



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

HODNOCENÍ ČELNÍHO TĚSNÍCÍHO PROVEDENÍ POVRCHU POMOCÍ CHARAKTERISTIK TEXTURY POVRCHU

**ASSESSMENT OF FACE SEAL PERFORMANCE BASED ON SURFACE TEXTURE
CHARACTERISTICS.**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. BOHUMIL BUMBÁLEK, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Diplomová práce zabývající se hodnocením čelního těsnícího provedení povrchu popisuje a porovnává povrchovou topografii s cílem analyzovat nejvýznamnější charakteristické parametry ovlivňující rozhodujícím způsobem těsnost a funkční spolehlivost. Jako nejvhodnější parametry predikce těsnosti byly označeny: materiálový podíl drsnosti Rmr, a parametry Rpk, Rk a Rvk

Klíčová slova

drsnost povrchu, měření textury povrchu, materiálový podíl, těsnost,

ABSTRACT

Diploma work dealing with assessments facing the sealing fulfilment surface describes and compares surface topography with the aim of analyzing the most significant characteristic parameters and factors influencing seal and functional reliability in a decisive way. The most suitable parameters of sealing which were designated : material ratio Rmr and parameters Rpk, Rk and Rvk..

Key words

surface roughness, surface texture measurement, material ratio, tightness,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUČERA, Pavel. *Hodnocení čelního těsnícího provedení povrchu pomocí charakteristik textury povrchu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 58 s.6 příloh, Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Hodnocení čelního těsnícího provedení povrchu pomocí charakteristik textury povrchu jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 23.5.2008

.....

Poděkování

Děkuji tímto Prof. Ing. Bohumilu Bumbálkovi, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	6
Úvod	8
1 Rozbor problematiky těsnění	12
1.1 Těsnění – těsnící schopnosti spojů	12
1.1.1 Těsnící systémy můžeme rozdělit na statické a dynamické	12
1.1.2 Statické těsnící systémy bez těsnění	14
1.2 Hodnocení těsnících schopností	15
1.3 Konstrukční předpoklady	15
1.3.1 Jakost povrchu	16
1.4 Povrch a jeho vlastnosti	17
1.5 Textura povrchu	17
2 Měření a hodnocení integrity povrchu	19
2.1 Hodnocení textury povrchu	22
2.2 Parametry 2D	22
2.3 Parametry křivky materiálového poměru profilu	24
2.4 Hodnocení křivky – metodou fraktální analýzy	25
2.5 Parametry metody „motif“	26
2.6 Parametry 3D	28
3 Těsnící schopnosti založené na parametrech drsnosti povrchu	30
3.1 Klínovitá nerovnost povrchu - model klínové verze drsnosti povrchu	31
3.2 Vztah mezi rozložením vrcholů, prohlubní a střední hodnotou	32
3.3 Vazba mezi povrchem a funkcí	34
4 Využití teoretických poznatků v praxi	36
4.1 Drsnost povrchu – materiálový poměr	37
4.2 Ověření vlivu plastické deformace na změnu drsnosti povrchu	41
4.3 Ověření vlivu tvaru těsnící plochy na těsnící schopnosti	47
Závěr	53
Seznam použitých zdrojů	55
Seznam použitých symbolů	57
Seznam příloh	58

ÚVOD

Doprava je v každé společnosti základní službou. Doprava věcí zajišťuje, že lze výrobky vypravovat z podniků na trhy a osobní doprava, soukromá i veřejná, umožňuje občanům volně cestovat, jezdit do práce nebo do škol a podílet se na nesčetných ekonomických a společenských aktivitách.

Spotřeba pohonných hmot v Čechách se od roku 1990 do současnosti téměř zdvojnásobila. Osobní auto či dodávka před patnácti lety připadaly na každého čtvrtého obyvatele země, loni to byl každý třetí. Mění se životní styl se odráží v nárůstu individuální dopravy a také dopravy letecké, pozadu nezůstává ani nákladní doprava. Emise, hluk a nápor na krajinu vyvolané růstem dopravy považuje ministerstvo životního prostředí za nejzávažnější ekologický problém Česka.

S výjimkou emisí olova, které klesly po roce 2000 díky zákazu používání olova jako přídavné látky do pohonných hmot, se v posledních letech emise z dopravy nesnižují, zplodin oxidu uhličitého a prachových mikročastic dokonce přibývá. V porovnání s rokem 1990 přibylo emisí oxidu uhličitého z dopravy o dvě třetiny, pevných mikročastic o třetinu. V absolutních číslech z výfuků českých automobilů před 15 lety vylétlo deset milionů tun oxidu uhličitého, loni 17 milionů tun. Největší podíl, a to 7,6 milionu tun v 2004, připadá na individuální silniční dopravu.(5)

Podle předpovědí EU vzroste v příštích patnácti letech objem silniční nákladní přepravy o 50 %. Dokonalejší logistika, podporovaná novými informačními technologiemi, prudce zvýší roční kilometrové proběhy a zefektivní využití nákladních vozidel. I přesto se bude počet vozidel na evropských silnicích nadále zvyšovat. (5)

Moderní extrémně úsporné vznětové a zážehové motory využívají přímé vstřikování paliva systémem Common Rail. U systému Common Rail palivo do spalovacího motoru dopravuje vysokotlaké čerpadlo prostřednictvím společného potrubí pod tlakem 138 MPa. Do válců se pak nafta vstřikuje přímo vstřikovači. Vysoký tlak zaručuje rovnoměrné rozptýlení paliva ve spalovacím motoru a optimalizuje rozložení teplot. Podle potřeby se individuálně mění tlak i množství paliva dodávané do jednotlivých válců. Mimo jiné je pak umožněn i proměnlivý časový průběh vstřiku paliva se vstříknutím malého množství před hlavním vstřikem. To napomáhá měkčímu průběhu spalování a snižuje vibrace. Motory mají sníženou spotřebu paliva, jsou omezeny emise škodlivých látek ve výfukových plynech, radikálně je snížena hladina hluku až na úroveň zážehových motorů a současně je zlepšený jízdní komfort a aktivní bezpečnost zásluhou lepší výkonové a momentové charakteristiky. Motory s přímým vstřikováním paliva, vznětové motory s vysokým výkonem, kultivovaným během a velmi nízkou spotřebou paliva se v posledních letech staly skutečným fenoménem evropské automobilové produkce (5).

Koncern PSA (Pegugeot/ Citroen) patří mezi špičkové výrobce v oblasti pohonných jednotek. Po vysokotlakém vstřikování systémem Common Rail u vznětových motorů HDi a zachycování pevných částic rovněž u vznětových

motorů, představil koncern PSA zážehový motor s přímým vstřikováním benzínu HPi.

U motorů s nepřímým vstřikováním je potřeba dodržet stechiometrický poměr se vzduchem ve směsi 1:14,6. Při elektronicky řízeném vstřikování paliva přímo do pracovního prostoru lze v některých režimech pracovat se spalováním chudé směsi až v poměru 1:30, tedy takové jakou za normálních okolností nelze zapálit. To samozřejmě vede k hospodárnějšímu provozu, který nezatěžuje tolik životní prostředí.(5)

