

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

INOVACE ÚHLOVÉ BRUSKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

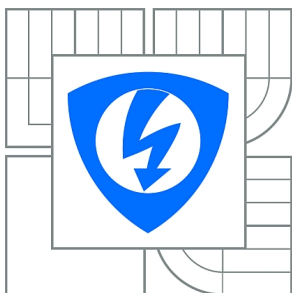
PETR ZÁHEJSKÝ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

INOVACE ÚHLOVÉ BRUSKY

INNOVATION ANGLE GRINDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

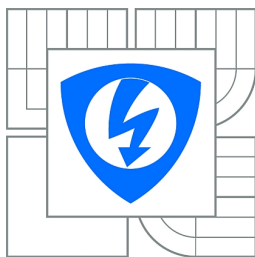
PETR ZÁHEJSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. FRANTIŠEK VESELKA, CSc.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Petr Záhejský

ID: 147003

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Inovace úhlové brusky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou technického řešení a provozem elektrického ručního náradí.
2. Analyzujte úroveň zhoršení užitných vlastností poskytnutých brusek.
3. Změřte základní parametry komutátoru používaných brusek.
4. Navrhněte praktickou aplikaci sběracího ústrojí s aplikací teflonu do prostoru kluzného kontaktu.
5. Vyhodnoťte získané výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Chmelík, K., Veselka, F.: Kluzný kontakt v elektrických strojích. KEY Publishing Ostrava 2007

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 2.6.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce na téma inovace úhlové brusky se zabývá zlepšováním provozních parametrů úhlových brusek, zejména v oblasti kluzného kontaktu. Úhlové brusky se řadí mezi elektrické ruční nářadí, které zpravidla bývá využíváno v náročných podmínkách. V zájmu proniknutí do problematiky byly v úvodu studovány nefunkční exempláře úhlových brusek a analyzovány jejich poruchy a vzorky prachových částic.

V dalších částech byla věnována pozornost měření základních parametrů úhlových brusek, mezi něž patří například vystupování jednotlivých lamel komutátorů. Dále se práce zabývá aplikací teflonu do oblasti kluzného kontaktu, shrnuje chování kluzného kontaktu s přítomností teflonu a popisuje jeho základní vlastnosti.

Závěr práce je věnován praktické aplikaci teflonu do prostoru kluzného kontaktu, která je podložena dlouhodobými zkouškami.

Abstract

This thesis deals with the innovation of angle grinder and with upgrades of operating parameters, particularly the sliding contact. We count the angle grinders among electric hand tools, which are usually used in hard conditions. In the first time the non-functional examples of angle grinders were studied and their defects and the samples of dust were analysed.

The aim of the other parts of this thesis was to measure the basic parameters of angle grinders, mainly the behavior of the commutator lamination. The following part is focused on application of teflon into the sliding contact, summarizes the behavior of the sliding contact with the presence of teflon, and describes the basic properties of teflon.

The conclusion describes the practical application of teflon on the sliding contact, which is supported by long-term tests.

Klíčová slova

elektrický stroj; kluzný kontakt; inovace; PTFE; úhlová bruska

Keywords

electric machine; sliding contact; innovation; PTFE; angle grinder

Bibliografická citace

ZÁHEJSKÝ, P. *Inovace úhlové brusky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 54 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. František Veselka, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Inovace úhlové brusky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

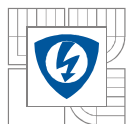
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Františku Veselkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

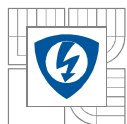
V Brně dne

Podpis autora

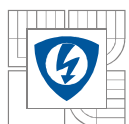


OBSAH

1 ÚVOD	13
2 PROBLEMATIKA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ A PROVOZU ELEKTRICKÉHO RUČNÍHO NÁŘADÍ.....	14
2.1 HISTORIE A VÝVOJ ELEKTRICKÉHO RUČNÍHO NÁŘADÍ.....	14
2.2 PŘÍKON, VÝKON, ÚČINNOST	14
2.3 VÝVOJ UNIVERZÁLNÍCH ELEKTROMOTORŮ	15
2.4 ÚHLOVÉ BRUSKY	16
2.5 KONSTRUKCE ÚHLOVÝCH BRUSEK.....	16
2.6 ROZDĚLENÍ ÚHLOVÝCH BRUSEK	17
2.7 ZKUŠENOSTI SERVISNÍCH STŘEDISEK ELEKTRICKÉHO RUČNÍHO NÁŘADÍ	17
2.7.1 ŽELEZÁŘSTVÍ OLDŘICH BARTÁK, TÁBORSKÁ 224, 61500 BRNO.....	18
2.7.2 NÁŘADÍ VESELÝ BRNO, OLMOUCKÁ 158 62700 BRNO	18
3 ANALÝZA ZHORŠENÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ ÚHLOVÝCH BRUSEK	19
3.1 NAREX EBU 13-11.....	19
3.1.1 VZORKY PRACHU Z OBLASTI KARTÁČŮ BRUSKY NAREX EBU 13-11.....	20
3.1.2 VZORKY PRACHU Z OBLASTI ROTORU A STATORU BRUSKY NAREX EBU 13-11	21
3.2 BOSCH GWS 9-150C	21
3.2.1 VZORKY PRACHU Z OBLASTI KARTÁČŮ BRUSKY BOSCH GWS 9-150C	22
3.3 PROTOOL AGP 150-16 D	23
3.3.1 VZORKY PRACHU Z OBLASTI KARTÁČŮ BRUSKY PROTOOL AGP 150-16 D	25
4 MĚŘENÍ PRŮBĚHU VYSTUPOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH LAMEL KOMUTÁTORŮ	26
4.1 MĚŘÍCÍ PRACOVNÍSTĚ PRO MĚŘENÍ VYSTUPOVÁNÍ LAMEL KOMUTÁTORŮ.....	26
4.2 POSOUZENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ A POUŽITÝCH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ	27
4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ VYSTUPOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH LAMEL KOMUTÁTORŮ	27
4.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ VYSTUPOVÁNÍ LAMEL KOMUTÁTORŮ	28
4.4.1 HODNOCENÍ OVALITY KOMUTÁTORŮ	28
4.4.2 MAXIMÁLNÍ ROZDÍL VÝŠKY SOUSEDNÍCH LAMEL	28
4.4.3 CHYBA PŘI OPAKOVANÉM MĚŘENÍ.....	29
4.4.4 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ PRŮBĚHU VYSTUPOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH LAMEL KOMUTÁTORŮ.....	29
5 PRAKTICKÁ APLIKACE SBĚRACÍHO ÚSTROJÍ S APLIKACÍ TEFLONU DO PROSTORU KLIZNÉHO KONTAKTU	29
5.1 KARTÁČE ELEKTRICKÉHO STROJE.....	29
5.2 DRŽÁKY KARTÁČŮ	29
5.3 PODSTATA INOVOVANÉHO KLIZNÉHO KONTAKTU	30
5.4 PTFE.....	32
5.4.1 POLYTETRAFLUORETHYLEN V KLIZNÉM KONTAKTU	32
5.4.2 STANDARTNÍ PTFE.....	32
5.4.3 MODIFIKOVANÝ PTFE.....	33
5.4.4 VLASTNOSTI SLOUČENIN ZALOŽENÝCH NA PTFE A MODIFIKOVANÉM PTFE.....	33
5.4.5 TEPELNÉ VLASTNOSTI PTFE.....	34

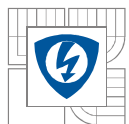


5.4.6 ODOLNOST PROTI OPOTŘEBENÍ.....	34
5.5 DŮSLEDKY APLIKACE TEFLONU.....	34
5.5.1 INOVACE KARTÁČE V PROVEDENÍ S „T“.....	34
5.5.2 INOVACE DRŽÁKU KARTÁČE V PROVEDENÍ S „T“.....	35
5.5.3 KOMPLEXNÍ INOVACE SBĚRACÍHO ÚSTROJÍ.....	35
6 KARTÁČE VYUŽÍVAJÍCÍ NANOMATERIÁLŮ.....	35
6.1 DOSAVADNÍ STAV TECHNIKY.....	35
6.2 PROVEDENÍ.....	35
7 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU.....	36
7.1 ZATĚŽOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY ÚHLOVÝCH BRUSEK.....	36
7.2 VARIANTY PROVEDENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU.....	38
7.2.1 I. VARIANTA PROVEDENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU.....	38
7.2.2 II. VARIANTA PROVEDENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU.....	41
7.2.3 III. VARIANTA PROVEDENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU.....	43
7.3 PRAKTICKÁ REALIZACE ZKOUŠEK.....	43
7.4 VÝSLEDKY I. ETAPY DLOUHODOBÝCH TESTŮ.....	43
7.5 II. ETAPA DLOUHODOBÝCH ZKOUŠEK.....	44
7.6 ÚHLOVÁ BRUSKA NAREX EBU 13-14 CE URČENÁ PRO DLOUHODOBÉ TESTY VE II. ETAPĚ.....	45
8 ZÁVĚR.....	49
LITERATURA.....	50
PŘÍLOHY.....	51
PŘÍLOHA 1 - TABULKA ZOBRAZUJÍCÍ NEJČASTĚJŠÍ PŘÍMĚSI PTFE A JEJICH VLASTNOSTI.....	51
PŘÍLOHA 2 - ZÁVISLOST RELATIVNÍ ZMĚNY DÉLKY ČISTÉHO PTFE V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ...52	52
PŘÍLOHA 3 - ZÁVISLOST RELATIVNÍ ZMĚNY DÉLKY ČISTÉHO PTFE V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ...52	52
PŘÍLOHA 4 - ZÁVISLOST ROZPÍNAVOSTI PTFE S 25% PŘÍDAVKEM UHLÍKU V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ.....	53
PŘÍLOHA 5 - ZÁVISLOST ROZPÍNAVOSTI PTFE S 30% PŘÍDAVKEM UHLÍKU A 3% PŘÍDAVKEM GRAFITU V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ.....	53
PŘÍLOHA 6 - TABULKA ZACHYCUJÍCÍ KLUZNÉ VLASTNOSTI PTFE A JEHO SLOUČENIN.....	53
PŘÍLOHA 7 - ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI FLUOROPLASTŮ.....	54

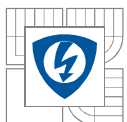


SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1: Charakteristiky univerzálních motorů</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2.2: Základní komponenty úhlové brusky</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3.1: Znázornění sestavy úhlové brusky Narex EBU 13-11</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3.2: Znázornění poškozeného komutátoru úhlové brusky Narex EBU 13-11</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3.3: Znázornění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Narex EBU 13-11</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3.4: Znázornění vzorků prachu z oblasti rotoru a statoru úhlové brusky Narex EBU 13-11</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 3.5: Znázornění jednotlivých dílů sestavy úhlové brusky Bosch GWS 9-150C</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3.6 Znázornění poškozeného komutátoru úhlové brusky Bosch GWS 9-150C</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3.7: Znázornění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Bosch</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 3.8: Znázornění jednotlivých dílů úhlové brusky Protool AGP 150-16 D.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3.9: Znázornění poškozených převodů úhlové brusky Protool AGP 150-16</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3.10: Znázornění poškozeného místa na komutátoru úhlové brusky Protool AGP 150-16 D</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3.11 Znázornění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Protool</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4.1: Měřicí pracoviště pro měření vystupování lamel komutátorů.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.2 Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 1</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 4.3: Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 2</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 4.4: Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 3</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5.1: a) Ideální poloha kartáče v držáku kartáče b) Znázornění modelové situace kartáče za provozu stroje</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5.2: a) Struktura filmu vytvářeného na komutátoru s klasickými kartáči b) Struktura filmu vytvářeného na komutátoru s inovovanými kartáči.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 7.1: Zařízení pro dlouhodobé zkoušky úhlových brusek</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 7.2: Detailní pohled na zatěžovací alternátor Valeo ALT.SG12B090 a připojení úhlové brusky Narex EBU 13-14 CE</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7.3: Příčný řez inovovaným kartáčem s aplikovanou vrstvou teflonu do vlastního těla kartáče</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7.4: a) Standardní provedení kartáčů b) Standardní provedení držáku kartáče</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7.5: a) Standardní provedení kartáčů b) Inovované provedení držáku kartáče s teflonovou vrstvou na vnitřní straně krabičky kartáče</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7.6: a) Inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou aplikovanou do vlastního těla kartáče b) Standardní provedení držáku kartáče</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7.7: a) Inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou aplikovanou do vlastního těla kartáče b) Inovované provedení držáku kartáče s teflonovou vrstvou na vnitřní straně krabičky kartáče</i>	<i>41</i>



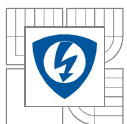
<i>Obr. 7.8: Příčný řez inovovaným kartáčem s aplikovanou vrstvou teflonu na vnější stranu kartáče</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 7.9: Držáky kartáčů vyrobené na NC stroji v úpravě s,,T“</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 7.10: - Znáznornění závislost velikosti opotřebení kartáčů na počtu cyklů</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 7.11 Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru brusky Narex EBU 13-14 CE.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7.12: Detailní pohled na přípravek pro zjištění vzájemné polohy kartáčů.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 7.13: Schematické znázornění metody pro posouzení prostorového uložení držáků kartáčů vůči ose budících pólů</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7.14, 7.15: Přípravky pro indikaci vzájemné polohy držáků kartáčů vůči hlavní ose budících pólů.....</i>	<i>48</i>



SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1: Zobrazení změn vlastností modifikovaného PTFE a PTFE s různými příměsemi.....33

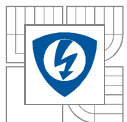
Tab. 7.1: Znázornění jednotlivých konfigurací kartáčů a držáků kartáčů pro I. etapu dlouhodobých testů.....44



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

PTFE - polytetrafluorethylen, teflon

s „T“ - úprava kartáčů a držáků kartáčů v provedení s teflonem



1 ÚVOD

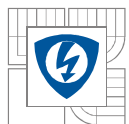
Velké množství odborných publikací se věnuje vývoji techniky ve všech oborech od malých domácích spotřebičů, s kterými jsme konfrontováni v reklamách, v televizi a rádiu, až po průmysl automobilní či letecký. Ovšem o elektrickém ručním nářadí se dozvíme jen málokdy, většinou až na požádání bezprostředně před koupí. Je to neseriózní, vzhledem k technice, která zvyšuje intenzitu lidské práce a navyšuje mnohonásobně výkony pracovníků. Vždyť i v automobilovém a leteckém průmyslu stojí v pozadí elektrické ruční nářadí, bez kterého by výroba nebyla možná. Například stavebnictví by bez výkonného elektrického ručního nářadí mohlo svou funkci plnit jen obtížně. Ruční nářadí využívají rovněž domácí kutilové a mnohé další obory. Díky moderním technologiím dokáže jeden nástroj převýšit až dvacetinásobně svalový výkon jednoho uživatele. Tato skutečnost je ovšem spojena s nesmírnými nároky na konstrukci elektrického ručního nářadí. [2]

Úhlové brusky patří mezi elektrické ruční nářadí. Jsou to zařízení, která jsou extrémně namáhána, ve většině případů dokonce likvidačně. Velkou mírou může životnost těchto zařízení ovlivnit jejich obsluha. Brusky pracují ve velmi nepříznivém a rozdílném prostředí plném prachu a nečistot, což klade extrémně přísné požadavky na elektrické a mechanické součásti těchto zařízení.

Bakalářská práce se v úvodu zaměřuje obecně na elektrické ruční nářadí, jeho vývoj, princip funkce a využívanou techniku a dále pojednává o konstrukci úhlových brusek. Zlepšování provozních parametrů úhlových brusek vyžaduje posouzení dosavadního stavu techniky, což obnáší konfrontaci se servisními středisky elektrického ručního nářadí.

Práce se dále zabývá studiem použitých úhlových brusek, analýzou jejich poruch v oblasti kluzného kontaktu, zhoršením užitečných vlastností a měřením základních parametrů komutátorů.

Hlavní část práce se zabývá vlastnostmi a charakteristikou PTFE, jeho aplikací, výhodami a nevýhodami, zlepšováním provozních parametrů úhlových brusek a hodnocením výsledků dlouhodobých zkoušek.



