

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ustav strojírenské technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VLIV NAVODÍKOVÁNÍ V TECHNOLOGII OMÍLÁNÍ

Autor: Daria Gurkina

Vedoucí práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Dariu GURKINU**

Program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Vliv navodíkování v technologii omílání

Název anglicky: Effect of hydrogen charging in tumbling technology

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky technologie omílání
2. Vliv procesu omílání na možnost navodíkování omílaného materiálu
3. Vyhodnocení naměřených závislostí
4. Technicko - ekonomické zhodnocení

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Konzultant: Ing. Karel Vojkovský

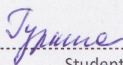
Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015

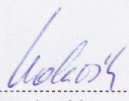
Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

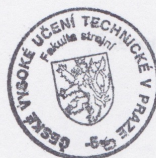
Zadání bakalářské práce převzal dne:

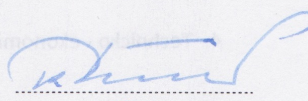


Student



Vedoucí ústavu
Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE





Děkan
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

V Praze

dne 30. 4. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci „Vliv navodíkování v technologii omílání“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 20.01.2016

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Zoubkovi a Ing. Hrdinové.

Anotace:

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány obecné základy a principy technologie omílání a možnosti jejího využití. Dále následuje rozbor problematiky navodíkování v technologii omílání. Praktická část je zaměřena na zkoumání vodíkového křehnutí. Pro vyhodnocení porušení a příčiny lomu byla provedena destruktivní zkouška na pulsátoru cyklického napětí. Na závěr práce je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Povrchová úprava, omílání, vodík, vodíková křehkost.

Annotation:

In theoretical part of bachelor the thesis describes general basics and principles of the technology of the tumbling and the possibilities of its use. This is followed by an analysis of hydrogen charging problems during tumbling. The practical part is focused on the examination of hydrogen embrittlement. For evaluation of the breach and cause of the fracture was carried out destructive test on pulsator of the cyclic stress. At the conclusion of the work was done technical and economical evaluation.

Keywords

Surface finishes, tumbling, hydrogen, hydrogen embrittlement.

Obsah

1.	Úvod	3
2.	Předběžné úpravy povrchu kovů	4
2.1	Povrchové úpravy kovů	4
2.2	Čištění a předběžné úpravy	4
2.3	Mechanické úpravy povrch	6
2.4	Omílání	7
2.4.1	Vibrační zařízení s kruhovou nádobou	13
2.4.2	Vibrační omílací žlaby	14
2.4.3	Lineární průchozí omílací zařízení	14
2.4.4	Odstředivá omílací zařízení	15
2.4.5	Zařízení pro vlečné broušení	15
2.4.6	Omílací bubny a zvony	16
2.4.7	Sušicí zařízení	17
2.4.8	Pomocné prostředky omílání	20
2.4.9	Volba omílacích prostředku	23
2.5	Bezpečnost a hygiena práce při mechanických povrchových úpravách	25
3.	Vodíkové křehnutí	26
3.1	Tvorba vodíku	26
3.2	Pronikání vodíku do oceli	27
3.3	Vliv stavu oceli na difúzi vodíku	28
3.4	Vodíková křehkost	30
3.5	Vodíková koroze	31
3.6	Metody odstranění vodíku z kovu	33
3.6.1	Dvoustupňová metoda odvodíkování	34
3.6.2	Jednostupňová metoda odvodíkování	34
3.7	Metody zkoušení a vyhodnocování vlivu vodíku	35

3.7.1	Mechanické zkoušky dle ASTM F 519	35
3.7.2	Mechanické zkoušení dle společnosti Greenslade & Company	36
3.7.3	Testy vodíkového křehnutí dle firmy SurTech GmbH	38
4.	Experimentální část	40
4.1	Cíle experimentální části	40
4.1.1	Vibrační omílací zařízení	41
4.1.2	Omílací tělíska	42
4.1.3	Kompoundy	43
4.1.4	Zkušební vzorky	48
4.1.5	Sušicí zařízení	49
4.1.6	Pulsátor cyklického napětí – PCN	50
4.1.7	Mikroskop	52
4.2	Měření vlivu komponentu v omílacím procesu na stupeň navodíkování	53
4.2.1	Příprava vzorků	53
4.2.2	Použité komponenty	53
4.2.3	Měření na pulsátoru cyklického napětí- PCN	54
4.2.4	PCN – omílací procesy 60 minut	55
4.2.5	PCN – omílcí proces 120 minut	58
4.2.6	PCN – omílací proces 180 minut	59
4.2.7	Charakter lomu po zatížení na PCN	62
5	Technicko - ekonomické zhodnocení	63
6	Závěr	66
7	Seznam použitých zdrojů	67
8	Seznam použitých zkratk	69
9	Seznam příloh	71

1. Úvod

Povrchová úprava je jednou ze základních výrobních technologií, která zasahuje do všech výrobních odvětví. Kvalitní předúprava povrchu je nezbytným předpokladem celého technologického postupu a jedním ze základních činitelů ovlivňujících životnost součástí. Každá součást musí projít povrchovou úpravou nebo předúpravou. Povrchová úprava musí být kvalitně provedena a maximálně plnit svoji funkci. Všechny procesy povrchových úprav a předúprav povrchu mohou negativně ovlivnit vlastnosti základního materiálu.[1]

Při nesprávném výběru povrchové úpravy může docházet k teplotnímu ovlivnění základního materiálu, vzniku vnitřního pnutí, a také ovlivnění vodíkem, difundujícím do základního materiálu. Obsah vodíku v kovech a jejich slitinách je obecně nežádoucí. Vodík může degradovat ocel i ostatní materiály tvorbou vodíkových puchýřů, vodíkovým křehnutím a vodíkovou korozí. Přítomnost vodíku v kalených součástech může mít vliv na snížení jejich mechanických vlastností. Běžně je působení vodíku v oceli určováno pomocí destruktivní zkoušky. Výsledkem působení vodíku je zhoršení kvality mechanických vlastností, které vede ke zkrácení životnosti součástí. Vodíkové křehnutí se může projevit bez předchozích vnějších známek poškození. Proto pro materiál musí být zvolena správná povrchová úprava, která jednak nebude svoji povahou způsobovat navodíkování předmětu, a dále vytvoří bariérovou ochranu, která zabezpečí zvýšení životnosti součástí.[1]

Tato bakalářská práce se věnuje vlivu navodíkování v technologii omílání. Díky omílání lze realizovat širokou škálu technologických požadavků, např. odstraňování otřepů, zaoblování hran, vyhlazování povrchu, jeho leštění, broušení, odmašťování, čištění, apod. Obsahem práce je také problematika vzniku vodíku v procesech povrchových úprav a popis způsobů, kterými vodík ovlivňuje základní materiál, včetně jeho vlivu na životnost povrchové úpravy a samotné součásti.

Cílem praktické části této bakalářské práce je stanovení vhodnosti chemických prostředků, používaných v procesu omílání z hlediska jejich vlivu na navodíkování součástí.

2. Předběžné úpravy povrchu kovů

2.1 Povrchové úpravy kovů

Podstatou povrchových úprav je získání určitých požadovaných vlastností stavu povrchu materiálů potřebných pro jejich optimální a dlouhodobou funkci.

Materiály a z nich vyrobené předměty jsou po celou dobu jejich životnosti vystaveny funkčnímu namáhání a působení okolního prostředí, přičemž požadujeme neměnnost jejich původních vlastností a vzhledu.

Povrchové úpravy materiálu jsou technologické procesy, jimiž dosahujeme:

- zlepšení vlastností povrchu za účelem zvýšení odolnosti proti korozi,
- změnu mikrogeometrie povrchu,
- zlepšení funkčních vlastností (např. zvýšení odolnosti proti opotřebení, zlepšení třecích vlastností, elektrických vlastností),
- dosažení požadovaného vzhledu,
- změnu struktury povrchových vrstev,
- umělé vytvoření nových povrchových vrstev, které mají odlišné chemické složení a fyzikální vlastnosti.[1][2]

2.2 Čištění a předběžné úpravy

Před aplikací povrchových úprav je nutno realizovat předúpravu povrchu (zbavit povrch kovu veškerých nečistot) a vytvořit kovově čistý povrch vhodné struktury pro „ukotvení“ povlaku. Povrch kovů je znečištěn jednak látkami vázanými k povrchu mechanicky a jednak látkami vázanými chemicky.

- Mechanické nečistoty - mastnoty, zbytky past, mazadel, prach.
- Chemické nečistoty - oxidy, rez, okuje.[2]

Mechanicky vázané nečistoty odstraňujeme odmašťováním, chemicky vázané nečistoty obvykle mořením, nebo mechanickými úpravami (otryskávání, broušení, omílání). Těmito úpravami se získává vhodná mikrogeometrie a mikrostruktura povrchu, neboť povrch

výrobku nemá před zhotovováním povlaku obvykle vyhovující jakost. Vedle nečistot je třeba odstranit i všechny nežádoucí změny vzniklé během výroby v důsledku výrobního procesu, a tím vytvořit předpoklady pro dosažení dostatečné přilnavosti, celistvosti, tloušťky povlaku a vyhovujícího vzhledu.

Tři základní principy předúpravy povrchu:

- mechanický,
- chemický a elektrochemický
- kombinované.

Z hlediska obsahového vymezení je třeba připomenout, že mezi mechanickými a chemickými způsoby předúpravy povrchu není ostré rozhraní. U mechanických způsobů je často využíváno chemických prostředků a naopak, u chemických předúprav povrchu je současně využíváno i mechanického účinku. Hlavním cílem mechanických, chemických nebo elektrochemických předúprav povrchu je dosažení požadovaných vlastností zhotovované povrchové úpravy. Během výrobního procesu a skladování dochází na povrchu výrobků k řadě změn, vzniku nepravidelností, poruch, znečištění povrchu provozními médii, prašným depozitem apod., což významně ovlivňuje kvalitu konečné povrchové úpravy a klade vysoký důraz na kvalitu předúpravy povrchu.[2][8]

Při výběru metod, prostředků a technologií předúpravy povrchu je třeba přihlížet k řadě činitelů, především k:

- druhu výrobku a použitého výchozího materiálu,
- stavu povrchu výrobku, druhu stupni znečištění,
- rozměrům a konstrukci výrobku,
- množství výrobků.

Mezi změny vlivem výrobního procesu, skladování a provozu lze řadit:

- pravidelné nebo nepravidelné stopy po obrobení,
- rekystalizaci,
- plastickou deformaci povrchu výrobku,
- vznik makro- a mikrotrhlin,

- vznik různých typů lomů,
- tvorbu oxidických vrstev.

Tab. 1: Přehled základních druhů nečistot vyskytujících na povrchu materiálů [8]

Druh nečistoty	Původ nečistoty	Příklad
částice kovů	mechanické opracování	ocel, mosaz, hliník
částice nekovů	složka brusiv, složky maziv	grafit, teflon
oxidy kovů	tepelné úpravy	okuje
oxidy nekovů	mechanické úpravy	oxid křemičitý
karbidy kovů	mechanické úpravy	karbid křemíku
hydroxidy kovů	korozní proces	Zn(OH) ₂
oxohydroxidy	korozní proces	FeO(OH)
sulfidy kovů	složka maziv, složka slitin	MoS ₂ , (FeMn)S
soli kovů	chemické úpravy	síran železnatý
alkalické látky	odmašťování	křemičitan sodný
alkoholy	odrezování	butanol
mastné kyseliny	konzervace	kyselina olejová
amorfní uhlík	znečištění atmosféry	uhelný prach
polymery	nátěrové hmoty	pryskyřice
aktivní látky	odmašťování	alkylsulfonany, polyfosfáty

Uvedenými existujícími nepravidelnostmi a poruchami povrchu mohou být negativně ovlivňovány i vlastnosti povlaků (přilnavost, tloušťka a pórovitost).[8]

2.3 Mechanické úpravy povrchu

Mezi mechanické úpravy povrchu patří:

- tryskání,
- omílání,
- broušení,
- kartáčování,
- leštění.

Účelem těchto úprav je:

- čištění povrchu materiálu (odstranění okují, mastných nečistot, rzi),
- vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku,
- zlepšení mechanických vlastností (zvýšení pevnosti, meze únavy),
- vzhledové požadavky.[2]

Vzhledem k využití technologie předpravy povrchu omíláním a sledování vlivu chemických prostředků na navodíkování omílaných předmětů v rámci praktické části bakalářské práce je vhodné popsat princip této technologie a její využití.

2.4 Omílání

Omílání je mechanická nebo mechanicko- chemická předúprava povrchu drobných a malých kovových součástí prováděná hromadným způsobem v omílacích zařízeních pomocí různých typů a tvarů omílacích tělísek, spočívající v úběru materiálu a jeho vyhlazování účinkem vzájemného působení omílaných výrobků a omílacích prostředků, resp. kapaliny s chemickými prostředky. Omílání může být též konečnou úpravou, např. výrobků z neželezných kovů nebo plastů.[3][8]

Tato technologie se uplatňuje při hromadném způsobu úpravy povrchu výrobků. Omílání je technologie vhodná především pro mechanickou úpravu povrchu menších dílů, o velkých sériích, která se používá pro úpravu součástí zpracovaných třískovým i beztřískovým způsobem. Je vhodné pro operace broušení, leštění, čištění, zaoblování a srážení hran.[1]

Omílání je vhodné především pro menší předměty oblých tvarů do váhy asi 1 kg. Větší předměty je možné rovněž omílat, ale je nutné je upevnit do přípravku v omílacím zařízení.

Výhody omílání:

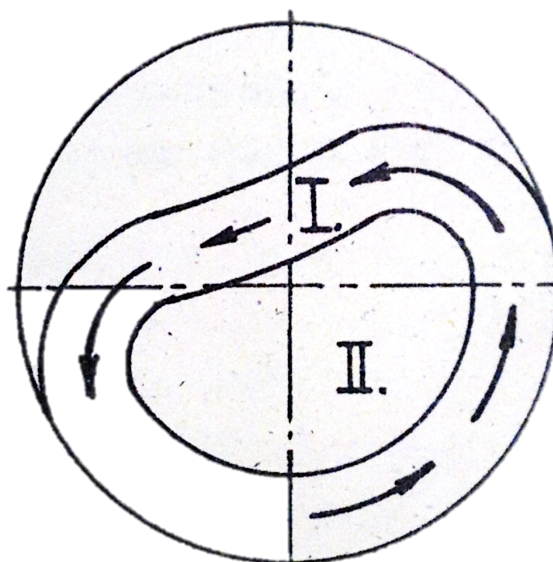
- odstraňuje se ruční broušení a leštění,
- zvyšuje se výrobnost,
- snižuje se zmetkovitost,
- zpevňuje se povrch a zvyšuje se korozní odolnost,
- snižují se provozní náklady.

Nevýhody omílání:

- nerovnoměrný úběr z povrchu předmětu (největší na hranách),
- nemohou se omílat předměty, u nichž otupení hran znamená poškození výrobku,
- možnost poškození členitých výrobků.