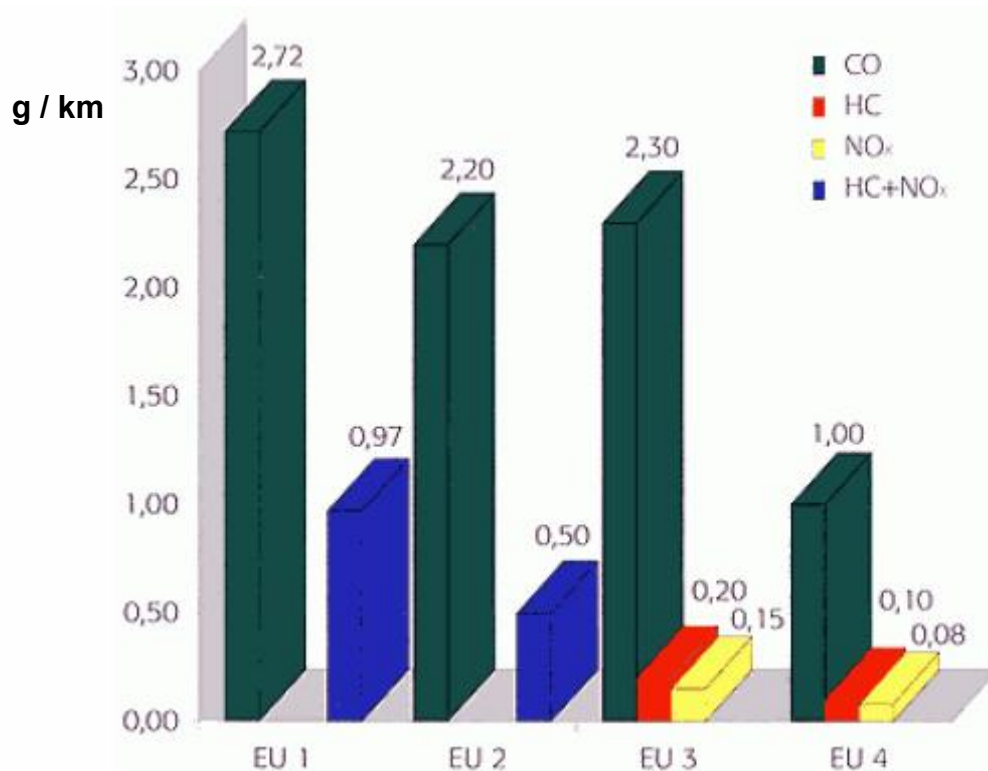
Vývojový tým ověřoval různé konfigurace spalovacího prostoru a umístění vstřikovací trysky. Motor HPi (High Pressure direct injection) má nový tvar spalovacího prostoru se svisle umístěnou spalovací svíčkou. Píst má nesymetrický tvar s vyoseným vybráním v jeho dně. To, spolu se šikmo skloněnou tryskou s úhlem sklonu vstřiku 70° , způsobuje rotaci směsi. Aerodynamika spalovacího prostoru usměřuje proud směsi v optimálním směšovací poměru zpětným proudem na elektrody spalovací svíčky, zatím co zbytek spalovacího prostoru zaplňuje vzduch. V otáčkách do 3500 za minutu, tedy odpovídajících městskému provozu nebo umírněné jízdě po silnici, motor spaluje chudou směs. Při vyšších otáčkách motor pracuje se směsí ve stechiometrickém poměru 1:14,6. Palivový systém motoru HPi pracuje s mnohem větším tlakem než běžné motory. To si vynutilo konstrukci nového dvoustupňového palivového čerpadla a vstřikovačů pro vstřikovací tlak v rozmezí 3 MPa. Pro porovnání: motory s nepřímým vstřikováním tlak cca 0,354 MPa. Vzhledem k přebytku vzduchu je ve výfukových plynech více kyslíku než u konvenčních motorů. Proto se musel řešit problém emisí NOx. Pro dodatečnou likvidaci NOx byl vynalezen nový způsob jeho zachycování. (13)

Motor HPi pracuje se dvěma katalyzátory - malým předkatalyzátorem o objemu 0,8 l a hlavním třílitrovým. To umožňuje, aby se dosahovalo pracovní teploty, při které je účinnost zachycování NOx největší (až 90 %). NOx se zachytává na vrstvě baria, kde se pozvolna proměňuje v H₂. Navíc použitý systém recirkulace 30 % spalin redukuje vznik NOx snížením teploty výfukových plynů a zmenšuje ztráty. Výsledkem je, že motor HPi se značnou rezervou splňuje požadavky normy emisních limitů Euro 3 a vyhovuje již i normě Euro 4. Jak velký význam je přikládán ne jen v Evropě ale i celosvětově snižování emisí a zavádění zpřísnujících předpisů dokládá Obr. U.2.(13)

Výzvou EU v této oblasti je snížit emise a spotřebu energie v důsledku dopravních činností, a tak vyloučit nebo zmírnit související dopady na životní prostředí zejména znečištění vzduchu s následnými účinky na lidské zdraví a životní prostředí a vytváření skleníkových plynů, aniž by byl ovlivněn hospodářský růst. Trend nastoupený v ochraně životního prostředí bude i nadále pokračovat zpřísnováním emisních norem i v budoucnu jak dokládá následující tabulka viz (Obr. U.1). Toho je možné dosáhnout pouze při využití nejmodernějších technologií. Jedná se o nové technologie jak ve výrobě, ve způsobu vyhodnocování a měření a vývoji nových spalovacích motorů tak ve výrobě nových materiálů.(13)

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	EURO 2 EURO 3 EURO 4 EURO 5													
	ACEA proposal													
EU [g/km] NEFZ	NO _x	0,9				0,5				0,25			0,20	
	PM	0,10				0,05					0,025		0,0125	
	TIER 1 NLEV TIER 2 Phase in TIER 2													
	NO _x			1,0				0,60**				0,14		
	PM			0,08				0,08				0,02		
	TIER / LEV 1 LEV 2 Phase in LEV 2													
	NO _x			1,0				0,2				0,05		
	PM			0,08				0,08				0,01		
														
	NO _x	0,55			0,4			0,3				0,15		
	PM	0,14			0,08			0,056				0,014		

Obr.U. 1Přehled platnost EURO norem (16)



Obr.U. 2Přehled limitů EURO norem (13)

Common Rail První generace systému CR pracuje na principu hlavního vstřiku paliva pod vysokým tlakem, který dosahuje 140 až 160 MPa. Hlavnímu vstřiku předchází předstřík zanedbatelného množství paliva, které pohřeje spalovací prostor a umožňuje dosáhnout nižší spotřeby paliva.

Druhá generace pracuje na stejném principu, avšak s vyššími vstřikovacími tlaky – 180 až 200 MPa. Navíc druhá generace používá ještě třetí fázi, tzv. „dovstřik“, při kterém se dodává konečné množství vstříknutého paliva pro jeden spalovací cyklus ve válci.

Třetí generace systému s Piezo-Inline inovativní technikou a tlakem v systému 160 až 200 MPa se používá v současné době. Zvýšení tlaku spolu s elektromagneticky ovládanými vstřikovači umožňují jemněji rozprášit palivo ve spalovacím prostoru, čím se zlepšuje jeho spalování. Třetí generace přináší nižší emise výfukových plynů a vyšší výkon při nižší spotřebě.

Common Rail chystaná čtvrtá generace systému CR firmy Bosch se v motorech objeví pravděpodobně kolem roku 2008, kde by měl být poprvé aplikován hydraulicky zesilující vstřikovač paliva – nafty. Tento vstřikovač pracuje s převodovým pístem, který zesiluje systémový tlak panující v liště a umožňuje dosáhnout vstřikovacích tlaků až do 250 MPa. Tato technika u osobních vozů otevírá možnost pracovat v samotném řídicím systému se zjevně nižším tlakem, který je snadněji ovladatelný, a požadovaný maximální tlak vytvářet teprve až ve vstřikovači. Přičemž požadovaný konstrukční prostor u vstřikovače odpovídá velikosti vstřikovače druhé generace. Tato inovace by měla přinést především šetrnější postup spalování s méně patrnými teplotními špičkami a příslušně redukovanou tvorbou kysličníku dusíku. K zlepšení dochází také u přípravy směsi, čímž se redukuje vznik částic. Čtvrtá generace CR umožňuje vícenásobný vstřik, a tím je možné řídit regeneraci filtrů částic. Velký rozvoj automobilového a leteckého průmyslu, přesného strojírenství, výroby obráběcích strojů, výroby ložisek a mnoha dalších oborů si vyžaduje výrobu vysoce přesných součástí. (13)

Na stránkách motoristických časopisů jsou představovány stále výkonnější motory splňující nejpřísnější emisní a další legislativní normy. Zajistit splnění stále rostoucích požadavků uživatelů není možné bez kontinuálního a velmi nákladného vývoje provázeného vývojem nových zkušebních metod odhalujícím většinu nedostatků již ve stádiu návrhu výrobku. Důvodem jsou stále se zkracující inovační cykly nutící výrobce vozidel ke společnému vývoji nejen motorů, platform ale i kompletních automobilů lišících se mnohdy jen charakteristickými prvky karoserie. (13)

Stejnou cestou se ubírají i dodavatelé montážních skupin a dílů motorů. Motory se stávají stále složitějšími a je přirozenou snahou dodavatelů zajistit jejich naprostou spolehlivost a co nejdelší životnost. Udržet krok s požadavky prestižních výrobců automobilů mohou jen firmy Širokým technickým a finančním zázemím disponující kvalitní vývojovou základnou včetně zkušeben. Spolupráce při vývoji již ve stádiu návrhu motorů a automobilů je samozřejmostí. Druhým předpokladem úspěchu je dostatečná výrobní základna a vyspělá technologie ve vlastnictví dodavatele. Protože spolehlivost systému je vždy dána spolehlivostí jednotlivých komponentů je snahou výrobců automobilů a motorů spolupracovat s výrobcí celých montážních skupin. V soutěži o získání dodávek do prvovýrob proto vítězí dodavatelé celých kompletů. (13)

1 ROZBOR PROBLEMATIKY TĚSNĚNÍ

Stoupající požadavky na produktivitu a kvalitu strojírenské výroby, jak bylo naznačeno i v úvodu rovněž nové požadavky na utěsnění neustále vyšších a vyšších tlaků vyžadují, aby všechny součásti strojů a různých zařízení byly vyrobeny v předepsaných tvarech a rozměrech a s přesností předepsanou konstruktérem a nutnou pro správnou funkci. Správná montáž a práce strojů popř. jejich částí (ústrojí, pohonných a převodových mechanismů apod.) i jejich správná funkce splnění základního požadavku vzájemné vyměnitelnosti a nahraditelnosti stejných sériově nebo hromadně vyráběných součástí vyžadují, aby jednotlivé součásti i dílčí celky strojů a zařízení bylo možno bez dodatečného strojního nebo ručního obrábění a úpravy při montáži dobře skládat a aby zaujímaly přesně stanovené vzájemné polohy.