2 PROBLEMATIKA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ A PROVOZU ELEKTRICKÉHO RUČNÍHO NÁŘADÍ

2.1 Historie a vývoj elektrického ručního nářadí

Od vynálezu elektrické ruční vrtačky roku 1896 již uplynulo více než 115 let. Jako další nářadí byla v roce 1906 vynalezena přímá bruska s dřevěnými drždaly, která pro svůj pohon využívala asynchronní motor a byla tak těžká, že ji při práci museli držet dva dělníci. Přestože mezi světovými válkami nastal pokrok ve využívání elektrických obráběcích strojů v továrnách, na další elektrické ruční nářadí se muselo čekat bezmála 40 let. Evropa začala s elektrizací až po první světové válce a tudíž obyvatelé měst mohli teprve ve 20. letech 20. století využívat osvětlení žárovkou a první elektrospotřebiče jako například vařiče, vysavače a ohříváče vody. Až po druhé světové válce, nejdříve řemeslníci a po zavedení dvojité izolace i domácí uživatelé mohli začít využívat komfortu bezpečných vrtaček, pil, hoblíků, atd. Aplikací vysokootáčkových univerzálních komutátorových motorků klesla hmotnost nářadí a rozšířila se jejich využitelnost. Dále se vývoj zaměřoval na design, ergonomii, řídicí elektroniku, upínání nástrojů bez dalších pomůcek, odolnější plasty, antivibrační systémy a také na snížení hlučnosti. V poslední době se na trhu začíná nabízet akumulátorové nářadí, které je již bez přívodního kabelu [2].

Elektronizace rozšířila možnosti elektronářadí. Díky plynulému nastavení rychlosti bez mechanických převodovek umožnila opracovávání odlišných materiálů, jako jsou dřevo, ocel, barevné kovy, plasty a kámen. U nejvíce namáhaného elektronářadí, jímž jsou právě úhlové brusky, byla zavedena do praxe diagnostika opotřebení kartáčů pro ochranu komutátorů [2].

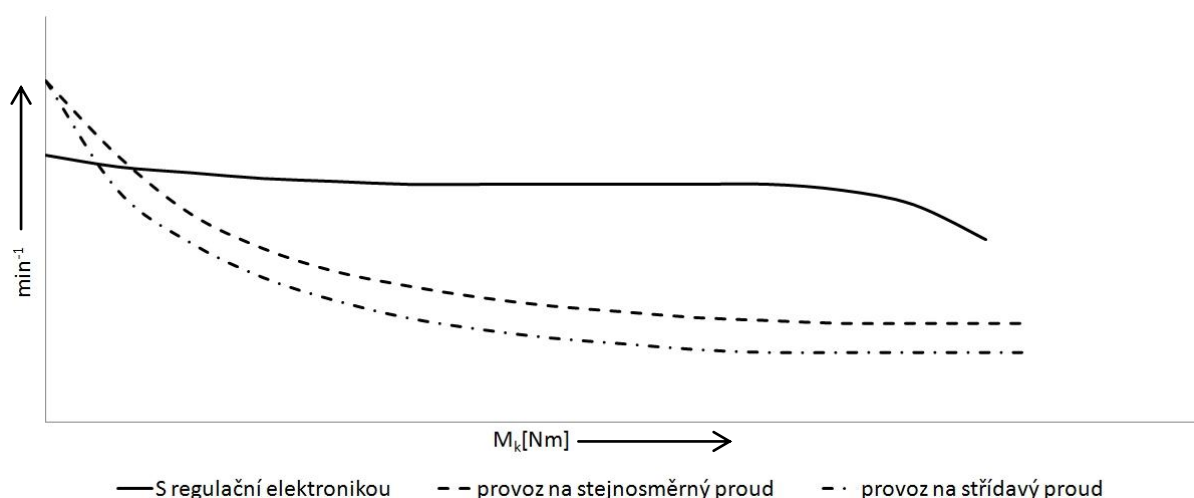
2.2 Příkon, výkon, účinnost

Mezi mechanickým výkonem a příkonem elektrických strojů v ručním nářadí je i přes veškerý pokrok stále velký rozdíl. Elektrický příkon $P_1[W]$ uvedený na štítku přístroje je dán součinem napětí sítě $U[V]$, odebíraného proudu $I[A]$ a účinníku $\cos \varphi$, který u komutátorových strojů bývá 0,9. Mechanický výkon se u rotačních nástrojů měří dynamometrem a účinnost v % se vypočítá jako podíl výkonu a příkonu násobeného 100. Ze zkušeností a z naměřených údajů se účinnost elektrického ručního nářadí pohybuje zpravidla v rozmezí 50 % - 65 %. Poměrně malá účinnost vyplývá z použití univerzálních komutátorových motorků, které, jak již název napovídá, mohou být provozovány nejen na střídavý, ale i stejnosměrný proud. Část výkonu se spotřebuje na pokrytí ztrát v převodech a ventilátoru, který v některých případech neslouží jen ke chlazení samotného nářadí, ale také k ofukování místa řezu nebo odsávání splin a pilin [2].

Podle bezpečnostních předpisů, může teplota v místě uchopení dosahovat hodnoty maximálně 60 °C, v ostatních místech může být až dvojnásobná, v závislosti na použité izolaci, která běžně zvládá teploty 90 °C - 130 °C. Provozní teplota je důležitý parametr, protože zvýšení teploty nad stanovenou mez způsobuje velmi prudkou degradaci izolace. Jediné překročení maximální dovolené teploty snižuje životnost izolace, a tím i celého nářadí na polovinu. Teplo se odvádí ventilátorem umístěným na hřídeli motoru, který saje vzduch štěrbinami v plášti. Vzduch poté prochází oblastí statoru a rotoru a bývá vyfukován v oblasti převodovky. Zejména při broušení kovů však bývají také nasávány kovové částice, které ohrožují mechanické i elektrické části stroje. Zničení motoru brání tepelné nebo proudové pojistky [2].

2.3 Vývoj univerzálních elektromotorů

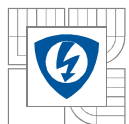
Většina elektronářadí je poháněna jednofázovými komutátorovými motory, které při volnoběhu dosahují úrovně otáček $25\,000 - 42\,000\text{ min}^{-1}$. Skládají se ze statoru s cívkami vytvářející magnetické pole a rotoru, do jehož vinutí se proud přivádí odpruženými uhlíkovými kartáči přes lamely komutátoru. Motor může být také napájen stejnosměrným proudem, kdy jeho výkon dokonce mírně vzroste, protože nedochází ke ztrátám vířivými proudy. Závislost otáček n na zatížení momentem M_k lze pozorovat na obr. 2.1. S rostoucím zatěžovacím momentem klesají otáčky (u stejnosměrného napájení nepatrně méně). Pokud pro danou aplikaci vyžadujeme udržování konstantních otáček, potom je třeba využít elektronickou regulaci [2].



Obr. 2.1: Charakteristiky univerzálních motorů [2]

Příkladem může být univerzální motorek úhlové brusky. Při stisknutí spínače začne proud procházet vinutím statoru, přes uhlíkové kartáče a komutátor se dostane do vinutí rotoru, jehož rotaci vyvolává působení magnetického pole statoru na rotorové cívky protékané proudem. Výsledné volnoběžné otáčky jsou dány počtem závitů rotoru a statoru, dále také mechanickým odporem celého soustrojí. Při zatížení začnou otáčky klesat, čemuž lze do jisté míry zabránit elektronickou regulací [2].

Vývoj se u těchto zařízení zaměřuje na získání pokud možno co největšího výkonu a točivého momentu při zachování pokud možno co nejmenších rozměrů motorků bez překročení meze dovoleného oteplení. Tato situace klade také vysoké požadavky na kluzný kontakt a zároveň i na celé zařízení. Současně se elektrické, ale i mechanické prvky musí chránit před účinky nasávaných nečistot, zejména při broušení kovů. Tyto nasávané nečistoty mohou mechanicky narušovat izolaci a zapříčinit trvalé zničení stroje. Měděné vodiče obvykle chrání několik vrstev speciálních laků. Zejména u úhlových brusek se vinutí rotoru bandážuje, nebo chrání plastovými košíčky. Uhlíkové kartáče se vyrábějí spékáním směsí grafitu, kovů a dalších látek. U silně namáhaných strojů se zavádí automatické odpojení kartáčů při jejich opotřebení, aby nedošlo k poškození komutátoru. U strojů s možností reverzace se kartáče natáčejí do optimální polohy. Rotory se po navinutí drátů do drážek v ocelovém svazku uzavírají závěrným páskem a zakapávají izolační pryskyřicí. Následuje soustružení komutátoru a jeho vyvažování ve dvou rovinách. Tato péče má pozitivní vliv na hlučnost, životnost a lepší účinnost zařízení [2].



2.4 Úhlové brusky

Brusky s kotoučem kolmým k ose vřetena a elektromotorem, se začaly používat ve 30. letech minulého století ve slévárnách k práci s odlitky. Jejich další rozšíření nastalo s nástupem svařovaných konstrukcí, kde se využívaly k úpravě svárů. Oproti přímým bruskám mají nespornou výhodu v tom, že setrvačný moment kotoučů nezesnadňuje jejich držení a manipulaci. Úhlové brusky patří mezi univerzální nářadí, které je při použití vhodných kotoučů vhodné na řezání, broušení a povrchovou úpravu nepřeberného množství materiálů. Například leštění ovšem vyžaduje menší otáčky, a tak k tomu musí být bruska uzpůsobena. Úhlové brusky patří do kategorie nejvíce přetěžovaného ručního nářadí, nezdědka jsou v provozu ve třisměnném provozu za neustálého přetěžování. Nároky na jejich konstrukci jsou mimořádné, proto se v poslední době začíná uplatňovat elektronická diagnostika [2].

2.5 Konstrukce úhlových brusek

Technické řešení úhlových brusek je poměrně jednoduché: výkonný motor, kvalitní chlazení, šnekový převod a talířové kolo. Na jeho výstupní hřídel se již připevňují potřebné druhy kotoučů a přípravků. U starších modelů byl potřeba speciální klíč, novější modely již mají rychloupínací systémy, které však musí být zabezpečeny proti neúmyslnému pohybu. Významným parametrem je také výška hlavy a převodové skříně, která představuje technický rozpor. Musí být co nejnižší pro snadnou práci i v úzkých prostorech a naproti tomu musí splňovat nároky kladené na spolehlivost a hlučnost [2].

Vůle v ložiscích a nevyváženost kotoučů, která může vznikat v důsledku rychlých rozběhů a nárazů kotouče na materiál a jeho nerovnosti má za následek nepříjemné vibrace. Proto se u velkých úhlových brusek využívá elektroniky k plynulým rozběhům a automatického vyvažování, které je řešeno kruhovou ložiskovou schránkou naplněnou olejem, v níž se volně pohybují ocelové broušené kuličky. Tento systém má pozitivní vliv na životnost kotoučů, převodů a ložisek a celé úhlové brusky. Pro bezpečnou práci je kotouč chráněn ochranným krytem, který se dá podle potřeby pootáčet [2].



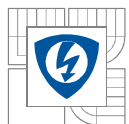
Obr. 2.2: Základní komponenty úhlové brusky [2]

2.6 Rozdělení úhlových brusek

Brusky dělíme na jednoruční o hmotnosti 1,2 - 1,8 kg s příkonem do 1400 W a na dvojruční s příkonem od 1400 W a hmotnosti až do 5 kg. Dvojruční brusky jsou uchopovány za zadní rukojeť se spínačem a druhá ruka svírá pomocné držadlo. Jednoruční brusky využívají kotouče o průměru 115 mm, 120 mm, výjimečně i 150 mm, dvouruční využívají průměry 150 mm, 180 mm a 230 mm. Brusky s příkonem do 2300 W a bez omezení rozběhových proudů lze zapojit do standardní domácí zásuvky jištěné jističem 16 A. Výkonnější již vyžadují speciální postup připojení [2].

2.7 Zkušenosti servisních středisek elektrického ručního nářadí

V zájmu zajištění maximální objektivnosti při zpracovávání bakalářské práce jsem navštívil servisní střediska elektrického ručního nářadí v Brně, kde jsem osobně konzultoval se zkušenými technikami jejich poznatky s jednotlivými značkami úhlových brusek a zjistil pokud možno co nejvíce informací o těchto strojích a jejich poruchách.



2.7.1 Železářství Oldřich Barták, Tábořská 224, 61500 Brno

Diskuse byla zaměřena převážně na úhlové brusky českého výrobce Narex s.r.o. Úvodem jsme se věnovali nejčastějším problémům úhlových brusek. Bylo zjištěno, že nejčastěji se objevují poruchy ložisek, převodů, elektroniky nebo motoru. Vše samozřejmě záleží na vytížení a náročnosti provozu dané brusky. Z jejich zkušeností vyplynulo, že pokud je bruska využívána ve třísměnném náročném provozu, její životnost je zpravidla 8000 – 9000 hodin, než dojde k nějaké fatální závadě, která znemožní další používání. Velmi často se stává, že si lidé zakoupí velice levnou a malou úhlovou brusku ze supermarketu nebo značkovou pro hobby použití, tu nadměrně využívají, či dokonce přetěžují montáží větších neschválených kotoučů a poté přijdou „rozčilení“, že se jim stroj pokazil. Ovšem cena jednotlivých kvalitních náhradních dílů je většinou stejně vysoká jako cena nové levné brusky a tudíž se opravy nevyplatí. Například nové kvalitní kartáče do úhlové brusky se prodávají za ceny okolo 200 Kč, což je při ceně úhlové brusky 800 Kč nezanedbatelná položka [3].

V další části konzultace byly explicitně projednávány již výhradně úhlové brusky značky Narex. Nejčastěji dochází k poruchám převodů, což se u dřívějších modelů nestávalo. Technici se domnívají, že za to mohou úspory na materiálu převodů, protože pokud je to možné, tak do nových modelů dávají ozubená kola ze starších modelů, a poté se již problémy neobjevují. Dalším velmi častým problémem bývá nefunkční elektronika. Cena náhradní elektroniky pro brusku se pohybuje zhruba na 30% ceny nové brusky a cena převodů je totožná, takže pokud nastanou tyto dvě poruchy zároveň, tak se již nevyplatí brusku opravovat. Dříve byly brusky mnohem lépe mechanicky odolné, a vydržely mnohem déle i bez elektroniky, která například zajišťuje plynulý rozběh a doběh [3].

Na požádání byly poskytnuty 2 exempláře nefunkčních úhlových brusek ke studijním účelům, a to úhlové brusky: Bosch GWS 9-150C a Protool AGP 150-16 D

2.7.2 Nářadí Veselý Brno, Olomoucká 158 62700 Brno

V průběhu konzultace byly rovněž ke studijním účelům poskytnuty různé podkladové a studijní materiály [4], [5], [6], [7], [8]. Na základě provedené konzultace lze konstatovat, že technická úroveň jednotlivých výrobců v sortimentu úhlových brusek je poměrně vyrovnaná. To vše za předpokladu, že se nejedná o výrobek v extrémně nízké cenové relaci [9].

Nejčastější poruchy mívají úhlové brusky v kovovýrobě, slévárnách či zámečnictvích a to z toho důvodu, že se odlétající kovové částice usazují v okolí motoru a brzy nastane zkrat. Častým problémem vytěžovaných exemplářů bývá opotřebování převodů [9].

Životnost kartáčů dle jejich zkušeností je 50-80 provozních hodin, po 1 – 2 výměnách kartáčů je třeba rozebrat motor a osoustružit komutátor, protože je již plný nerovností, na kterých by docházelo k jiskření a velmi rychlému zničení nových kartáčů [9].

3 ANALÝZA ZHORŠENÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ ÚHLOVÝCH BRUSEK

Na posouzení stavu byly k dispozici 3 exempláře úhlových brusek. 2 (Bosch, Protool), které jsem obdržel v servisním středisku Železářství Oldřich Barták a 1 (Narex) exemplář, který zajistil doc. Ing. František Veselka, CSc. Zajímavostí u všech exemplářů je skutečnost, že ani jeden z nich neobsahoval kartáče. Tato skutečnost je zapříčiněna tím, že si tento díl zanechali v servisu pro další využití.

3.1 Narex EBU 13-11

Základní parametry: Příkon: 1100 W, Průměr kotouče: 125 mm, Jmenovité otáčky: 10 000 min^{-1} , hmotnost 1,9 kg.

Zkoumaná úhlová bruska je velice poškrábána a znečištěna velkým množstvím černého prachu. Z toho lze usuzovat, že bruska byla často využívána nejspíše v nějakém průmyslu se zpracováním kovů. Vzhledem k četnosti odřenin byla nejspíše velice často nešetřně odkládána. Jediné čisté a neodřené místo je v místě uchopení u spínače.

Převodovka této brusky je řádně namazána odpovídajícím množstvím vazelíny, která je velice znečištěna od prachu, v kterém bruska pracovala. Na pohled jsou převody v perfektním stavu, bez jakékoliv známky opotřebení.

Rotor a stator brusky jsou bez viditelného poškození. Stejně jako na ostatních částech brusky je na nich silná vrstva černě zbarveného prachu.

