně velkého kovového kruhu.

To bylo nakonec realizováno pomocí ložiska a svěráku, což poskytovalo potřebné vlastnosti. Ložisko lze vidět na obrázku č. 21.

Vnitřní průměr otvoru pod dopadovým místem na vzorku byl stanoven na d=20,5 mm, a použité ložisko mělo vnitřní průměr d=19,78 mm. Rozdíl průměrů tak činí 0,72 mm.



Obrázek 21. Dopadová plocha.

Kulička

Jakožto těleso, které bude odpovědné za samotnou destrukci smaltu, byla použita dostupná ocelová kalená kulička o průměru d= 22 mm (obr.22), jelikož koule představuje těleso o jednoduché a definované geometrii, a její chování tak bylo při experimentu konstantní a předpovídatelné. Normu ČSN EN 10209 tak uspokojuje.



Obrázek 22. Použitá kalená kulička.

Průběh experimentu

Po sestavení aparatury došlo na samotný experiment.

Proces probíhal vždy v následujících krocích, a byl takto zopakován pro všechny zkušební vzorky:

1. Usazení vzorku na podklad.
2. Umístění kuličky.
3. Přiložení vedení na vzorek.
4. Spuštění závaží na kuličku.
5. Vyjmutí závaží, kuličky a vzorku.

   Po vykonání experimentu byly ještě odděleny vzorky pro metalografický výbrus a byl proveden úklid tenkých, velmi ostrých smaltových střepin (obr. 23).



Obrázek 23. Smaltové střepiny.

3.4 Výsledky

3.4.1 Provedené výpočty

Získané hodnoty byly zaznamenány do tabulek, a bylo provedeno statistické zhodnocení dat, aby byly nejprve vyřazeny hrubé chyby, které byli následně označeny červenou barvou a vynechány z hodnocení.

Pro soubory o menších velikostech je běžně užíván tzv. Dixonův Q-test, který ze vzestupně seřazeného souboru dat testuje krajní údaje. Pokud je poměr velikosti rozdílu 2 po sobě jdoucích krajních hodnot a celkového rozptylu větší, než určené kritické číslo, je daná hodnoto považována za příliš odchýlenou, a je tak vhodné ji vyřadit.

$Q = \frac{|x_k - x_s|}{R}$, kde x_k je krajní hodnota, x_s je sousední hodnota, R je rozptyl celého souboru, a Q je hodnoto porovnávaná se stanovenou kritickou hodnotou Q_k

$Q_k = 0,412$ pro n=10, $Q_k = 0,710$ pro n=5.

Tato metoda sice dokáže vyfiltrovat většinu hodnot, ale ne všechny, jelikož záleží na rozpoložení hodnot v intervalu.

Po vyřazení hrubých hodnot lze přejít k vyhodnocování nejistot tak, aby bylo možné výsledky korektně uvést ve formě $hodnota \pm nejistota$.

Hodnotou se zde rozumí aritmetický průměr P, který byl v programu MS Excel počítán pomocí funkce PRŮMĚR.

Nejistotou se rozumí rozšířená nejistota U, která se počítá z kombinované nejistoty u_C rozšířené o koeficient k pro dosažení důvěry výsledku 95%.

$U = u_C * k$, kde k nabývá obvykle hodnoty 2.

Kombinovaná nejistota u_C je vypočítávána jako kvadratická kombinace nejistot typů A a B.

$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$, kde u_A je statistická nejistota náhodného typu a počítá se z podílu směrodatné odchylky s a odmocniny počtu naměřených hodnot n

$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$, kde s lze v programu MS Excel vypočítat pomocí funkce SMODCH.P,

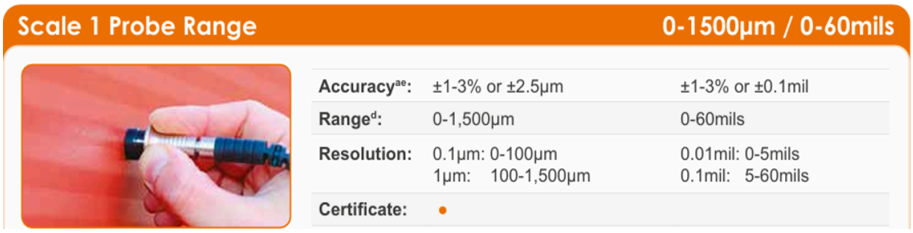
a u_B, což je systematická nejistota, která se v praxi zjišťuje pro všechny vlivy velice obtížně, a proto je nejčastěji započítávána jen nejistota způsobená měřícím přístrojem.

V tomto případě byly všechny použitá měřidla digitální, a nejistota u_B se tak zjišťuje od výrobce měřidla nebo podle kalibračního listu kalibrace.

Pokud bylo možné, postup byl takto proveden pro všechny získané hodnoty.

3.4.2 Nejistoty typu B

V případě sondy pro měření tloušťky byly v manuálu výrobce dohledána hodnota přesnosti (obr. 24) , a byla aplikována do výpočtu pro kombinovanou nejistotu u_C.



Obrázek 24. Přesnost sondy přístroje Elcometer z dokumentu od výrobce.

U drsnoměru bylo zjištění složitější, jelikož hodnota nejistoty nebyla vyjádřena jedním číslem. Bylo tak nutné získat kalibrační list přístroje (viz. obr. 25) kde byly pomocí metrologické návaznosti na etalony 2 drsností a jejich proměřením stanoveny 2 hodnoty nejistot.