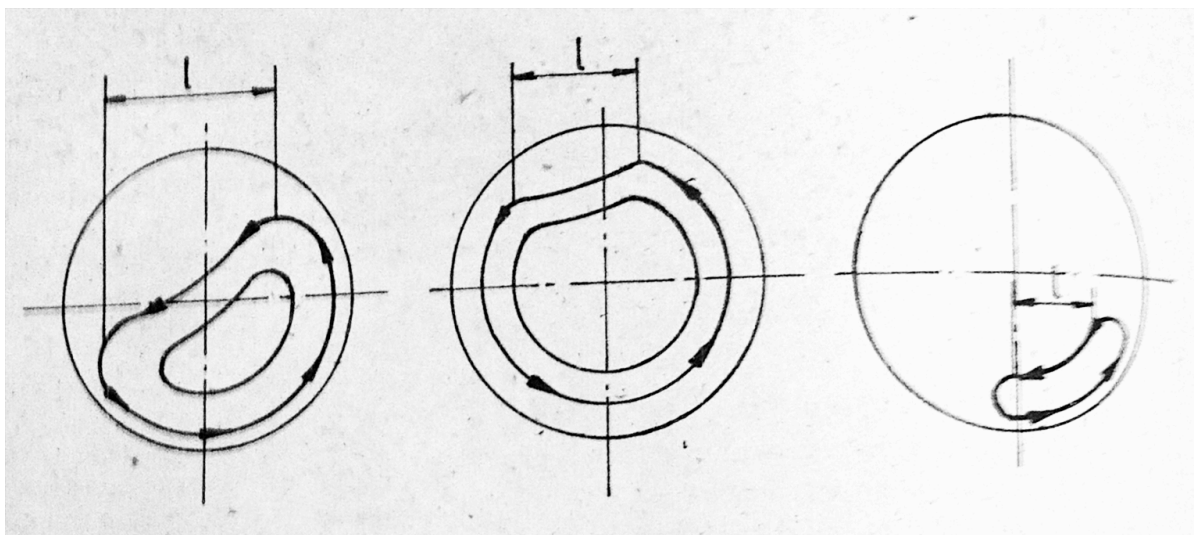
Při omílání se vytváří v omílacím bubnu dvě oblasti (viz obr. 1)

- Nosná vrstva mající tvar prstence I, která sleduje stoupání stěny bubnu a v určitém okamžiku se odtrhuje od stěny a klouže pak jako aktivní vrstva, nebo padá na převalující se směs předmětů a brusiva.
- Jádro II, které se převaluje jen mírně, přičemž rozhraní není mezi oběma vrstvami přesně odděleno.[2]



Obr. 1 Rozvrstvení materiálu při omílání [2]

V aktivní vrstvě probíhá 90 % omílání. Velikost aktivní vrstvy závisí na naplnění bubnu (obr. 2). Při optimálním plnění na 40 - 60 % dosahuje aktivní vrstva největší délku a předmět v ní setrvává po $\frac{3}{4}$ otáčky.[2]



Obr. 2 Délka aktivní vrstvy při různém plnění bubnu [2]

Kvalitu omílacího procesu ovlivňují především následující činitelé:

- průměr bubnu a jeho otáčky,
- doba omílání,
- tvar a velikost součástí,
- druh a velikost omílacích těles,
- poměr množství součástí a omílacích těles,
- druh a množství omílací kapaliny,
- plnění bubnu.

Průměr bubnu bývá 250 – 3 200 mm, menší bubny mají menší úběr na základě menších tlaků a menšího tření než bubny velké.

Otáčky jsou závislé na velikosti bubnu a velikosti omílacího předmětu. Pro průměr bubnu 800 mm mají být otáčky voleny např. max. $25 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, pro průměr bubnu 500 mm nejvýše $40 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. V případě předmětů větší hmotnosti jsou hodnoty otáček poloviční.

Optimální otáčky se stanoví podle empirického vzorce:

$$n = \left(\frac{k}{\sqrt{D}} \right), \quad (1)$$

n - otáčky [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$], D - průměr bubnu [mm], k - 28,1 pro lehké předměty, 21,2 pro střední předměty, 15,9 pro těžké předměty [2].

Běžně je omílání používáno např. pro:

- Vyhlazování povrchu jako brusná a lešticí operace před různými povrchovými úpravami. V závislosti na původní drsnosti lze omíláním dosáhnout drsnosti až 0,3 μm .
- K vyhlazování třecích a smykových ploch. Například odhrotování a jemné opracování ozubených kol zajišťuje mimořádně klidný chod.
- K odstraňování ostřin u odlitků a vylisků. Odhrotování omíláním jako hromadný způsob je podstatně levnější než ručními způsoby.
- K zaoblování hran u výrobků. Úběr materiálu je při omílání na hranách nejintenzivnější. Zaoblování hran je stejnoměrné a ruční prací v této jakosti obvykle nedosažitelné.
- Odstraňování okují a čištění tepelně zpracovávaných součástek. V porovnání s mořením se tímto způsobem současně zjemní mikrogeometrie povrchu a zabrání vodíkové křehkosti.
- K leštění drobných a tvarově komplikovaných dílů a k leštění drobných výrobků po pokovení.
- K povrchovému zpevňování součástí.[1]

Omíláním se proti broušení kotouči neodebírání materiál jen na určitých místech. Nejvíce se materiál odebírá z hran a vnějších rohů, zatímco rovné plochy se obroušují méně.

Úběr materiálu je z počátku po určitou dobu intenzivní, a pak začne klesat v důsledku zaoblení hran a nejvyšších hrotů a snížením brusného účinku brusiva. Po určité době probíhá omílání již velmi pomalu a náplň je třeba regenerovat. Aby omílání bylo hospodárné, je třeba u součástí hrubým obroušením odstranit takové nerovnosti nebo kazy materiálu, které by neúnosně prodlužovaly dobu omílání a k úběru materiálu by docházelo nejen na vadných místech, ale i tam, kde to není žádoucí.

Upínáním do speciálních přípravků lze omílat i nestandardní výrobky většího objemu bez nebezpečí poškození vzájemným otloukáním. Upínání výrobků je výhodné zejména u součástí citlivých na poškození, např. u komplikovaných odlitků, vylisků, ozubených kol apod. Upínáním výrobků má za následek prodloužení doby omílání.[1][3]

Podle používaných omílacích strojů dělíme omílání na:

- rotační,
- vibrační,
- odstředivé.

Rotační omílání

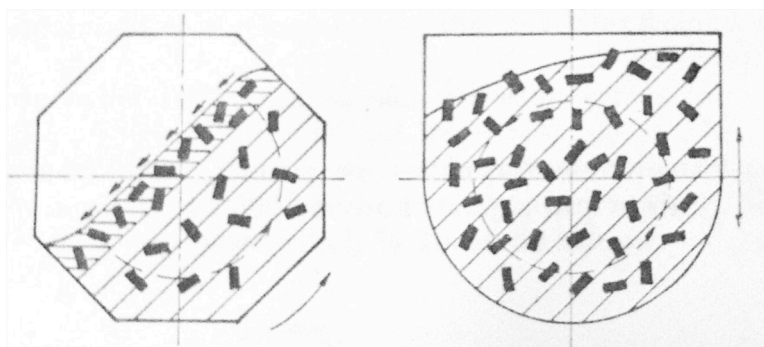
Rotační omílání se uplatňuje zejména pro úpravu povrchu dílců menších rozměrů ve velkých sériích. Základem je buben, ve kterém dochází při otáčení k relativnímu pohybu mezi omítacími prostředky a omílanými výrobky. V některých případech se provádí i omílání výrobků bez omílacích prostředků. Rychlost omílání ovlivňuje vedle dalších faktorů průměr a tvar bubnu. S rostoucím průměrem bubnu vznikají větší měrné tlaky mezi omítacími prostředky a omílanými výrobky, čímž se zvyšuje rychlost omílání.[1][3]

Vibrační omílání

Vibrační omílání je mechanické opracování povrchu součástí vibracemi se současnou rotací. Při tomto způsobu omílání jsou omítací prostředky a výrobky umístěné ve vaně, která má nucený vibrační pohyb. Dochází tak k velmi intenzivnímu vzájemnému pohybu mezi omítacími prostředky a předměty. Výkon vibračního omílání je přibližně 5x vyšší oproti klasickému rotačnímu způsobu. Při tomto druhu omílání se účinně uplatňují chemické prostředky, které zvyšují účinek omílání.

Hlavní rozdíly mezi rotačním a vibračním omílání:

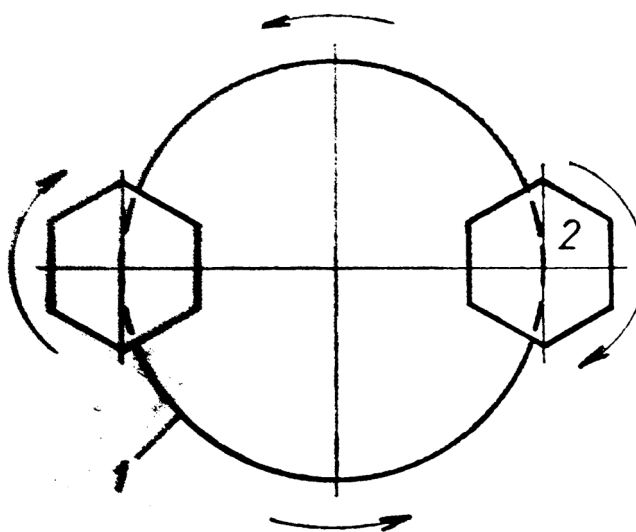
- Při rotačním omílání je úběr pouze v horní vrstvě náplně, při vibračním omílání je úběr v celém objemu náplně.
- Rozdílné pohyby náplně.
- Pracovní nádoba je při vibračním omílání je otevřená, což umožňuje průběžnou kontrolu omílání bez zastavení stroje.
- Vibrační omílání je možné plně automatizovat.[1][7]



Obr. 3 Principy rotačního (vlevo) a vibračního omílání (vpravo) [7]

Odstředivé omílání

Odstředivé omílání je nejintenzivnější způsob omílání. Omílací zařízení mají na nosných otočných ramenech dva nebo čtyři bubny, které se otáčejí současně s rámem. Při otáčení rámu vzniká velká odstředivá síla, dochází ke vzájemnému stlačování a tření součástí s omílacími tělisky. Složení náplně bubnu je stejné jako při rotačním omílání. Účinnost omílání je několikanásobně vyšší oproti vibračnímu způsobu. Tento způsob je vhodný zejména pro drobné součástky. Doby omílání jsou minutové.[1][7]



Obr. 4 Schéma odstředivého omílání (1 – unášecí kolo, 2 – omílací buben [7]).

Omílací stroje se dělí na:

- vibrační zařízení s kruhovou nádobou,
- vibrační omílací žlaby,
- průchozí omílací zařízení,
- odstředivá zařízení,
- zařízení pro vlečné broušení,
- omílací bubny a zvony.

2.4.1 Vibrační zařízení s kruhovou nádobou

Zařízení pro vibrační omílání má dvě základní části:

- pracovní nádobu,
- zdroj kmitů pro vyvolání vibračního a rotačního pohybu [7].

Vibrační omílací stroje s kruhovou pracovní nádobou jsou velmi univerzální zařízení, která lze použít pro širokou škálu obrobků i aplikací. Oblast jejich využití sahá od agresivního odjehlování a zaoblování hran, přes čištění povrchů až po leštění do vysokého lesku. Tyto stroje se vyznačují vedle své univerzálnosti i vysokou produktivitou a hospodárností. Mohou být využívány buď samostatně nebo jako součást ucelené automatizované výrobní linky.[14][17]



Obr. 5 Vibrační zařízení s kruhovou nádobou [17]

2.4.2 Vibrační omílací žlaby

Vibrační žlaby se používá hlavně tam, kde již největší kruhové vibrační zařízení nevyhovuje rozměrům opracovávaného předmětu. Vibrační žlaby se hodí pro opracování velkých dílů náchylných k poškození. Tyto omílací žlaby nachází své uplatnění pro omílání rozměrných nebo choulostivých obrobků. Pracovní prostor žlabu lze rozdělit pomocí speciálních oddělovačů na několik samostatných komor. Je tak zajištěno, že se obrobky vzájemně nedotknou a nepoškodí. Některé obrobky lze upnout i do speciálně konstruovaných upínačů a omílat je v upnutém stavu. Vibrační pohony mají trvalou mazací náplň. Vnitřní výstelka pracovní nádoby je vyrobena ze speciálního polyuretanu.[17]



Obr. 6 Vibrační omílací žlab [17]

2.4.3 Lineární průchozí omílací zařízení

Pro lineární průběžná zařízení je charakteristické kontinuální vkládání obráběných předmětů. Obrobky jsou vkládány do zařízení ve stanoveném taktu a v tomto taktu opět ze zařízení vystupují. V závislosti na velikosti opracovávaných dílů lze měnit jejich časové odstupy vkládání. Z tohoto důvodu je tento způsob ideální pro plně automatické omílání vhodné pro odjehlování nebo odmašťování obrobků v relativně krátkém čase. Výhodou těchto zařízení je vysoká produktivita výroby, a tím i vhodnost pro zařazení do kontinuálních výrobních linek. Pracovní kanál je ve tvaru šneku anebo je rovný. U zařízení s rovným kanálem je změny rychlosti průchodu obrobků dosahováno změnou frekvence kmitů separátního vibračního pohonu tzv. vynášecího kanálu.[17]



Obr. 7 Lineární průchozí omílací zařízení[17]

2.4.4 Odstředivá omílací zařízení

Odstředivá omílací zařízení se vyznačují extrémně vysokou intenzitou brusného procesu. Díky odstředivému omílacímu zařízení lze oproti opracování pomocí vibračních zařízení dosáhnout 10-ti až 30-tinásobného zvýšení výkonnosti. Tato technologie je používána především u drobnějších kompaktních obrobků pro odstranění silných otřepů a agresivní zaoblení hran. Odstředivá zařízení jsou vyráběna buď pro zpracování jedné dávky nebo pro paralelní zpracování dvou dávek obrobků. Zatímco jedna šarže je po ometí separována od omílacích tělísek, mezitím je v pracovní nádobě omílána druhá.[14][17]

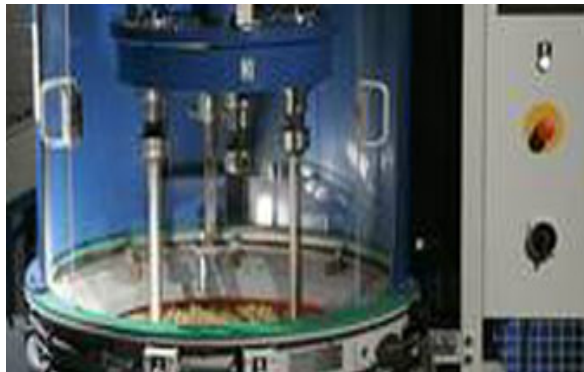


Obr.8 Odstředivá omílací zařízení[17]

2.4.5 Zařízení pro vlečné broušení

Zařízení pro vlečné broušení jsou ideální pro velmi hodnotné obrobky, které jsou náchylné k poškození a které je nutné brousit nebo leštit bez vzájemného dotyku omílaných dílců. Vlečným broušením lze obrábět tvarově složité obrobky s vysokými nároky na kvalitu

povrchu – např. lodní šrouby, turbínové lopatky, tělesa čerpadel a kompresorů, stopkových, válcových a závitových fréz, vrtáků atd. Oproti vibračnímu omílání je intenzita broušení až 40-tinásobná.[17]



Obr.9 Zařízení pro vlečné broušení [17]

2.4.6 Omílací bubny a zvony

Bubny a zvony pro rotační omílání patří mezi nejrozšířenější omílací zařízení. Používají se pro suché a mokré omílání. Malé bubny se používají pro omílání jemných součástí, velké bubny pro odlitky, výkovky, výstřiky.

Omílací zvony se používají především pro jemné obrušování a leštění choulostivých součástí (bižuterie, hodinářství). V omílacích zvonů strojích se provádí omílání klasickým rotačním způsobem. Výhodou těchto strojů jsou především velice nízké pořizovací náklady. Lze v nich provádět všechny základní omílací technologie jako jsou hrubování, broušení, odhrotování, vyhlazování, čištění, odrezování a leštění.[7][17]



Obr. 10 Omílací bubny a zvony[17]

2.4.7 Sušicí zařízení

Po omílacím procesu následuje sušení mokrých obrobků v nejrůznějších sušičkách. Velmi často jsou sušičky přímo spojeny s omílacím zařízením, takže a obrobky jsou tak automaticky sušeny.

Sušicí zařízení dělíme na:

- vibrační kruhové sušičky,
- pásové sušičky,
- bubnové sušičky,
- odstředivá sušicí zařízení,
- čistící a sušicí zařízení.