Komutátor je silně poškozen. Jeho lamely jsou uprostřed vydřené o několik mm. To je důvod, proč byla bruska vyřazena z provozu. K poruše došlo z důvodu nesprávné funkce kluzného kontaktu. Domnívám se, že se do prostoru komutátoru dostaly nečistoty, které způsobily jiskření, což spolu s nečistotami vedlo k vydření lamel komutátoru.



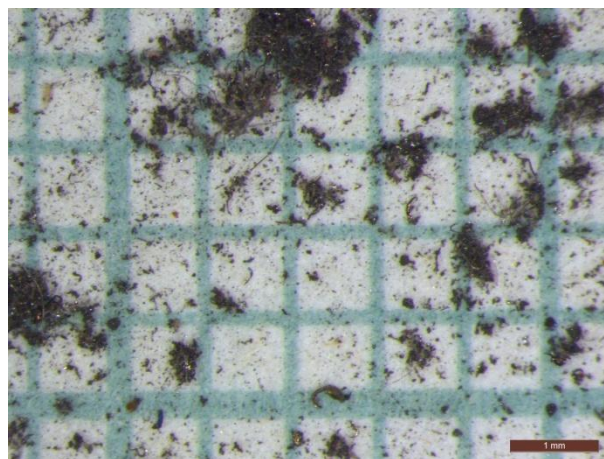
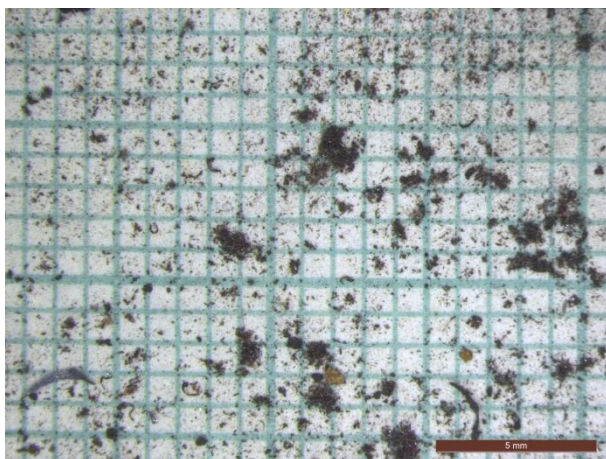
Obr. 3.1: Znázornění sestavy úhlové brusky Narex EBU 13-11



Obr. 3.2: Znáznornění poškozeného komutátoru úhlové brusky Narex EBU 13-11

3.1.1 Vzorky prachu z oblasti kartáčů brusky Narex EBU 13-11

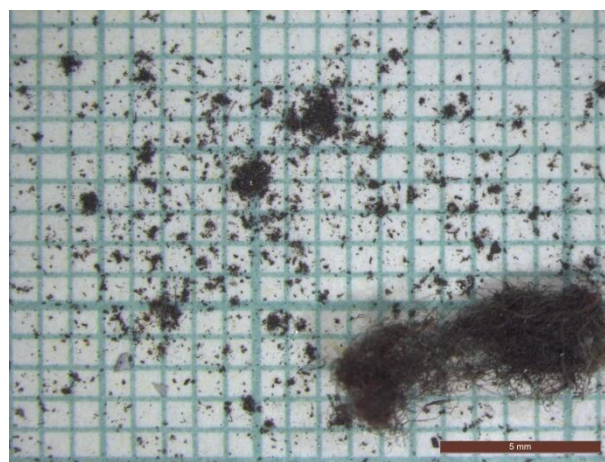
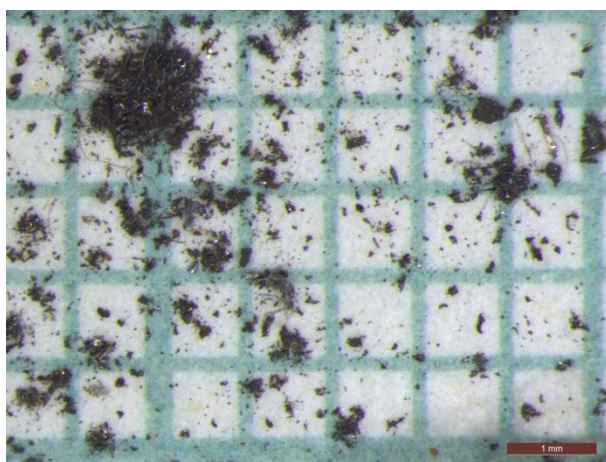
V oblasti kartáčů se nacházelo obrovské množství prachu a nečistot. Bylo jich tolik, že nebylo třeba je jakýmkoliv způsobem stírat, stačilo je pouze vysypat. Byly pořízeny detailní snímky prachu na milimetrovém papíře. Prach obsahuje z velké části kovová zrna o velikosti 0,1 mm, která jsou na několika místech sloučena do chomáčů velikosti cca 1 mm. Jejich barva je šedo-černá a mají tvar kratičkých a tenkých vláken. Pravděpodobně se jedná o kovové úlomky související s využitím brusky.



Obr. 3.3: Znáznornění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Narex EBU 13-11

3.1.2 Vzorky prachu z oblasti rotoru a statoru brusky Narex EBU 13-11

Vyskytoval se zde velice jemný a vysušený prášek, který nebyl na statoru a rotoru nijak pevně přilepen, jen na těchto částech lehce ulpíval. Bylo ho zde velice malé množství. Prach zde měl šedé zbarvení. V této oblasti jsme také našli malé množství kovových pilin, které se pravděpodobně do tohoto prostoru dostaly spolu s chladicím médiem. Podle lesklé šedé barvy lze usuzovat, že se jedná o malé kousíčky oceli. V oblasti rotoru a statoru se nacházel prach shodné struktury jako v oblasti kartáčů až na jednu výjimku, kterou představoval chomáč nekovových vláken velikosti 8 mm. Ten byl pravděpodobně nasátý spolu s chladicím vzduchem. Tyto kovové části mohou svými hranami degradovat izolaci a zapříčinit zkrat, popřípadě se mohou dostat do ložisek, která se mohou nenávratně poškodit.



Obr. 3.4: Znárodnění vzorků prachu z oblasti rotoru a statoru úhlové brusky Narex EBU 13-11

3.2 Bosch GWS 9-150C

Základní parametry: Příkon: 900 W, Průměr kotouče: 150 mm, Jmenovité otáčky 9300 min⁻¹.

Zkoumaná bruska je velice zachovalá, obsahuje minimální množství škrábanců a je jen velmi málo znečištěná. Z toho lze usoudit, že byla využívána pro lehčí práci a bylo o ní dobře pečováno.

Převodovka je namazána poměrně čistým olejem, takže nejspíše nepracovala v nadměrně prašném prostředí. Na pohled jsou převody v perfektním stavu, bez jakékoliv známky opotřebení.

Rotor a stator jsou taktéž bez viditelného poškození. Je na nich tenká vrstva světlého prachu.

Komutátor je silně poškozen, stejně jako u předchozí úhlové brusky Narex EBU 13-11. Jeho lamely jsou uprostřed vydřené o několik mm. To je důvod, proč byla bruska vyřazena. K poruše došlo vlivem nesprávné funkce kluzného kontaktu. Domnívám se, že se do prostoru komutátoru dostaly nečistoty, které způsobily jiskření, což spolu s nečistotami vedlo k vydření lamel komutátoru.



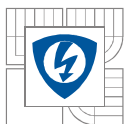
Obr. 3.5: Znáznornění jednotlivých dílů sestavy úhlové brusky Bosch GWS 9-150C



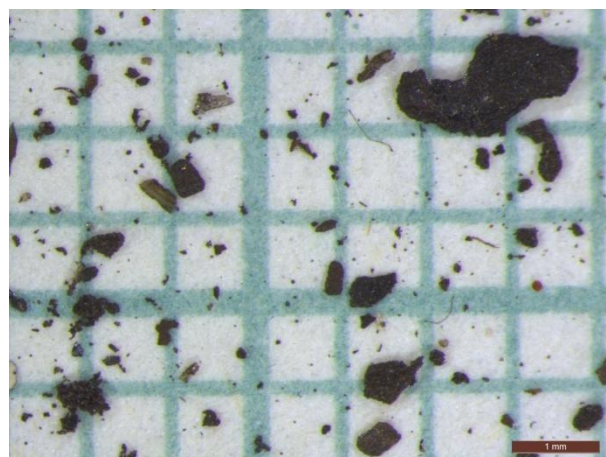
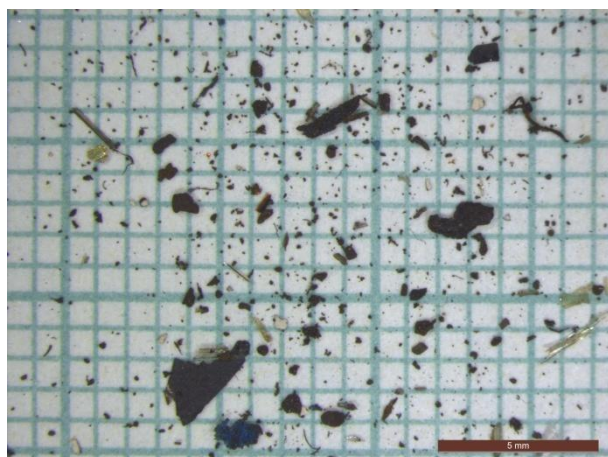
Obr. 3.6 Znáznornění poškozeného komutátoru úhlové brusky Bosch GWS 9-150C

3.2.1 Vzorky prachu z oblasti kartáčů brusky Bosch GWS 9-150C

U této úhlové brusky byl odebrán vzorek prachu z oblasti kluzného kontaktu. Bylo zde veliké množství jemného, absolutně černého prachu. Pravděpodobně se jedná o rozprášený kluzný kontakt. Zvláštností této brusky bylo, že na vnitřních stranách byly nalezeny na několika místech mastné fleky, na kterých bylo nalepeno více prachu než na místech, která nebyla mastná. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že mastné fleky pravděpodobně pocházely z poškozeného ložiska rotoru. Kromě usazenin na mastných místech zde nebylo nalezeno větší množství prachu v zákoutích a hranách. Prach neznemožňoval další provoz zařízení na rozdíl od vydřeného komutátoru a poškozeného ložiska.



Vzorky prachu byly umístěny na milimetrový papír na pole o velikosti cca 20 x 20 mm a poté pořízeny detailní snímky prachu. Tento prach obsahoval asi 10 velkých úlomků o velikosti 1 – 3 mm a dále značné množství zrněk o rozměrech 0,1 – 1 mm. 90 % prachu má černé zbarvení, zbývajících 10 % jsou lesklé a průhledné částičky. Veškeré části mají tvar mnohoúhelníků s ostrými lomovými hranami. Uvnitř brusky bylo minimální množství prachu, které mohlo mírně ovlivňovat chlazení stroje.



Obr. 3.7: Znárodnění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Bosch

3.3 Protocol AGP 150-16 D

Základní parametry: Příkon 1600 W, Průměr kotouče: 150 mm, jmenovité otáčky 9000 min^{-1}

Zkoumaná úhlová bruska obsahuje množství škrábanců, které odpovídají častému odkládání. Bruska není nadměrně znečištěna, obsahuje pouze malé množství světlého prachu. Bruska se nejspíše využívala v průmyslu, ale ne na těžkou práci s kovy, jako je broušení a řezání.

Převodovka této brusky je namazána vazelínou, která je mírně znečištěna od prachu, ve kterém bruska pracovala. Převody začínají vykazovat známky opotřebení. Ozubená kola jsou na koncích zubů lehce obroušená. Pravděpodobně by bylo jen otázkou času, než by došlo k poruše.

Rotor a stator jsou bez viditelného poškození. Je na nich tenká vrstva světlého prachu.

Komutátor je poškozen. U dvou lamel komutátoru, v místě vývodů lamel k rotorovým cívkám je znatelné opálení, což znemožňuje správnou funkci komutátoru. Tato porucha byla nejspíše zapříčiněna chybou při výrobě komutátoru. Zdá se, že vývody cívek ke dvěma lamelám byly nedokonale přichyceny. Jedná se o výrobní vadu, kde s největší pravděpodobností nebyly dodrženy podmínky svařování vodičů ke komutátoru.



Obr. 3.8: Znáznornění jednotlivých dílů úhlové brusky Protool AGP 150-16 D



Obr. 3.9: Znáznornění poškozených převodů úhlové brusky Protool AGP 150-16

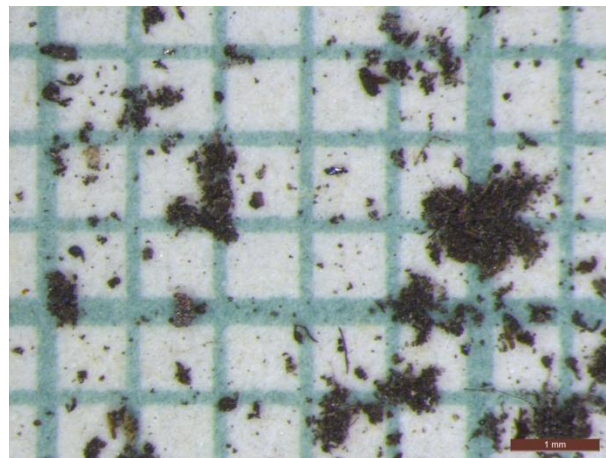
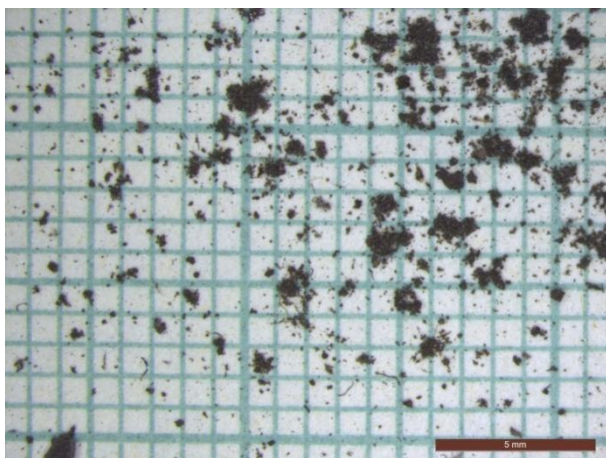


Obr. 3.10: Znáznornění poškozeného místa na komutátoru úhlové brusky Protool AGP 150-16 D

3.3.1 Vzorky prachu z oblasti kartáčů brusky Protool AGP 150-16 D

U brusky Protool bylo nalezeno veliké množství prachu v oblasti kluzného kontaktu. Prach měl šedé zbarvení a byl mastný. Pravděpodobně v důsledku tepla držel prach velice silně na stěnách. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že zde zůstává velké množství prachu na hranách a v zákoutích. Z toho usuzuji, že zde není dobře vyřešena vnitřní geometrie stroje a dochází ke špatnému chlazení, což může vést ke zkrácení životnosti zařízení.

Opět byly pořízeny detailní snímky prachu na milimetrovém papíře. Prach obsahuje v 99 % kovová zrna o velikosti 0,1 mm, která jsou na většině míst sloučena do chomáčů velikosti cca 1 mm. Jejich barva je šedo-černá a mají tvar kratičkých a tenkých vláken. Pravděpodobně se jedná o kovové úlomky související s využitím brusky.