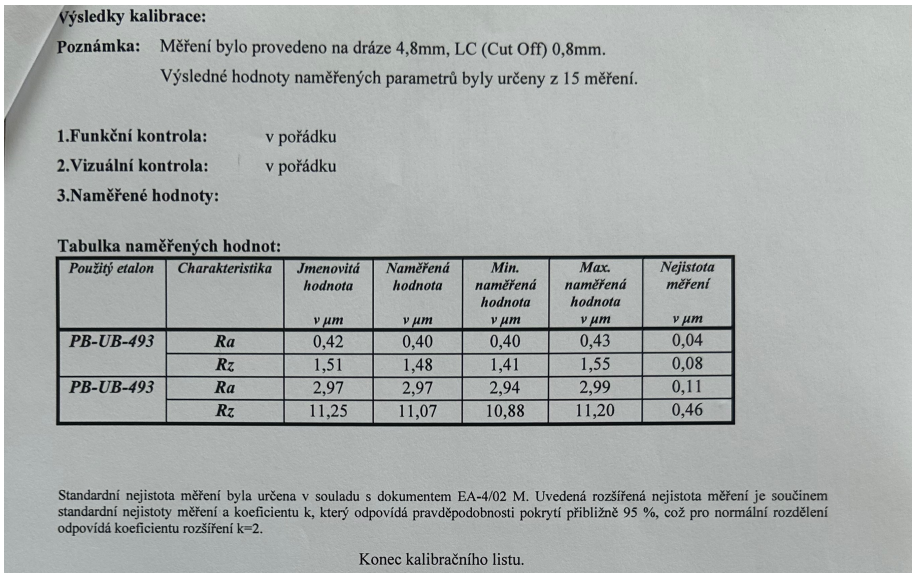
Znamená to tedy, že přístroj nemá konstantní charakteristiku, a je tak nutné znát povahu charakteristiky. Obecně však tyto přístroje mají charakteristiku lineární, a proto lze využít za pomoci dat z kalibračního listu lineární interpolace pro hodnoty mezi uvedenými nejistotami, a extrapolace pro hodnoty mimo tento interval.

Z té lze potom zvolit jednu z metod aplikace nejistoty typu B:

-Výběrem největší nejistoty, kdy se vybere největší zjištěná odchylka, která je aplikována na všechny hodnoty. To je jistější, ale hrubý postup.

-Určením nejistoty pro každou sadu hodnot pomocí průměrů. Přesnější, ale rizikovější.

Při určování nejistot typu B pro tento přístroj byla zvolena druhá možnost.



Výsledky kalibrace:

Poznámka: Měření bylo provedeno na dráze 4,8mm, LC (Cut Off) 0,8mm.
Výsledné hodnoty naměřených parametrů byly určeny z 15 měření.

1.Funkční kontrola: v pořádku

2.Vizuální kontrola: v pořádku

3.Naměřené hodnoty:

Tabulka naměřených hodnot:

Použitý etalon	*Charakteristika*	*Jmenovitá hodnota v µm*	*Naměřená hodnota v µm*	*Min. naměřená hodnota v µm*	*Max. naměřená hodnota v µm*	*Nejistota měření v µm*
PB-UB-493	***Ra***	0,42	0,40	0,40	0,43	0,04
	Rz	1,51	1,48	1,41	1,55	0,08
PB-UB-493	***Ra***	2,97	2,97	2,94	2,99	0,11
	Rz	11,25	11,07	10,88	11,20	0,46

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02 M. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření k=2.

Konec kalibračního listu.

Obrázek 25. Kalibrační list přístroje Accretech Handysurf s uvedenými přesnostmi.

3.4.3 Hodnoty drsnosti způsobené povrchovými úpravami

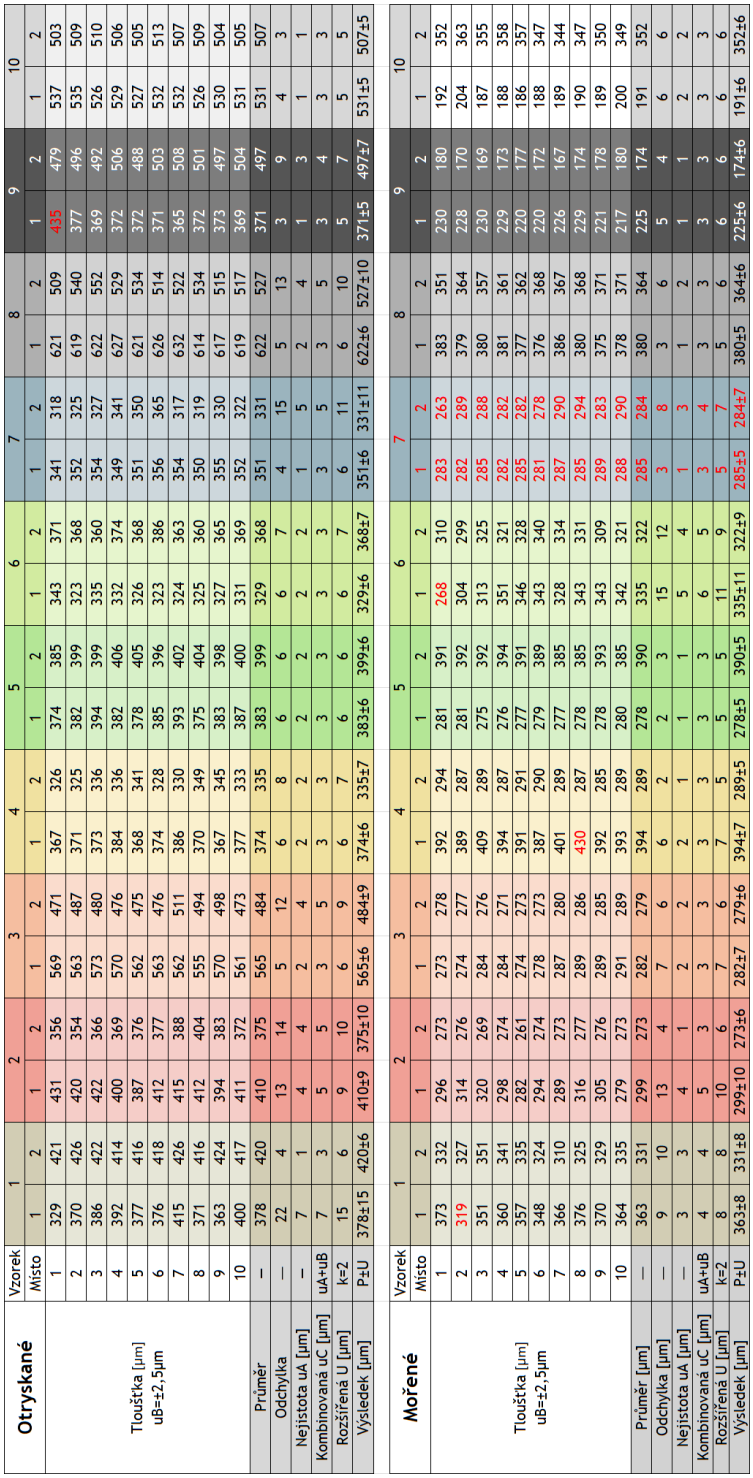
Tabulka 1. Tabulky hodnot drsnosti otryskaného a mořeného povrchu.