Vibrační kruhové sušičky

Sušení a leštění sušicím prostředkem pro dosažení lesklého povrchu bez viditelných stop. Kruhová sušička pracuje buď v průběžném provozu nebo v provozu po šaržích. Dobu sušení lze určit podle potřeby.[14]



Obr. 11 Vibrační kruhová sušička [14]

Pásová sušička

Sušicí zařízení je vhodné především pro choulostivé obrobky, které se nesmí během sušení dotýkat a pro obrobky, které mají malé otvory ve kterých může zůstat sušící médium.[14]



Obr. 12 Pásová sušička [14]

Bubnová sušička

Bubnová sušička je vhodná k sušení plochých dílů a dílů, ve kterých se usazuje omílací prostředek.[14]



Obr. 13 Bubnová sušička [14]

Odstředivé sušící zařízení

Odstředivé sušičky jsou vhodné pro sušení malých obrobků. [14]



Obr. 14 Odstředivé sušící zařízení [14]

Čistící a sušící zařízení

Kombinovaná čistící a sušící zařízení minimalizují ruční práce s obrobky při čištění, hlazení, leštění. Díly mohou být opracovávány i bez omílacích tělísek. Kombinovaná zařízení představují kruhová vibrační a odstředivá zařízení. Oba dva systémy umožňují kompletní vyprázdnění stroje vyklopením nebo vyprazdňovacím otvorem ve dně pracovní nádoby.[14]



Obr.15 Čistící a sušící zařízení [14]

2.4.8 Pomocné prostředky omílání

Omílací prostředky představují omílací tělíska, brusiva a pomocné přípravky (leštící prostředky a chemikálie). Pomocí správné kombinace strojního zařízení a pomocných omílacích prostředků dosahujeme optimálního výsledky opracované a kvalitní předpravy povrchu.[7]

Mezi běžně používané omílací prostředky se řadí:

- keramická omílací tělíska,
- plastová omílací tělíska,
- kompoundy,
- leštící a sušící prostředky,
- fakulanty,
- speciální média.

Keramická omílací tělíska

Keramická omílací tělíska jsou abrazivní minerální zrna spojena keramickou vazbou. Vyšší měrná hmotnost keramiky způsobuje větší tlak masy tělísek při omílacím procesu. Pomocí keramických omílacích tělísek dosahujeme světlého, lesklého povrchu a schopnosti agresivního odjehlování. Keramická omílací tělíska se vyrábí v různých velikostech a tvarech.[18]



Obr.16 Keramická omílací tělíska [18]

Plastová omílací tělíska

Plastová omílací tělíska jsou minerální zrna spojená polyesterovou pryskyřicí. Charakteristickým rysem je jejich barevnost a specifická hmotnost oproti keramickým omílacím tělískům, která je přibližně poloviční. Vyznačují se vysokým brusným účinkem a tvorbou jemné struktury povrchu zejména u obrobků z neželezných kovů.[18]



Obr. 17 Plastová omílací tělíska [18]

Kompoundy

Kompoundy představují pomocné chemické látky, které zvyšují účinek omílacích tělísek, čistí a pasivují povrch obrobků. Důležité je udržování čistoty povrchu omílacích tělísek, a tím zajišťování jejich abrazivní schopnosti. Standardní compoundy plní především funkce ochrany proti korozi, čištění a odmašťování. Speciální compoundy pak slouží k tvorbě nebo naopak likvidaci pěny, k moření, leštění kuličkováním a k intenzivnímu odmaštění. Compoundy lze rozdělit na kapalné, práškové a pastové.[18]



Obr. 18 Compoundy [18]

Lešticí a sušicí prostředky

Lešticí a sušicí prostředky patří mezi důležité provozní materiály, bez nichž by nebylo možné zaručit kvalitu omílání. K leštění a tlakovému odstranění otřepů u dílů ze železných a barevných kovů se používají kuličky z ušlechtilé oceli, satelity a válečky z ušlechtilé oceli. Aby bylo zajištěno sušení, čištění nebo leštění obrobků bez vzniku skvrn plní se kruhové a bubnové sušičky vhodným sušicím prostředkem. Jako lešticí prostředky se používají také skleněné kuličky.[14]



Obr. 19 Lešticí a sušicí prostředky [14]

Flokulanty

Flokulanty se používají pro čištění procesní kapaliny. Procesní kapalina odcházející z omílacího zařízení obsahuje kromě zbytků kovů a obrusu z omílacích tělísek často i mastnotu. Bez ohledu na to, je-li procesní kapalina recyklována nebo jen vypouštěna do kanalizace, musí být předem vyčištěna. Rozptýlené částice jsou s jejich pomocí shlukovány do větších vloček, a poté odděleny od čištěné vody. Flokulanty rozdělujeme na kapalné nebo práškové. Kapalné fakulanty se používají ve velkých automatických recyklačních zařízeních kvůli snadnému dávkování. V malých zařízeních, kde jsou flokulanty dávkovány ručně, jsou vhodnější prášky.[18]



Obr. 20 Flokulanty [18]

Speciální media

Pro tlakové odjehlování nebo kuličkování jsou používány nerezové kuličky o průměru 2,5 až 5,0 mm, satelity nebo válečky. Skleněné kuličky o průměru 2 až 10 mm slouží k odstranění otřepů u tvarově velmi složitých obrobků. Pro sušení obrobků ve vibračních sušičkách se používá speciální granulát vyráběný drcením kukuřičných stvolů. Jde prakticky o čistou celulózu s vynikajícími absorpčními i adsorpčními účinky. Kromě vysušení poskytuje tento granulát i dodatečný čistící a leštící efekt. Ploché tenké obrobky mající tendenci se při mokřém omílacím procesu slepovat jsou spolehlivě oddělovány speciálními plastovými mikrokuličkami.[18]



Obr. 21 Speciální media [18]

2.4.9 Volba omílacích prostředků

Poměr počtu součástí a omílacích těles se volí obvykle 1 : 3, u těžších předmětů 1 : 10 až 1 : 30. Dále je třeba přihlídnout k požadovaným vlastnostem omílacích tělísek a celé řadě dalších činitelů plynoucích z povahy omílaných předmětů.

Požadavky na parametry omílacích tělísek:

- zjemnění a odjehlování tvarových součástek,
- dosažení jemného kvalitního povrchu.

Obecně je vhodné používat směsi různých tvarů omílacích tělísek. Rozměr a tvar tělísek se volí tak, aby nedošlo k zasekávání do otvorů a zářezů omílaných součástek.[2][20]

Při mokrém způsobu omílání se používá kapalin, jejichž účelem je tlumit nárazy na předměty, omílací tělíska a smáčet povrch předmětů. Použitá kapalina může také zvyšovat úběr materiálu nebo chránit materiál před korozi po čas omílání. Při leštění mají kapaliny omývat povrch předmětu a kuliček a rozpouštět vznikající kysličníky.[2]

Omílací prostředky jsou voleny podle druhu omílací operace, podle požadované kvality povrchu a podle charakteru výrobků. Pro hrubování se obecně používá větších omílacích prostředků s vyšší tvrdostí a hrubší zrnitostí. U členitých výrobků mají být omílací tělíska buď větší než otvory součástí nebo naopak menší, aby jimi propadávaly. Životnost přírodních omílacích prostředků je nízká. Umělá tělíska v normalizovaných velikostech lze naopak volit právě podle charakteru výrobků. Zároveň lze těmito tělísky různého typu co do velikosti zrna i druhu pojiva regulovat úběrovou rychlost a drsnost povrchu součástí z různých materiálů. Umělá tělíska neztrácejí postupným opotřebováním svoji účinnost, neboť opotřebovaná zrna se postupně uvolňují a obnažují další zrna.[1]

Chemické prostředky se používají nejen k leštění a zabránění koroze, ale i k dalším účelům, např. k čištění, odmašťování, odokujení, odrezování, odstraňování hran, hrubého broušení či hlazení. Hlavní funkcí chemických prostředků je:

- čištění opracovávaných součástí a brusných tělísek,
- zvýšení nebo zmírnění brusného účinku omílacích tělísek,
- zabránění koroze součástí během nebo po opracování,
- vyrovnávání rozdílné tvrdosti používané vody.

Moderní chemické přípravky jsou většinou směsí alkalicky nebo neutrálně reagujících solí a povrchově aktivních látek, které zvyšují obrusnou aktivitu omílacích tělísek, a tím celý proces omílání urychlují. Základem jejich účinku je převod částecek kovů z povrchu tělísek a omílaných součástek do suspenze v roztoku. Dalším faktorem, který ovlivňuje příznivě rychlost omílání i výslednou kvalitu povrchu omílaného kovu, je rozpouštění kovu v omílacím roztoku. Tyto děje probíhají zejména v místech povrchu aktivovaných mechanickým účinkem omílacích tělísek.[1]

2.5 Bezpečnost a hygiena práce při mechanických povrchových úpravách

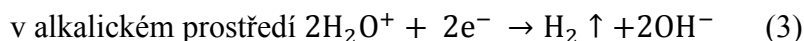
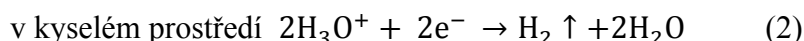
Při dlouhodobém omílání v některých typech prostředků nebo při chemizaci procesu vniká nebezpečí výbuchu jako důsledek tvorby třaskavé směsi v uzavřeném omílacím bubnu.

Z hlediska bezpečnosti práci musí být pracovník dostatečně proškolen a vybaven ochrannými pracovními pomůckami (např. ochranné brýle, ochranný oblek). V případě nebezpečí vlivem manipulace či provozem omílacího zařízení s přídavkem žíravých chemikálií je třeba dbát zvýšené opatrnosti a používat vhodných ochranných pracovních prostředků.[7]

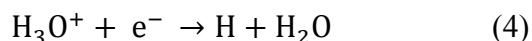
3. Vodíkové křehnutí

3.1 Tvorba vodíku

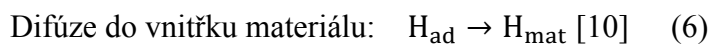
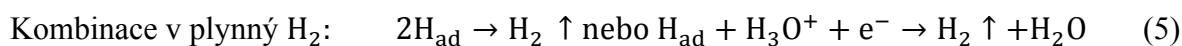
Při moření v minerálních kyselinách, při katodickém elektrolytickém odmašťování či zinkování dochází ke vzniku vodíku. Přitom se ve všech případech jedná o katodickou redukci. Při moření v minerálních kyselinách probíhá příslušný anodický dílčí krok (rozpuštění kovu) na stejném místě jako tvorba vodíku. Při elektrolytickém odmašťování a zinkování naproti tomu probíhá příslušná tvorba kyslíku popř. rozpuštění kovu odděleně na anodě:



Uvedené reakce probíhají krok za krokem, tzn. hydroxylové ionty odevzdávají náboj jeden po druhém, popř. molekuly vody se štěpí jedna po druhé. Přitom vzniká v každém případě nejprve atomární vodík.

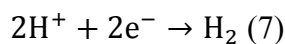


Atomární vodík nutně potřebuje dvojici pro vazbu a je proto reaktivní. Když narazí na další atom vodíku, vytvoří vzájemnou vazbu. V tomto případě se mluví o adsorbovaném (atomárním) vodíku H_{ad} . Adsorbovaný atomární vodík se může vázat s jiným svého druhu v molekulu H_2 , která nakonec vystoupává v bublinkách plynu a již neznámá žádné nebezpečí pro základní materiál. Adsorbovaný atomární vodík může ale také difundovat do základního materiálu, a tím poškodit jeho strukturu. [10]

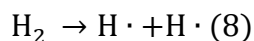


3.2 Pronikání vodíku do oceli

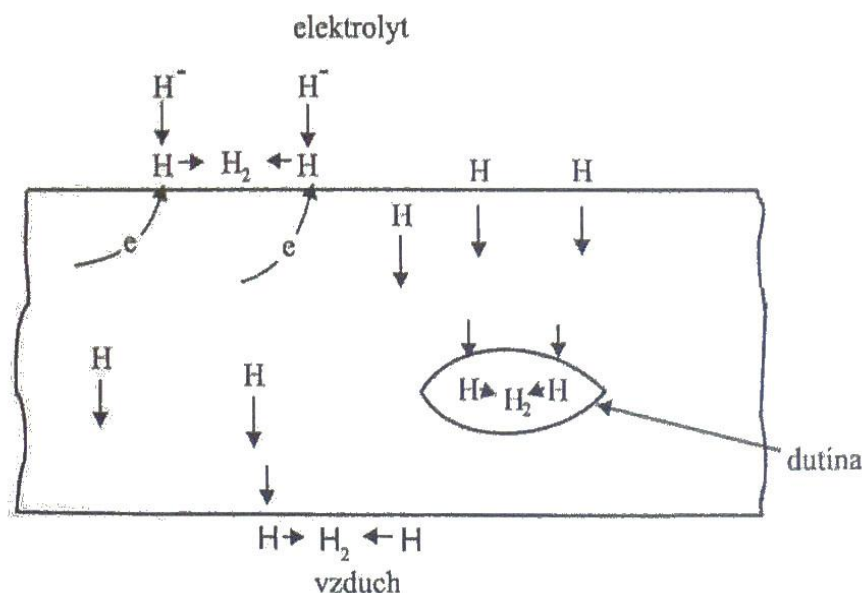
Prvním krokem k poškození ocelových dílů vodíkem je jeho proniknutí do struktury. Obecně může být zdrojem vodíku plynné i vodné prostředí. Pokud není přítomen vodík v plynné fázi, dochází nejprve k jeho vývoji dle reakce



Molekuly vodíku jsou rozštěpeny na atomární vodík



Tato reakce má endotermický charakter. S rostoucí teplotou narůstá rozpustnost vodíku. Vzniklý vodík se adsorbuje na vnějším povrchu oceli a následně se absorbuje do její vnitřní struktury. Do objemu kovu je vodík transportován difúzí. Atomární vodík se rekombinuje v místech poruch struktury oceli, jež se označují jako „vodíkové pasti“ a jsou jimi například dislokace, hranice zrn, vměstky či trhliny. Ve „vodíkové pasti“ vznikají dutiny obsahující vodíkový plyn. K deformaci a nebo k lokálnímu prasknutí kovu dochází při dostatečně vysokých vnitřních tlacích. Schéma procesů probíhajících mezi kovem a roztokem je uvedeno na obr. 22.[9]



Obr. 22 Schematický diagram difuze a shromáždění vodíku v kovu [9]

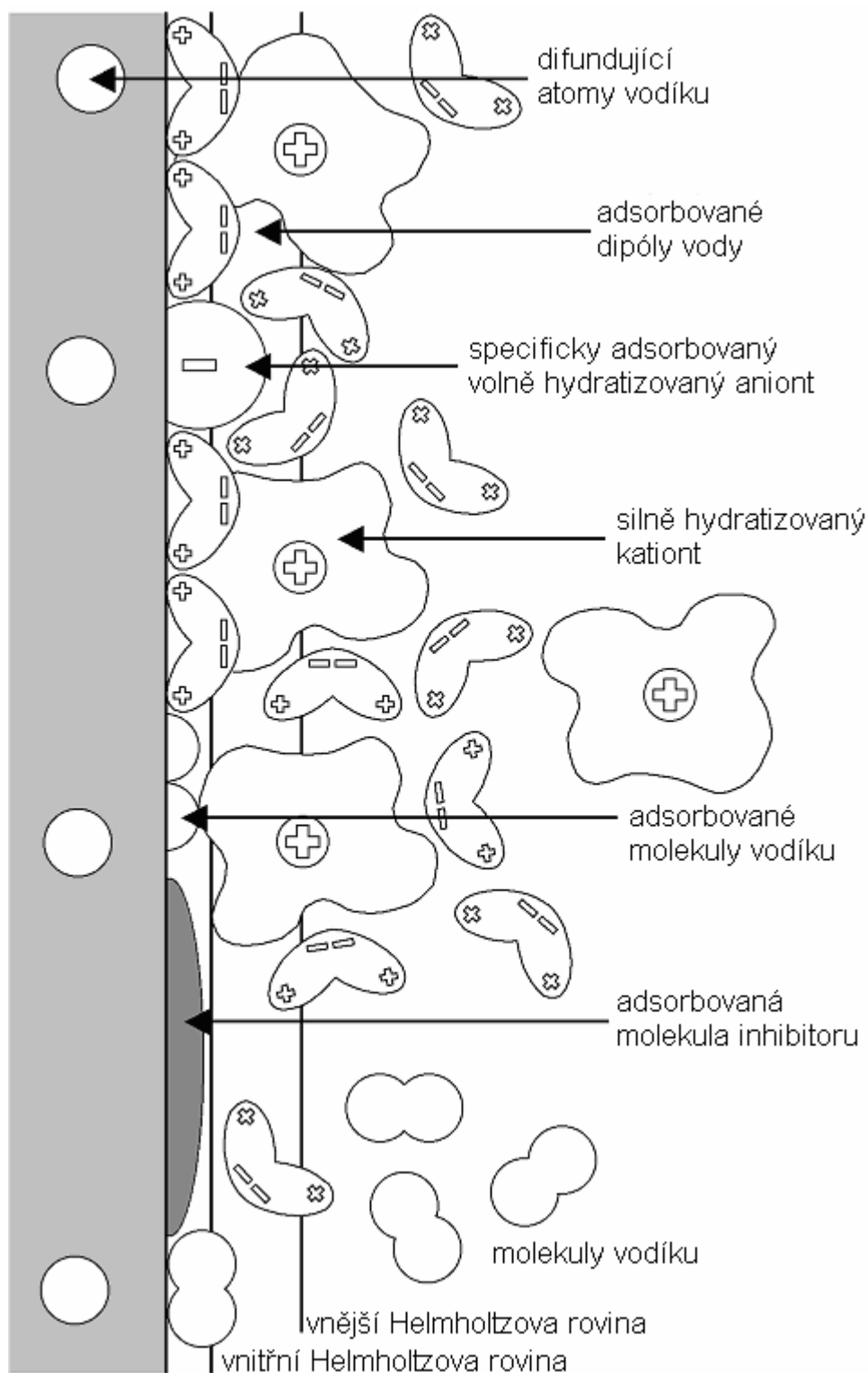
3.3 Vliv stavu oceli na difúzi vodíku

Stav oceli značně ovlivňuje rychlost difúze vodíku. Vodík mnohem snadněji proniká do oceli, která nebyla po tváření za studena nebo svařování žíhána. Při tváření za studena dochází k zvětšení průměrné vzdálenosti mezi atomy v krystalické mřížce železa a to zejména v blízkosti kluzných ploch. Vodík však proniká i ocelí, která byla vyžíhána, ale mnohem pomaleji, neboť zvětšené mezery se nacházejí pouze na rozhraních zrn. [9]