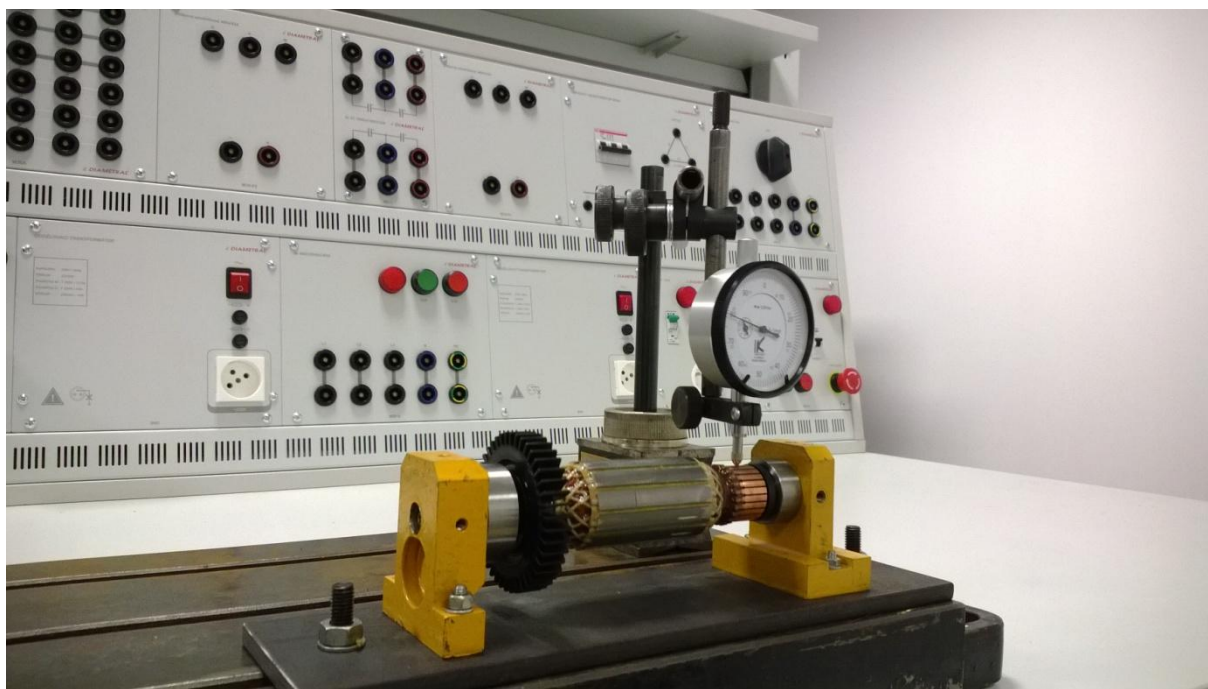


Obr. 3.11 Znáznornění vzorků prachu z oblasti kartáčů úhlové brusky Protool

4 MĚŘENÍ PRŮBĚHU VYSTUPOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH LAMEL KOMUTÁTORŮ

Měření probíhalo na třech nových nepoužitých rotorech z produkce firmy Narex s.r.o.

4.1 Měřicí pracoviště pro měření vystupování lamel komutátorů



Obr. 4.1: Měřicí pracoviště pro měření vystupování lamel komutátorů

Měřicí pracoviště je umístěno na laboratorním stole ve školní laboratoři, na kterém je umístěna základová deska o rozměrech cca 70 x 35 cm, ve které jsou podélně 3 drážky, které slouží k uchycení předmětů pomocí šroubů. Na základové desce se nachází plech o tloušťce 8 mm a rozměrech cca 30 x 8 cm, který je přichycen pomocí dvou šroubů M8 x 35. K plechu jsou přišroubovány držáky rotoru, pomocí šroubů M5 a M4. Protože držáky pocházely z jiného pracoviště, bylo potřeba vyrobit redukce, které se zasunou do držáků, a do redukcí se následně zasune zkoumaný rotor. Vsunuté redukce je potřeba zajistit. K zajištění jsme použili na každou redukci dva šrouby M4. Je nutné, aby byl rotor vložen takovým způsobem, jak je znázorněno na obr. 4.1, a to komutátorem napravo a ventilátorem nalevo, protože na každé straně je rozdílná velikost ložisek. Na pracovišti je dále laboratorní stojan, který je umístěn za zkoumaným rotorem. Stojan obsahuje magnetický podstavec, pomocí kterého je připevněn k základové desce. V laboratorním stojanu je umístěn úchylkoměr, pomocí kterého se provádí samotné měření. Při nastavování stojanu je potřeba pracovat velice precizně a dodržovat kolmosti a rovnoběžnosti pro co nejpřesnější měření.

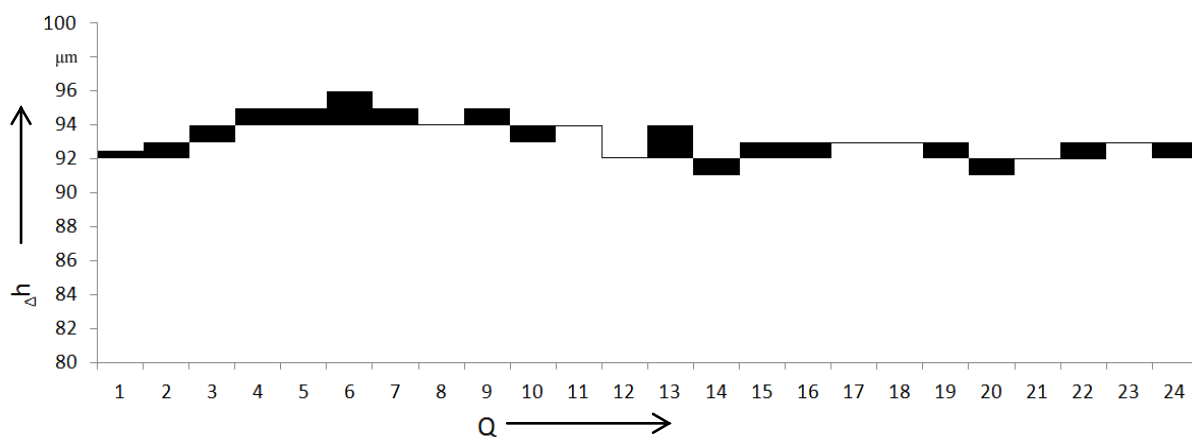
4.2 Posouzení přesnosti měření a použitých měřících přístrojů

Měření vystupování lamel komutátorů bylo prováděno několikrát. Po ověřovacím měření a zvládnutí problematiky měření následovalo referenční měření, které bylo prováděno úchylkoměrem s inventárním číslem 201 a dále s novým úchylkoměrem Kinex 0-10/60/0.001. Naměřené hodnoty pomocí úchylkoměrů se značně lišily, což bylo pravděpodobně způsobeno tím, že úchylkoměr 201 se znatelně zadržával. Dále byl u jednotlivých lamel při opakování měření změřen rozdíl až 9 μm . Bylo zjištěno, že problém vznikl při sestavování měřícího pracoviště, kde byly nedokonale umístěny úchylkoměry, které nedosadaly na komutátory kolmo, ale pod úhlem cca 2° .

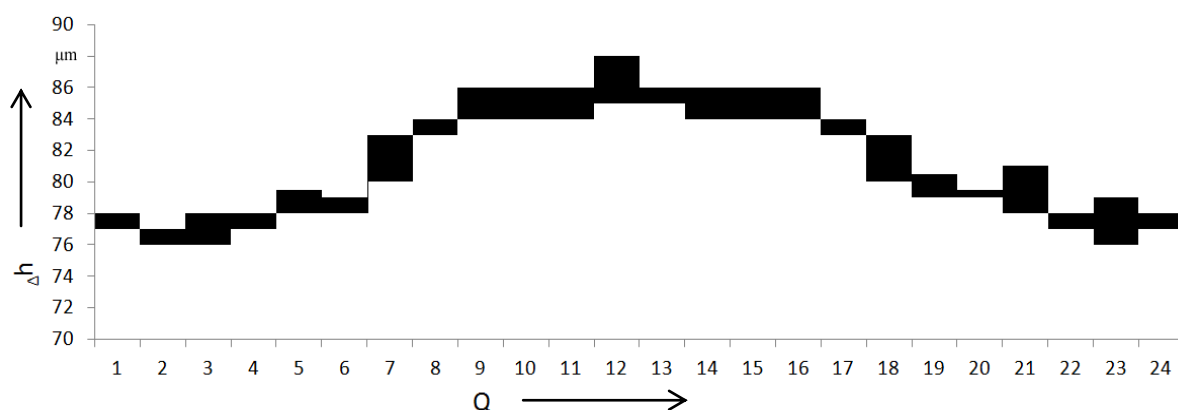
Zjištěná nepřesnost byla opravena a následovalo měření s úchylkoměrem Kinex 0-10/60/0.001 a jeho správným umístěním kolmo na měřené rotory. Výsledky ovšem vyšly podobné jako v předchozím měření, opět s velkými chybami při opakování měření.

Po analýze problému bylo zjištěno, že redukce vsunuté do původních rotorových držáků nebyly dostatečně zajištěné. Vznikala zde vůle, která ovlivňovala výsledky měření. Došlo tedy k nápravě a následovalo poslední měření. Při tomto měření již vše vyšlo tak, jak se předpokládalo. I chyby při opakování měření byly minimální.

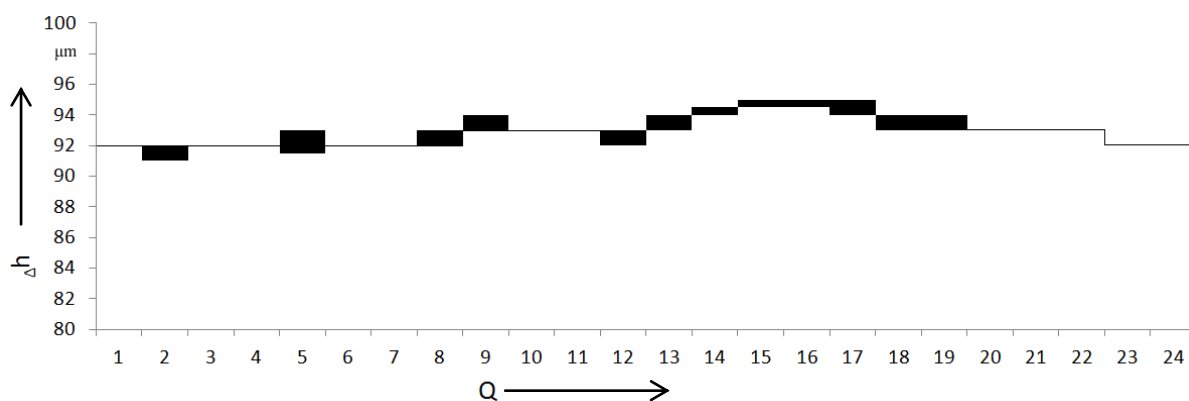
4.3 Výsledky měření vystupování jednotlivých lamel komutátorů



Obr. 4.2 Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 1



Obr. 4.3: Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 2



Obr. 4.4: Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru číslo 3

4.4 Vyhodnocení výsledků měření vystupování lamel komutátorů

4.4.1 Hodnocení ovality komutátorů

Rotor 1. - maximální odchylka měření u horních mezí je 4 μm mezi lamelami 12, 14, 20, 22 a lamelou 6, maximální odchylka dolních mezí je 3 μm mezi lamelou 14 a lamelami 4 - 7.

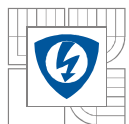
Rotor 2. - maximální odchylka měření u horních mezí je 11 μm mezi lamelou 2 a lamelou 12, maximální odchylka dolních mezí je 9 μm mezi lamelou 2, 3, 23 a lamelami 12, 13.

Rotor 3. - maximální odchylka měření u horních mezí je 3 μm mezi lamelami 1 - 4, 6, 7, 23, 24 a lamelami 15, 16, 17, maximální odchylka dolních mezí je 3,5 μm mezi lamelou 2 a lamelami 15, 16.

4.4.2 Maximální rozdíl výšky sousedních lamel

Rotor 1. – maximální odchylka horních mezí sousedních lamel 12 - 13, 13 - 14 je 2 μm, maximální odchylka dolních mezí sousedních lamel 2 - 3, 3 - 4, 9 - 10, 11 - 12, 13 - 14, 14 - 15, 16 - 17, 18 - 19, 19 - 20, 20 - 21, 22 - 23, 23 - 24 je 1 μm.

Rotor 2. – maximální odchylka horních mezí sousedních lamel 6 - 7 je 4 μm, maximální odchylka dolních mezí sousedních lamel 7 - 8, 17 - 18 je 3 μm.



Rotor 3. – maximální odchylka horních mezí sousedních lamel 4 - 5, 5 - 6, 7 - 8, 8 - 9, 9 - 10, 12 - 13, 17 - 18, 19 - 20, 22 - 23 je 1 μm , maximální odchylka dolních mezí sousedních lamel 1 - 2, 2 - 3, 8 - 9, 11 - 12, 12 - 13, 13 - 14, 17 - 18, 22 - 23 je 1 μm .

4.4.3 Chyba při opakovaném měření

Rotor 1. – Největší chyba při opakovaném měření byla 2 μm u lamel 6, 13.

Rotor 2. – Největší chyba při opakovaném měření 3 μm u lamely 7, 12, 18, 21, 23.

Rotor 3. – Největší chyba při opakovaném měření 1,5 μm u lamely 5.

4.4.4 Celkové zhodnocení průběhu vystupování jednotlivých lamel komutátorů

Bylo zjištěno, že komutátory na rotorech 1 a 3 jsou v pořádku a odpovídají požadavkům normy. Rozdíl výšky sousedních lamel není větší než 2 μm , jejich ovalita je také v normě. Lze předpokládat, že tyto rotory budou jistě dlouho a spolehlivě sloužit. U rotoru číslo 2 je však situace opačná. Jedná se o vadný kus, rozdíl mezi sousedními lamelami dosahuje až 4 μm , což je 2x více než povoluje norma a rotor je navíc dosti nesymetrický. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší lamelou je 14 μm . Tento rotor bude zajisté při provozu vibrovat, nadměrně opotřebovávat kluzný kontakt a lze předpokládat velmi brzkou poruchu.

5 PRAKTICKÁ APLIKACE SBĚRACÍHO ÚSTROJÍ S APLIKACÍ TEFLONU DO PROSTORU KLUZNÉHO KONTAKTU

5.1 Kartáče elektrického stroje

Vývoj v oblasti elektrických strojů točivých úzce souvisí i s pokrokem ve výrobě kartáčů. Původní kartáče byly jen svazek drátů, nebo měděná síťka stočená do svitku. Takový druh kartáče ovšem značně jiskřil. Kartáč jak jej známe dnes, byl vynalezen v Anglii roku 1885. Dříve byl kartáč ze směsi mědi a grafitu. Tento materiál byl postupně nahrazen kartáči grafitovými a elektrografitovými. V dnešní době se experimentuje s různými příměsemi přidávanými do kartáčů pro zlepšení jejich provozních vlastností [1].

Kartáč je vodivá část sloužící k zajištění elektricky vodivého spojení mezi pohyblivou a stacionární částí elektrických strojů. Je veden držákem kartáče a přitlačován na povrch komutátoru pružinou. Materiál kartáče je ta část kartáče, která je bezprostředně v kontaktu s rotující částí elektrického stroje. Armatura kartáče zahrnuje všechny přídavné části kartáče zajišťující převod proudu do a z kartáče a části chránící materiál kartáče před poškozením od přitlačného systému [1].

5.2 Držáky kartáčů

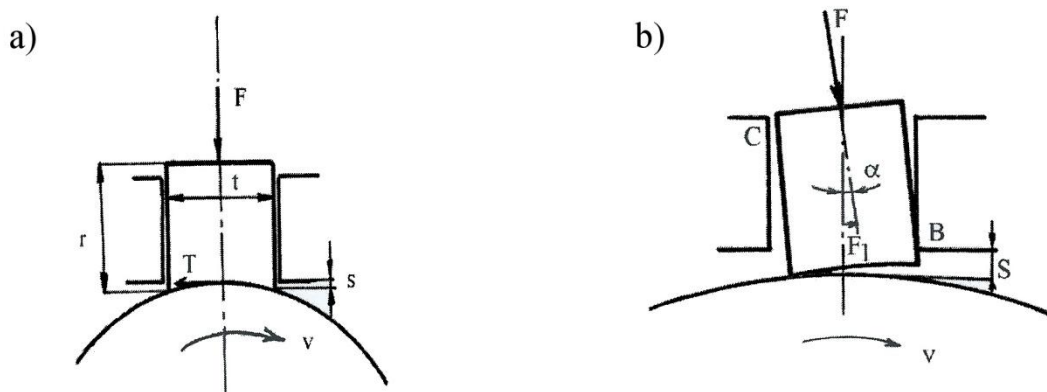
Držáky kartáčů slouží k upevnění a vedení kartáčů elektrického stroje a zajišťují kontakt kartáče s komutátorem. Jedná se o nejdůležitější část sběracího ústrojí. Jejich vlastnosti bezprostředně ovlivňují chování kluzného kontaktu [1].

Základní funkce držáků kartáčů [1]:

- zajištění vedení a upevnění kartáče,
- vyvození potřebné přitlačné síly pro styk kartáč - komutátor a zajistit rovnoměrné rozložení tlaku po celé kluzné ploše,
- během opotřebení udržovat konstantní přitlačnou sílu,
- umožnit kartáči určitou volnost pohybu, hlavně v kolmém směru.

Kartáč musí mít v držáku určitou vůli, aby byl schopen reakce na případné nerovnosti povrchu komutátoru. Z tohoto důvodu není kartáč kolmo k povrchu komutátoru, ale bude v držáku mírně zkřížený, což se projeví menší přitlačnou silou na kartáč a horší dynamikou kartáče. Při úhlu odklonu kartáče 20° se přitlačná síla snižuje o 6 %, pro úhel 30° to již činí 13,4 % [10]. Z této skutečnosti se odvozují konstrukční řešení pro minimalizaci těchto ztrát [1]:

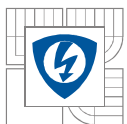
- držák má být co možná nejvyšší,
- mezera mezi držákem kartáče a kartáčem má být co nejmenší, což je ale v rozporu s požadavkem minimální mezery, aby nebyl po zaprášení znemožněn pohyb kartáče,
- šířka kartáče má být co největší,
- hmota kartáče a tedy i jeho výška by měla být co nejmenší, což je v rozporu s ekonomickými požadavky.