Otryskané	Vzorek	1		2			3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Drsnost Ra [µm]	1	5,55	6,168	4,534	6,435		4,725	6,404	4,684	5,849	4,084	4,657	5,504	5,243	5,469	6,039	5,589	6,683	4,999	4,344	4,577	6,597
	2	6,405	5,519	6,085	6,441		4,749	5,51	5,973	4,688	4,15	5,767	4,682	6,599	6,274	4,617	5,936	4,701	5,819	4,758	5,166	5,746
	3	5,649	6,05	6,107	5,261		4,224	6,109	5,645	4,64	4,03	5,636	6,316	5,49	5,504	6,467	6,548	4,598	4,233	5,293	4,884	5,486
	4	6,807	5,638	5,077	5,573		5,763	5,959	6,138	5,269	4,93	4,865	6,298	6,011	4,921	5,233	5,556	5,116	5,476	4,551	5,232	6,238
	5	5,943	5,88	4,162	5,914		5,968	6,301	4,706	5,441	4,424	5,373	5,942	5,857	6,947	5,743	5,969	5,764	5,804	5,402	4,498	5,937
Průměr	–	6,071	5,851	5,193	5,925		5,086	6,057	5,429	5,177	4,324	5,260	5,548	5,840	5,823	5,620	5,920	5,372	5,266	4,870	4,871	6,001
Odchylka	–	0,473	0,244	0,793	0,467		0,667	0,314	0,620	0,460	0,332	0,431	0,558	0,466	0,708	0,642	0,358	0,773	0,596	0,413	0,298	0,386
Nejistota uA [µm]	–	0,212	0,109	0,355	0,209		0,298	0,140	0,277	0,206	0,149	0,193	0,250	0,208	0,317	0,287	0,160	0,346	0,267	0,185	0,133	0,173
Nejistota uB [µm]	–	0,098	0,095	0,086	0,096		0,084	0,097	0,089	0,085	0,074	0,086	0,09	0,094	0,094	0,091	0,096	0,088	0,087	0,081	0,081	0,097
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	0,233	0,145	0,365	0,230		0,310	0,170	0,291	0,223	0,166	0,211	0,265	0,229	0,330	0,301	0,186	0,357	0,280	0,202	0,156	0,198
Rozšířená U [µm]	k=2	0,466	0,289	0,730	0,460		0,620	0,341	0,583	0,445	0,332	0,423	0,531	0,457	0,661	0,603	0,373	0,713	0,561	0,403	0,312	0,396
Výsledek [µm]	P±U	6,071 ±0,466	5,851 ±0,289	5,193 ±0,730	5,925 ±0,460		5,086 ±0,620	6,057 ±0,341	5,429 ±0,583	5,177 ±0,445	4,324 ±0,332	5,260 ±0,423	5,548 ±0,531	5,840 ±0,457	5,823 ±0,661	5,620 ±0,603	5,920 ±0,373	5,372 ±0,713	5,266 ±0,561	4,870 ±0,403	4,871 ±0,312	6,001 ±0,396

Mořené	Vzorek	1		2			3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Drsnost Ra [µm]	1	1,035	1,31	1,456	1,26		1,091	1,297	1,554	1,491	1,839	1,189	1,422	1,299	1,353	1,946	1,379	1,782	1,819	1,62	1,531	1,305
	2	0,593	1,648	1,76	1,468		1,214	1,242	1	1,433	1,52	1,75	1,436	1,312	1,369	1,707	1,217	1,547	1,447	1,454	1,633	2,355
	3	1,004	1,84	1,278	1,387		1,153	1,312	0,971	1,511	1,977	1,745	1,6	1,157	1,432	1,853	1,132	1,705	1,428	1,502	1,324	1,508
	4	0,726	1,433	1,31	1,542		1,21	1,367	1,143	1,546	1,054	1,343	1,426	1,241	1,636	1,678	1,131	1,621	1,333	1,572	1,273	1,461
	5	0,861	1,529	1,518	1,125		1,126	1,195	1,238	1,391	1,394	1,574	1,732	1,203	1,229	1,757	1,407	1,663	1,613	1,484	1,304	1,716
Průměr	–	0,844	1,552	1,464	1,356		1,159	1,283	1,181	1,474	1,557	1,520	1,523	1,242	1,404	1,788	1,253	1,664	1,528	1,526	1,413	1,669
Odchylka	–	0,152	0,166	0,158	0,136		0,044	0,054	0,192	0,051	0,299	0,203	0,113	0,053	0,122	0,090	0,108	0,072	0,156	0,055	0,130	0,335
Nejistota uA [µm]	–	0,068	0,074	0,070	0,061		0,019	0,024	0,086	0,023	0,134	0,091	0,051	0,024	0,054	0,040	0,048	0,032	0,070	0,025	0,058	0,150
Nejistota uB [µm]	–	0,026	0,036	0,034	0,033		0,03	0,032	0,03	0,035	0,036	0,035	0,035	0,031	0,034	0,039	0,031	0,037	0,035	0,035	0,034	0,037
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	0,073	0,083	0,078	0,069		0,036	0,040	0,091	0,042	0,139	0,097	0,062	0,039	0,064	0,056	0,058	0,049	0,078	0,043	0,067	0,154
Rozšířená U [µm]	k=2	0,146	0,165	0,156	0,138		0,072	0,080	0,182	0,083	0,277	0,195	0,123	0,078	0,128	0,112	0,115	0,098	0,156	0,086	0,135	0,309
Výsledek [µm]	P±U	0,844 ±0,146	1,552 ±0,165	1,146 ±0,156	1,356 ±0,138		1,159 ±0,072	1,283 ±0,08	1,181 ±0,182	1,474 ±0,083	1,557 ±0,277	1,520 ±0,195	1,523 ±0,123	1,242 ±0,078	1,404 ±0,128	1,788 ±0,112	1,253 ±0,115	1,664 ±0,098	1,528 ±0,156	1,526 ±0,086	1,413 ±0,135	1,669 ±0,309

3.4.4 Hodnoty tloušťky smaltované vrstvy

Tabulka 2. Tabulky hodnot tloušťky smaltu na otryskaném a mořeném povrchu.