Těsnění se vyrábí z různých materiálů, ale převážně se jedná o plasty (nejčastěji elastomery na druhém místě jsou termoplasty). Ve většině případů jsou těsnění zastavěna v dílech, které jsou kovové. Z toho plyne, že rozdíl tvrdostí těchto materiálů je značný = měkké plasty jsou náchylné k poškození, opotřebením. Zároveň to, že jsou měkké a pružné materiály je jejich hlavní devizou - vykřívají nerovnosti, dobře dosednou na tvrdý protipovrch a jsou nedeformovatelné. Díky deformaci vyvinou na těsněnou protiplochu reakční sílu a ta zajišťuje těsnost. (14)

1.1 Těsnění – těsnící schopnosti spojů

Na funkční vlastnosti obrobku má podstatný vliv hlavně stav jeho povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy. Vlivem sil i teplot při obrábění dochází k deformacím a k napětím, které může mít za následek až změny struktury a v povrchové vrstvě i trhliny. To vše má samozřejmě vliv na specifické vlastnosti povrchu a následně na průběh a velikost opotřebením dvou po sobě se pohybujících ploch.

Ve strojírenské praxi se velice často setkáváme s potřebou vzájemného utěsnění součástí. Těsnění je řešeno v různých oblastech lidské činnosti, jako např. v kosmonautice, stavebnictví, geologii, odpadech, strojních zařízeních a dalších, různým způsobem. Principy těsnění jsou však ve všech oblastech těsnění stejné.

Těsněním je rozuměna schopnost zabránění průniku látek spárou těsnicího spoje na přípustnou hodnotu a to z pracovního prostředí do okolního prostředí anebo z okolního prostředí do pracovního prostředí. Toho se dosahuje pomocí statických anebo dynamických těsnicích systémů. Těsnicí systémy mohou být řešeny s těsněním anebo bez těsnění. (14)

1.1.1 Těsnicí systémy můžeme rozdělit na statické a dynamické

a) Statické těsnicí systémy

Těsnění statických těsnicích systémů - funkční těsnicí plochy systému se vůči sobě vzájemně nepohybují – (převážně utěsnění vík a přírub strojních zařízení). Provádí se jednak bez těsnění (pomocí přesně obrobených styčných ploch), převážně však pomocí těsnění.

Přímý styk obou těsnicích ploch (kov na kov) musí být velmi jemně a přesně opracovány kvůli dokonalému styku spojů:

Podstata:

- ✓ účinnost je závislá na síle, kterou jsou obě těsnicí plochy stlačeny
- ✓ k vyvození síly se používají závitové spoje

Příklady:

- ✓ utěsnění ventilů v hlavě válce výbušného motoru,
- ✓ spoj dvou trubek pomocí přírub.

Použití: kde nelze použít jiný způsob:

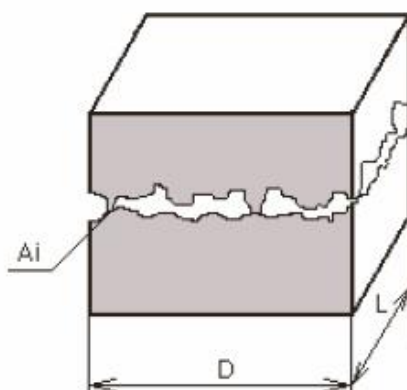
- ✓ prostředí s agresivní látkou,
- ✓ spoje vystavené vysokým teplotám,
- ✓ spoje kde by těsnění překáželo.

b) Dynamické těsnicí systémy

Dynamické těsnicí systémy nazýváme tradičně - ucpávky. Utěsnění dynamických těsnicích systémů - funkční těsnicí plochy systému se vůči sobě vzájemně pohybují - (převážně utěsnění hřídelů, vřeten, táhel strojních zařízení).(14)

Efektivnost utěsnění ovlivňuje řada faktorů, mezi které je třeba přednostně zařadit:

- druh a dimenze strojního zařízení,
- teplota, tlak a vlastnosti pracovního prostředí a okolního prostředí,
- požadavky na utěsnění: velikost přípustné netěsnosti, spolehlivost a životnost utěsnění, požadavky na údržbu,
- ekonomika celkových nákladů vynaložených na celkovou požadovanou dobu bezpečné a spolehlivé funkce těsnicího spoje (včetně údržby).



Obr. 1.1 Dotykové plochy(21)

1.1.2 Statické těsnicí systémy bez těsnění

V takovýchto případech je nezbytná znalost textury povrchu spojovaných součástí, aby i v těchto případech byla jednoznačně zaručená těsnost spoje. Dotykové plochy reálných součástí a komponent se neuskutečňují v celé pozorovatelné ploše styku, ale pouze v řadě mikroskopických dotykových ploch viz. Obr. 1.1. Základním poznatkem teorie je, že dotyky vznikající v místech styku výčnělků podle obrázku. Tyto mikroskopické plošky vytvářejí skutečnou stykovou plochu, která je mnohem menší než zdánlivá plocha dotyková. (14)

1.2 Hodnocení těsnících schopností

Požadavek na zajištění a kontrolu těsnosti spojů se dotýká celé řady oborů a výrobků automobilového průmyslu, (motorů, chladících soustav, palivových soustav, brzdových systémů, výfukových soustav, posilovačů, klimatizačních zařízení apod.) chemického, petrochemického a potravinářského průmyslu, vodní a plynové armatury, výrobky pro lékařství aj.

Efektivnost těsnění významně ovlivňuje soubor faktorů, jako např. druh a vlastnosti těsnícího spoje, jejich fyzikální a chemické vlastnosti, odolnost vůči těsněné tekutině případně plynu, ale i obráceně vůči vnějšímu prostředí, konstrukční provedení těsnícího spoje, charakter povrchu těsnících ploch, povrchová fyzikální chemie, nano-chemie, nano-technologie a další. (14)

Těsností se rozumí přípustná míra netěsnosti, kterou se bude měřit a kvantifikovat. Pro stanovení netěsnosti se používá různých způsobů metodik měření a různých způsobů vyjádření netěsnosti. Mezi ně patří hlavně jednak přímé měření hmotnostního toku emitované látky z těsnícího spoje, jednak

měřením koncentrace v bezprostřední blízkosti měřeného spoje a stanovením koncentrace z empiricky zjištěných vztahů získaných z přímých měření.

Kontrola těsnosti spojů se provádí různými způsoby v závislosti na požadavcích a charakteru zkoumaného spoje. Všeobecným standardem kontroly těsnosti spoje ověření-funkčnosti utěsnění při 1,3 násobku provozního tlaku v soustavě. Nejčastěji využívané metody se dají charakterizovat jako:

- podtlak
- přetlak
- měření průtoku
- vizuelní kontrola

Pro hodnocení podtlaku se využívá k odčerpání vzduchu vývěva a hodnotí se schopnost udržení vakua určitou časovou jednotku.

Pro hodnocení přetlakem se zkoušená soustava natlakuje stlačenou kapalinou případně stlačeným plynem a hodnotí se pokles tlaku za určitou časovou jednotku, v případě plynu se na utěsněný spoj nanese pěna která detekuje případné netěsnosti. Další metoda využívající přetlaku plynu např. hélium využívá pro hodnocení těsnosti detekční přístroje, které vyhodnocují koncentraci plynu v ovzduší v místě spoje.

Hodnocení průtoku využívá k měření těsnosti spoje závislost na poklesu tlaku. Detektory netěsností pracující na principu změření poklesu tlaku vzduchu - metoda diferenciální nebo absolutní s rozlišovací schopností výsledku od 0,1Pa. Měření těsnosti citlivými průtokoměry. Detektory netěsností pracující na principu měření průtoku s rozlišovací schopností 1 cm³/hod. Netěsnost se stanovuje v rozmezí zhruba od 10³ do 10⁻⁷ [mg.s⁻¹.m⁻¹] anebo zhruba v rozmezí 10⁴ až 10¹ [ppm].

Hodnocení vizuelní-používá se obarvená zkušební kapalina a netěsnost se posuzuje podle obarvení bílého savého papírku přiloženého do místa těsněného spoje v případě malého významu se kontrolují pouze úkapy.

1.3 Konstrukční předpoklady

Funkční spolehlivost a životnost těsnění závisí ve velké míře na jakosti a konečné úpravě povrchu, který má být těsněn.