Obr. 5.1: a) Ideální poloha kartáče v držáku kartáče [1] b) Znáznornění modelové situace kartáče za provozu stroje [1]

5.3 Podstata inovovaného kluzného kontaktu

Film, který se vytvoří na povrchu komutátoru, je podstatnou součástí přechodového odporu kartáč - komutátor a velmi ovlivňuje komutaci. U stávajících třecích uzlů závisí složení a vznik filmu na okolních podmínkách. Film je nejvíce ovlivňován tvořícími se oxidy spolu s naneseným grafitem. V některých případech se grafit dostával na povrch komutátoru v důsledku jeho nerovného povrchu, v jiných případech elektrolytickými ději pod kartáči. Okysličením komutátoru do určitého stupně zlepšuje komutační vlastnosti a zmírňuje tření. Škodlivé je teprve přílišné okysličování, které se projevuje vyleptáváním komutátoru. Vytvoření filmu na komutátoru je děj zdlouhavý, trvající řádově několik dnů až týdnů v závislosti na pracovních podmínkách, protože film vzniká jen při dostatečné proudové hustotě. To se vysvětluje tím, že velký součinitel tření některých elektrografitových kartáčů se při nízké teplotě povrchu komutátoru náhle zmenší



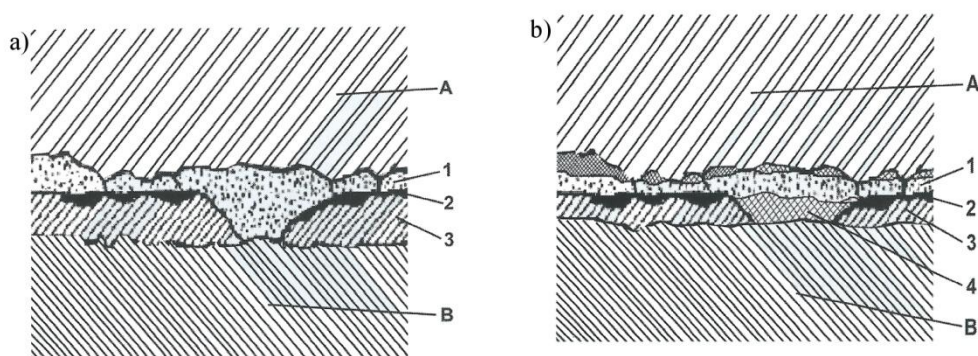
vlivem zvýšení teploty na povrchu komutátoru. Předpokládá se, že film je tvořen chemickými a elektromechanickými pochody [11].

Na čisté mědi se na vzduchu vytváří oksyločený povlak. Při pokojové teplotě výška filmu narůstá a film zůstává bezbarvý a průhledný. Při finálních úpravách komutátoru se měď zahřívá, a protože se měď při vyšších teplotách více oksyločuje, potom při obrábění komutátoru vzniká mnohem silnější vrstva filmu než za normálních podmínek. Tloušťka dále narůstá při dlouhodobém běhu při zabrušování kartáčů. Kartáče se zabrušují při menším tlaku, dokud nevytvoří zrcadlovou dosedací plochu. Jsou-li kartáče správně zvoleny při vhodných pracovních podmínkách, kdy stroj nemá žádné poruchy, se film na komutátoru začne lesknout a zbarvovat. Tření mezi kartáčem a komutátorem se zmenšuje [11].

Vytváření filmu pomocí elektricky zatížených kartáčů je složitý dynamický proces, teplota mezi kartáčem a komutátorem není ovlivňována třením ale také ztrátami elektrické energie. Výsledný charakter filmu je ovlivněn mnoha měnícími se podmínkami [11]:

- vlastnostmi kartáčů,
- stavu zrcadlové plochy kartáče,
- úhlu sklonu kartáče,
- tlaku pružin kartáče,
- velikosti dosedací plochy kartáče,
- pracovní teploty okolí a komutátoru,
- čistoty okolního vzduchu.

Všichni tito činitelé mají podstatný vliv na vlastnosti filmu. Klasický film má nepřetržitě se měnící strukturu, i nepatrná změna provozních podmínek může během několik málo hodin radikálně změnit strukturu filmu [11].



Obr. 5.2: a) Struktura filmu vytvářeného na komutátoru s klasickými kartáči [11] b) Struktura filmu vytvářeného na komutátoru s inovovanými kartáči [11]

Legenda:

A - kartáč

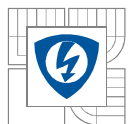
1 - volné částice zaplňující všechny nerovnosti povrchu komutátoru

2 - grafitový film

3 - oxidační film

4 - teflonové částice zaplňující nerovnosti na povrchu komutátoru

B - měď komutátoru



Kvalitativní změnu ve vytváření filmu přináší aplikace teflonu do struktury kartáče a na vnitřní plochy držáků kartáčů. Teflon se zkratkou PTFE je tvárná látka s izolačními vlastnostmi, teplotně velice stabilní. Z tohoto důvodu zaplní většinu prohlubní, ze kterých vytěsni prachové částice a vodu. Na zbývajícím povrchu lamel se výrazně omezí kontakt s vodním povlakem a vzduchem. Po delší době provozu dojde ke zmenšení tloušťky vrstvy oxidů na komutátoru [11].

Aplikace teflonu na vnitřní stranu držáků kartáčů přispívá ke zmenšení vůle mezi držákem a kartáčem, dále také k lepšímu silovému využití pružin, což má za důsledek širší zónu kontaktního vedení proudu. Dále se zlepši stabilita struktury filmu a snížení vlivu okolních podmínek na kvalitu filmu společně se stabilizací a snížením součinitele tření [11].

5.4 PTFE

Studiem odborné literatury a po konzultacích s vedoucím práce jsem dospěl k názoru, že nejlepším technickým opatřením pro zlepšení provozních vlastností a fungování kluzného kontaktu je aplikace teflonu do oblasti kluzného kontaktu.

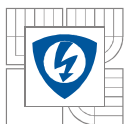
5.4.1 Polytetrafluorethylen v kluzném kontaktu

„Další vývojovou etapu v inovaci kartáčů pro elektrické stroje představuje aplikace teflonu na vlastní těleso kartáče. Technické provedení kartáče elektrického stroje „sT“ představuje aplikace teflonu nejméně na jednu boční stěnu kartáče. Zpravidla se umísťuje u stejnosměrných a komutátorových strojů na odběhovou stěnu kartáče, a u asynchronních a synchronních strojů na náběhovou stěnu kartáče. Teflon lze aplikovat prakticky na libovolný druh kartáče“ [1].

5.4.2 Standartní PTFE

Polytetrafluorethylen je částečně krystalická látka složená z monomerů tetrafluorethylenu polymerizací. Makromolekulární struktura vytvářená v tomto procesu má lineární charakter. PTFE, známý pod obchodním názvem teflon, patří mezi polymery s výjimečně širokým rozsahem teplot, při kterých může být využit. Nabízí prakticky neomezenou chemickou odolnost. Stejně tak je odolný vůči světlu, vysoké teplotě a horkým parám. Má velice dobré kluzné vlastnosti, dobré elektrické a dielektrické vlastnosti, je nepřilnavý a fyziologicky neškodný. Na uhlíkový řetězec jsou navázány atomy fluoru, které chrání PTFE před vnějšími vlivy. Vazba uhlíku a fluoru je jedna z nejsilnějších vazeb v organické chemii (disociační energie je 460 KJ/mol). Tento materiál je charakteristický koncentrací vynikajících vlastností, které jsou jedinečné pro plasty [12].

- velice výjimečný rozsah teplot použití – od -260 °C do 260°C, krátkodobě až 300°C,
- univerzální chemická stálost,
- odolnost vůči světlu a počasí,
- odolnost vůči horké vodě,
- velice dobré kluzné vlastnosti,
- anti-adhezivní chování,
- nehořlavý,
- dobré elektrické a dielektrické vlastnosti,
- žádná absorpce vody,
- fyziologicky šetrný, může se využívat i ve styku s potravinami.



5.4.3 Modifikovaný PTFE

Modifikovaný PTFE je odvozený ze standardního PTFE. Vzniká polymerizací monomeru TFE a modifikátoru perfluoropropilvinyletheru (PPVE). Kratší molekulární řetězec v porovnání s PTFE má větší tendenci krystalizovat, což by degradovalo mechanické vlastnosti materiálu. Modifikátor však efektivně inhibuje krystalizaci. To znamená, že modifikovaný PTFE může kombinovat vlastnosti termoplastů s dobrými vlastnostmi standardního PTFE [12].

Do PTFE jsou přidávána uhlíková vlákna, uhlík, grafit, sulfid molybdenu, měď nebo různé termoplasty. Plniva se používají k dosažení lepších vlastností původního materiálu. Kromě vlastností které má PTFE nabízí modifikovaný PTFE ještě další výhodné vlastnosti [12]:

- redukce tečení za studena,
- snižuje propustnost chemikálií a plynů o polovinu,
- poloviční pórovitost,
- vhodný pro svařování.

5.4.4 Vlastnosti sloučenin založených na PTFE a modifikovaném PTFE

Sloučeniny PTFE s jinými prvky se vytvářejí z následujících důvodů: výrazně se zvyšuje odolnost vůči opotřebení, výrazná redukce tečení za studena, v závislosti na přidaném materiálu může několikanásobně vzrůst tepelná vodivost, redukce tepelné roztažnosti. Pokud je to vyžadováno, elektrické vlastnosti mřížky PTFE mohou být modifikovány výběrem vhodné příměsi. Volba příměsi také ovlivňuje strukturu povrchu [12].

Tab. 5.1: Zobrazení změn vlastností modifikovaného PTFE a PTFE s různými příměsemi [12]

Ovlivňovaný parametr	Mechanické vlastnosti	Tečení za studena	Koeficient tření	Opotřebení	Chemická odolnost	Koeficient roztažnosti	Tepelná vodivost
Změny při záměně čistého PTFE za modifikovaný							
Vliv příměsí na vlastnosti sloučenin				 			

Legenda:



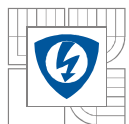
Neutrální vliv



Negativní vliv



Pozitivní vliv



5.4.5 Tepelné vlastnosti PTFE

Rozsah využití PTFE je od -260 do $+260$ °C, krátkodobě až dokonce 300 °C. Takový rozsah pracovních teplot není dosažitelný pomocí žádných jiných plastů. Trvalá provozní teplota však záleží na zatížení. Při středním mechanickém namáhání může být PTFE použit v teplotách od -200 °C. Při konstrukci prvků z PTFE musíme brát zřetel na poměrně velkou teplotní roztažnost. Koeficient teplotní délkové roztažnosti pro různé teploty [12]:

$$\begin{aligned}10 - 30 \text{ °C } \alpha &= 21 \times 10^{-5} \text{ 1/K} \\13 - 100 \text{ °C } \alpha &= 11 \times 10^{-5} \text{ 1/K} \\10 - 200 \text{ °C } \alpha &= 13 \times 10^{-5} \text{ 1/K} \\10 - 300 \text{ °C } \alpha &= 19 \times 10^{-5} \text{ 1/K}\end{aligned}$$

Výsledky testů ukázaly, že všechny materiály fluoro-polymerní jsou těžko zapalitelné. Plynné produkty rozpadu se zapálí pouze v případě externího zdroje plamene. Ihned po odstranění zdroje plamene ihned uhasínají. Teplota vznícení je mezi 500 a 560 °C [12].

5.4.6 Odolnost proti opotřebení

Odolnost proti opotřebení čistého PTFE je nízká vlivem minimálních mezimolekulárních interakcí tohoto polymeru. Zlepšení odolnosti proti opotřebení je dosahováno přidavkem například uhlíkových vláken, grafitu, skleněných vláken, bronzu nebo termoplastů [12].

Koeficient kluzného tření příslušné dosedací plochy má menší význam pro odolnost proti opotřebení. Opotřebení je mnohem více závislé na provozních podmínkách (médiu, tlak, rychlost, teplota, kluznost, drsnost povrchu). Protože žádná sloučenina PTFE není schopná splnit veškeré potřebné požadavky aplikace, je třeba stanovit kompromis [12].

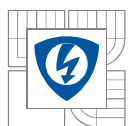
5.5 Důsledky aplikace teflonu

- teflon na povrchu komutátoru snižuje rychlost a velikost oxidace Cu vytvářením tenkého ochranného filmu,
- nedochází k leptání a rýhování komutátoru,
- stabilizace velikosti součinitele tření,
- stabilizace oteplení komutátoru,
- teflon snižuje součinitel tření, zajišťuje snížení ztrát, menší oteplení komutátoru a větší úbytek napětí,
- teflon snižuje počet vlivů uplatňujících se při tvorbě filmu,
- zamezuje tomu, aby chemické příměsi vstupovaly do reakce s povrchem komutátoru [12].

5.5.1 Inovace kartáče v provedení s „T“

V tomto případě je zpravidla destička teflonu připevněna na boční stěnu kartáče. Výsledný efekt této úpravy spočívá např.:

- zlepšení dynamiky kartáče,
- zlepšení zhášení jisker a oblouku,
- zlepšení kvality filmu,
- snížení součinitele tření,
- změna koncepce náhradního schématu třecího uzlu,



- tlak na kartáč je dán původním sběracím ústrojím,
- do filmu se dostávají i jiné látky a komponenty použitého lepidla [12].

5.5.2 Inovace držáku kartáče v provedení s „T“

Inovace držáku kartáče v provedení s „T“ spočívá v nanesení několika speciálních vrstev na vnitřní prostor krabičky držáku kartáče, z nichž poslední je teflon. Uvádí se, že přínosem této úpravy je:

- redukce tření kartáče v držáku a tím zlepšuje jeho dynamiku,
- redukce vůle kartáče v držáku,
- zajišťuje lepší sledování povrchu komutátoru kartáčem [12].

5.5.3 Komplexní inovace sběracího ústrojí

- integruje v sobě vlastnosti variant 1 a 2, je dosahováno nejlepších výsledků.

6 KARTÁČE VYUŽÍVAJÍCÍ NANOMATERIÁLŮ

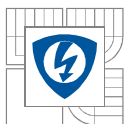
6.1 Dosavadní stav techniky

Ve stavbě elektrických strojů se v současnosti používá několik typů kartáčů. Uhlík a grafit mají dobré kluzné vlastnosti a elektrickou vodivost. Uhlík se netaví, nýbrž sublimuje. Často používaným materiálem je přírodní grafit, který je v některých aplikacích nahrazován elektrografitem. Přírodní grafit zvládá trvale $10 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$, což je u dnešních strojů nedostatečná hodnota. Dalším známým materiálem je grafit s pryskyřičným pojivem. Má relativně vysoký vlastní odpor a má velký poměr příčného odporu k podélnému. Materiál má velké přechodové napětí, dobře tlumí zkratové proudy a proto se hodí pro třífázové komutátorové stroje. Dalším materiálem je kovografit. Ten je vyroben ze směsi grafitu a kovových prášků. Z toho důvodu má relativně dobrou elektrickou vodivost. Tyto kartáče však mají vyšší hmotnost a tak je nezbytné zajistit větší přitlak. Kartáče zvládají při trvalém provozu až $25 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. Materiál uhlík - grafit má vlastnosti pohybující se mezi uhlíkem a elektrografitem. To znamená, že jeho vlastnosti je možné využít u univerzálních motorů s prohloubenou izolací lamel. Hlavní oblast využití je však u komutačně nenáročných strojů a u nízkonapěťových strojů s vysokou proudovou hustotou [13].

6.2 Provedení

Jeho podstatou je, že alespoň jeho část je zhotovena z nanomateriálů. Kartáč může být zhotoven ze svazku uhlíkových nanotubic, které mají průměr od 1 do 100 nm. Uhlíkové nanotrubice mohou být spleteny do svazku v podobě síťky, která je svinuta a zformována do požadovaného tvaru [13].

Zmíněné řešení přinese především zvýšení pružnosti a umožní využití kapilárního a dalších efektů. Zlepší se vytváření kontaktu mezi kartáčem a komutátorem nebo kroužkem, což bude mít za následek menší degradaci povrchu komutátoru. Impregnace kartáče elektricky vodivou látkou do určité výšky kartáče umožní provádění kvalitních vývodů z kartáče, které bude možné realizovat na krátké dráze a tím prodloužit technickou dobu života kartáčů. Při tom lze eliminovat několik technologických operací, například: armování některých kartáčů, vrtání díry do kartáče, výrobu různých přípravků [13].