Otryskané	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Tloušťka [µm] uB=±2,5µm	1	329	421	431	356	569	471	367	326	374	385	343	371	341	318	621	509	435	479	537	503
	2	370	426	420	354	563	487	371	325	382	399	323	368	352	325	619	540	377	496	535	509
	3	386	422	422	366	573	480	373	336	394	399	335	360	354	327	622	552	369	492	526	510
	4	392	414	400	369	570	476	384	336	382	406	332	374	349	341	627	529	372	506	529	506
	5	377	416	387	376	562	475	368	341	378	405	326	368	351	350	621	534	372	488	527	505
	6	376	418	412	377	563	476	374	328	385	396	323	386	356	365	626	514	371	503	532	513
	7	415	426	415	388	562	511	386	330	393	402	324	363	354	317	632	522	365	508	532	507
	8	371	416	412	404	555	494	370	349	375	404	325	360	350	319	614	534	372	501	526	509
	9	363	424	394	383	570	498	367	345	383	398	327	365	355	330	617	515	373	497	530	504
	10	400	417	411	372	561	473	377	333	387	400	331	369	352	322	619	517	369	504	531	505
Průměr	—	378	420	410	375	565	484	374	335	383	399	329	368	351	331	622	527	371	497	531	507
Odchylka	—	22	4	13	14	5	12	6	8	6	6	6	7	4	15	5	13	3	9	4	3
Nejistota uA [µm]	—	7	1	4	4	2	4	2	2	2	2	2	2	1	5	2	4	1	3	1	1
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	7	3	5	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	3	5	3	4	3	3
Rozšířená U [µm]	k=2	15	6	9	10	6	9	6	7	6	6	6	7	6	11	6	10	5	7	5	5
Výsledek [µm]	P±U	378±15	420±6	410±9	375±10	565±6	484±9	374±6	335±7	383±6	399±6	329±6	368±7	351±6	331±11	622±6	527±10	371±5	497±7	531±5	507±5

Mořené	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Tloušťka [µm] uB=±2,5µm	1	373	332	296	273	273	278	392	294	281	391	268	310	283	263	383	351	230	180	192	352
	2	319	327	314	276	274	277	389	287	281	392	304	299	282	289	379	364	228	170	204	363
	3	351	351	320	269	284	276	409	289	275	392	313	325	285	288	380	357	230	169	187	355
	4	360	341	298	274	284	271	394	287	276	394	351	321	282	282	381	361	229	173	188	358
	5	357	335	282	261	274	273	391	291	277	391	346	328	285	282	377	362	220	177	186	357
	6	348	324	294	274	278	273	387	290	279	389	343	340	281	278	376	368	220	172	188	347
	7	366	310	289	273	287	280	401	289	277	385	328	334	287	290	386	367	226	167	189	344
	8	376	325	316	277	289	286	430	287	278	385	343	331	285	294	380	368	229	174	190	347
	9	370	329	305	276	289	285	392	285	278	393	343	309	289	283	375	371	221	178	189	350
	10	364	335	279	273	291	289	393	289	280	385	342	321	288	290	378	371	217	180	200	349
Průměr [µm]	—	363	331	299	273	282	279	394	289	278	390	335	322	285	284	380	364	225	174	191	352
Odchylka [µm]	—	9	10	13	4	7	6	6	2	2	3	15	12	3	8	3	6	5	4	6	6
Nejistota uA [µm]	—	3	3	4	1	2	2	2	1	1	1	5	4	1	3	1	2	1	1	2	2
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3	6	5	3	4	3	3	3	3	3	3
Rozšířená U [µm]	k=2	8	8	10	6	7	6	7	5	5	5	11	9	5	7	5	6	6	6	6	6
Výsledek [µm]	P±U	363±8	331±8	299±10	273±6	282±7	279±6	394±7	289±5	278±5	390±5	335±11	322±9	285±5	284±7	380±5	364±6	225±6	174±6	191±6	352±6

3.4.5 Hodnoty drsnosti smaltovaného povrchu

Tabulka 3. Tabulky hodnot drsnosti smaltu s otryskaným a mořeným podkladem.