Atomy vodíku rozpuštěné v kovu mohou tímto kovem postupovat a vystupovat všude tam, kde jim nebrání vysoká koncentrace vodíku na povrchu. Takto se vytváří koncentrační gradient mezi aktivním povrchem a povrchem, kde mohou atomy vodíku z kovu vystupovat. Tento gradient určuje směr difúze. Pokud se atom vodíku dostane do povrchu kovové stěny, vytvoří se molekuly, které se uvolní do prostředí. V místech, kde se vyskytují nějaké nepravidelnosti (např. vměstky, dutiny apod.) začne se vodík hromadit, a tím může způsobit porušení soudružnosti materiálu.[11]

Dle zákonů difúze probíhá transport atomárního vodíku do vnitřku materiálu tím rychleji, čím je větší rozdíl mezi povrchovou koncentrací H_d (stupněm pokrytí) a koncentrací H ve vnitřku. Následkem je rychlejší zabudování vodíku do materiálu. Je tedy žádoucí, aby před úpravou povrchu, kde hrozí nebezpečí vzniku vodíku a jeho pronikání do materiálu, byly vždy provedeny kroky k odstranění vnitřního pnutí.[10][11]

Kovový povrch v elektrolytu vykazuje obecně vrstvu z absorbovaných složek elektrolytu, např. molekul vody, kationtů, aniontů nebo organiky (inhibitorů, tenzidů), obr. 23. Stupeň pokrytí (poměr plochy pokryté jedním druhem částic k celkové ploše) závisí na elektrochemickém potenciálu částic, teplotě a koncentraci všech složek v elektrolytu. [10]



Obr. 23 Kovové povrchy v elektrolytu jsou vždy pokryty adsorbovanými složkami elektrolytu [11]

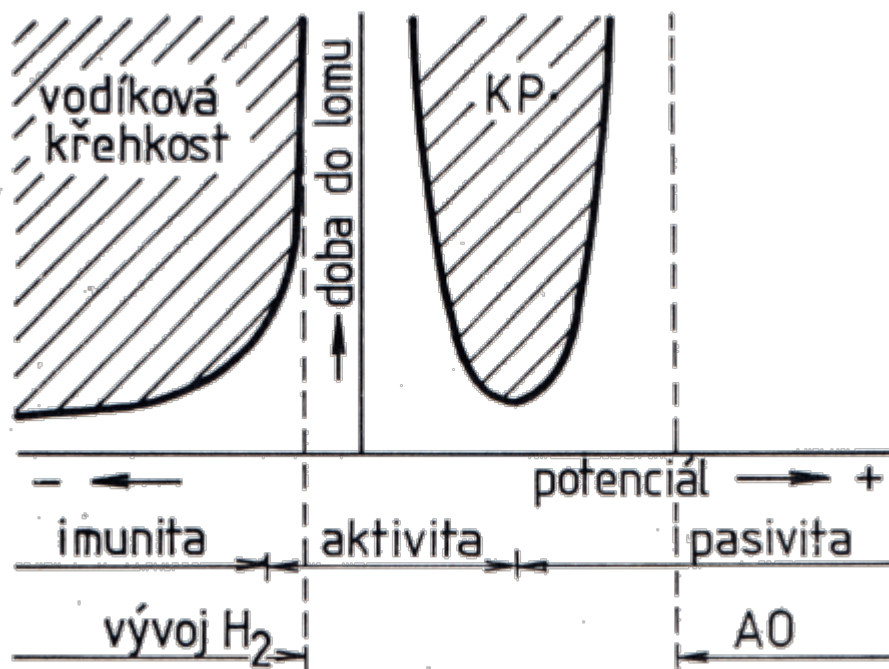
3.4 Vodíková křehkost

Vodíková křehkost je nejvýznamnějším problémem působení vodíku na kovové díly. Vodíková křehkost je pro funkci namáhaných dílů velmi nebezpečnou vlastností a je nutné mu předcházet.

Vodíková křehkost je způsobena atomy vodíku, které difundují do povrchů kovů nebo jejich slitin. Zvýšení obsahu vodíku v slitině způsobuje jeho hromadění v určitých místech. Při působení vnějšího namáhání pak tato místa mohou iniciovat vznik trhlin. K pronikání vodíku do materiálu napomáhá vliv napětí dílů, tepelné změny a především pak rychlé změny teploty. Při těchto faktorech je vodík uvězněn v pórech, v trhlínách a shromažďuje se. Při vytvoření molekuly vodíku vzrůstá vnitřní napětí, a dochází tak ke zvětšování trhlíny. V kritickém případě dochází k iniciaci lomu. K vodíkové křehkosti značně přispívá přítomnost některých látek v prostředí, především pak vody, vlhkosti, vodní páry nebo CO_2 . Rozkladem vody či uhlovodíku vznikající vodík může poté pronikat do pórů, skulin či trhlin v povrchových vrstvách dílu. [9][13]

Studium navodíkování dále ukazuje, že intenzivní navodíkování vzniká v nejpovrchnějších oblastech oceli (řádově v mikrometrech).

Atomární vodík má snahu vstoupit z mřížky železa a vytvořit vodík molekulární. Nahromadění takto rekombinovaného molekulárního vodíku v poruchách, pórech, trhlínách, v okolí vměstků a rozhraní zrn i dislokací má za následek praskání a křehnutí ocelí. Rozpustnost vodíku v oceli je závislá na chemickém složení oceli, na teplotě a na tlaku. S teplotou rozpustnost vodíku vzrůstá. [6]

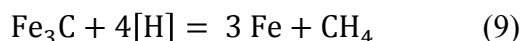


Obr. 24 Potenciálové oblasti vzniku vodíkové křehkosti a korozního praskání (AO - oblast použití anodické ochrany) [15]

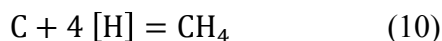
Působení vodíkového křehnutí se projevuje stejně jako vodíková koroze nejčastěji v oblastech místního namáhání. Čím větší množství vodíku je přítomno v oceli, tím větší je riziko vodíkového křehnutí. Dochází k němu při procesech, kdy se vyvíjí atomární vodík, a také k němu přispívají vysoké teploty a tlaky. [9]

3.5 Vodíková koroze

Hlavní příčina korozního rozrušování oceli vodíkem spočívá v chemické reakci s uhlíkem a v destruktivních vlivech vyplývajících z této reakce, tj. oduhlíčení a vysoké vnitřní tlaky při tvorbě CH₄, vznikajícího především rozkladem karbidu železa:



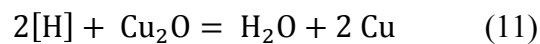
nebo reakcí vodíku s uhlíkem rozpuštěným v železe:



Na vodíkovou korozi má vliv stupeň předchozí tepelné zpracování. Oceli se sorbitickou strukturou mají vyšší schopnost pohlcovat vodík než oceli např. martenzitické.

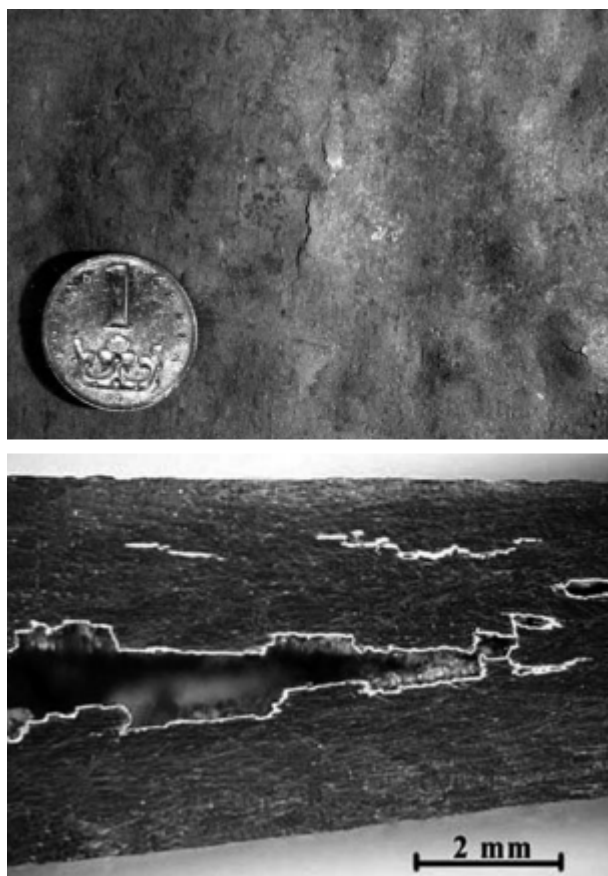
Vodíková nemoc představuje specifický způsob praskání kovů. Vzniká v atmosféře vodíku v těch případech, když slitina obsahuje kyslík (např. oxidy Cu, Ni). Praskání se proto přisuzuje vzájemnému působení rozpuštěného vodíku v Cu s kyslíkem event. s oxidem Cu, přičemž se vytvoří vodní pára, která ve struktuře kovu vytvoří trhliny. [6]

Předpoklad reakcí:



Mechanismus vodíkové nemoci lze považovat za zcela shodný s vodíkovou korozí, přičemž hlavní úlohu zde má kyslík v Cu na rozdíl od uhlíku v oceli. [6]

Vstup vodíku do struktury kovu je také možný při zvýšených teplotách, kdy již není přítomno vodné korozní prostředí. Při teplotách 200 až 480°C dochází na povrchu oceli k termické disociaci molekulárního vodíku na atomární, který pak difunduje do oceli, slučuje se s uhlíkem za tvorby metanu o vysokém tlaku a způsobí porušení oceli (tzv. vodíková koroze). Projevuje se také vznikem puchýřů. Při teplotách nad 540°C difunduje uhlík k povrchu oceli, tvoří s termicky disociovaným vodíkem metan a dochází tak k oduhličení povrchu. Při teplotách pod 100°C vzniká vodík na povrchu kovu hlavní katodickou korozní reakcí a vstupuje do oceli v atomární formě. Vznik atomárního vodíku na povrchu kovu je také možný ve vodných elektrolytech při katodické polarizaci povrchu. Rekombinace difundujícího atomárního vodíku v místech poruch struktury kovu, nejčastěji oceli, má za následek vznik velkých vnitřních tlaků (desítky až stovky MPa), které i bez přítomnosti vnějšího napětového namáhání vedou k mechanickému porušení (tzv. vodíkové puchýře). Negativní účinky atomárního vodíku se také projevují vodíkovou křehkostí, tj. ztrátou pevnosti mechanicky nezátížených kovových materiálů.[12][15]



Obr. 25 Vodíkové puchýře [12]

3.6 Metody odstranění vodíku z kovu

V různých fázích procesu galvanického pokovení lze snížit množství vodíku pronikajícího do kovu.

V případě, kdy je vodík v kovu přítomen ve své atomární podobě, lze ho částečně vypudit. Hlavní podíl vodíku proniknutého do kovu se nachází na rozhraní fáze železo (Fe) - zinek (Zn), čímž vzniká vysoký gradient koncentrace ve směru k hranici fází. Tento gradient by zpočátku mohl napomoci rychlejšímu vylučování vodíku z kovu, při snižování velikosti gradientu však zároveň dochází k poklesu rychlosti vylučování. Rychlost vylučování také klesá vlivem gradientu v opačném směru (tedy dovnitř do materiálu). Hloubka vniknutí vodíku do kovu se v průběhu času mění a mění se tak i velikost koncentračního gradientu. [10][11]

Je třeba, aby k tepelné úpravě došlo v co nejkratším možném časovém úseku po procesu (nejdéle do jedné hodiny), aby bylo využito vysokého gradientu koncentrace směrem k povrchu.

Princip je u většiny dnes používaných metod totožný. Díl by měl být zahříván na teplotu v rozmezí 180 – 200°C dle zvolené metody po dobu řádově několika hodin, opět v závislosti na zvolené metodě. Před každou tepelnou úpravou by samozřejmě mělo být zařazeno sušení povlaku. I když je uvedeno rozmezí teplot 180 – 240°C, je limitní teplotou pro tuto tepelnou úpravu teplota 225 °C, jelikož při této teplotě dochází k zvýšenému riziku oxidace a vzniku pórů, které nelze tolerovat.[10][11]

3.6.1 Dvoustupňová metoda odvodíkování

Princip této metody je založen na dvojím galvanickém pokovení (zinkování). V první fázi je díl galvanicky pozinkován na tloušťku vrstvy 3 – 4 μm, po čemž následuje tepelná úprava při požadované teplotě (obvykle v rozmezí 180 – 200°C) po dobu nejčastěji 2 hodin a následně se díl opět zinkuje na již konečnou požadovanou vrstvu. Po zinkování následuje další tepelné upravování a konečné chromátování.[11]

3.6.2 Jednostupňová metoda odvodíkování

Zinkové povlaky nejsou pro vodík zcela nepropustné a je tedy možné nedifundovaný vodík vypudit z kovu i přes povlak. Při jednostupňové metodě se vytváří požadovaná tloušťka vrstvy zinku (až 20 μm), povlak se suší a následně je tepelně upraven. Tepelná úprava má obvykle teplotní parametr v rozmezí 210 - 240 °C (resp. 220 °C). Díl je této teplotě vystaven po dobu několika (nejčastěji desítek) hodin.[11]

3.7 Metody zkoušení a vyhodnocování vlivu vodíku

Procentuální výskyt poškození součástí vodíkem u zkušebních dílů definuje určitou kvalitativní míru navodíkování. Pro zjištění základního ovlivnění vodíkem lze použít mechanické destruktivní zkoušky.

Používají se dva druhy srovnávání:

- provede se srovnání se shodným materiálem (totožné zušlechtění) po povrchové úpravě,
- provede se srovnání na přesně definovaném materiálu a tvaru vzorku vystavenému přesně určenému mechanickému namáhání.