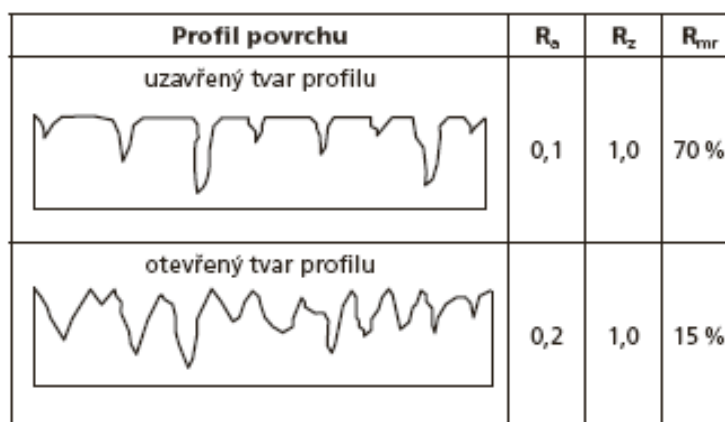
Rýhy, prohlubně, póry, soustředné nebo spirálové stopy po obrábění atd. nejsou přípustné. Vyšší požadavky, v porovnání s povrchem pro statická těsnění, musí být kladeny na konečnou úpravu povrchu pro dynamické těsnění.

Z uvedeného vyplývá, že pokud je požadavek co nejdelší životnosti těsnících prvků, je nutno pro těsnění připravit pokud možno ideální protipovrch, na kterém bude docházet k co nejmenšímu opotřebení. Jakost povrchů je popisována mnoha parametry, ale z pohledu těsnících schopností je zajímavá především tvrdost a jakost opracování. (14)

1.3.1 Jakost povrchu

. Nejčastěji používané charakteristiky pro popis drsnosti povrchu R_a , R_z a R_{max} jsou definovány v normě ČSN EN ISO 4287. Avšak tyto charakteristiky samotné nejsou pro stanovení požadavků v těsnicí technice dostatečné. Kromě těchto hodnot by měla být požadována hodnota nosného podílu povrchu R_{mr} podle normy ČSN EN ISO 4287. Význam tohoto parametru je zobrazen na Obr. 1-2. Zde je jasně ukázáno, že parametry R_a a R_z samy o sobě nepopisují charakter profilu dostatečně přesně, a jsou tedy pro stanovení jeho vhodnosti v těsnicí technice nedostatečné. Nosný podíl povrchu R_{mr} je nezbytný pro definování kvality povrchu. Tento parametr je určen specifickým tvarem profilu, který je přímo závislý na použitém způsobu obrábění.

Obr. 1.2 ukazuje dva profily povrchů, které při testování vykazují stejné hodnoty R_a a R_z . Rozdíl se stane zřejmým pouze porovnáním hodnot nosného podílu po vrchu. Ty ukazují, že horní profil s nosným podílem povrchu $R_{mr} = 70\%$ je pro těsně ní lepší. (11)



Obr. 1.2 Profil povrchu (11)

1.4 Povrch a jeho vlastnosti

Uvažujeme-li obecně povrch jako rozhraní dvou rozličných prostředí, je nutné se u kovových materiálů zabývat texturou i vlastnostmi povrchů různě připravených. Struktura přitom zahrnuje různé rozměry od atomů až po makroskopický popis. Přistoupí-li k tomu i hodnocení poruch a interakcí s prostředím i vliv vnějších sil, je studium povrchů širokou oblastí, přičemž je možno k této problematice přistupovat z různých hledisek.

Abychom mohli posuzovat vlastnosti povrchů, musíme znát nejprve modely a zákonitosti "dokonalého" povrchu fyzikálně čistého kovu bez interakcí s jiným prostředím a rozdíly, jimiž se uspořádání liší od objemu uvnitř kovu. Teprve potom si můžeme udělat představu, jak charakterizovat "skutečný" povrch kovu, s nímž se běžně setkáváme. (7)

Mnohé vlastnosti těles souvisí víceméně s povrchem, např. drsnost povrchu ovlivňuje další mechanické vlastnosti (opotřebení ap.). V mnohých případech skutečný povrch je prostředníkem působení vnějších podmínek a je

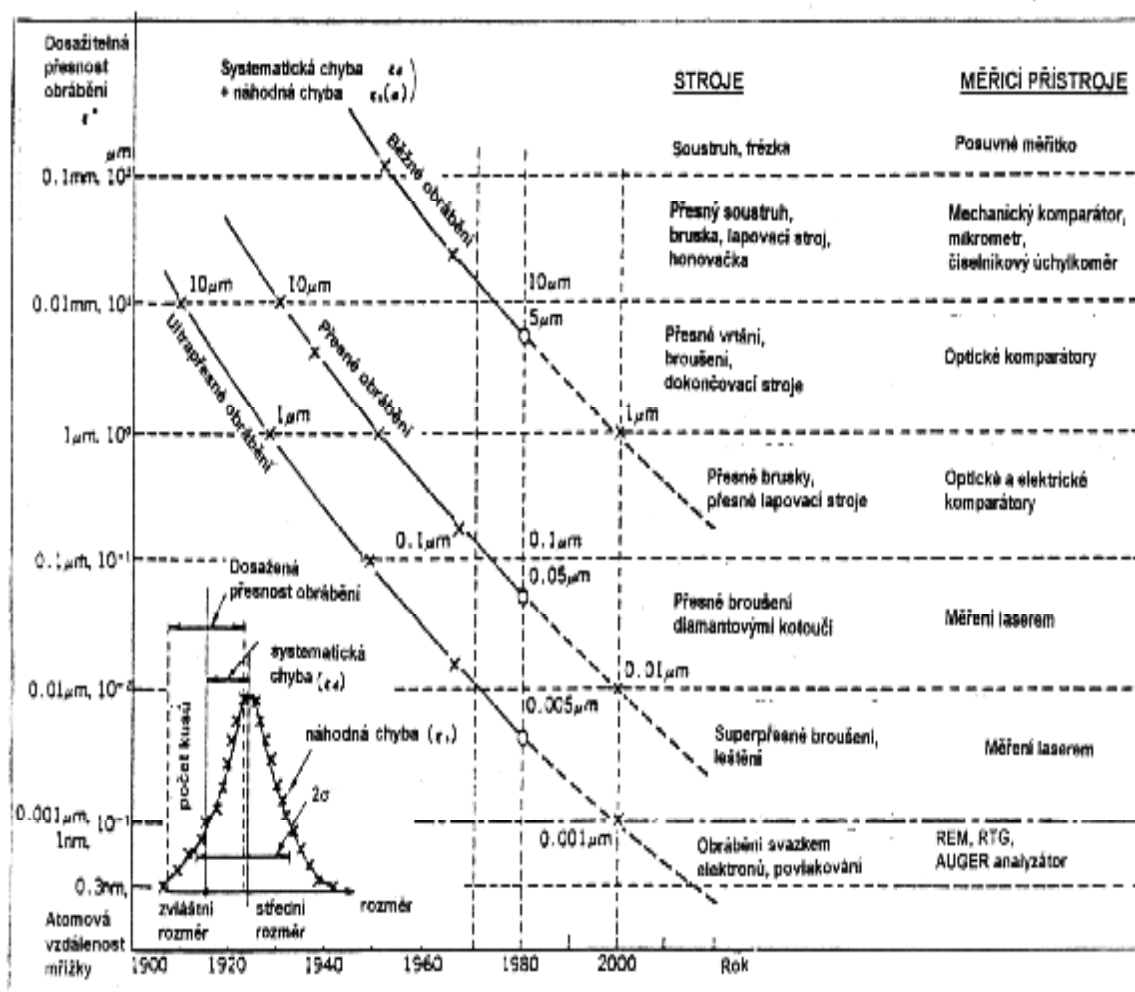
tedy nutno zabývat se i vlastnostmi nebo změnami materiálu pod povrchem. Tento objem je označen jako povrchová vrstva, na rozdíl od povlaku, který vzniká nebo se vytváří na povrchu kovu nebo slitiny. (7)

1.5 Textura povrchu

Volný povrch kovů představuje zpravidla povrch velkého souboru zrn, tvořících rozhraní mezi pevnou fází a okolím. Povrch takového tělesa i z chemicky čistého kovu je fyzikálně velmi složitý systém. Relativně nejjednodušší je situace u monokrystalů, jejich hraniční roviny jsou určeny typem mřížky a orientací. I u monokrystalů však při podrobném zkoumání zjistíme, že žádná krystalografická rovina není v atomárních rozměrech dokonale geometricky hladká, uvažujeme-li uspořádání atomů v dané rovině, jejich plošnou hustotu a přítomnost jen termodynamicky rovnovážných bodových poruch. V přítomnosti plynů budou pak povrchy reagovat podle typu materiálu a charakteru mřížkové roviny; tedy jejich interakce může být různá i u jednoho kovu. Charakteristickou vlastností každého povrchu pevné fáze je skoková změna symetrie sil působící na atomová jádra krystalové mříže. Zatímco uvnitř objemu jsou tyto síly v různých směrech navzájem vykompenzovány, povrchová vrstva je v tomto smyslu "nenасыcená". (10)