Otryskané	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Drsnost Ra [µm]	1	0,65	0,7	0,671	0,656	0,736	0,771	0,677	0,92	0,583	0,818	0,487	0,555	0,68	0,694	0,655	0,513	0,725	0,566	0,54	0,611
	2	0,699	0,684	0,606	0,755	0,672	0,896	0,517	0,651	0,643	0,706	0,616	0,838	0,732	0,414	0,51	0,567	0,761	0,621	0,651	0,62
	3	0,685	0,695	0,841	0,592	0,889	0,899	0,646	0,78	0,642	0,484	0,52	0,716	0,714	0,799	1,09	0,5	0,502	0,765	0,352	0,514
	4	0,515	0,544	0,588	0,496	0,944	0,741	0,559	0,796	0,677	0,666	0,624	0,919	0,592	0,714	0,57	0,492	0,723	0,603	1,193	0,521
	5	0,748	0,539	0,582	0,677	0,705	0,812	0,989	0,833	0,628	0,818	0,519	0,48	0,663	0,633	0,702	0,641	0,682	0,582	0,611	0,623
Průměr	–	0,659	0,632	0,658	0,635	0,789	0,824	0,600	0,796	0,635	0,698	0,553	0,702	0,676	0,651	0,705	0,543	0,679	0,627	0,669	0,578
Odchylka	–	0,079	0,074	0,097	0,087	0,107	0,064	0,064	0,087	0,030	0,123	0,056	0,165	0,049	0,130	0,203	0,056	0,092	0,071	0,281	0,049
Nejistota uA [µm]	–	0,035	0,033	0,043	0,039	0,048	0,029	0,032	0,039	0,014	0,055	0,025	0,074	0,022	0,058	0,091	0,025	0,041	0,032	0,126	0,022
Nejistota uB [µm]	–	**0,023**	**0,023**	**0,023**	**0,023**	0,025	0,026	0,022	0,025	0,023	0,024	0,022	0,024	0,024	0,023	0,024	0,022	0,024	0,023	0,023	0,022
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	0,042	0,040	0,049	0,045	0,054	0,039	0,039	0,046	0,027	0,060	0,033	0,078	0,032	0,062	0,094	0,033	0,048	0,039	0,128	0,031
Rozšířená U [µm]	k=2	0,084	0,081	0,098	0,090	0,108	0,078	0,078	0,093	0,053	0,120	0,067	0,155	0,065	0,125	0,188	0,066	0,095	0,079	0,256	0,062
Výsledek [µm]	P±U	0,659 ±0,084	0,632 ±0,081	0,658 ±0,098	0,635 ±0,090	0,789 ±0,108	0,824 ±0,078	0,600 ±0,078	0,796 ±0,093	0,635 ±0,053	0,698 ±0,120	0,553 ±0,067	0,702 ±0,155	0,767 ±0,065	0,651 ±0,125	0,705 ±0,188	0,543 ±0,066	0,679 ±0,095	0,627 ±0,079	0,669 ±0,256	0,578 ±0,062

Mořené	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Drsnost Ra [µm]	1	0,968	0,565	0,861	0,469	0,612	0,639	0,845	0,914	0,611	0,803	0,556	0,667	0,512	0,455	0,385	0,511	0,612	0,684	0,517	0,624
	2	0,521	0,716	0,542	0,51	0,767	0,863	0,69	0,614	0,766	0,795	0,707	0,68	0,541	0,532	0,418	0,408	0,681	0,49	0,814	0,455
	3	0,862	0,595	0,713	0,633	0,507	0,606	0,741	0,421	0,72	0,538	0,581	0,733	0,543	0,548	0,451	0,52	0,526	0,705	0,559	0,567
	4	0,736	0,876	0,762	0,602	0,742	0,568	0,834	0,468	0,635	0,755	0,678	0,646	0,577	0,662	0,508	0,357	0,432	0,564	0,793	0,555
	5	0,456	0,705	0,453	0,622	0,555	0,523	0,676	0,287	0,531	0,478	0,475	0,499	0,544	0,537	0,369	0,461	0,55	0,636	0,599	0,588
Průměr [µm]	–	0,709	0,691	0,666	0,567	0,637	0,640	0,757	0,541	0,653	0,674	0,599	0,645	0,543	0,547	0,426	0,451	0,560	0,616	0,656	0,558
Odchylka [µm]	–	0,195	0,110	0,148	0,066	0,102	0,118	0,071	0,214	0,083	0,138	0,084	0,078	0,021	0,066	0,050	0,062	0,084	0,079	0,123	0,056
Nejistota uA [µm]	–	0,087	0,049	0,066	0,029	0,046	0,053	0,032	0,096	0,037	0,062	0,038	0,035	0,009	0,030	0,022	0,028	0,037	0,036	0,055	0,025
Nejistota uB [µm]	–	0,024	0,024	0,023	0,022	0,023	0,023	0,025	0,022	0,023	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,02	0,02	0,022	0,023	0,023	0,022
Kombinovaná uC [µm]	uA+uB	0,091	0,055	0,070	0,037	0,051	0,058	0,040	0,098	0,044	0,066	0,044	0,042	0,024	0,037	0,030	0,034	0,043	0,042	0,060	0,033
Rozšířená U [µm]	k=2	0,181	0,109	0,141	0,073	0,102	0,115	0,081	0,196	0,087	0,131	0,087	0,084	0,048	0,074	0,060	0,068	0,087	0,085	0,119	0,067
Výsledek [µm]	P±U	0,709 ±0,181	0,691 ±0,109	0,666 ±0,141	0,567 ±0,073	0,637 ±0,102	0,640 ±0,115	0,757 ±0,081	0,541 ±0,196	0,653 ±0,087	0,674 ±0,131	0,599 ±0,087	0,645 ±0,084	0,543 ±0,048	0,547 ±0,074	0,426 ±0,060	0,451 ±0,068	0,560 ±0,087	0,616 ±0,085	0,656 ±0,119	0,558 ±0,067

3.4.6 Hodnoty nárazové zkoušky

Jelikož nebyly pro získání těchto hodnot použita žádná měřidla, šlo tak pouze o vizuální hodnocení, které je navíc subjektivní povahy, šlo zde akorát hodnoty seřadit do tabulky a vyhodnotit průměr určených hodnot.

Tabulka 4. Tabulky hodnot nárazové zkoušky otryskaných a mořených vzorků.