Zkoušky lze provést standardizovaným způsobem. Zkoušky slouží k vyloučení nebezpečných postupů/ procesů povrchových úprav (i předúprav) a k určení účinnosti procesu odvodíkování. Aby testy byly schopny dát dostatečně vypovídající výsledek, je třeba vybrat vhodné zkušební díly, které projdou stejnými procesy povrchových úprav a budou podrobeny zkouškám.[10]

3.7.1 Mechanické zkoušky dle ASTM F 519

Základem mechanické zkoušky dle ASTM F 519 (Standardní zkušební metoda pro Všeobecné vodíkové křehkosti hodnocení pokování/procesy nanášení a prostředí služeb) je simulování procesu výroby na zkušebních tělesech předepsaného tvaru- referenčním zkušebním vzorkem s definovaným zářezem vyráběný souběžně s díly.

Zkouška probíhá následujícím postupem:

- materiál zkušebních vzorků je ocel AISI 4340 (dle ČSN 16 341), tavenou a zušlechtěnou podle MIL-S-5000 (Americké vojenské normy) při tvrdosti 51-53 HRC. Tento materiál a jeho stav je považován za nejhorší případ. To znamená, že všechny ostatní tepelně zušlechtěné oceli s vysokou tvrdostí jsou méně náchylné na vodíkovou křehkost.
- vzorek před vystavením působení vlivu procesu- například pokovení, podrobí tahové zkoušce a zajistí se že pevnost materiálu odpovídá -10 ksí střední hodnoty deseti nepokovených vzorků.

- poté se čtyři kusy vzorků pokoví standardním procesem a odvodňují. Vzorky se vystaví působení napětí 75 % lomového napětí po dobu 200 hodin a po tuto dobu nesmí dojít k lomu vzorků.
- pokud nedojde k lomu ani u jednoho ze čtyř vzorků, proces je považován za vyhovující- nekřehký. Pokud dojde k lomu pouze jednoho z minimálně čtyř vzorků během doby zatěžování, pak u ostatních tří vzorků po dosažení 200 hodin zvyšujte zatěžování zbývajících tří vzorků každou hodinu v krocích 5 % až 90 % lomového tahového zatížení. Pokud na zbývajících třech vzorcích nedojde k lomu po 1 hodině při 90 % zatížení, poté je proces taktéž pokládán za nenavodíkující- nekřehký. V opačném případě má proces charakter nadměrné křehkosti.[10]

3.7.2 Mechanické zkoušení dle společnosti Greenslade & Company

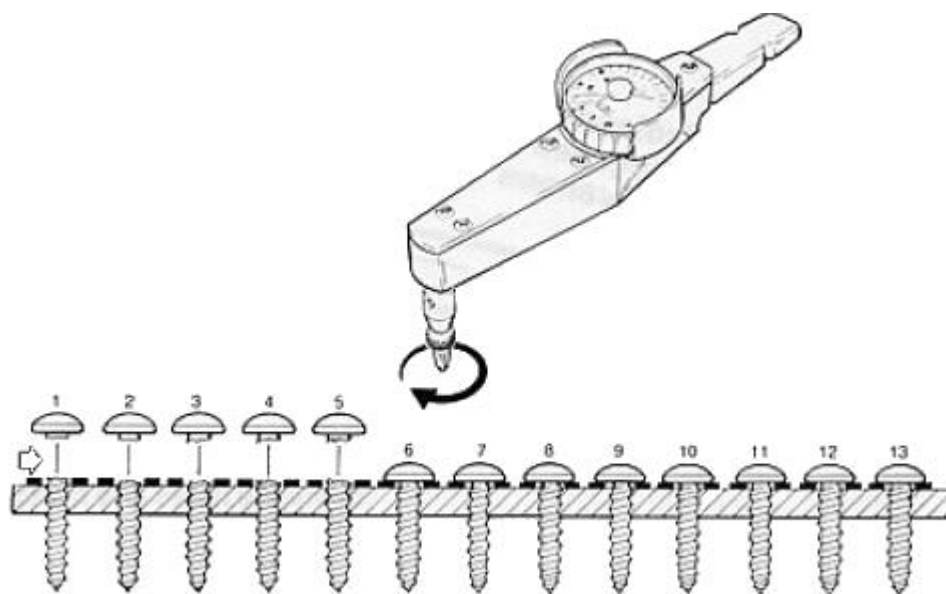
Zkoušení šroubů

Minimální počet zkušebních vzorků je 13, pokud počet vyráběných kusů přesáhne množství 250 000 kusů, mělo by být přidáno pro každých dalších 250 000 kusů vždy minimálně 8 vzorků.

Postup zkoušení:

- 13 šroubů je přišroubováno do zkušební podložky s mezerou o výšce 3 závitů (obr. 26).
- Zkušební podložka je upnuta do zkušebního přípravku a prvních 5 šroubů je momentovým klíčem utaženo až do jejich selhání. Z napětí nutného k tomuto selhání je vypočtena průměrná hodnota a vynásobena 0,8 (80 % tohoto napětí).
- Použít lze i kratší metodu: hodnoty jednotlivých napětí nutných k selhání šroubů jsou sečteny a vynásobeny 0,16 (16 %). Obě takto získané hodnoty stanovují tzv. testovací utahovací moment.
- Zbýlých 8 šroubů je utaženo na hodnotu testovacího utahovacího napětí a takto ponecháno po dobu 24 hodin. Po 24 hodinách jsou šrouby povoleny a znovu utaženy na hodnotu testovacího napětí. Pokud některý ze šroubů během 24 hodin či během znovu utahování selže, vyskytla se vodíková křehkost a postup je označen za navodíkující a je třeba buď změnit celý postup povrchové úpravy či

postup teplené úpravy - odvodíkování. A takto upravený proces znovu odzkoušet. Pokud je výpadek nulový, pak je test zdárně dokončen a postup vyhovuje požadavkům.[10]

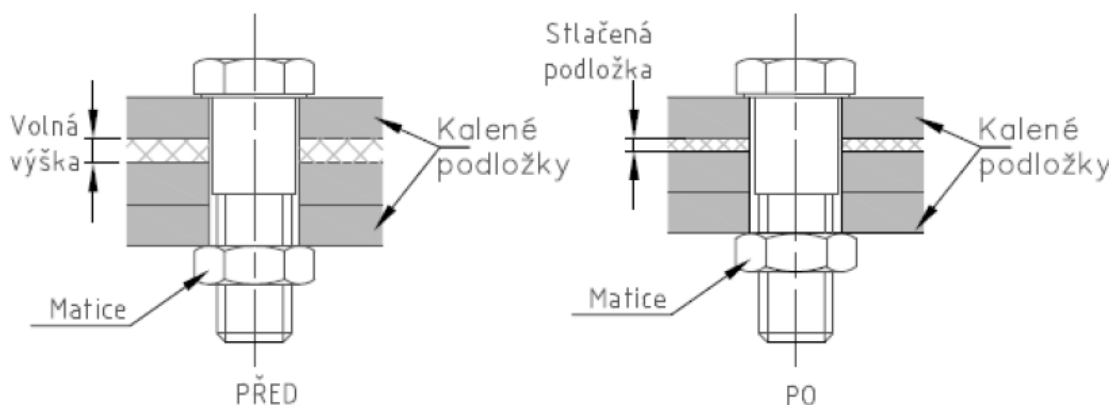


Obr. 26 Schéma postupu zkoušení šroubů [10]

Zkoušení podložek

Postup zkoušení podložek:

- Podložka je umístěna mezi 2 kalené ploché desky a stažena šroubem přes všechny tři součásti, minimální vnitřní průměr zkušební součásti je 8 mm.
- Matice šroubu je utažena na maximální možné napětí a ponechána 24 hodin.
- Pokud po 24 hodinách nedošlo k destrukci podložky, proces je označen za vyhovující.[10]



Obr. 27 Zkoušení podložek dle společnosti Greenslade & Company [10]

3.7.3 Testy vodíkového křehnutí dle firmy SurTech GmbH

Následující postup je vhodný pro testování jednotlivých stupňů procesů, vyhodnocování přísad do moření nebo pro testování efektivity tepelné úpravy:

- kroužky navlečené na skleněné tyči se ponoří do testované lázně. Použije se vysoká skleněná nádoba, protože pojistné kroužky za určitých podmínek velmi prudce praskají a jejich úlomky mohou být vymrštěny,
- v odstupe 1 až 5 minut se spočítají prasklé kroužky a vynesou se do grafu v závislosti na čase.[10][11]

Pro vhodnou volbu zkušebních dílů je třeba dodržet následující kritéria:

- Zkušební díly reagují citlivěji na vodíkové křehnutí než kontrolované zboží.
- Zkušební díly proběhnou společně se zbožím všechny kroky procesu.
- Zkušební díly jsou srovnatelné vzhledem k povrchové úpravě.
- Poškození zkušebních dílů lze bezpečně zjistit.

Pracovníci výzkumného oddělení firmy BOSCH ve Schwieberdingenu navrhli jako zkušební díly pojistné kroužky dle DIN 471 5 x 0,6; 650 HV.

Postup testu:

- Vždy 25 pojistných kroužků absolvuje všechny procesní stupně dané povrchové úpravy společně se zbožím.

- Poté se kroužky natáhnou na skleněnou tyč o průměru 5 mm pomocí kleští se stavěcím šroubem, aby nedošlo k příliš velkému roztažení kroužků (obr. 28).
- Kroužky musí jít na tyč natáhnout, aniž by praskly.
- Test je úspěšný, když i po 24 hodinách čekání ani jeden z kroužků (zkušebních dílů) nepraskne.[10][11]



Obr. 28 Testovací sada firmy SurTech pro vodíkové křehnutí [11]

4. Experimentální část

4.1 Cíle experimentální částí

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo stanovení stupně navodíkování jednotlivými pomocnými prostředky (kompondy) během procesu omílání. Proces omílání byl realizován na omílacím zařízení Rösler CER 125 – Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT v Praze. Zkušební tělíska (pojistné kroužky DIN 472 40 x 2) byla zvolena s ohledem na následnou zkoušku cyklického namáhání pomocí pulsátoru PCN (FS ČVUT v Praze). V rámci práce bylo použito celkem 7 pomocných prostředků – kompondů (kap. 4.2.2). V rámci práce byly použity jak prostředky v kapalně formě, tak prostředky ve formě prášku. Dávkování jednotlivých produktů bylo provedeno dle aplikačních listů výrobce daného prostředku, pouze v případě měření č. 5 byla vytvořena kombinace dvou prostředků (kapalného a práškového). Porovnáván tak byl ve skutečnosti vliv na navodíkování pro 6 produktů. Omíláno bylo vždy 10 zkušebních tělísek, která byla následně podrobena zkoušce cyklického namáhání. Po skončení omílacího procesu byly jednotlivé zkušební vzorky zbaveny procesních kapalin pomocí oplachu v demineralizované vodě a dále provedena jejich pasivace pomocí přípravku Pragokor Inhibitor 51. Nejen vliv omílacího prostředku, ale i doba procesu omílání (a tím i zvýšené působení kompondu) bylo porovnávaným kritériem jednotlivých měření. Pro každý prostředek byla sledována závislost stupně navodíkování na době omílacího procesu (v časech trvání 60, 120 a 180 minut).

Definice experimentu:

- Navodíkování vzorků – vibrační omílání po dobu 60, 120 a 180 min za přítomnosti kompondu.
- Stanovení stupně navodíkování – pomocí pulsátoru cyklického napětí.
- Vyhodnocení povahy lomu – optickým mikroskopem Olympus SZ61.

Použité produkty, vzorky, experimentální a měřicí zařízení:

K realizaci experimentu bylo použito následujících zařízení a produktů:

- vibrační omílací zařízení Rösler CER 125,

- keramická abrazivní omílací tělíska o rozměrech 6 x 13 mm (Technoservis MT, s.r.o.),
- kompoundy Pragopol (jednotlivě popsány v kap. 4.1.3.),
- zkušební vzorky – pojistné kroužky DIN 472 40 x 2,
- sušicí zařízení – horkovzdušná pistole BOSCH GHG 660 LCD,
- testovací zařízení – PCN,
- optický mikroskop Olympus SZ61.

4.1.1 Vibrační omílací zařízení Rösler CER 125

Vibrační omílací zařízení Rösler CER 125 (obr.29) představuje kruhové vibrační zařízení o celkovém objemu 100 l, vhodné pro omílání dílů malých a středních velikostí.

Parametry zařízení:

- celkový objem: 100 l,
- počet otáček: $1500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$,
- jmenovitá hodnota el. proudu: 0,75 kW,
- provozní napětí: 3 x 400 V, 50 Hz,
- hmotnost stroje: 330 Kg.



Obr. 29 Kruhové vibrační zařízení Rösler CER 125 (Ústav strojírenské technologie FS
ČVUT v Praze)

4.1.2 Omílací tělíska

V rámci experimentu byla použita keramická abrazivní omílací tělíska o rozměrech 6 x 13 mm firmy Technoservis MT, s.r.o. (Veselí nad Moravou). Jedná se o tělíska tvaru kosého válce průměru 6 mm a výšce 13 mm.



Obr. 30 Omílací tělíska 6 x 13 mm (Technoservis MT, s.r.o.)

4.1.3 Kompoundy

Pro sledování vlivu omílacích prostředků na stupeň navodíkování v procesu omílání byly použity základní typy kompoundů od firmy Pragochema, spol. s.r.o., ve formě prášku či kapaliny.

Použité prostředky ve formě prášku:

- Pragopol OB 32
- Pragopol OB 33
- Pragopol OB 34
- Pragopol 520

Použité prostředky v kapalné formě:

- Pragopol 809
- Pragopol 812
- Pragopol 815

V rámci práce bylo také použito kombinace prostředků, jmenovitě Pragopol OB 34 a Pragopol 815. Jednotlivý popis prostředků je uveden níže. Technické a aplikační listy jednotlivých produktů jsou uvedeny v rámci přílohy bakalářské práce.

Práškové omílací prostředky:

Pragopol OB 32

Pragopol OB 32 je práškový omílací přípravek s tříštivým brusivem, které se v průběhu omílání tříští na menší částice, které jsou však stále ostrohranné, takže si zachovávají schopnost brousit omílaný povrch kovů. Po určité době omílání se částice zjemní natolik, že přípravek začne povrch velmi jemně brousit až leštit. Přípravek dále obsahuje biologicky rozložitelné povrchově aktivní látky, zahušťovadla, dispergátory, korozní inhibitory a alkalizační činidla. Chemické složení povrchově aktivních látek a inhibitorů umožňuje upravovat všechny běžné kovové konstrukční materiály, včetně korozivzdorných ocelí a slitin hliníku a zinku. Přípravek je upraven do neprášivé formy.

Přípravek se obvykle používá v kombinaci s keramickými brusnými tělísky, která jsou tvarem i velikostí přizpůsobena upravovaným součástkám. Při požadavku na leštění povrchu se kombinuje s porcelánovými tělísky, která nemají brusný účinek. V některých případech lze přípravek použít i bez pomocných brusných nebo leštících tělísek. Přípravek se aplikuje rozprostřením na povrch mokré vsázky zboží a tělísek. Množství vody ve vsázce a množství dávkovaného přípravku se volí tak, aby zahušťující látky v přípravku vytvořily řídkou viskózní pastu, která obaluje zboží a tělíška. Viskózní pasta se vytvoří asi po 10 minutách od nadávkování přípravku. Během omílání se vsázka nezkrápí vodou. Voda se přidává jen v případě potřeby úpravy viskozity brusné pasty. Příliš hustá pasta zpomaluje brusný efekt, příliš řídká suspenze způsobuje sedimentaci brusiva na dně omílacího stroje a snížení brusného účinku. Optimální viskozity pasty se obvykle dosahuje při ředění vodou v poměru 1:4 až 1:8. Aplikační doby při odhroťování, broušení a odokujování se obvykle pohybují od 1 do 10 hodin podle druhu tělísek a požadovaném vzhledu. Jemné broušení, předleštění a leštění začíná od asi 4 hodin trvá až 48 hodin.

Složení: oxid křemičitý, metakřemičitan sodný.