Obrábění je dynamickou technologií, která zahrnuje několik vědních oborů. Tato technologie se jednak celosvětově neustále mění současně se strategií vývoje materiálů, na druhé straně pak dochází ke změnám vyvolaným dalším vývojem v oblasti řezných materiálů, vývojem v oblasti obráběcích strojů a vývojem technologií vlastního obrábění. Konkurenceschopnost podniků je založena na možnosti neustálého zlepšování výroby pomocí nových technologií, zlevnění konečného produktu a v neposlední řadě zvyšování jeho kvality. Tato skutečnost neustále zrychluje soutěžení výrobců nástrojů, strojů, měřidel a měřících zařízení. Historii nikdy nekončících závodů výrobců nástrojů, strojů, měřidel a měřících zařízení zpracoval již v roce 1983 Prof. Tanaguchi ve svém vývoji přesnosti obrábění od roku 1900 až do roku 2000 (Obr.1.3) V tomto svém díle požívá termíny jakými jsou běžné obrábění, přesné obrábění a ultra přesné obrábění. Pro názornost zde zcela logicky uvádí ne pouze přesnosti, ve kterých se v průběhu doby obrábění pohybovalo, ale zároveň i měřící zařízení na kterých se měření provádělo. (6)

Ve své práci uvedl, že v roce 2000 bude přesnost běžného obrábění 1 μm a u přesného a ultra přesného obrábění bude přesnost 0,01 až 0,001 μm . Současně s touto předpovědí přesnosti uvedl součásti pro které bude tato přesnost nutná. Do pojmu přesnosti zahrnul nejen přesnost rozměrovou, ale také přesnost geometrickou. (6)



Obr. 1.3 Dosažitelná přesnost obrábění podle Tanaguchiho (6)

2 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ INTEGRITY POVRCHU

Stoupající požadavky na produktivitu a kvalitu výroby vyžadují aby, všechny součásti strojů a dalších zařízení byly vyrobeny v předepsaných tvarech a rozměrech s přesností konstruktérem předepsanou a pro správnou funkci nutnou. Profil získaný řezem na obrobeném povrchu a pozorovaný mikroskopem se obvykle neztotožňuje s ideálním tvarem, který konstruktér předepisuje na výkrese. Vlivem deformací a chvěním soustavy stroj – obrobek – nástroj se liší skutečný profil od profilu jmenovitého. Postupným zabíráním ostří nástroje do materiálu, nerovnostmi ostří nástroje, plastickými deformacemi při tvorbě-řezání třísky se vytváří na povrchu drobné nerovnosti. Tyto nerovnosti nazýváme tvarovou nepřesností.

INTEGRITA POVRCHU

Integrita povrchu je odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. (7)

TEXTURA POVRCHU DRSNOST A VLNITOST

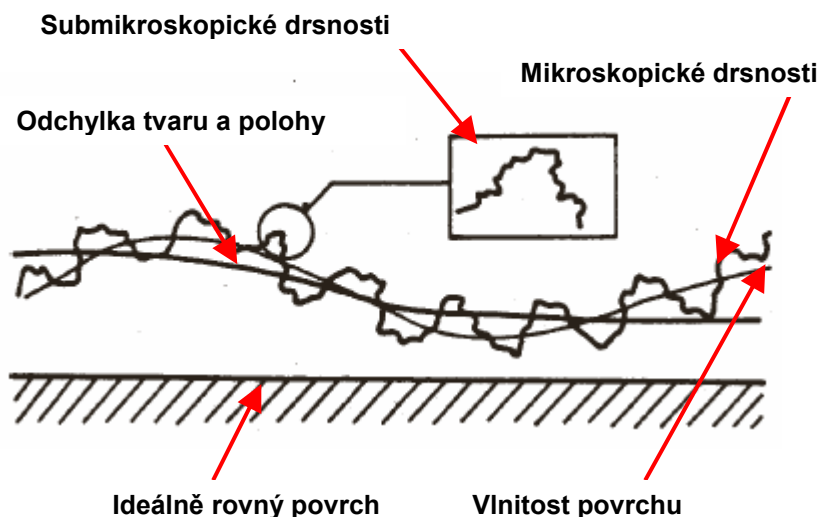
Z hlediska výroby má zásadní význam znalost mechanismu vytváření nového povrchu součástí, protože umožňuje pochopit povahu a vlastnosti takto vytvořeného povrchu, dává možnost pro zlepšení použitých procesů a případně umožňuje vytvoření obrobených ploch bez poruch.

Všechny změny, které nastávají v povrchové vrstvě součástí, lze shodně posuzovat jako změny jakosti. Tyto změny se potom mohou dávat do vztahu s budoucí funkcí dokončené plochy a využívají se pro hodnocení její integrity.

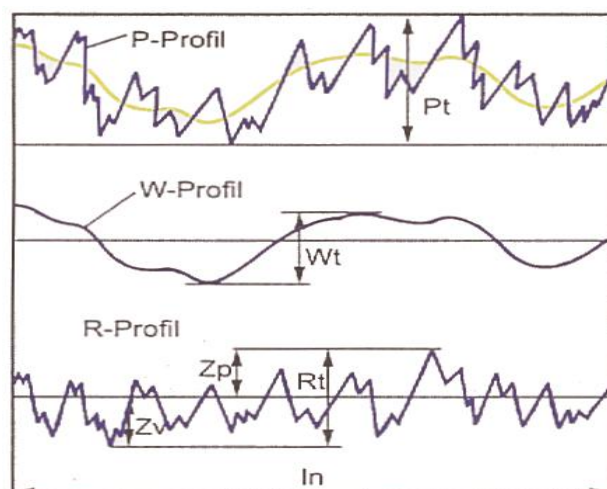
Z tohoto pohledu je tedy naprosto nezbytné, zmínit alespoň částečně zařízení a způsoby, kterými jsou měřeny a vyhodnocovány plochy opracované přesnými metodami obrábění, z nichž některé již byly zmíněny. O vlastnostech funkčních povrchů rozhodují jednak vlastnosti materiálu a pracovní podmínky, kterým je povrch vystaven, ale zejména geometrické vlastnosti povrchu. Z těchto potom, vedle přesnosti rozměru, tvaru a polohy, má výrazný význam textura povrchu. Funkční význam textury povrchu dokumentuje její přímý vliv, únavové vlastnosti a chování konstrukce v provozu jako jsou například pevnost, průběh opotřebení, únavové vlastnosti, tuhost spojení kinematické a dynamické vazby povrchů. Textura povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy tedy velmi výrazně ovlivňují životnost a spolehlivost funkce součástí. Správná montáž a práce strojů, popř. jejich částí (ústrojů pohonných a převodových mechanismů a pod.) i jejich správná funkce a splnění základního požadavku vzájemné vyměnitelnosti a nahraditelnosti stejných sériově nebo hromadně vyráběných součástí vyžadují: (6)

a) možnost sestavení dílčích celků a zařízení bez dodatečné strojní nebo ruční úpravy.

b) zaručení bezvadné funkce pro danou činnost předepsanou tj. vzájemný vztah mezi rozměrem, tvarem a drsností dané plochy.



Obr. 2.1 Schéma znázornění geometrie povrchu (21)



Obr. 2.2 Základní parametry hodnocení povrchu (17)

Povrch součásti představuje prostorový útvar tvořený nerovnostmi různých velikostí a roztečí Obr.2.1. Pro potřeby hodnocení povrchu je zpravidla využíván profil povrchu získaný řezem kolmým ke kontrolovanému povrchu. Doposud nejpoužívanějším způsobem snímání profilu povrchu je dotyková metoda, při které je měřící hrot posouván po povrchu. Získaný digitalizovaný profil je základem popisu povrchu normalizovanými i nenormalizovanými parametry povrchu Obr. 2.2. Reálný povrch je podle velikosti většinou tvořen kombinací drsnosti, vlnitosti a úchylek tvaru.

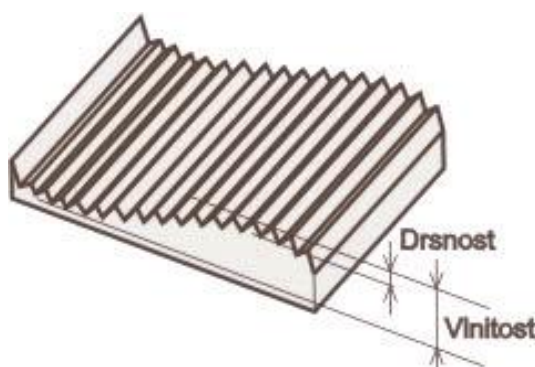
Drsnost povrchu (základní parametry R)

Jedná se o nejmenší nerovnosti vznikající v procesu výroby, např. působením řezného nástroje nebo brousícího zrna. Drsnost je spíše

důsledkem metody dokončování než působením obráběcího stroje. Uspořádání stop má periodický nebo náhodný charakter. Drsnost → vzájemné relativní postavení nástroje a obrobku a ostří nástroje

Vlnitost povrchu (základní parametry W)

Představuje rozměrnější nerovnosti, na které je superponována drsnost Obr. 2.3 .Ve většině případů je způsobena kmitáním nebo deformací obrobku, poř. pnutím v materiálu součásti. Vlnitost je přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje např. nevyvážeností brusného kotouče, nepřesností vodících šroubů nebo nedostatečnou tuhostí stroje.