Otryskané	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Průměr
Hodnotitel	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Odborný konzultant		2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2
Technolog		3	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2
Autor BP		2	2	3	3	3	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Autor BP naživo		2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Mořené	Vzorek	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Průměr
Hodnotitel	Místo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3
Odborný konzultant		3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	5	5	4	3	3	2	3	4	3
Technolog		3	3	4	2	2	3	4	4	4	4	2	4	5	5	3	2	2	3	2	2	3
Autor BP		3	4	4	3	2	3	4	3	4	4	3	3	5	5	3	2	2	4	2	2	3
Autor BP naživo		4	4	4	3	2	3	4	3	4	3	3	4	5	5	3	2	2	4	2	2	3

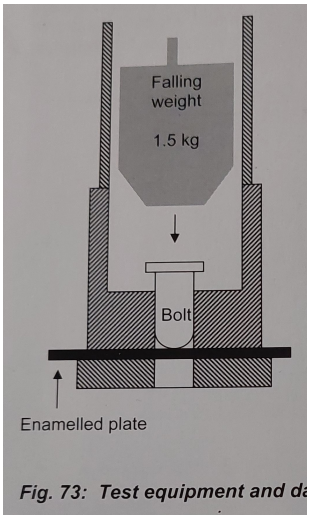
4 Vyhodnocení výsledků

4.1 Hodnocení nárazové zkoušky

4.1.1 Provedení

Na základě výsledků nárazové zkoušky bylo konstatováno a potvrzeno, že byl princip a dodržení postupů předepsaných normou ČSN EN 10209 jako velmi dobré, jelikož výsledky zkoušky byly na první pohled porovnatelné s referencí v normě.

Lze tak konstatovat, že je tato normovaná zkouška oproti jiným nenáročná na vybavení (obr. 26), což je výhodné pro průmyslovou praxi. Do jisté míry je však toto v normě zachyceno dodatky o podmínkách, které si mohou strany zájmů v určité míře stanovit dle svých požadavků.

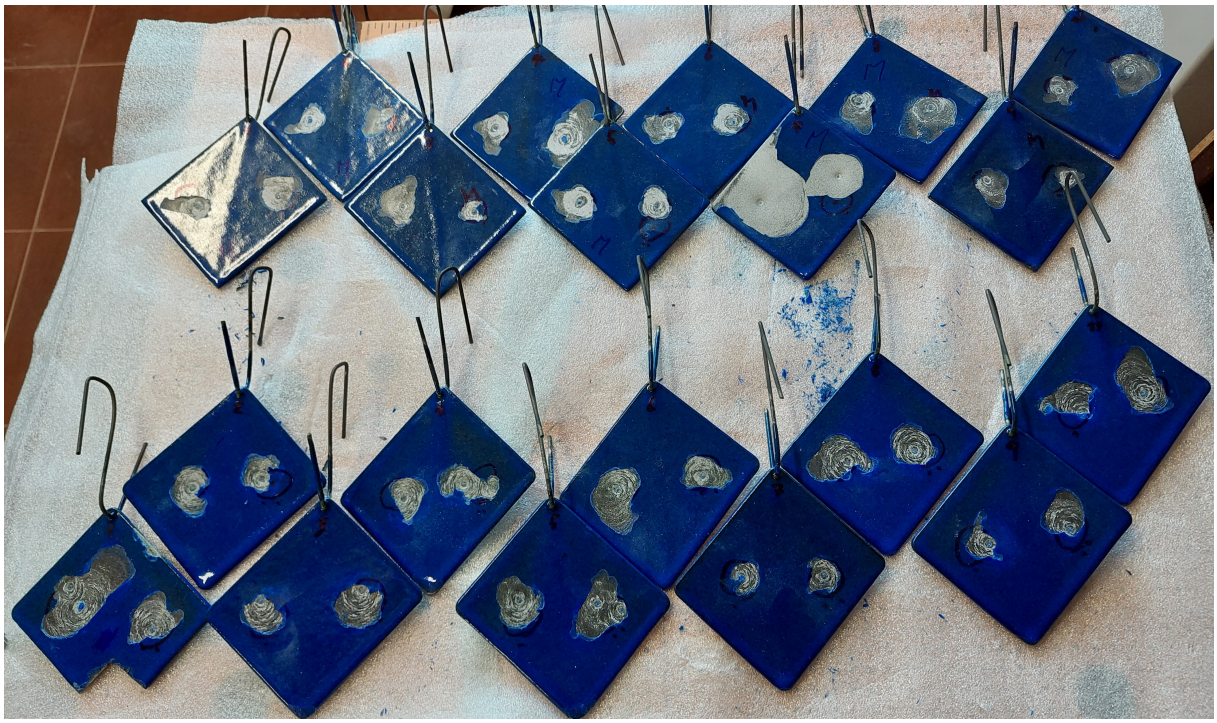


Obrázek 26. Schéma nástroje pro zkoušku podle normy ČSN EN 10209 [2 s. 194].

4.1.2 Výsledky

Po vykonání zkoušky byly vzorky seřazeny vedle sebe podle druhu, a byl pořízen referenční materiál (obrázek č. 27), podle kterého se později hodnotilo.

Důvodem byly časové a prostorové omezení ve firmě, testování tak probíhalo v náhradním prostoru, a poškozené vzorky s opadávajícím smaltem by bylo velmi pracné a vcelku nebezpečné vystavovat zbytečné další manipulaci minimálně do doby, kdy se ve vzorcích ještě vyrovnávalo vnitřní pnutí vyvolané deformací.



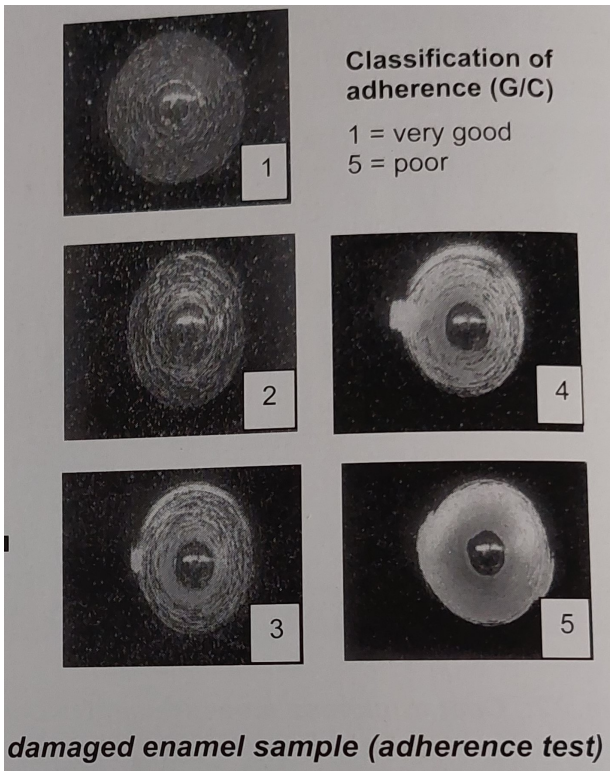
Obrázek 27. Fotografie otestovaných vzorků- referenční materiál.