Nanotrubičky mohou být spleteny do svazků, které lze dále svinovat a teprve potom formovat do požadovaných tvarů, odpovídajících optimální geometrii z hlediska vlastností mechanických, tepelných, chemických, EMC apod. Nanotrubičky umožní zlepšit přechod z vývodu kartáče do vlastního těla kartáče [13].

Uhlíková nanotrubice představuje zvláštní formu uhlíku, objevenou v roce 1991. Trubice mají průměr od 1 do 100 nm a délka může převýšit až 100 μm . Mohou být jedno i vícevrstvé. Zvládají teplotu do 2000 K, jsou chemicky stabilní, mají dobrou tepelnou vodivost, vysokou pevnost a dobré mechanické vlastnosti [13].

Nanotrubice o rozměru menším než 10 nm jsou zařazeny do skupiny nanotubic, kde kvantové vlastnosti převládají nad molekulárními. Z toho plynou jejich unikátní elektrické a magnetické vlastnosti, jako například měrný odpor $8 \mu\Omega \cdot \text{m}$ [13].

Výroba kartáče z nanomateriálů může být provedena z nanotubic nebo z nanolátky. V prvním případě závisí konstrukční vlastnosti kartáče na provozních podmínkách. Nanolátka může být tvořena z elektricky nevodivého či vodivého materiálu. Nanolátka se svine do požadovaného tvaru, vytvaruje se geometrie kartáče a naimpregnuje se elektricky vodivou látkou. V některých případech je možné využít sendvičovou strukturu [13].

7 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ INOVOVANÉHO KLUZNÉHO KONTAKTU

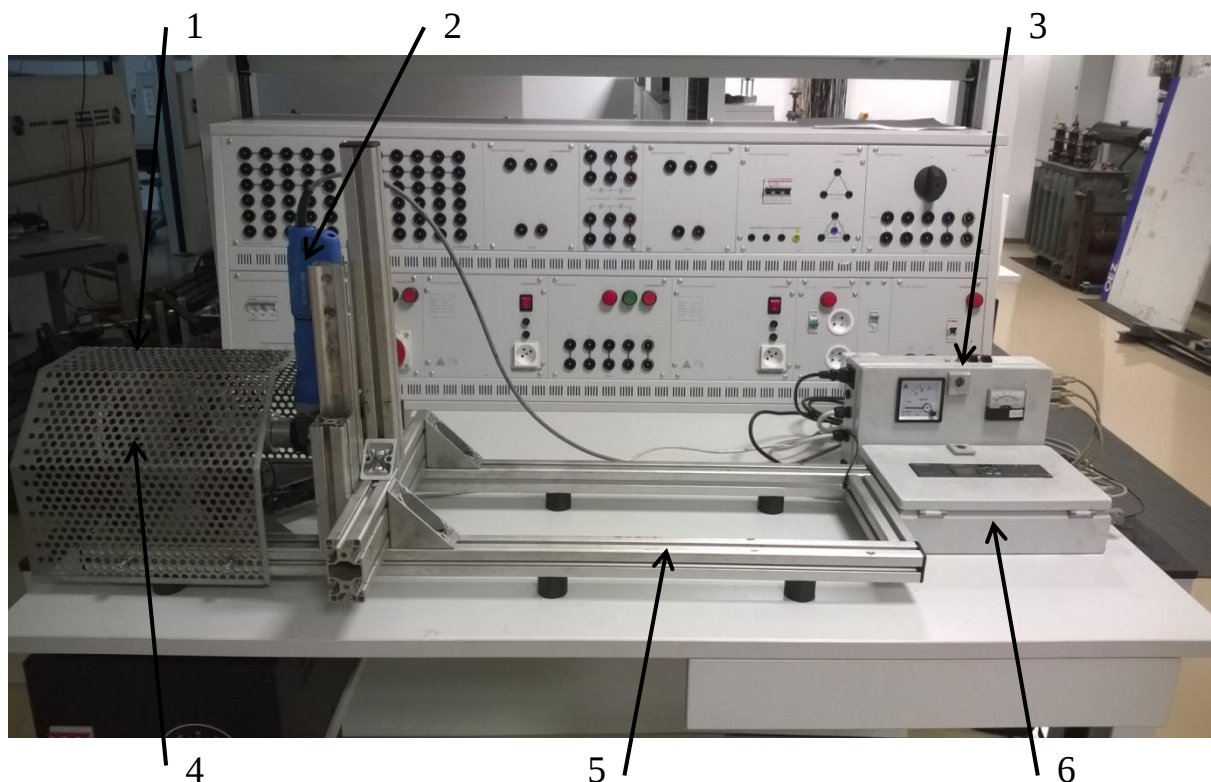
Z celého souboru možných zkoušek, jejichž prostřednictvím lze ověřit dokonalost daného technického řešení, byly zvoleny dlouhodobé zkoušky. V případě dlouhodobých zkoušek úhlových brusek byl zvolen pracovní režim, který zahrnoval rozběh, běh a klid stroje, (přerušovaný chod stroje). Tento pracovní cyklus umožňuje realizovat speciální testovací zařízení, které bylo vyvinuto a vyrobeno ve firmě Narex s.r.o.

7.1 Zatěžovací zařízení pro dlouhodobé zkoušky úhlových brusek

Testovací zařízení je složeno z kovových profilů spojených pomocí šroubů do tvaru obdélníku a opatřeno 8 gumovými nožičkami. Na tuto obdélníkovou konstrukci je v levé části připevněn alternátor Valeo ALT.SG12B090 vytvářející zatěžovací moment pro úhlovou brusku. Úhlová bruska je připevněna pomocí upevňovacích šroubů na konstrukci, která je orientována kolmo na základovou obdélníkovou konstrukci. Úhlová bruska je spojena s alternátorem pomocí pružné spojky. Bruska je připojena na výstup řídicího a napájecího modulu od firmy Siemens. Úhlovou brusku je možno testovat v manuálním nebo automatickém režimu. V manuálním režimu jsou indikovány otáčky motoru, odebíraný proud a existuje i možnost zvyšovat nebo snižovat zatěžovací moment. V automatickém režimu je možnost nastavení většího množství parametrů:

- Motor on - Doba zapnutí motoru v jednom zatěžovacím cyklu. V případě našeho testování zvolena doba 15 minut.
- Load - Zátěž motoru, je možné nastavit hodnoty od 0% do 100%. Pro testování zvolena hodnota 60%. Při této hodnotě zatížení bruska odebírala jmenovitý proud 6A.
- Gradient - rychlost náběhu zatížení. Podle doporučení [14] nastaveno na 0,2 s.

- Motor of - doba vypnutí motoru v jednom zatěžovacím cyklu. Pro naše účely byla zvolena délka cyklu 15 minut.
- Test - celková doba testu.
- Interval - doba po jakou je připojena a poté odepnuta zátěž v době chodu motoru. Zvolena hodnota 1 minuta.



Obr. 7.1: Zařízení pro dlouhodobé zkoušky úhlových brusek

Legenda: 1 - ochranná mřížka,

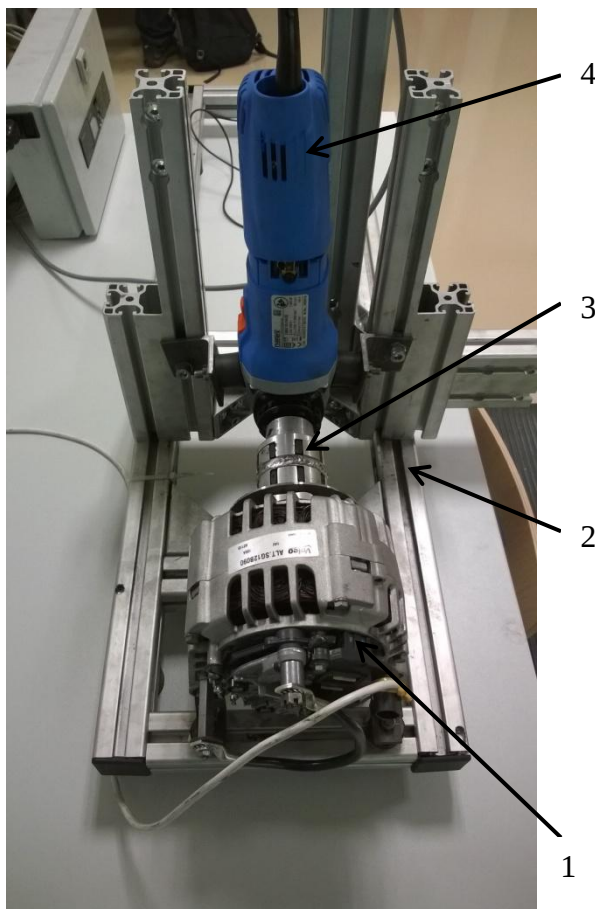
2 - úhlová bruska Narex EBU 13-14 CE,

3 - napájecí modul,

4 - zatěžovací alternátor,

5 - základová konstrukce,

6 - řídicí modul Siemens.



Obr. 7.2: Detailní pohled na zatěžovací alternátor Valeo ALT.SG12B090 a připojení úhlové brusky Narex EBU 13-14 CE

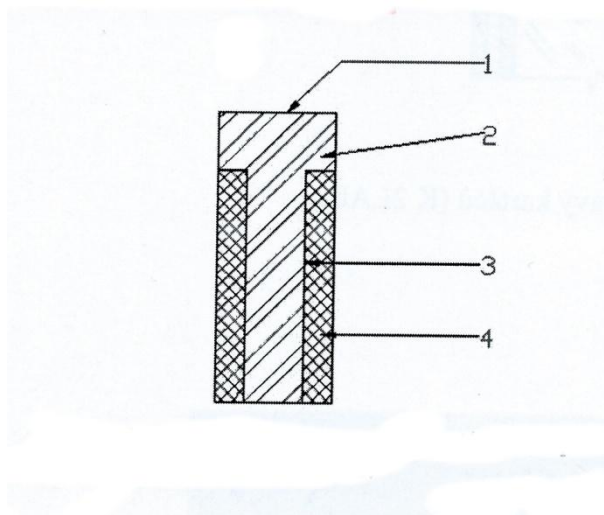
- Legenda:** 1 - zatěžovací alternátor,
2 - základová konstrukce,
3 - pružná spojka,
4 - úhlová bruska Narex EBU 13-14 CE.

7.2 Varianty provedení inovovaného kluzného kontaktu

K vlastnímu provedení bylo připraveno několik vzorků inovovaného kluzného kontaktu a rotorů stroje. Po zvážení všech okolností bylo rozhodnuto aplikovat v I. sérii dlouhodobých zkoušek výrobek přímo ze sériové produkce. V případě inovovaného kluzného kontaktu byly pro jednotlivé zkoušky připraveny následující varianty provedení jednotlivých komponent kluzného kontaktu.

7.2.1 I. varianta provedení inovovaného kluzného kontaktu

Kartáče v provedení s „T“ byly realizovány v úpravě, kdy je teflonová vrstva aplikována do vlastního tělesa kartáče, viz obr. 7.3.



Obr. 7.3: Příčný řez inovovaným kartáčem s aplikovanou vrstvou teflonu do vlastního těla kartáče [1]

Legenda: 1 - umístění vývodu kartáče,

2 - vlastní tělo kartáče,

3 - spoj kartáče s teflonem,

4 - teflonová destička.

Provedení A: zahrnuje standardní provedení jednotlivých komponent kluzného kontaktu tak, jak jsou obsaženy ve finálních výrobcích firmy Narex s.r.o. viz obr. 7.4.

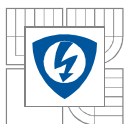
a)



b)



Obr. 7.4: a) Standardní provedení kartáčů b) Standardní provedení držáku kartáče

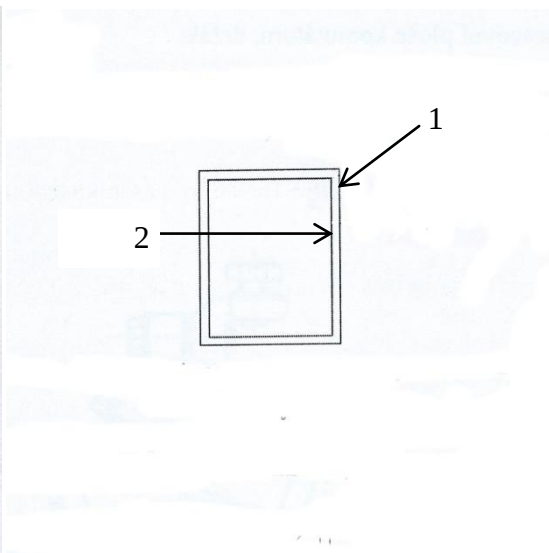


Provedení B: zahrnuje standardní provedení kartáčů a inovované provedení držáků kartáčů. Držák kartáče je opatřen ve vnitřním prostoru krabičky několika speciálními vrstvami, z nichž poslední je teflonová.

a)



b)

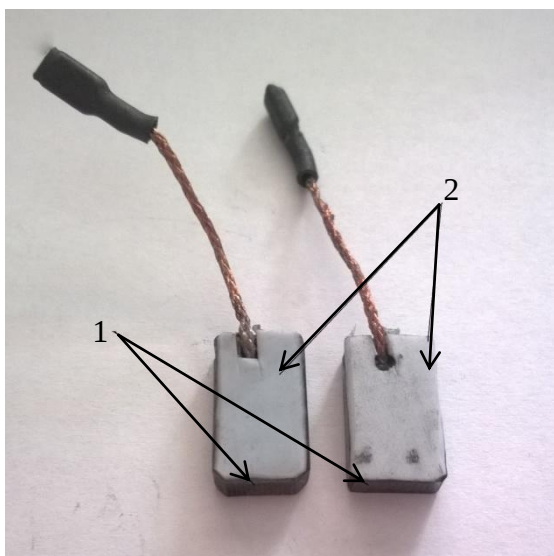


Obr. 7.5: a) Standardní provedení kartáčů b) Inovované provedení držáku kartáče s teflonovou vrstvou na vnitřní straně krabičky kartáče

Legenda: 1 - těleso držáku kartáče,
2 - teflonová vrstva.

Provedení C: zahrnuje inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou a standardní provedení držáků kartáčů.

a)



b)

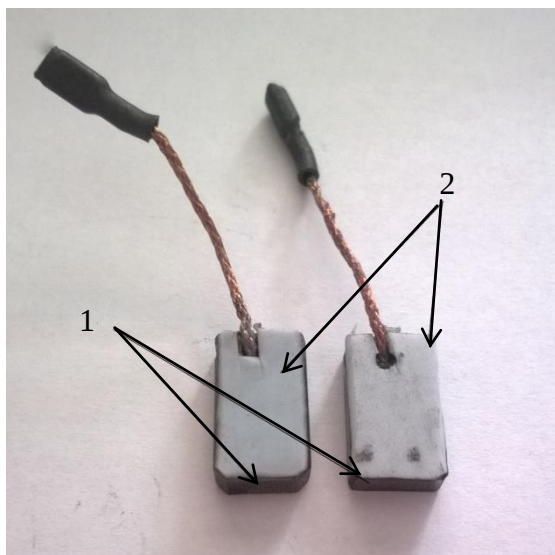


Obr. 7.6: a) Inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou aplikovanou do vlastního těla kartáče b) Standardní provedení držáku kartáče

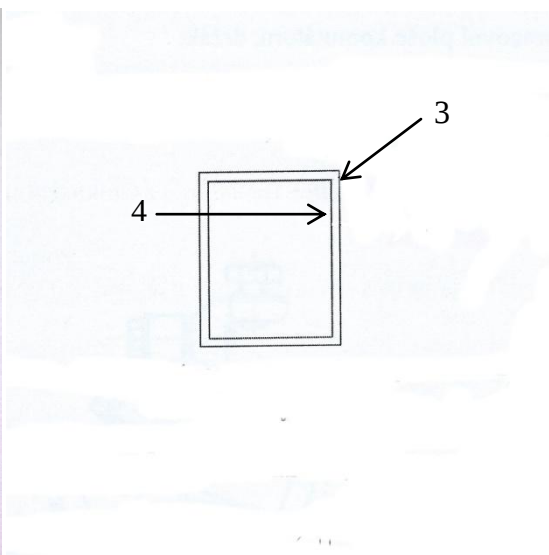
Legenda: 1 - těleso kartáče,
2 - teflonová destička.