Obr. 2.3 Drsnost a vlnitost (21)

Tvar povrchu (základní parametr P)

Tvar je charakterizován největšími nerovnostmi povrchu Obr. 2.3 , které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchyly tvaru povrchu nejčastěji způsobuje nedostatečné upnutí obráběné součásti nebo nepřímosti vodících ploch strojů. Popř. deformace součásti při vyšších teplotách obrábění.

Je nutno zdůraznit, jmenované nerovnosti se nikdy neobjevují izolovaně, ale vždy v nějaké kombinaci.

Na současném trhu v oblasti měřicí techniky se vyskytuje řada přístrojů, která pokrývá celou aplikační oblast - od jednoduchých dílenských měřidel a přístrojů, které vyhodnocují 1 – 5 parametrů drsnosti povrchu až po složité měřicí systémy určené pro laboratorní měření a analýzy jež vyhodnocují desítky parametrů měření základního profilu (drsnosti, vlnitosti i tvaru).

Neustále se rozvíjející výroba zvyšuje požadavek na přesnost měření na elektronické funkční i vyhodnocovací vybavení. V návaznosti na využití většího rozsahu měření s využitím většího počtu posunových jednotek a snímačů a programového hodnocení výsledků měření se tak podstatně rozšiřují možnosti kontroly povrchu (6)

2.1 Hodnocení textury povrchu

Základem měření a hodnocení textury povrchu je profilová metoda (ČSN EN ISO 4287; 4288). Profil kontrolovaného povrchu je většinou snímán dotykovým měřicím přístrojem - profiloměrem. Získaný digitalizovaný profil je vyhodnocován řadou normalizovaných a nenormalizovaných výškových, délkových a tvarových parametrů. Zpracování naměřených dat je prováděno buď přímo v profilometru nebo s využitím dodávaného softwaru v připojeném počítači. I při stále širším uplatnění kvalitativního hodnocení textury s využitím statické a spektrální analýzy stále chybí údaje o geometrických vlastnostech povrchu, velikosti a rozložení stykových ploch spojovaných povrchů, apod. proto jsou stále hledány další parametry a metody hodnocení, které by umožnily komplexnější hodnocení profilu povrchu. Přitom je sledováno nejen vyjádření vztahu mezi drsností povrchu a jeho funkcí, ale i např. možnosti kvantitativní prognózy chování povrchu v průběhu funkčního zatěžování nebo stanovení technologických podmínek dokončování povrchu zaručujících určité funkční vlastnosti. (6)

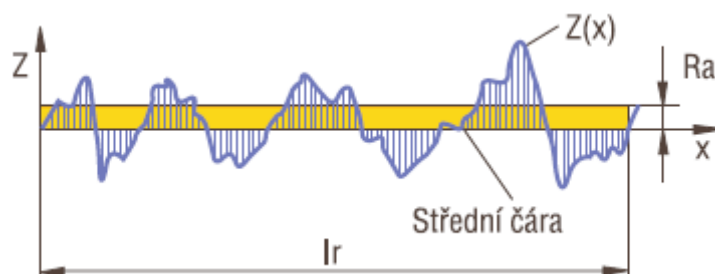
Tab. 2.1 Označení parametrů profilu podle ISO 4287 (6)

	Výškové parametry									Parametry v podélném směru	Tvarové parametry	Křivky a odpovídající parametry		
	Výstupek - prohlubeň					Střední hodnota								
Parametry <i>R</i> – profilu Parametry drsnosti	<i>R_p</i>	<i>R_v</i>	<i>R_z</i>	<i>R_c</i>	<i>R_t</i>	<i>R_a</i>	<i>R_q</i>	<i>R_{sk}</i>	<i>R_{ku}</i>	<i>R_{sm}</i>	<i>R_{dq}</i>	<i>R_{mr(c)}</i>	<i>R_{δc}</i>	<i>R_{mr}</i>
Parametry <i>W</i> – profilu Parametry vlnitosti	<i>W_p</i>	<i>W_v</i>	<i>W_z</i>	<i>W_c</i>	<i>W_t</i>	<i>W_a</i>	<i>W_q</i>	<i>W_{sk}</i>	<i>W_{ku}</i>	<i>W_{sm}</i>	<i>W_{dq}</i>	<i>W_{mr(c)}</i>	<i>W_{δv}</i>	<i>W_{mr}</i>
Parametry <i>P</i> – profilu Parametry struktury	<i>P_p</i>	<i>P_v</i>	<i>P_z</i>	<i>P_c</i>	<i>P_t</i>	<i>P_a</i>	<i>P_q</i>	<i>P_{sk}</i>	<i>P_{ku}</i>	<i>P_{sm}</i>	<i>P_{dq}</i>	<i>P_{mr(c)}</i>	<i>P_{δc}</i>	<i>P_{mr}</i>

2.2 Parametry 2D

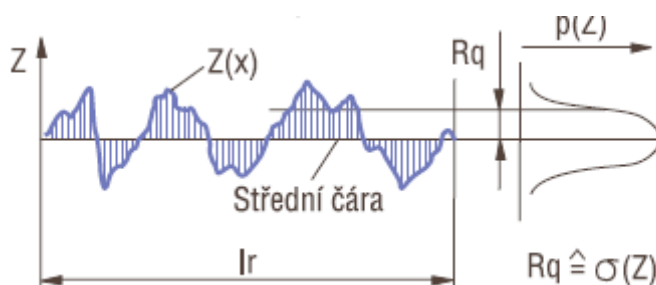
Nejčastěji jsou k hodnocení textury povrchu používány parametry, nejčastěji označované 2D. Vychází z dvourozměrného měření profilu povrchu, to znamená, že parametry jsou vypočteny z jednoho profilu, který obsahuje informace ve dvou směrech. V normě ISO 4287:1997 jsou definovány tři skupiny po 14 parametrech pro nefiltrovaný profil (*P*), drsnost (*R*) a vlnitost (*W*) – viz Tab.2.1. Ve stejném standardu je specifikována filtrace k získání parametrů drsnosti a vlnitosti. Je třeba upozornit na parametry *R_{sk}* (šikmost posuzovaného profilu) a *R_{ku}* (špičatost posuzovaného profilu), které popisují tvar křivky hustoty pravděpodobnosti souřadnic. Prakticky šikmost udává polohu maxima souřadnic bodů profilu povrchu v rozmezí největší výšky nerovností povrchu a špičatost určuje množství těchto souřadnic. Podle ISO

4288:1996 jsou definovány rozsahy měřených parametrů 2D takto, příklad tří nejpoužívanějších (Obr. 2.4, 2.5, 2.6, a matematicky 2.1, 2.2, 2.3,)(6)



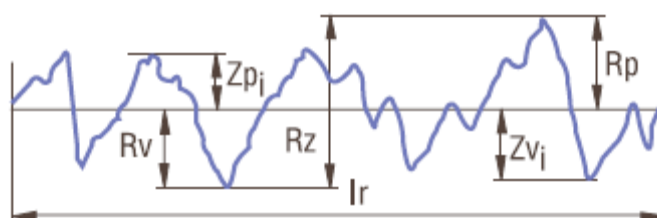
Obr. 2.4 Střední aritmetická hodnota drsnosti (17)

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx \quad (2.1)$$



Obr. 2.5 Střední kvadratická hodnota drsnosti (17)

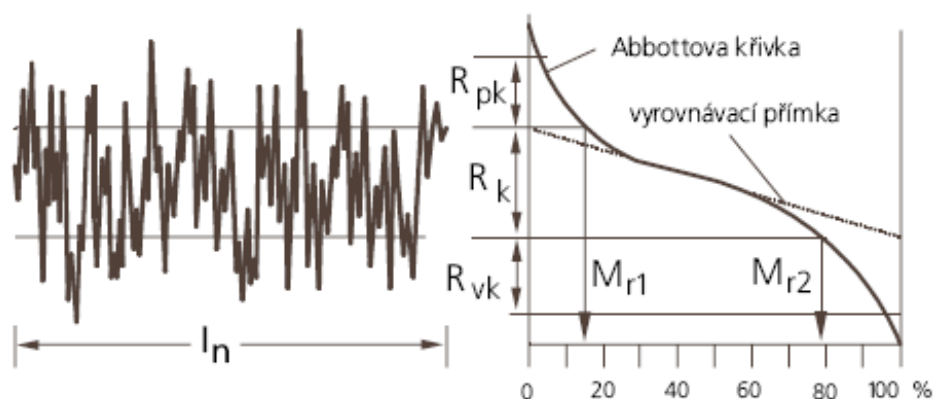
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^2(x) dx} \quad (2.2)$$