Vzhledem k tomu, že je celé hodnocení zkoušky založeno na optickém posouzení, mohly být učiněny některé závěry okamžitě po otestování.

Porovnání skupin vzorků

Hned po zkoušce bylo lehce patrné, že byla přilnavost smaltu o trochu lepší u smaltu na otryskaném povrchu.

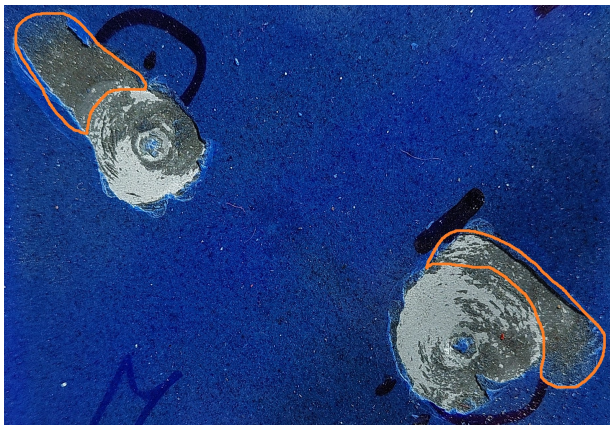
Při následném důkladném posuzování pomocí vzorníku z normy (obr. č. 29) materiálu byla tato prvotní myšlenka potvrzena, a i přes subjektivitu při hodnocení jednotlivými účastníky lze tento rozdíl kvantifikovat pomocí přiložených tabulek v předešlé kapitole.



Obrázek 28. Vzorník pro posuzování známky kvality z normy [2 s. 194].

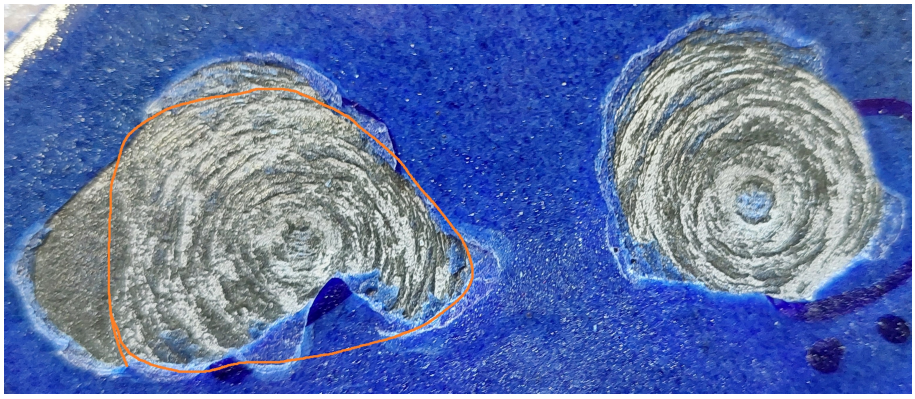
Nepsaná pravidla hodnocení

Před samotným zahájením udílení stupňů hodnocení podle referenčního materiálu z normy bylo určeno odborným konzultantem na základě jeho expertizy, že je důležité posuzovat v oblastech dopadu pouze kruhovité oblasti poblíž středu nárazu, kde byla při dopadu závaží kulička, jelikož zbylá okolní deformace (viz. obr. č. 30) není zpravidla vyvolána dopadem samotným, ale rázovou vlnou způsobenou především odporem podkladové oceli k deformaci, zejména pokud je tlustší, a klade tak větší odpor plastické deformaci, a na daném místě se nacházel smalt s větší tloušťkou.



Obrázek 29. Znázornění míst dopadu s vedlejším odprýsknutím.

Rázová vlna se šíří vždy od středu umístění kuličky, a vytváří pomocí zbylého uchyceného smaltu útvar odborně nazývaný “rybí šupina” (obr. č. 31). Tato rybí šupina má v případě dobrého ulpívání výrazné “letokruhy”, uprostřed zachovalý ostrůvek smaltu, a je to jedna z nepsaných známek kvality smaltu při jeho odprýsknutí.



Obrázek 30. Rybí šupiny se vzorem “letokruhů”.

Zároveň je důležité upozornit na fakt, že byl referenční materiál výsledků pořízen do hodiny od konce zkoušky, kdy ještě ze vzorků vlivem vyrovnávání vnitřního pnutí smalt odprýskává, a výsledky hodnocení tak mohou být odlišné podle toho, jaká doba od zkoušky uplynula.

Tento fakt ovšem, i přes jeho potenciální vliv potvrzený odborným konzultantem, není v samotné normě uveden. Bylo však zjištěno, že opětovným ověřením stavu po zhruba týdnu došlo k minimálním vizuálním změnám, a to i přes prezenci nových střepin, jelikož k odprýskávání dochází z oblastí s větší tloušťkou vrstvy.

Očekávání vs výsledky

Z úvahy v minulé kapitole bylo autorem práce i odborným konzultantem velmi předpokládáno, že bude mít největší vliv na přídržnost smaltované vrstvy drsnost podkladového povrchu. To se potvrdilo. I tak došlo ale k zajímavým a nečekaným zjištěním.

Smalt se při zkoušce nárazem odštěpoval v o dost nepravidelnějších útvarech, což nebylo odborným konzultantem očekáváno. Může za tím však být rozdílná geometrie vzorků oproti komponentům bojlerů, což vede k rozdílnému ulpívání po oblastech vyznačených v jedné z minulých kapitol, což pak má za následek odprýsknutí větších, celistvých kusů smaltu, vzhledem k větší kohezi vrstvy.

4.2 Srovnání hodnocení přídržnosti vzhledem k drsnosti povrchu a tloušťce vrstvy

Při pohledu na tabulky výsledků lze vidět, že kromě drsnosti smaltovaného povrchu samotného, který se liší po zprůměrování výsledků zanedbatelně, jsou ostatní parametry značně odlišné.