Provedení D: tato varianta představuje komplexní inovaci kluzného kontaktu. Zahrnuje inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou aplikovanou do vlastního těla kartáče a držáky kartáčů, které jsou na vnitřní straně krabičky opatřeny několika speciálními vrstvami, z nichž poslední je teflonová.

a)



b)



Obr. 7.7: a) inovované provedení kartáčů s teflonovou destičkou aplikovanou do vlastního těla kartáče b) inovované provedení držáku kartáče s teflonovou vrstvou na vnitřní straně krabičky kartáče

Legenda: 1 - těleso kartáče,

2 - teflonová destička,

3 - těleso držáku kartáče,

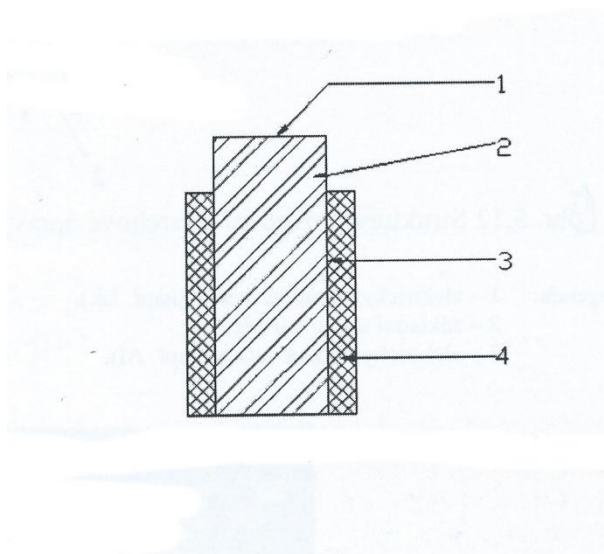
4 - teflonová vrstva.

7.2.2 II. varianta provedení inovovaného kluzného kontaktu

V případě těchto variant inovací byly připraveny následující úpravy kartáčů v provedení s „T“ a držáku kartáčů v provedení s „T“. Kartáče v provedení s „T“ byly provedeny jako kartáče s aplikovanou vrstvou teflonu na vnější stěnu kartáče, viz obr. 7.8. Tato varianta byla dále provedena jako:

a) kartáče v provedení s klasickým teflonem,

b) kartáče v provedení s teflonem s příměsí uhlíku.



Obr. 7.8: Příčný řez inovovaným kartáčem s aplikovanou vrstvou teflonu na vnější stranu kartáče [1]

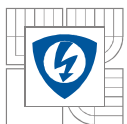
- Legenda:** 1 - umístění vývodu kartáče,
2 - vlastní těleso kartáče,
3 - spoj kartáče s teflonem,
4 - teflonová destička.

V rámci provádění této série zkoušek byly vyrobeny speciální držáky kartáčů z plného materiálu na NC stroji, tedy nikoli z plechu.

Následně byla u nich provedena úprava spočívající v nanesení několika speciálních vrstev, z nichž poslední byla teflonová. Toto provedení držáků kartáčů je znázorněno na obr. 7.9.



Obr. 7.9: Držáky kartáčů vyrobené na NC stroji v úpravě s, „T“



Pro realizaci dlouhodobých zkoušek v blíže určeném rozsahu byly k dispozici 3 kusy náhradních rotorů, u kterých byla zjišťována kvalita provedení komutátoru a připojení vodičů kotvy ke komutátoru, viz kapitola 4. Každý z těchto rotorů byl osazen ložisky, která byla původní, poskytnutá firmou Narex s.r.o.

7.2.3 III. varianta provedení inovovaného kluzného kontaktu

V případě této varianty inovace kluzného kontaktu je její podstatou využití nanolátek v kluzném kontaktu vysvětlené v 6. kapitole.

Zhotovení kartáčů s aplikací nanomateriálů bylo věnováno velké úsilí, ale pro přetrvávající technologické problémy se nakonec nepřistoupilo k provedení testů.

7.3 Praktická realizace zkoušek

Postup při provádění praktického ověřování kluzného kontaktu lze shrnout do následující posloupnosti jednotlivých úkonů:

- instalace stroje do cyklovacího zařízení,
- automatické zapínání a vypínání úhlové brusky v intervalu 15 minut,
- zapínání a vypínání brzdícího zařízení stroje v intervalu 1 minuty,
- nastavení zátěže na jmenovitý příkon stroje, činící 1100 W,
- ukončení zkoušky odpojením samoodpojitelných kartáčů.

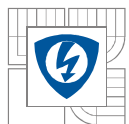
Rozhodujícím parametrem je počet dosažených cyklů.

7.4 Výsledky I. etapy dlouhodobých testů

I. série dlouhodobých testů byla připravena na UVEE FEKT VUT v Brně a prakticky ověřena ve spolupráci s firmou Narex s.r.o.

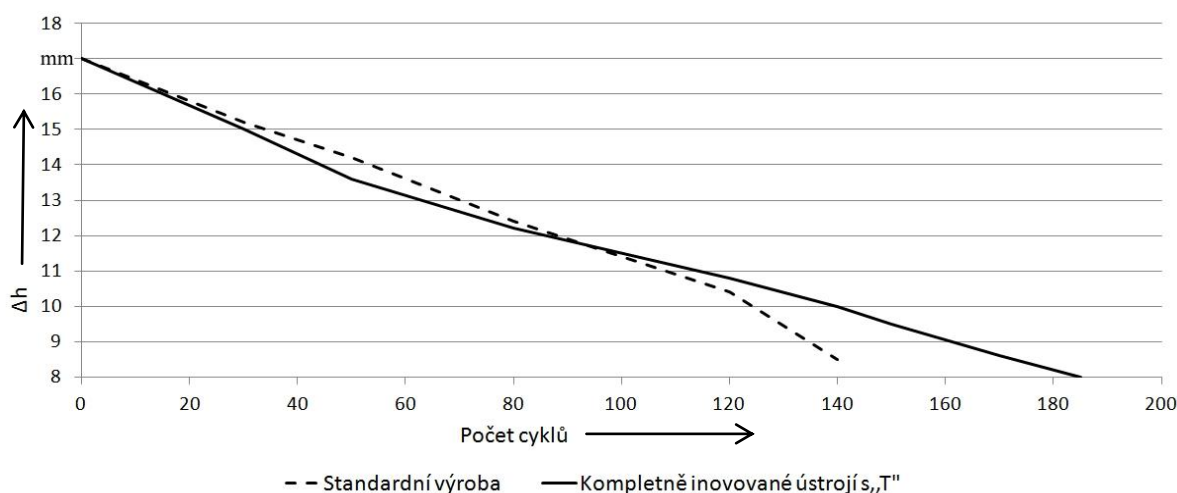
Technologie úpravy kartáčů a držáků kartáčů v provedení s „T“ s aplikací destičky teflonu do vlastního těla kartáče byla ověřena a prakticky realizována. Jedná se o poměrně specifickou záležitost uplatněnou u úhlových brusek. Inovováno bylo sběrací ústrojí úhlové brusky EBU 12-11.

Výsledky dlouhodobých zkoušek pro jednotlivé uspořádání kluzného kontaktu jsou uvedeny v tabulce 7.1 a grafické zpracování výsledků měření pro varianty A, D je znázorněno na obr. 7.10.



Tab. 7.1: Znázornění jednotlivých konfigurací kartáčů a držáků kartáčů pro I. etapu dlouhodobých testů

varianta	kartáče	držák kartáčů	životnost kartáčů v počtu cyklů
A	standardní provedení	standardní výroba	139
B	standardní provedení	s „T“	150
C	s „T“	standardní výroba	143
D	s „T“	s „T“	185



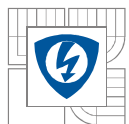
Obr. 7.10: - Znázornění závislosti velikosti opotřebení kartáčů na počtu cyklů

Obr. 7.10 je zpracován pro nejúspěšnější variantu inovace kluzného kontaktu a původní provedení kluzného kontaktu. Překvapivě se u zkoušeného stroje neprojevil téměř žádný rozdíl mezi kartáči s teflonem a bez úpravy. Jak je vidět z tabulky, doba běhu provedení A a C je téměř totožná, rozdíl je však v průběhu opotřebení. Ke zlepšení došlo až při aplikaci komplexně inovovaného kluzného kontaktu.

Zmíněné úpravy umožňují praktickou realizaci zvýšení životnosti kluzného kontaktu. V souladu s teoretickými předpoklady dochází k nejlepším výsledkům s komplexně inovovaným kluzným kontaktem, kde dochází k prodloužení životnosti o 33 % v počtu cyklů.

7.5 II. etapa dlouhodobých zkoušek

Vzhledem k tomu, že byla vyvíjena maximální snaha o co největší prodloužení životnosti kluzného kontaktu v přerušovaném chodu u úhlových brusek, bylo přistoupeno k realizaci



dlouhodobých zkoušek využívajících úpravu kartáčů a držáků kartáčů jak je uvedeno v kapitole 7.2.2.

Východním předpokladem byla úvaha o tom, aby v rámci provádění inovací kartáčů nedocházelo k úběru materiálu ze základního tělesa kartáče. To totiž ve svém důsledku znamená, že dochází ke zkracování doby komutace a k celkovému zhoršení komutačních podmínek motoru úhlové brusky. Právě z těchto důvodů bylo nezbytně nutné vyrobit nové těleso držáku kartáče. Zároveň bylo přistoupeno rovněž k ověření teflonu s příměsí grafitu. Tato úprava by ve svém důsledku měla optimalizovat tloušťku teflonové vrstvy v polituře na povrchu komutátoru úhlové brusky. Výsledky provedených prvních dvou testů však zcela nepotvrdily původní předpoklady. Překvapující byla zejména vyšší úroveň jiskření stroje a tomu odpovídající vyšší opotřebení kartáčů. V současné době jsou příčiny takového chování inovovaného kluzného kontaktu dále zkoumány a jsou prováděny další dlouhodobé běhy úhlové brusky s jinými variantami kartáčů a v neposlední řadě i připravených rotorů.

7.6 Úhlová bruska Narex EBU 13-14 CE určená pro dlouhodobé testy ve II. etapě

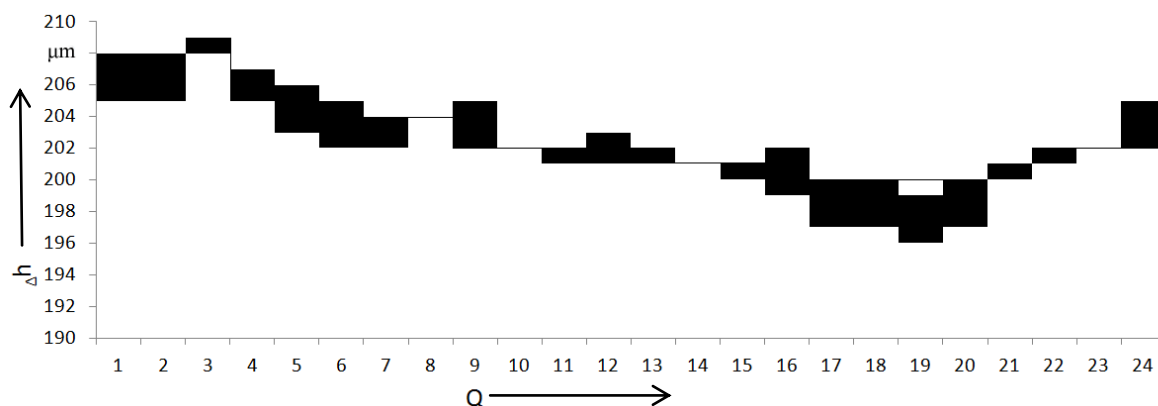
Jmenovité parametry: $U = 230 \text{ V}$, $n_0 = 3500 - 11\,000 \text{ min}^{-1}$, $P = 1400 \text{ W}$, průměr kotouče = 125 mm

Pro zvolenou sérii zkoušek byl zvolen výrobek ze sériové produkce, který splňoval všechny kvalitativní ukazatele. Pro posouzení jeho kvality před další sérií zkoušek bylo proto rozhodnuto ověřit jeho technický stav. Zejména průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru.

Výsledek měření je znázorněn na obr. 7.11. Z průběhu je patrné že:

- maximální vystupování dvou sousedních lamel je $3 \text{ }\mu\text{m}$,
- maximální ovalita činí $15 \text{ }\mu\text{m}$.

Komutátor vizuálně nevykazoval jakýkoliv druh opotřebení a poškození kromě tenkého, do černa zbarveného povlaku od grafitových kartáčů. Uvedené parametry komutátoru svědčí o tom, že zkoušený stroj je v přijatelném technickém stavu a dosavadní výsledky lze akceptovat s vysokou vypovídací hodnotou.



Obr. 7.11 Průběh vystupování jednotlivých lamel komutátoru u rotoru brusky Narex EBU 13-14 CE

Dále byla provedena kontrola celkového technického stavu, množství usazeného prachu a posouzení prostorového uložení držáků kartáčů vůči ose budících pólů. Bylo zjištěno, že se jedná o téměř nové zařízení. Úhlová bruska neobsahovala žádné stopy prachu. Kartáče byly obroušené o 0,2 mm z původní hodnoty 17 mm na hodnotu 16,8 mm. Kartáče mají jako nové rozměr 17 x 10 x 5 mm. Byla také provedena vizuální kontrola převodů. Nebyly zjištěny žádné nedostatky.

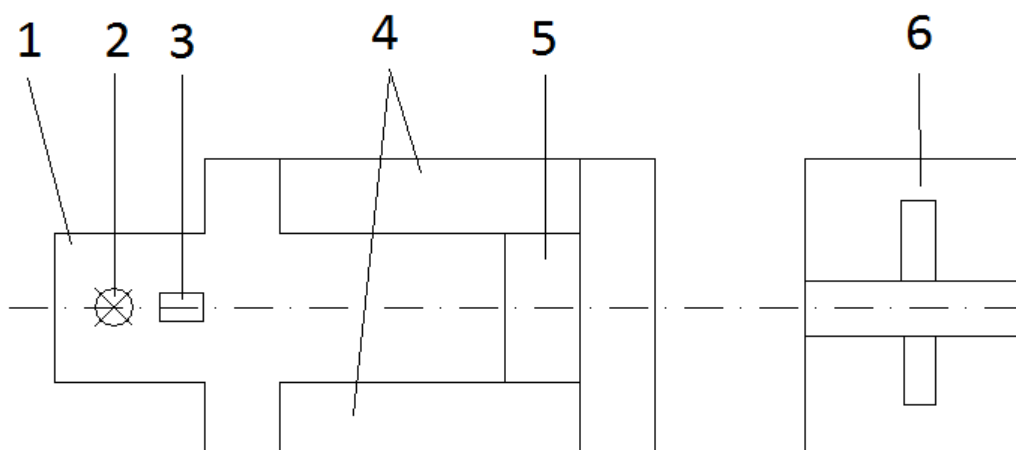
Byly měřeny tahové charakteristiky jednotlivých pružin udržující kartáč na povrchu komutátoru. Pružiny vykazovaly naprosto shodné hodnoty tlaku na kartáč úhlové brusky Narex EBU 13-14 CE.

Dále bylo zkoumáno prostorové uložení držáků kartáčů. Protože k úhlové brusce nebyla k dispozici technická dokumentace, bylo třeba vše ověřit měřením. To vyžadovalo posouzení vzájemné polohy kartáčů vůči sobě. Z brusky byly demontovány kartáče a na jejich místo se do každého držáku vsunul přípravek z umělé hmoty, aby se zjistilo, zda jsou držáky umístěny v ose, nebo zda spolu svírají určitý úhel. Bylo zjištěno, že držáky jsou souosé.



Obr. 7.12: Detailní pohled na přípravek pro zjištění vzájemné polohy kartáčů

Dalším bodem bylo posouzení prostorového uložení držáků kartáčů vůči hlavní ose pólů. Vize byla taková, že do těla brusky se umístí žárovka, před žárovkou bude umístěna tyčinka z umělé hmoty procházející oběma držáky kartáčů a tělo brusky se uzavře přípravkem, který je znázorněn na obr. 7.14. Přípravek byl natočený tak, aby štěrby byly rovnoběžné s hlavní osou pólů. Podstatou bylo po zapnutí žárovky si obraz promítnout na stěnu a změřit vzájemný úhel držáku kartáčů vůči hlavní ose pólů. Zmíněné měření bylo ovšem neúspěšné, protože uvnitř těla úhlové brusky nebyl dostatek místa pro umístění dostatečně výkonné žárovky. Schematické znázornění této metody je na obr. 7.13.