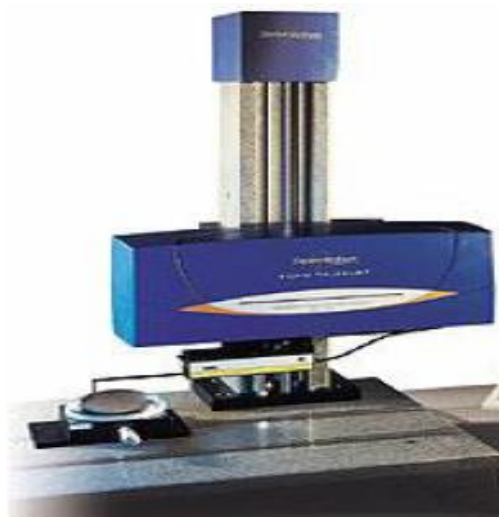
Obr. 2.6 Maximální výška profilu (17)

$$R_Z = R_V + R_P \quad (2.3)$$

Uvedená norma stanovuje, že standardní vyhodnocovaná délka pro parametry drsnosti l_n sestává z pěti základních délek l_r ($l_n = 5 \cdot l_r$). Jeli použit jiný počet základních délek musí být toto vyznačeno. Prakticky současné standardy ISO nezahrnují nerovnosti s vlnovou délkou menší než $13 \mu\text{m}$ a amplitudou menší než 25nm . Definované rozsahy měření odpovídají technickým možnostem existujících dotekových měřidel. Rozšíření těchto rozsahů například pro metrologii AFM, si vyžádá další výzkum.(6)



Obr. 2.7 Abbottova křivka (6)
(veličiny nosného podílu, křivka materiálového poměru profilu)



Obr. 2.8 Měřidlo pro měření ve 2D (Talysurf PGI 1240)

2.3 Parametry křivky materiálového poměru profilu (nosné křivky)

Norma ISO 13565 uvádí dvě sady parametrů získaných z křivky materiálového poměru, určené k charakteristice povrchů jejichž funkční vlastnosti se mění v závislosti na výšce profilu. Jedná se o parametry užívané v německém automobilovém průmyslu (ISO 13565-2:1996) viz Tab.2.1 a Obr. 2.7 a délce parametry navržené americkým výrobcem motorů Cummins (ISO 13565-3:1998) Tab.2.2 Parametry křivky materiálového

povrchu profilu povrchu, charakteristické pro jednotlivé metody dokončování, jsou především významné pro posuzování zatěžovaných funkčních povrchů, řešení problémů tření, mazání a opotřebení (např. hodnocení procesu honování sledování $R_k = f(t)$, nebo hodnocení průběhu záběhu, a podobně). (6)

Tab. 2.2 Označování parametrů křivky poměru materiálu podle ISO13565-2 a podle ISO 12085 (6)

	Parametry				
Parametry profilu drsnosti podle ISO 13565-2 Filtrace podle ISO 12565-1	<i>R_k</i>	<i>R_{pk}</i>	<i>R_{vk}</i>	<i>Mr1</i>	<i>Mr2</i>

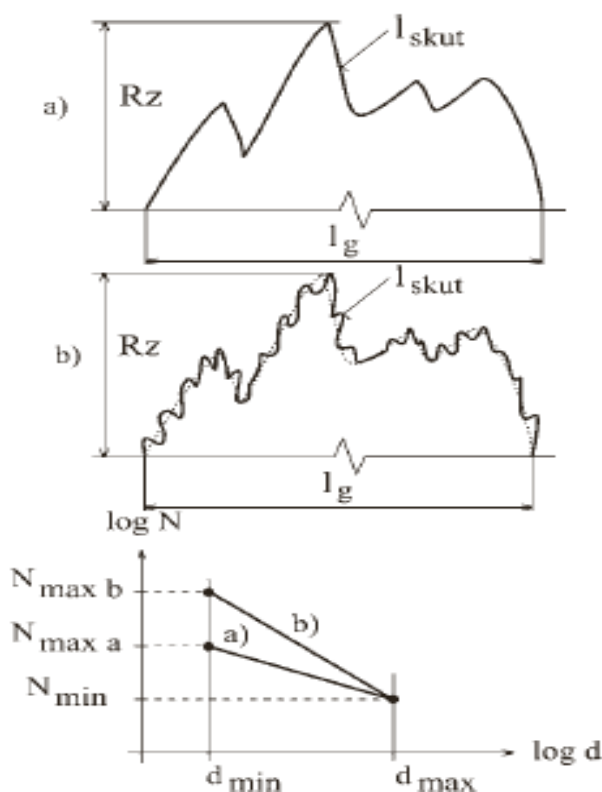
Tab. 2.3 Označování parametrů pravděpodobnostní křivky u materiálu podle ISO13565-3 (6)

	Parametry		
Profil drsnosti Filtrace podle ISO 13565-1	<i>R_{pq}</i>	<i>R_{vq}</i>	<i>R_{mq}</i>
Profil textury Filtrace Ls	<i>P_{pq}</i>	<i>P_{vq}</i>	<i>P_{mq}</i>

2.4 Hodnocení křivky – metodou fraktální analýzy

Obdobně jako křivka materiálového povrchu profilu se členitostí povrchu zabývá i fraktální analýza a tím přispívá ke komplexnějšímu hodnocení povrchu jako doplňková veličina.

Pokud pojem drsnost (R_a , R_z ,...) zahrnuje pouze výškové charakteristiky povrchu pojem členitost v sobě ukrývá i mikronerovnosti povrchu, jako takzvané podkosení, které může dobře zakotvit následně aplikované povlaky, ale naopak může mít negativní vliv na těsnost plochy, popř. může ovlivnit jiné funkční vlastnosti plochy. Z toho tedy plyne, že mohou existovat případy, kdy o povrchu potřebujeme vědět více než pouze hodnoty aritmetické drsnosti. Cílem fraktální analýzy je zjistit míru členitosti a složitosti analyzovaného objektu. Jedná se v podstatě o metodu, při které je profil pokryt soustavou N čtverců o velikosti strany d . Změnou velikosti čtverců d se jejich počet mění a hodnota profilu se zpřesňuje. Takto získané údaje se použijí pro sestavení grafu. (8)

Obr. 2.9 Schéma porovnání dvou povrchů s totožným R_z (8)

Z Obr.2.9 plyne, že oba schematicky znázorněné povrchy při měření dotykovým profiloměrem měli stejné hodnoty R_z , ale v případě hodnocení pomocí fraktální geometrie mají různé sklony lineárních závislostí. Je to způsobené tím, že rozvinutá délka profilu ad a) je menší než ad b), přestože jejich R_z je stejné. (8)

2.5 Parametry metody „motif“

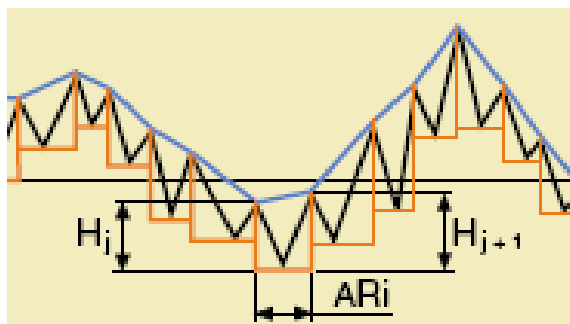
Tato norma popisuje parametry a pojmy používané k určení textury povrchu metodou motif. Jedná se o méně často používanou metodu, která se zabývá jednotlivými prvky nerovnosti povrchu. Tato metoda dává přímo doporučení a popisuje vztah mezi parametry a funkcí plochy Tab. 2.4. Průměrná hloubka prvků motif drsnosti R (2.4). Parametr R musí být vypočítán alespoň pro tři prvky motif a H_j je největší hloubka v rozsahu vyhodnocované délky. Obr. 2.10

- – méně důležité parametry
- × - nejdůležitější parametry

Tab. 2.4Vztah mezi parametry a funkcí povrchu (ČSN EN ISO 12085) (9)

Povrch		Funkce povrchu		Parametry									
				Profil drsnosti			Profil vlnitosti				Základní profil		
		Název	Značka	R	Rx	AR	W	Wx	Wte	AW	Pt	Pðc	
Povrchy v kontaktu	Se vzájemným pohybem	Klouzání s mazáním	FG	x			≤0,8R			o		x	
		Suché tření	FS	x		o		x		o			
		Valení	FR	x			≤0,3R	x		o		O	
		Odpor proti rozkování	RM	o		o				o			
		Tekutinové tření	FF	x		o				o			
	Bez vzájemného pohybu	Dynamic ké těsnění	S těsnící vložkou	ED	x	o	o	≤0,6R			o		
			Bez těsnící vložky		o	x		≤0,6R					X
		Statické těsnění	S těsnící vložkou	ES	o	x		≤R		o	o		
			Bez těsnící vložky		o	x		≤R		x			
		Spojení bez pohybu s předpětím	AC	o									X
Adheze (lepení)	AD	x								o			
Nezávislý povrch	S napětím	Nástroje (řezné plochy)	EA	o	x	o						O	
		Únavová pevnost	RC	x	x								
	Bez napětí	Korozní odolnost	RC	x	x								
		Povrch nátěru	RE			o				o			
		Elektrolytické povlakování	DE	x	≤2R	x							
		Měřicí plochy	ME	x			≤R						
		Hledisko vzhledu	AS	x		o	o			O			