Při shrnutí v jedné finální, porovnávací tabulce vzorky dopadly takto:

Vzorky	Drsnost smaltu Ra [µm]	Drsnost podkladu Ra [µm]	Tloušťka vrstvy [µm]	Přídržnost [-]	Porovnání
Otryskané	0,665	5,475	428	2	
Mořené	0,607	1,42	304	3	
Poměr	1,1	3,9	1,4		

Obrázek 31. Finální porovnávací tabulka.

‚kde zelená barva značí "lepší" (vyšší) hodnoty, zatímco červená "horší" (menší).

Zde je tak vidět korelace mezi jednotlivými parametry, kterou se můžeme pokusit číselně vyjádřit poměrem mezi typy vzorků na posledním řádku tabulky.

Lze tak říct jednoduchými čísly, že **otryskaný povrch je přibližně 4x drsnější** než mořený povrch, **ulpívá na něm 1,4x více smaltu,** což pravděpodobně vede k celkově **lepší přídržnosti o 1 kvalitativní stupeň.**

Z toho lze deklarovat, že mechanismus, který byl popsán úvahou, je dost pravděpodobně ten skutečný, který vede k těmto výsledkům. Smaltovací břečka díky svým reologickým vlastnostem víc ulpí na drsnějším povrchu, což vede k tlustší vrstvě, a tím pravděpodobně k vyšší nárazové odolnosti. Mechanické zdrsnění je tak lepší, než to chemické.

4.3 Důsledky pro praxi

Ačkoliv tyto výsledky jednoznačně ukazují tryskání jako jasnou volbu pro povrchovou úpravu před smaltováním, je nutné ještě jednou zpětně zvážit praktické omezení, která se s tím pojí.

Podle informací odborného konzultanta a technologa firmy je v současné době otryskáváno přibližně pouze okolo 20% veškerých vyráběných bojlerů.

Stojí za tím hlavně technické řešení a geometrie jednotlivých ohřívačů, jelikož kombinované ohřívače v sobě mají navařený spirálovitý výměník tepla, který je obtížné kvalitně otryskat. U modelů, kde lze tryskání provádět dost kvalitně, je zpravidla prostá konstrukce určená pro elektrické vytápění, popřípadě je tomu vinutá spirála kombinovaných modelů uzpůsobena, což vede ke složitější výrobě, větším výrobním nákladům, menší termodynamické účinnosti, a spoustě dalších komplikací, které je dost náročné a nákladné vyřešit.

V porovnání s tím ale z technologického a ekologického hlediska jasně dominuje tryskání, jelikož je tryskání principiálně jednodušší, kontrolovanější, levnější proces s minimem odpadu, který není nijak toxický, a lze ho používat opakovaně.

U moření je daleko více parametrů, které je potřeba hlídat, a ekologická likvidace kyselin je velmi nákladná, i když levnější, než změna konstrukčního řešení a provozu bojlerů.

5 Závěr

Výsledné posouzení vlivu předúprav povrchu na kvalitu smaltu potvrdilo předpovězenou závislost mezi větší drsností a aktivací povrchu na lepší přilnutí smaltované vrstvy k podkladovému kovu.

Tuto větší drsnost spolehlivě poskytuje technologie úpravy povrchu tryskání, a to zhruba 4x násobně oproti technologii moření, ale s nevýhodou horší aplikovatelnosti v praxi na svařovaná tělesa boilerů z konstrukčních důvodů.

V korelaci s větší drsností povrchu je také lepší ulpívání smaltovací břečky na povrchu výrobků, a s tím spojená tloušťka výsledné vrstvy smaltu, která je u otryskaného povrchu oproti mořenému lepší přibližně 1,4x krát, což poté také vede u silnějších vrstev k větší odolnosti proti mechanickému poškození.

Tato práce tak postavila základy v otázce používaných technologií a výsledné kvality.

Zároveň naznačila, jakými konstrukčními kroky je potřeba v tomto ohledu pokračovat pro budoucí vývoj řešení výroby smaltovaných výrobků udržitelnějšími způsoby .

Prohlášení o využití umělé inteligence při zpracování bakalářské práce

Při zpracování této bakalářské práce byl využit nástroj umělé inteligence, model Gemini 3.1 Pro, jako podpůrný prostředek pro:

-Generativní zvýšení rozlišení obrázku: č. 3- Rozdělení smaltů

-Dohledávání platných verzí norem ČSN, DIN, EN, ISO

-Podpora internetového vyhledávání Google Chrome

Použití umělé inteligence při tvorbě bakalářské práce je v souladu se směrnicí „Využití umělé inteligence při výuce a tvůrčí práci“ platnou od 1. září 2023 na Technické univerzitě v Liberci.

Konečnou verzi textu i všech ilustrací zpracoval autor samostatně. Umělá inteligence sloužila pouze jako podpůrný prostředek. Autor odpovídá za správnost, originalitu a odbornou úroveň celé bakalářské práce.

Použitá literatura

[1] BOUŠE, Václav; Alfonz MORAVČÍK a Antonín KRAJINA. *Smalty a jejich použití v protikorozní ochraně*. 1. vyd. Knižnice techn. aktualit. Praha: SNTL : Čes. st. pojišťovna, 1986.

[2] PEMCO BRUGGE BVBA. *Pemco enamel manual*. 2nd edition. Bruges, Belgium: Pemco, 2008. ISBN 978-90-9022988.

[3] VYSOKÁ, škola báňská - Technická univerzita Ostrava; strojnická společnost ČESKÁ; společnost pro povrchové úpravy ČESKÁ a společnost pro nové materiály a technologie ČESKÁ. *„Smalty a technologie smaltování": sborník přednášek: smaltárenský seminář 29.9.-1.10.2008, Konferenční centrum AV ČR - Zámek Liblice, Česká republika*. 1. vyd. [Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita], 2008. ISBN 978-80-248-1819-1. Meeting Name: Smalty a technologie smaltování.