Obr. 7.13: Schematické znázornění metody pro posouzení prostorového uložení držáků kartáčů vůči ose budících pólů

Legenda: 1 - tělo úhlové brusky,

2 - žárovka,

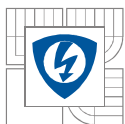
3 - přípravek pro zjištění vzájemné polohy kartáčů,

4 - budící póly,

5 - přípravek znázorněný na obr. 7.14,

6 - promítaný obraz.

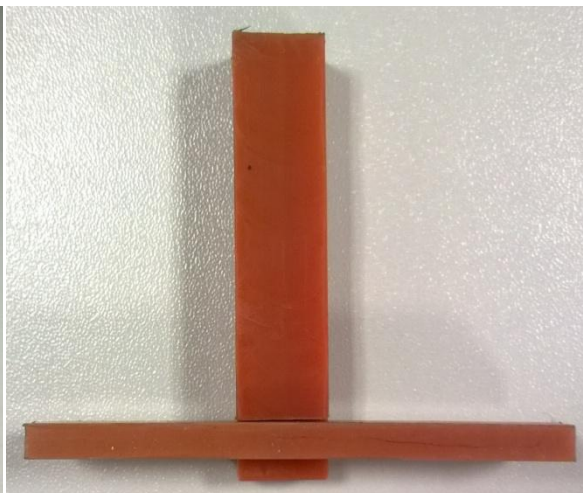
Z tohoto důvodu byl navržen odlišný postup měření. Bylo využito montážního otvoru v úhlové brusce a přípravku pro měření, který je znázorněn na obr. 7.15. Tento přípravek se skládá ze dvou hranolů z umělé hmoty. Vodorovná tyčinka je umístěna v držácích kartáčů a druhá je nastrčena z vrchní části úhlové brusky montážním otvorem, který je rovnoběžný s osou budících pólů. Následně proběhlo měření vzájemného úhlu těchto přípravků. Bylo zjištěno, že kartáče jsou umístěné kolmo na osu hlavních pólů.



a)



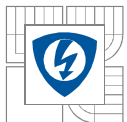
b)



Obr. 7.14, 7.15: Přípravky pro indikaci vzájemné polohy držáků kartáčů vůči hlavní ose budících pólů

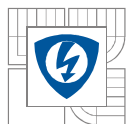
Legenda: a) Přípravek se štěrbinou a pomocným šroubem.

b) Přípravek využívající měrných tyčinek.



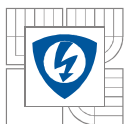
8 ZÁVĚR

V předložené bakalářské práci jsem se zabýval praktickými možnostmi zlepšení provozních vlastností úhlové brusky. Zadání vyžadovalo nejen provedení analýzy příčin poruch takových strojů, ale i využití nejnovějších znalostí z oblasti kluzného kontaktu a izolačních systémů nízkého napětí. Výsledky praktických zkoušek potvrdily původní předpoklad o tom, že teflon v oblasti kluzného kontaktu může přispívat ke zlepšení provozních parametrů univerzálních strojů například o cca 30 % v dynamickém režimu. Dosažení lepších výsledků bude pravděpodobně vyžadovat nejen optimalizaci struktury filmu, ale i dílčí konstrukční úpravy samotného stroje. Osobně jsem se při zpracovávání bakalářské práce seznámil s netradičními přístupy k řešení problémů a týmovou spoluprací.



LITERATURA

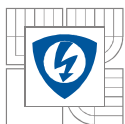
- [1] CHMELÍK, K., VESELKA F.: *Kluzný kontakt v elektrických strojích*. Ostrava, Brno: KEY Publishing, 2007.
- [2] TÚMA, J.: *Konstrukce a užití elektrického ručního nářadí*. 2003. vyd. Praha: Columbus.
- [3] LANGR, TESAR: *Ústní sdělení*. [Železářství Oldřich Barták, Tábořská 224, 615 00 Brno]. [2013-09-06]
- [4] Metabo: *Profi Magazín: S Metabem do nových dimenzí*. 3/2013.
- [5] Festool: *Přehledový katalog Festool*. 3/2013.
- [6] Narex: *Ceník elektronářadí a příslušenství Narex Professional Tools*. 2013.
- [7] DeWALT: *Ceník 2013/2014*. 2013.
- [8] Protool: *Protool katalog*. 2013.
- [9] HRABOVSKÝ, I.: *Ústní sdělení*. [Nářadí Veselý Brno, Olomoucká 158, 627 00 Brno]. [2013-09-06]
- [10] KOENITZER, J. D.: *Brushholders and performance of carbon brushes*, Helwig Carbon Products, Inc. presented at EASA's Convention in San Antonio, Texas June 28, 1994
- [11] VESELKA, F., VRABEC, V.: *První série ručního nářadí s inovovaným kluzným kontaktem*. *Elektro instalatér*. 2013, roč. 19, č. 6, s. 55-57.
- [12] ERLING KLINGER: *ElringKlinger: Kunststofftechnik* [online]. 2005-2013. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://www.elringklinger-kunststoff.com/>
- [13] VESELKA, F.: *VUT v Brně: Držák pomocného kartáče sběracího ústrojí elektrického stroje*. 25388, užitný vzor. (2013)
- [14] DVOŘÁK, M.: *Ústní sdělení*. [Narex s.r.o, Chelčického 1932, 470 01 Česká Lípa]. [2013-04-23]



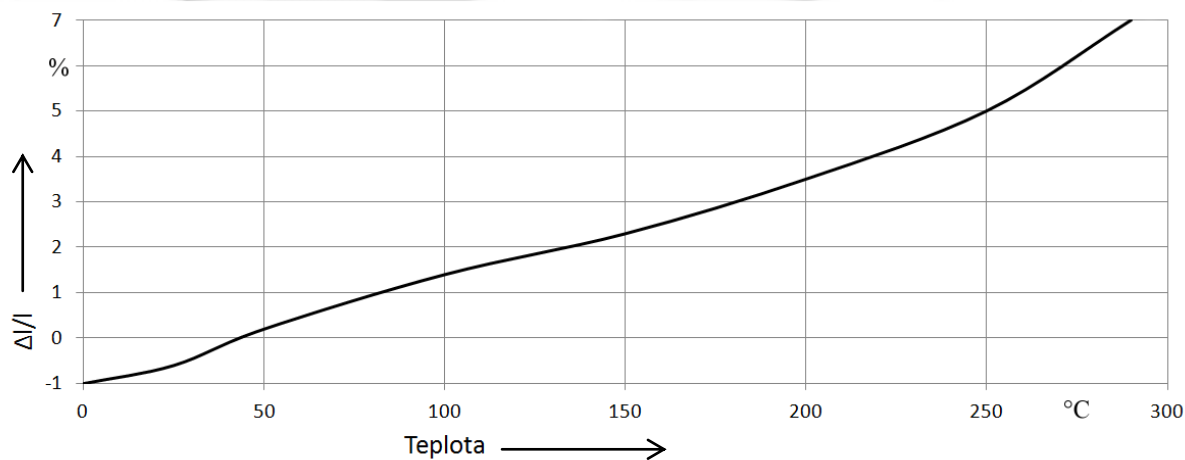
PŘÍLOHY

Příloha 1 - Tabulka zobrazující nejčastější příměsi PTFE a jejich vlastnosti [12]

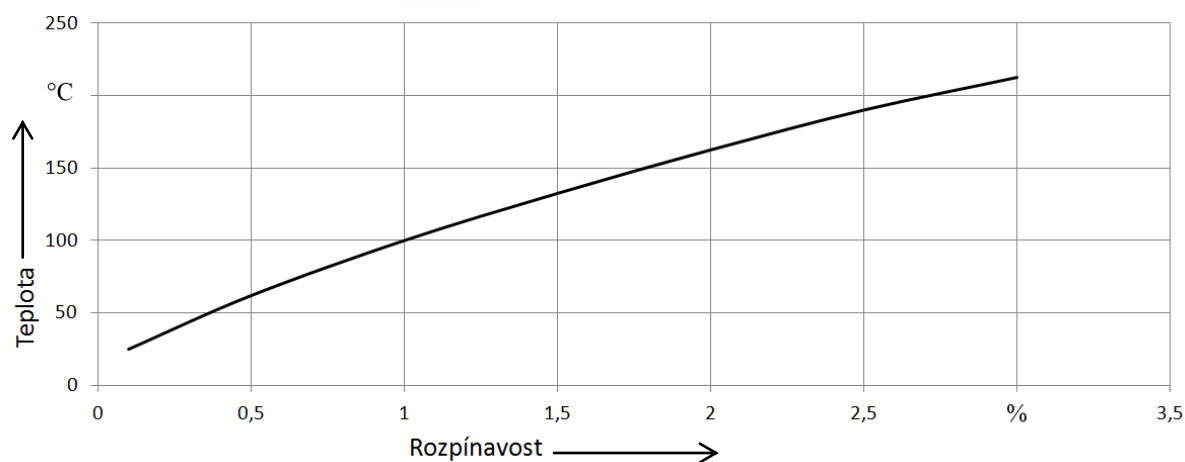
Typ - PTFE	Vliv příměsi	Obsah plniva v % váhy	Limity použití
PTFE s přídavkem skleněných vláken	- větší odolnost proti opotřebení stejně tak jako teplotní vodivost - dobrá chemická odolnost - dobré dielektrické vlastnosti	do 40 %	Odolný vůči organickým rozpouštědlům, není odolný vůči alkalickým roztokům a kyselinám
PTFE s přídavkem uhlíkových vláken	- velice malá deformace při zatížení - dobrá odolnost proti opotřebení i ve vodě - větší tepelná vodivost a menší tepelná roztažnost než se skleněnými vlákny - velmi dobrá chemická odolnost	do 25 %	uhlíková vlákna jsou chemicky inertní
PTFE s přídavkem uhlíku	- vysoká odolnost proti tlaku - dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení - dobrá tepelná vodivost - dobrá chemická odolnost - nízký odpor a dobrá elektrická vodivost	do 35 %, často také s kombinací grafitu	sloučenina je křehká, příměs může být napadena oxidací
PTFE s přídavkem grafitu	- dobré mazací schopnosti - nízký koeficient tření - žádný statický náboj - dobrá tepelná vodivost a chemická odolnost	typicky do 5 %, výjimečně až 15 %, často také s přídavkem skleněných vláken nebo uhlíku	při použití s tvrdými kovy vysoká ořezavost, může být napadán oxidací
PTFE s přídavkem molybden disulfidu	dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení	do 10 %, často v kombinaci se skleněnými vlákny nebo bronzem	není odolný vůči horké kyselině sírové
PTFE s přídavkem bronzu	- nízké tečení za studena - dobrá tepelná vodivost - nízká chemická odolnost - odolnost proti vysokému tlaku	do 60 %, také v kombinaci s molybden disulfidem	může být poškozen kyselinami a vodou
PTFE s přídavkem organických plniv (termoplastů)	- vynikající kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení - dobrá chemická odolnost	do 20 %	záleží na konkrétním přídavku

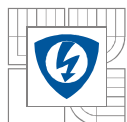


Příloha 2 - Závislost relativní změny délky čistého PTFE v závislosti na teplotě [12]

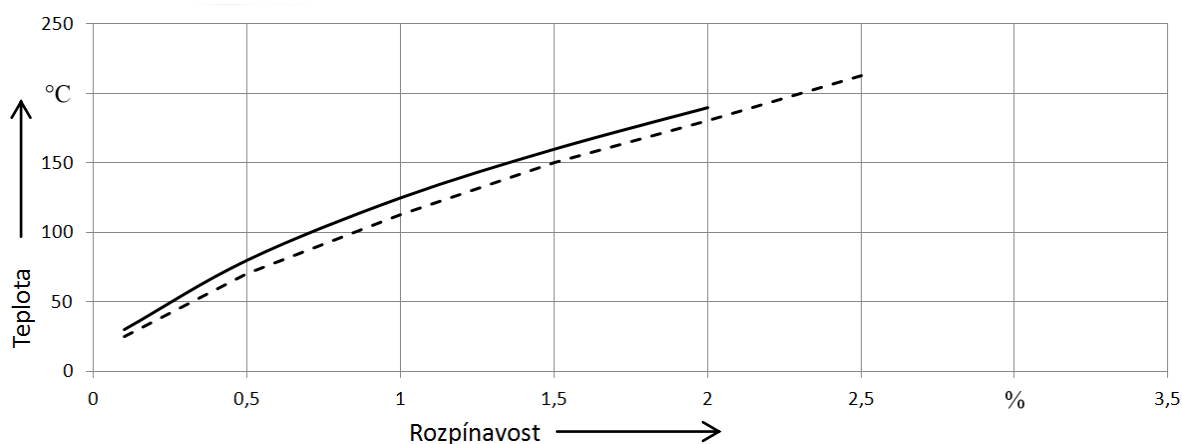


Příloha 3 - Závislost relativní změny délky čistého PTFE v závislosti na teplotě [12]



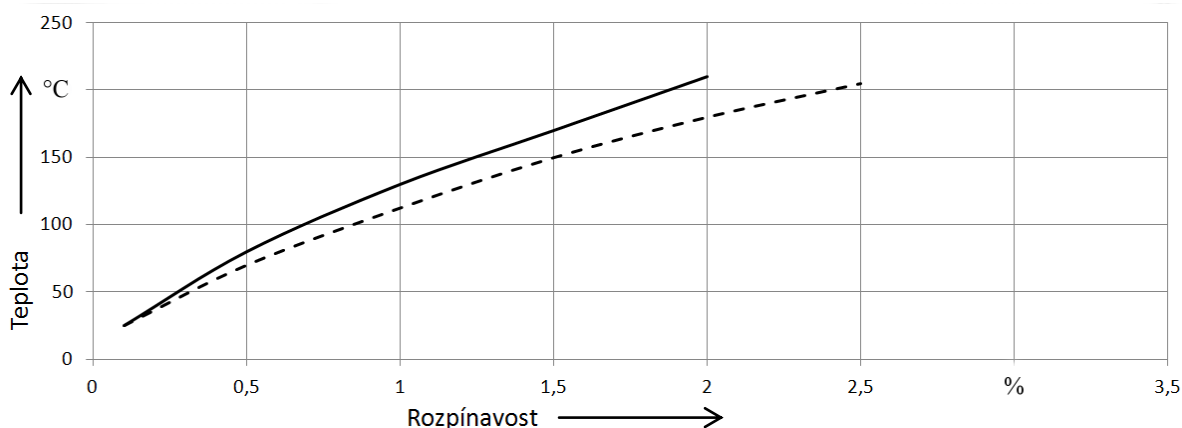


Příloha 4 - Závislost rozpínavosti PTFE s 25% přídavkem uhlíku v závislosti na teplotě [12]



Legenda: ____ úhlopříčková _ _ _ _ _ délková

Příloha 5 - Závislost rozpínavosti PTFE s 30% přídavkem uhlíku a 3% přídavkem grafitu v závislosti na teplotě [12]

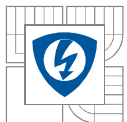


Legenda: ____ úhlopříčková _ _ _ _ _ délková

Příloha 6 - Tabulka zachycující kluzné vlastnosti PTFE a jeho sloučenin [12]

Koeficient tření PTFE ($p=0,2 \text{ N/mm}^2$, $T = 30 \text{ °C}$)

Typ PTFE	Rychlost	
	$v = 0,5 \text{ m/s}$	$v = 1,0 \text{ m/s}$
PTFE	0,25	0,27
PTFE + 25% skleněných vláken	0,15	0,15
PTFE + 15% grafitu	0,14	0,14
PTFE + 25% uhlíku	0,22	0,21
PTFE + 60% bronzu	0,20	0,22



Příloha 7 - Elektrické vlastnosti fluoroplastů [12]

Vlastnosti	Testovací metoda	Jednotka	Sloučeniny				
			PTFE	FEP	PFA	PCTFE	PVDF
Dielektrická konstanta	DIN 53483	10^3 Hz	2,1	2,1	2,06 – 2,1	2,5 – 2,8	7,8 – 9,0
		10^6 HZ	2,1	2,1	2,06 – 2,1	2,3 – 2,4	6,4 – 7,6
Ztrátový činitel	DIN 53483	10^3 Hz* 10^{-4}	0,3	2 – 8	0,2	250 – 300	120 – 200
		10^6 HZ* 10^{-4}	0,7	2 - 8	0,8	80 - 120	1500 - 1900
Specifický odpor	DIN 53482	Ω *cm	10^{18}	10^{18}	10^{18}	10^{18}	10^{15}
Povrchový odpor	DIN 53482	Ω	10^{17}	10^{16}	10^{17}	10^{15}	10^{13}
Resistance to tracking	DIN 53481	-	KA 3c	KA 3c	-	KA 3c	KA 1
Elektrická pevnost	DIN 53480	KV/mm	40 - 80	50 – 80	50 - 80	50 -70	40 - 80