Pragopol OB 33

Pragopol OB 33 je práškový omílací přípravek s tříštivým brusivem, které se v průběhu omílání tříští na menší částice, které jsou však stále ostrohranné, takže si zachovávají schopnost brousit omílaný povrch kovů. Dále obsahuje komplexotvorné látky, které urychlují rozpouštění oxidů železa (okují) i v neutrálním prostředí. Po určité době omílání se částice zjemní natolik, že přípravek začne povrch velmi jemně brousit až leštit. Přípravek dále obsahuje biologicky rozložitelné povrchově aktivní látky, zahušťovadla, dispergátory, korozní inhibitory. Chemické složení povrchově aktivních látek a inhibitorů umožňuje upravovat běžné kovové konstrukční materiály, včetně korozivzdorných ocelí a slitin hliníku a zinku. Přípravek je upraven do neprašivé formy.

Přípravek se obvykle používá v kombinaci s keramickými brusnými tělísky, která jsou tvarem i velikostí přizpůsobena upravovaným součástkám. V některých případech lze přípravek použít i bez pomocných brusných nebo leštících tělísek. Přípravek se aplikuje rozprostřením na povrch mokré vsázky zboží a tělísek. Viskózní pasta se vytvoří asi po 10 minutách od nadávkování přípravku.

Složení: oxid křemičitý, karboxymethylcelulosa.

Pragopol OB 34

Pragopol OB 34 je práškový omílací přípravek s tříštivým brusivem, které se v průběhu omílání tříští na menší částice, které jsou však stále ostrohranné, takže si zachovávají schopnost brousit omílaný povrch kovů. Po určité době omílání se částice zjemní natolik, že přípravek začne povrch velmi jemně brousit až leštit. Přípravek dále obsahuje biologicky rozložitelné povrchově aktivní látky, oxidační látky, zahušťovadla, dispergátory, korozní inhibitory a alkalizační činidla. Chemické složení povrchově aktivních látek a inhibitorů umožňuje upravovat běžné kovové konstrukční materiály, včetně korozivzdorných ocelí a slitin hliníku a zinku. Přípravek je upraven do neprašivé formy.

Přípravek se obvykle používá v kombinaci s keramickými brusnými tělísky, která jsou tvarem i velikostí přizpůsobena upravovaným součástkám. V některých případech lze přípravek

použít i bez pomocných brusných nebo leštících tělísek. Množství vody ve vsázce a množství dávkovaného přípravku se volí tak, aby zahušťující látky v přípravku vytvořily řídkou viskózní pastu, která obaluje zboží a tělíška. Viskózní pasta se vytvoří asi po 10 minutách od nadávkování přípravku. Pak se dávkuje Pragopol 815.

Složení: dusičnan sodný, alkylbenzensulfonan sodný.

Pragopol 520

Omílací přípravek Pragopol 520 je určen pro brousící operace, zaoblování hran železných předmětů a předmětů z neželezných kovů. V průběhu procesu omílání chrání dostatečně proti korozi a zajišťuje krátkodobou pasivaci povrchu.

Pragopol 520 je možné rovněž aplikovat v práškové formě posypem při vibračním kuličkovém leštění jak pro železo, tak pro barevné kovy. Současně přípravek umožňuje také pasivaci a konzervaci předmětů ze železa a oceli a zároveň čistí a konzervuje vlastní leštící ocelové kuličky. Přípravek se obvykle používá s omílacími tělísky, která musí být velikostí přizpůsobena upravovaným součástkám. Přípravek se aplikuje rozprostřením na povrch mokré vsázky zboží a tělísek a nebo se předem připraví zásobní roztok. Během omílání se vsázka nemusí zkrápět vodou. Obsah povrchové aktivních látek v přípravku umožňuje zpracovávat lehce zamaštěné předměty.

Složení: tetraboritan sodný, pentahydrát, fosforečnan trisodný dekahydrát.

Kapalné koncentráty:

Pragopol 809

Pragopol 809 je kapalný koncentrát určený pro sdruženou operaci odmašťování a leštění v omílacích strojích. Je to čirá tmavě hnědá kapalina kyselého charakteru. V některých případech je možné leštění provozovat i bez použití pomocných omílacích tělísek. Omílání, leštění povrchu zboží se provádí v roztoku Pragopolu 809 naředěném ve vodě obvykle v poměru 1:10 - 50. Vhodná koncentrace však závisí na charakteru a množství mastnot na čištěném zboží a na požadovaném stupni odmaštění povrchu. Zředěný roztok se do omílacího či vibračního zařízení dávkuje jednorázově nebo se jím zboží skrápí. Doba omílacího či

leštícího procesu je dána charakterem povrchu zboží, jeho množstvím a velikostí upravované plochy v jedné vsázce a především požadovanou kvalitou povrchu po omílací a leštící operaci. Po aplikaci je vhodné zboží v zařízení propláchnout čistou vodou. Pro zachování vysoké kvality vzhledu povrchu se po oplachu zboží pasivuje vhodným pasivačním přípravkem a usuší.

Složení: Alkylbenzensulfonan sodný, diethanolamid kokosové kyseliny, kyselina citronová, alkohol c11, poly (5 – 15) ethoxylát.

Pragopol 812

Pragopol 812 odstraňuje korozní zplodiny a má i pasivační účinek. Na upravovaném povrchu vytváří přípravek chemisorbovanou vrstvu organických inhibitorů, která chrání povrch mechanicky upraveného kovu před korozním napadením v kyselém prostředí. Pragopol 812 je čirá silně kyselá kapalina. Obsahuje kyselinu sírovou, organické sloučeniny a povrchově aktivní látky s dobrou biologickou rozložitelností. Přípravek je žiravinou.

Omílání, leštění povrchu zboží se provádí v roztoku Pragopolu 812, který se do omílacího či vibračního zařízení dávkuje jednorázově nebo se jím zboží skrápí. Doba omílacího či leštícího procesu je dána charakterem povrchu zboží, stupněm korozního napadení, množstvím a velikostí upravované plochy v jedné vsázce a především požadovanou kvalitou povrchu po omílací a leštící operaci. Po aplikaci je vhodné zboží v zařízení propláchnout čistou vodou a popř. ještě dále pasivovat vhodným přípravkem a usušit.

Složení: kyselina sírová, ethoxylovaný kokosový amin

Pragopol 815

Pragopol 815 je kapalný koncentrát, který je určen pro odmašťování a leštění. Koncentrát je kapalina kyselého charakteru. Používá se v omílacích zařízeních s použitím nerezových nebo porcelánových omílacích tělísek. Přípravek se ředí v poměru 1 : 10 – 50 s vodou. Po aplikaci je nutné součásti propláchnout čistou vodou.

Složení: kyselina citronová, diethanolamid kokosové kyseliny, mono (2 – ethylhexyl) sulfo – este sodný, alkylbenzensulfonan sodný

Pragokor Inhibitor 51

Nízkopěnový inhibiční a neutralizační přípravek bez dusitanů a chromanů emulzního typu. Je vhodný pro dočasnou a mezioperační ochranu proti korozi výrobků z oceli, litiny, a slitin mědi. Aplikuje se ponorem i postřikem v technologickém postupu jako poslední neprůtočná operace před sušením, po předchozích oplachových operacích. Přípravek se vyznačuje vysokou protikorozní ochranou povrchu a je funkční již při velmi nízké nasazovací koncentraci. Je možné přidat jej do slabě kyselých až silně alkalických odmašťovacích a omílacích lázní a získat inhibovaný povrch kovů v jediné, sdružené operaci.

Složení: cyklohexylamin, ethoxylovaný kokosový amin, mastný amin ethoxylát

4.1.4 Zkušební vzorky

Jako zkušební vzorky byly zvoleny pojistné kroužky DIN 472 40 x 2. Pojistné kroužky byly dodané v surovém stavu. Chemické složení v těchto vzorků udává tabulka 2.

Tab. 2: Chemické složení testovaných vzorků v %.

Fe	Mn	Si	P	S	Al	Cr
92,49	0,59	4,47	0,141	0,012	2,1	0,19



Obr. 31 Pojistný kroužek DIN 472 40 x 2

4.1.5 Sušící zařízení - horkovzdušná pistole BOSCH GHG 660 LCD

Pro sušení zkušebních vzorků po omílání byla použita horkovzdušná pistole od firmy BOSCH GHG 660 LCD. Tento způsob osušení byl vybrán kvůli jednoduchosti a časové nenáročnosti.

Parametry horkovzdušné pistole:

- pracovní teplota: 50 – 660 °C
- proud vzduchu: 250 - 500 l · min⁻¹
- jmenovitý příkon: 2300 W



Obr. 32 Horkovzdušná pistole BOSCH GHG 660 LCD

3.1.6 Pulsátor cyklického napětí- PCN

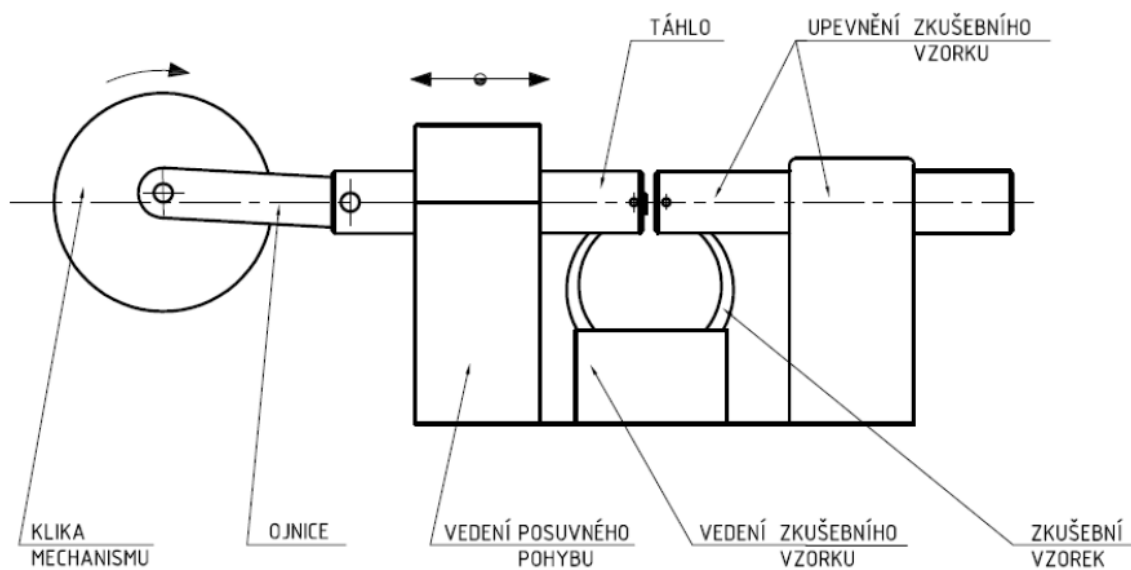
Pulsátor cyklického napětí je uveden na obr. 34.

Parametry stroje:

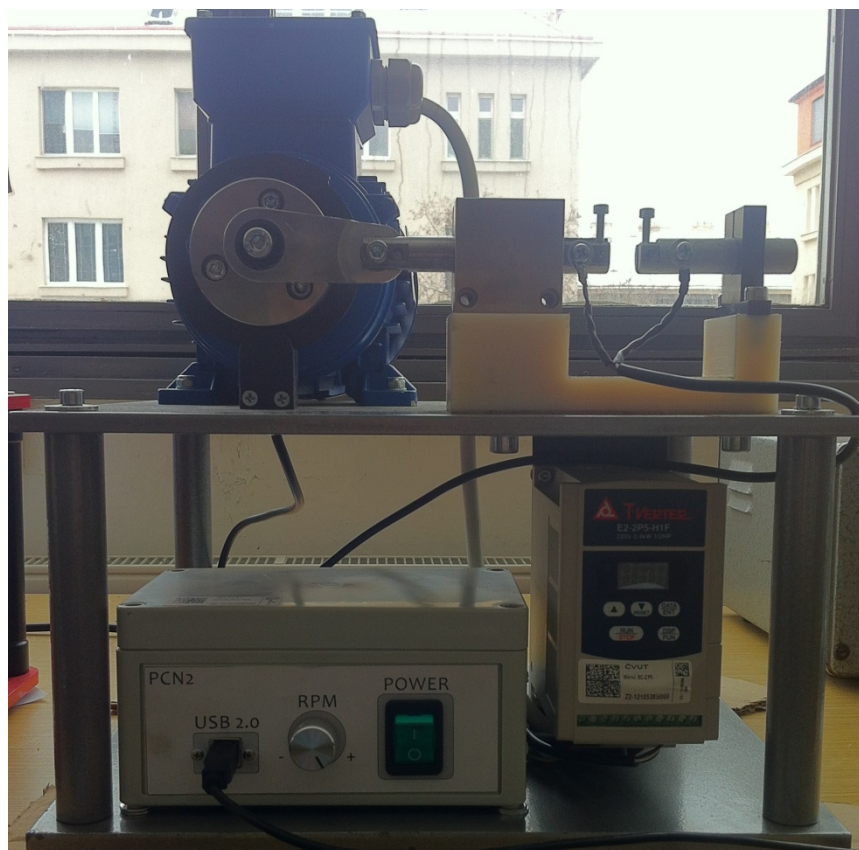
- elektromotor: trojfázový typ GL- 712- 2,
- frekvence: 50 Hz,
- ovládací zařízení: tablet Lenovo.

Dílní prvky PCN:

- třífázový asynchronní motor,
- frekvenční měnič (regulátor otáček),
- klikový mechanismus (převod rotačního pohybu na posuvný),
- variabilní upínací táhlo,
- senzor měření počtu cyklů,
- softwarové aplikace pro ovládání zařízení a měření počtu cyklů.



Obr. 33 Zjednodušené schéma mechanismu [10]



Obr. 34 Pulsátor cyklického napětí na FS ČVUT



Obr. 35 Pojistný kroužek po zkoušce na PCN

4.1.7 Optický mikroskop Olympus SZ61

Lomové plochy vzorků byly vyhodnocovány za pomoci optického světelného mikroskopu Olympus SZ61.

Parametry mikroskopu:

- max. zvětšení 90,
- vestavěná kamera,
- quick foto industrial 2.2.



Obr. 36 Mikroskop s digitálním fotoaparátem Olympus SZ61

4.2 Měření vlivu komponentů v omílacím procesu na stupeň navodíkování

4.2.1 Příprava vzorků

Z důvodu nedokonalosti tvaru pojistných kroužků byla provedena příprava vzorků před měřením. Odhrotovaním hran bylo dosaženo požadované kvality zkušebních vzorků. Příprava vzorků probíhala v zařízení od firmy Rösler CER 125 po dobu 300 minut. Obsah vody v omílacím ústrojí cca 3 litry. Použita byla již zmiňovaná abrazivní keramická tělíska tvaru kosého válce o rozměrech 6 x 13 mm. Jako pomocný omílací prostředek byl použit Pragopol OB 32 a Pragopol 520, následně byly ošetřeny pomocí inhibitoru Pragokor Inhibitor 51. Koncentrace použitých prostředků udává tabulka 3.

Tab.3: Koncentrace prostředků pro přípravu vzorků

Prostředek	Koncentrace [%]	Množství
Pragopol OB 32	8	240 g
Pragopol 520	1	30 g
Pragokor Inhibitor 51	-	70 ml

Tabulka 3 Udává množství použitého prostředku pro přípravu vzorků.

4.2.2 Použité komponenty

Navodíkování vzorků probíhalo ve stejném zařízení jako v části experimentu 4.2 s použitím prostředků o koncentracích uvedených v tabulce 4. Omílano bylo vždy 30 vzorků, které byly po 10 odebírány v časech omílání 60, 120 a 180 minut. Vzorky byly opět ošetřeny oplachem v demineralizované vodě a pomocí inhibitoru Pragokor Inhibitor 51. Následně byly osušeny a podrobeny zkoušce pomocí zařízení PCN.

Tab. 4: Koncentrace prostředků při omílání

Prostředek	Koncentrace [%]	Množství
Pragopol OB 33	15	450 g
Pragopol OB 34	10	300 g
Pragokor 520	2	70 g

Pragopol 812	3,3	100 ml
Pragopol 809	3	90 ml
Pragopol 815	1	30 ml
Pragokor Inhibito51	-	70 ml

Tab. 5: Použitý prostředek a čas omílání

Měření	Prostředek	Čas [min]
1	Pragopol OB 34	60/120/180
2	Pragopol 809	60/120/180
3	Pragopol 812	60/120/180
4	Pragopol 520	60/120/180
5	Pragopol OB 34 + 815	60/120/180
6	Pragopol OB 33	60/120/180

4.2.3 Měření na pulsátoru cyklického napětí – PCN

Na zařízení PCN bylo provedeno celkem 190 měření. Postup měření je následující. Vzorky se upnou pomocí kleštin a dvou kolíků, které se dotáhnou šrouby s přívodem elektrického proudu. Vlivem střídavého tahu a tlaku na konec pojistného kroužku dochází k destrukci materiálu vzorku (jeho střídavým rozevíráním a zavíráním) viz obr. 34. Během měření je pomocí softwaru zaznamenáván počet zátěžných cyklů a čas do porušení vzorku. Ze získaných hodnot počtu zátěžných cyklů pro jednotlivé sady vzorků byla následně provedena statistická analýza k určení stupně navodíkování jednotlivých prostředků a stanovení nejistoty měření. Dále byly vyhotoveny tři snímky lomové plochy vzorků z každé sady pomocí optického mikroskopu pro zjištění povahy lomu. Výsledky měření byly porovnávány se vzorky, které nebyly vystaveny dalšímu omílacímu procesu, tudíž představovali materiál nenavodíkový.

4.2.4 PCN – omílací proces 60 minut

Následující tabulka udává naměřené hodnoty a statistické vyhodnocení pro vzorky omílané po dobu 60 minut. Vzhledem k počtu deseti měření pro jednotlivý typ prostředku byl zvolen pro odhad střední hodnoty souboru medián (x), dále byl určen aritmetický průměr (\bar{x}) v tab. uveden jako P, rozpětí souboru R, směrodatná odchylka s_r (vypočtená z rozpětí koef. $k_n = 0,3249$), mez opakovatelnosti r (součinitel kritického rozpětí $f(n) = 4,5$) a dále pomocí Gibbsova testu provedeno vyloučení odlehlých výsledků (T_n kritérium = 2,290). Vypočítané mediány a směrodatné odchylky byly vyneseny do grafů pro porovnání vzorků při použití jednotlivých prostředků se stavem nenavodíkováným.

Tab. 6: Měření vlivu komponentů na stupeň navodíkování (omílací proces 60 min)

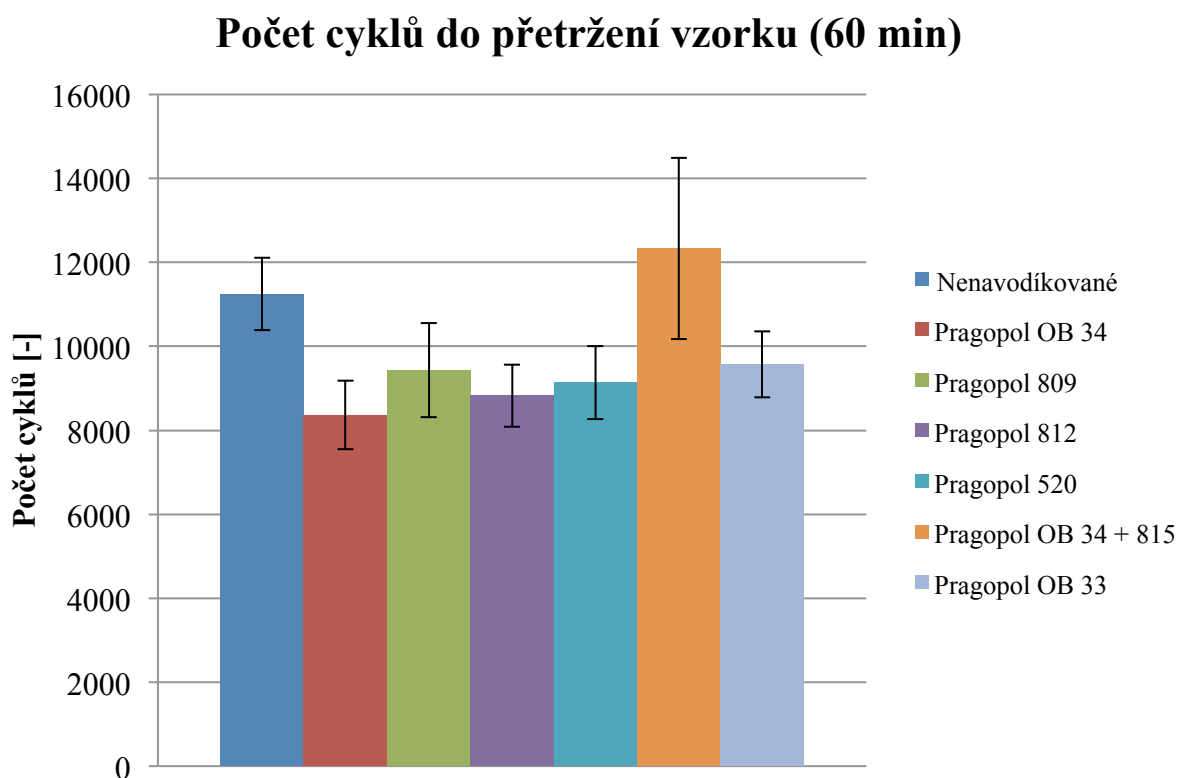
n	Nenavod.	Prg 809	Prg 812	Prg 520	PrOB 34/815	OB 33	OB 34
1	8192	5870	6936	7154	8262	6413	5606
2	9549	7441	7048	7474	8485	7930	6402
3	9659	8296	7656	7526	8878	8692	6488
4	10463	8491	8405	8056	10851	9256	7877
5	10769	9117	8645	9136	11932	9452	8114
6	11729	9749	9008	9332	12170	9690	8617
7	11930	10363	9271	10254	12483	9690	8725
8	12888	10428	10310	11048	12507	10158	10298
9	12994	12599	11006	12521	13023	10566	10450
10	13503	12766	11514	16287	13275	11273	10646
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	9433	8827	9234	12051	9571	8366
P	11168	9512	8980	9879	11187	9312	8322
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							
R	5311	6896	4578	9133	5013	4860	5040
s_r	1726	2241	1487	2967	1629	1579	1637
r	7765	10082	6693	13353	7329	7106	7369
$T_{n(max)}$	1,306	1,488	1,807	2,377	0,752	1,078	1,393
$T_{n(min)}$	1,772	1,590	1,271	0,701	2,326	2,000	1,685
T_n	2,290						
1	8192	5870	6936	7154		6413	5606
2	9549	7441	7048	7474	8485	7930	6402
3	9659	8296	7656	7526	8878	8692	6488

4	10463	8491	8405	8056	10851	9256	7877
5	10769	9117	8645	9136	11932	9452	8114
6	11729	9749	9008	9332	12170	9690	8617
7	11930	10363	9271	10254	12483	9690	8725
8	12888	10428	10310	11048	12507	10158	10298
9	12994	12599	11006	12521	13023	10566	10450
10	13503	12766	11514		13275	11273	10646
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	9433	8827	9136	12170	9571	8366
P	11168	9512	8980	9167	11512	9312	8322
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							
R	5311	6896	4578	5367	4790	4860	5040
s_r	1726	2241	1487	1744	1556	1579	1637
r	7765	10082	6693	7847	7003	7106	7369
$T_{n(max)}$	1,306	1,488	1,807	1,941	0,710	1,078	1,393
$T_{n(min)}$	1,772	1,590	1,271	1,137	2,368	2,000	1,685
T_n	2,290						
1	8192	5870	6936	7154		6413	5606
2	9549	7441	7048	7474		7930	6402
3	9659	8296	7656	7526	8878	8692	6488
4	10463	8491	8405	8056	10851	9256	7877
5	10769	9117	8645	9136	11932	9452	8114
6	11729	9749	9008	9332	12170	9690	8617
7	11930	10363	9271	10254	12483	9690	8725
8	12888	10428	10310	11048	12507	10158	10298
9	12994	12599	11006	12521	13023	10566	10450
10	13503	12766	11514		13275	11273	10646
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	9433	8827	9136	12327	9571	8366
P	11168	9512	8980	9167	11890	9312	8322
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							
R	5311	6896	4578	5367	13275	4860	5040
s_r	1726	2241	1487	1744	4313	1579	1637
r	7765	10082	6693	7847	19409	7106	7369
$T_{n(max)}$	1,306	1,488	1,807	1,941	0,220	1,078	1,393
$T_{n(min)}$	1,772	1,590	1,271	1,137	0,800	2,000	1,685
T_n	2,290						

Vyhodnocení experimentu – PCN, vliv komponentů na navodíkování, omílání 60 min

Z grafického vyhodnocení hodnot mediánů a směrodatných odchylek pro jednotlivé pomocné prostředky v grafu 1 je patrný vliv těchto prostředků na snížení počtu zátěžných cyklů do lomu. Z tohoto jevu lze usuzovat, že došlo k navodíkování vzorků, a tím i k projevům vodíkové křehkosti. V případě kombinace prostředků Pragopol OB 34 a 815 je hodnota mediánu vyšší než u vzorků nenavodíkových. Vzhledem k vysoké hodnotě směrodatné odchylky v případě měření této kombinace prostředků, je vhodné učinit závěr takový, že přípravek v porovnání s ostatními způsobuje navodíkování výrazně méně.

Graf 1: Počet cyklů do přetržení zkušebního vzorku na PCN (omílací proces 60 min)



4.2.5 PCN – omílací proces 120 minut

Následující tabulka udává naměřené hodnoty a statistické vyhodnocení pro vzorky omílané po dobu 120 minut. Statistické vyhodnocení bylo provedeno stejným způsobem jako v bodě 4.2.4. Zjištěné hodnoty mediánů a směrodatných odchylek byly použity pro hodnocení jednotlivých prostředků z hlediska navodíkování.

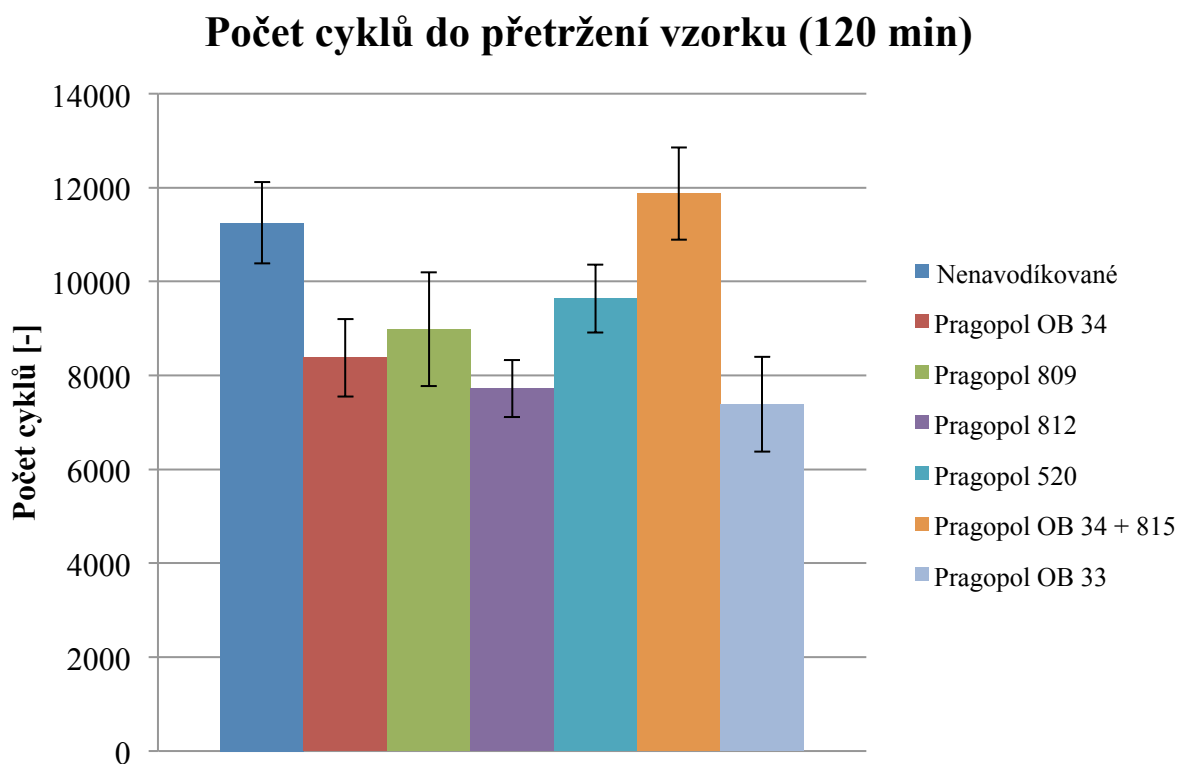
Tab. 7: Měření vlivu komponentů na stupeň navodíkování (omílací proces 120 min)

n	Nenavod.	Prg 809	Prg 812	Prg 520	PrOB 34/815	OB 33	OB 34
1	8192	5912	5669	7447	7950	5155	6401
2	9549	6996	6231	8162	10468	5255	7009
3	9659	7376	6390	8940	10475	5655	7514
4	10463	7915	6764	9161	11116	6623	7729
5	10769	8489	7670	9353	11368	7078	7848
6	11729	9483	7759	9914	12371	7684	8903
7	11930	10017	8394	10588	12393	7787	9433
8	12888	10123	8593	10879	13164	8796	9709
9	12994	12094	8848	11568	13456	10968	10183
10	13503	13375	9409	11882	14012	11368	11486
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	8986	7715	9634	11870	7381	8376
P	11168	9178	7573	9789	11677	7637	8622
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							
R	5311	7463	3740	4435	6062	6213	5085
s_r	1726	2425	1215	1441	1970	2019	1652
r	7765	10911	5468	6484	8863	9084	7435
T_n (max)	1,306	1,810	1,395	1,560	1,088	1,975	1,883
T_n (min)	1,772	1,268	1,683	1,517	1,990	1,103	1,195
T_n	2,290						

Vyhodnocení experimentu – PCN, vliv komponentů na navodíkování, omílání 120 min

V případě hodnocení vlivu pomocných prostředků na navodíkování materiálu v procesu omílání je opět použito grafického vyhodnocení pomocí hodnot mediánů a směrodatných odchylek pro jednotlivé pomocné prostředky (viz graf 2). V porovnání s předchozím měřením se průběh chování jednotlivých vzorků výrazně neliší a opět je patrný vliv těchto prostředků na snížení počtu zátěžných cyklů do lomu (opět vyjma kombinace prostředků Pragopol OB 34 a 815). Lze konstatovat, že použití této varianty pomocného prostředku zabezpečuje i po dvojnásobnou dobu omílání minimální ovlivnění materiálu. Toto ovšem v případě ostatních prostředků ne zcela platí.

Graf 2: Počet cyklů do přetržení zkušebního vzorku na PCN (omílací proces 120 min)



4.2.6 PCN – omílací proces 180 minut

Statistické vyhodnocení vzorků omílaných za působení komponentů po dobu 180 minut bylo opět provedeno stejným způsobem jako v předchozích případech. Naměřené hodnoty pro jednotlivé prostředky a zjištěné statistické hodnoty udává tab. 8.

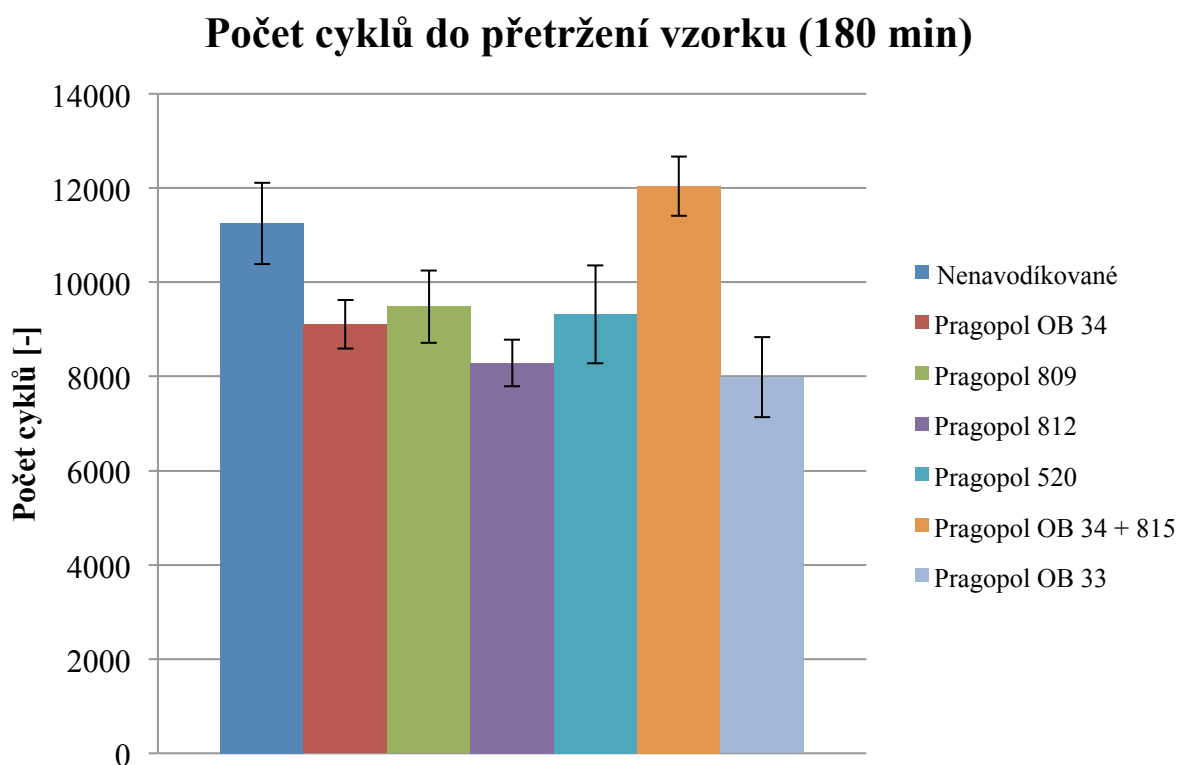
Tab. 8: Měření vlivu komponentů na stupeň navodíkování (omílací proces 180 min)

n	Nenavod.	Prg 809	Prg 812	Prg 520	PrOB 34/815	OB 33	OB 34
1	8192	8032	6593	6559	9244	6523	7519
2	9549	8418	7647	6707	9673	6524	7687
3	9659	8604	7716	8800	9987	6877	8438
4	10463	9039	7990	9042	10346	7180	8866
5	10769	9484	8275	9199	11912	7684	8897
6	11729	9877	8300	9443	12167	8286	9316
7	11930	10208	8492	9942	12215	8288	9669
8	12888	11157	8672	10806	12237	9699	9930
9	12994	12773	9047	12266	12548	11272	10054
10	13503	14506	9645	12970	13116	11764	10684
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	9681	8288	9321	12040	7985	9107
P	11168	10210	8238	9573	11345	8410	9106
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							
R	5311	6474	3052	6411	3872	5241	3165
s_r	1726	2103	992	2083	1258	1703	1028
r	7765	9465	4462	9373	5661	7663	4627
T_n (max)	1,306	2,294	1,369	1,752	0,856	2,219	1,534
T_n (min)	1,772	0,784	1,709	1,326	2,222	0,859	1,544
T_n	2,290						
1	8192	8032	6593	6559	9244	6523	7519
2	9549	8418	7647	6707	9673	6524	7687
3	9659	8604	7716	8800	9987	6877	8438
4	10463	9039	7990	9042	10346	7180	8866
5	10769	9484	8275	9199	11912	7684	8897
6	11729	9877	8300	9443	12167	8286	9316
7	11930	10208	8492	9942	12215	8288	9669
8	12888	11157	8672	10806	12237	9699	9930
9	12994	12773	9047	12266	12548	11272	10054
10	13503		9645	12970	13116	11764	10684
Statistické vyhodnocení výsledků							
x	11249	9484	8288	9321	12040	7985	9107
P	11168	9732	8238	9573	11345	8410	9106
n < 20 pro odhad střední hodnoty použijí medián							
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$ ($k_n = 0,3249$)							

Vyhodnocení experimentu – PCN, vliv komponentů na navodíkování, omílání 180 min

I v případě tohoto měření byl prokázán vliv prostředků na snížení počtu zátěžných cyklů, a tím i nepřímo vliv navodíkování. I v případě omílání po dobu 180 minut se jako nejvhodnější volba prostředku jeví kombinace Pragopol OB 34 a 815. Použití tohoto způsobu předúpravy by nemělo způsobit nežádoucí ovlivnění materiálu vodíkem a vodíkovou křehkost.

Graf 3: Počet cyklů do přetržení zkušebního vzorku na PCN (omílací proces 180 min)

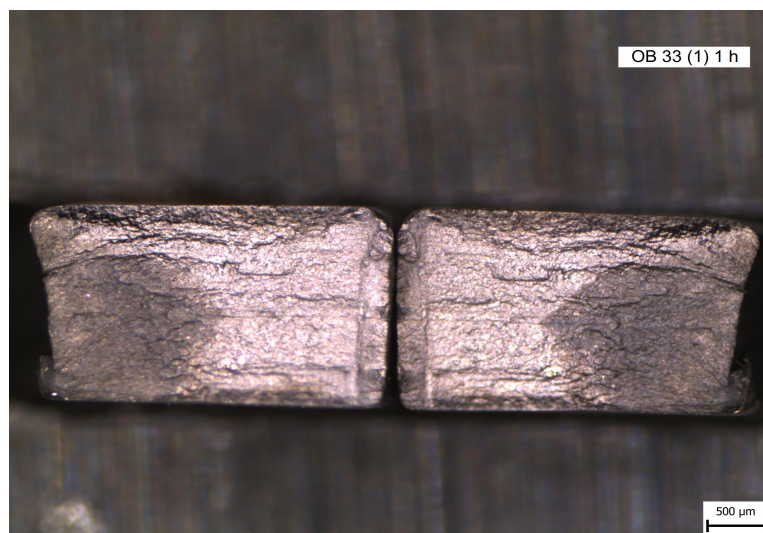


4.2.7 Charakter lomu po zatížení na PCN

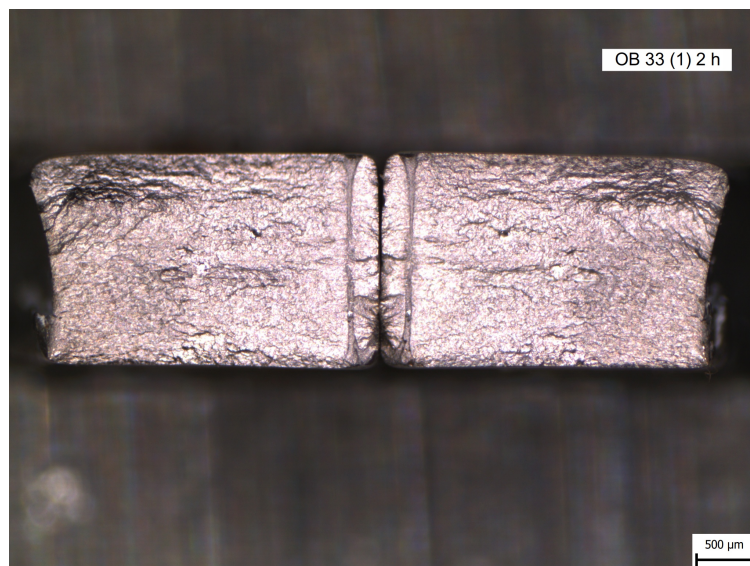
Jak již bylo uvedeno, bylo vždy pro 3 vzorky z každé sady provedeno nasnímání lomové plochy pomocí optického mikroskopu. Všechny snímky jsou součástí příloh bakalářské práce, níže přikládám pro porovnání snímky plochy nenavodíkovaného vzorku a plochy vzorku omílaného s prostředkem Pragopol OB 33, který měl největší vliv na snížení hodnoty cyklického namáhání.



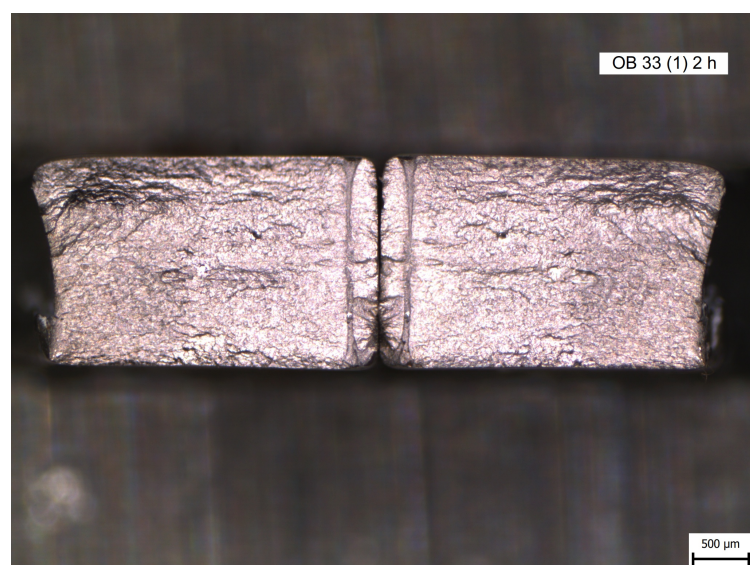
Obr. 37 Lom nenavodíkovaného vzorku



Obr. 38 Lom vzorku s dobou omílaní 60 min. Prostředek Pragopol OB 33.



Obr. 39 Lom vzorku s dobou omílání 120 min. Prostředek Pragopol OB 33.



Obr. 40 Lom vzorku s dobou omílání 180 min. Prostředek OB 33.

Dle zkoumání lomu u vzorků nebyl prokázán značný vliv navodíkování.

5. Technicko - ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení byla vypracována tabulka uvažující nákladovost jednotlivých měření vycházející z předpokladů stejných vstupů (energie, voda, atp) a stejných režijních nákladů. Porovnání je tak provedeno pouze v závislosti na ceně a množství použitého produktu. V tabulce 9 je uvedena celková cena přípravy zkušebních vzorků. Tabulka 10 udává cenu produktů pro jednotlivá měření. Jednotlivé ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tab. 9: Celková cena produktů - předúprava

Prostředek	Cena za 1 kg [Kč]	Množství [g/ml]	Cena [Kč]
Pragopol OB 32	52,50	240	12,6
Pragopol 520	53	30	1,59
Pragokor Inhibitor 51	299	70	20,93
Celková cena			35,12

Tab. 10 Ceny prostředků pro jednotlivá měření

Prostředek	Cena za 1 kg [Kč]	Množství [g/ml]	Cena [Kč]	Celková cena experimentu [Kč]
Pragopol OB 34	75	300	225	260,12
Pragopol 809	93	90	93,09	149,14
Pragopol 812	84	100	8,4	64,45
Pragopol 520	53	60	3,18	59,23
Pragopol OB 34 + 815	75 + 96	300 + 30	227,88	263
Pragopol OB 33	77	450	34,65	90,7

Z důvodu značného nebezpečí vodíkové křehkosti se pro malé série jeví jako výhodnější volit takový přípravek, který nebude negativně ovlivňovat materiál i za ceny vyšších nákladů. Prodloužením životnosti součásti dochází nejvíce k zabezpečení bezproblémového provozu a vyhnutí se případným reklamacím či dalším nákladům souvisejícím s negativními projevy přítomnosti vodíku v materiálu.

6. Závěr

Cíle stanovené pro experimentální část této bakalářské práce byly v rámci realizovaných experimentů splněny. V praktické části bakalářské práce byla provedena mechanická předúprava vzorků v omílacím zařízení. Následně byly vzorky podrobeny dalšímu omílání při použití různých práškových a tekutých komponentů. Pomocí experimentálního zařízení PCN na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze byl sledován vliv použitých prostředků na navodíkování vzorků během omílacího procesu. Volbou tří rozdílných časů procesu byl dále sledován průběh navodíkování v závislosti na délce omílacího cyklu. Z naměřených hodnot a jejich statistického vyhodnocení lze konstatovat, že byl prokázán přímý vliv pomocných omílacích prostředků (komponentů) na snížení hodnoty počtu zátěžných cyklů do lomu (a tím i navodíkování materiálu). Z použitých produktů se jako nejvhodnější komponent jeví kombinace prostředků Pragopol OB 34 a Pragopol 815. V případě této varianty docházelo k nejmenšímu ovlivnění materiálu. Vzhledem k nebezpečím která souvisejí s vodíkovou křehkostí způsobenou procesy předúprav povrchu pomocí omílání, lze tuto variantu doporučit i pro dlouhé časy těchto procesů (180 min).

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984, 270 s.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB Ostrava, 1995, 151 s. ISBN 80-7078-953-0.
- [3] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996, 89 s. ISBN 80-01-01472-X.
- [4] KREIBICH, Viktor. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy. Návody ke cvičení z povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984, 77s.
- [5] KREIBICH, Viktor. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy (část povrchové úpravy)*. 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1987, 80 s.
- [6] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB Ostrava, 1997, 71 s. ISBN 80-7078-235-8
- [7] KREJČÍK, Vladimír. *Povrchová úprava kovů I*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987, 167 s.
- [8] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2005, 134 s.
- [9] DIBLÍKOVÁ, Linda a Alena KOUKALOVÁ. *Studie metod k určování koncentrace vodíku v ocelích*. VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S., 2013.
- [10] KREIBICH, Viktor, Jan KUDLÁČEK, Karel VOJKOVSKÝ, Dana BENEČOVÁ a Petr DRAŠNAR. *Metody stanovení působení vodíkové křehkosti na materiál*. Praha
- [11] JANSEN, Rolf a Patricia PREIKSCHAT. *Vodíkové křehnutí*. 2002. SurTec Technická informace.

- [12] NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT v Praze. Praha [cit. 2015-12-18]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
- [13] KREIBICH, Viktor a Hana HRDINOVÁ. *Povrchové úpravy při procesu omílání*. Povrcháři.cz [online]. 2014, č. 5 [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201405_povrchari.pdf
- [14] ROSLER [online]. [cit.2015-12-20]. Dostupné z: <http://www.rosler-povrchove-upravy.cz>
- [15] *Poškození vodíkem* [online]. [cit. 2015-12-26]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_vodik.htm#obr3
- [16] OMÍLBRUS [online]. [cit. 2015-12-26]. Dostupné z: <http://www.omilbrus.cz/index.php?menu=16>
- [17] TROWAL [online]. [cit.2015-12-20]. Dostupné z <http://www.trowal.cz/stroje/omilani>
- [18] TROWAL [online]. [cit.2015-12-20]. Dostupné z: <http://www.trowal.cz/chips-compounds>
- [19] KREIBICH, Viktor a Petr HOLEČEK. *Vodík při procesu povrchových úprav*. Povrcháři.cz [online]. 2010, č. 1 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201001_povrchari.pdf
- [20] JIMI [online]. [cit.2015-12-26]. Dostupné z <http://www.brusivojimi.com/brusne-seg-kameny-orovnavace-/omilaci-teliska>

8. Seznam použitých zkratk

n	$[ot \cdot min^{-1}]$	otáčky
D	[mm]	průměr bubnu
k	[-]	koeficient
e	[-]	elektron
Fe	[-]	železo
Cu	[-]	měď
Ni	[-]	nikl
O	[-]	kyslík
H	[-]	vodík
OH	[-]	hydroxid
°C	[-]	Celsiův stupeň (jednotka teploty)
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
CH_4	[-]	metan
Fe_3C	[-]	karbid železa
Cu_2O	[-]	oxid měďný
CO_2	[-]	oxid uhličitý
H_2O	[-]	voda
H_3O	[-]	hydronium
$Zn(OH)_2$	[-]	hydroxid zinečnatý
H_{ad}	[-]	adsorbovaný vodík
H_{mat}	[-]	vodík v základním materialu
(x)	[-]	median
$\overline{(x)}$	[-]	aritmetický průměr

R	[-]	rozpětí souboru
s_r	[-]	směrodatná odchylka
r	[-]	mez opakovatelnosti
f(n)	[-]	součinitel kritického napětí
k_n	[-]	koeficient tabelovaný pro jednotlivá n
n	[-]	počet vypočtených výsledků

9. Seznam příloh

1. Lomové plochy zkušebních vzorků
2. Bezpečnostní listy k jednotlivým prostředkům