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m H_j \quad (2.4)(9)$$



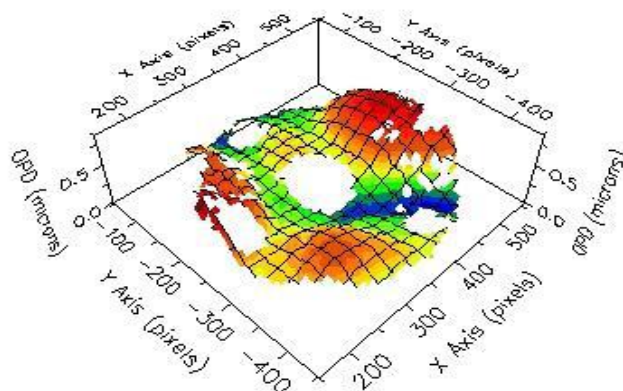
Obr. 2.10 Parametry motif(20)

2.6 Parametry 3D

Měření a hodnocení textury povrchu plochy 3D představuje posun ke kvalitativně vyšší úrovni komplexního posuzování vlastností povrchu. Technicky náročnější snímání dat pro hodnocení plochy přináší velké množství informací pro realistickou prezentaci povrchu. Analýza textury povrchu mimo početního hodnocení vesměs nabízí i grafické zobrazení formou axonometrického pohledu, topografické mapy nebo záznamu intenzity souřadnic. Charakteristiky povrchu plochy, např. počet, velikost a tvar vrcholů profilu, nejen zvyšují objektivitu hodnocení povrchu, ale je využít i pro predikci vlastností funkčně zatíženého povrchu a jeho změn v průběhu provozu. (6)

Parametry vypočítané pro hodnocení textury povrchu plochy, často označované jako 3D, dosud nejsou normalizovány. V probíhající přípravě programu (Evropan Program) je navrhována pro hodnocení plochy skupina 14. parametrů (parametry amplitudové, prostorové, hybridní a funkční), se základním označením S. Většina těchto parametrů je odvozena z parametrů 2D. Pouze 3 parametry (ze skupiny „ prostorových “) jsou určeny výlučně pro hodnocení textury plochy. Definice těchto parametrů vychází z hodnocení autokorelační funkce (AACF) a funkce výkonové spektrální hustoty (APSD) profilu povrchu.(6)

Třírozměrná analýza povrchu (3D) zajistí zobrazení kontrolovaného povrchu(Obr.2.11), včetně axonometrické projekce s volitelným úhlem pohledu, s barevným rozlišením výšek a volbou zvětšení, možnost rozměrového měření ve 3 osách, inverzi profilu, simulaci opotřebení povrchu, apod. Program má pro prostorovou charakteristiku povrchu k dispozici více než 80 statistických parametrů. Získaný prostorový popis povrchu je především přínosný při posuzování jeho funkčních vlastností jako například průběh opotřebení, tření, mazání,únavové vlastnosti, těsnění stykových povrchů, adhezní a absorpční vlastnosti, proces stárnutí koroze, a podobně.



Obr. 2.11 Příklad analýzy povrchu ve 3D

Měření a zpracování podstatně většího počtu dat, která popisují prostorový profil povrchu, přináší velké množství informací pro skutečně reálnou prezentaci kontrolovaného povrchu. Prostorové analýzy textury povrchu vesměs mimo početního hodnocení nabízí i grafické zobrazení profilu formou axonometrického pohledu, topografické mapy nebo záznamu rozdělení souřadnic. Charakteristiky povrchu plochy, např. počet, velikost, tvar a rozložení výstupku a prohlubní profilu, nejen zvyšují objektivitu hodnocení povrchu, ale lze je využít i pro predikci vlastností funkčně zatíženého povrchu a jejich změn v průběhu provozu. Právě rozšíření možností kvantitativního posuzování funkčních vlastností povrchu. K hlavním přednostem prostorového hodnocení textury povrchu patří průběh opotřebení, tření, podmínek mazání, únavových vlastností, těsnění stykových ploch, odrazových vlastností, procesu stárnutí, koroze, apod. Hodnocení textury povrchu plochy může přispět k vysvětlení a řešení řady problému v tribologii a výrobní technologii. Umožní kvantitativní studium geometrických a rozměrových změn profilu povrchu v různých etapách výrobního procesu součástí, po jejich dokončení i v průběhu jejich funkčního využití.(6)

3 TĚSNÍČÍ SCHOPNOSTI ZALOŽENÉ NA PARAMETRECH DRSNOSTI POVRCHU

Většina způsobů obvykle používaných pro popis skutečné drsnost povrchu neposkytuje odpovídající informace k tomu, aby umožnily předvídat prolínání kapaliny mezi dvěma plochami.

Pro provedení takové analýzy, je nutná znalost hloubky ve všech stupních po stlačení. To ukazuje že pokud je rozložení vrcholů a prohlubní je definováno, zahrnuje stlačení a zahrnuje prosakování vztahy mohou být odvozeny jestli, že předpokládáme klínové nerovnosti povrchu. Z toho vyplynulo, že vhodná velikost pro deklarující tvar povrchového profilu je procento vzdálenosti mezi středním vrcholem a střední prohlubní úrovně od směrodatné odchylky rozdělení (R_a/R_q). Pro nejlepší těsníci provedení R_a/R_q měl by být maximální, zatímco střední hodnota označovaná jako R_a , která poskytuje míru poměru nerovnosti, měla by být minimální. (12)

Skutečná povaha kontaktu mezi pevnými povrchy získaly velké množství pozornosti od mnoha badatelů. Následující teorii adhezní neshody byla věnována odvození vztahů mezi jmenovitým zatížením a přetvořením tvaru kontaktní plochy. Tato teorie vychází z plastického toku povrchových nerovností a měla za následek úměrný vztah mezi konstantním zatížením a skutečnou plochou styku. „Amontonovy zákony:“

1.zákon: *Velikost tření je přímo úměrná zatížení.*

2.zákon. *Velikost tření nezávisí na velikosti styčných ploch*

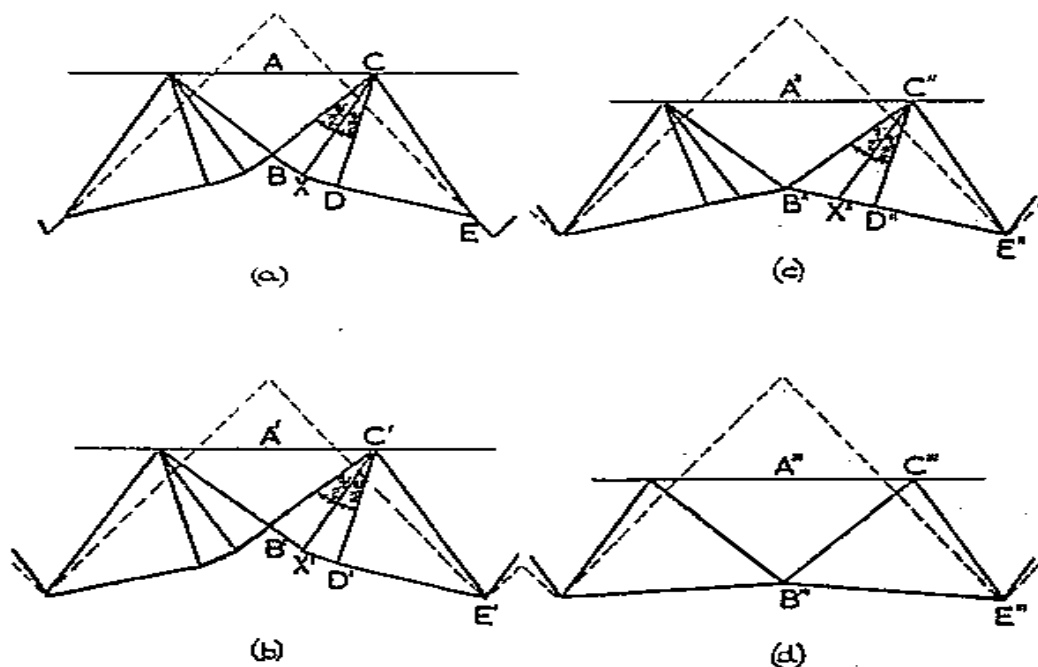
Velikost smykového tření nezávisí na velikosti plochy styku obou těles a je úměrná velikosti normálové síly, přičemž koeficient úměrnosti (tedy součinitel smykového tření) na této normálové síle nezávisí.).“ může pak být vysvětlena konstantní hodnotou smykového namáhání v těchto stykových plochách. Přijmutím vhodného modelu pro nerovnosti povrchu, Archard demonstroval, že předpoklad o plastické deformaci byl nadbytečný a že úměrnost mezi zatížením a plochou styku by mohla existovat kdyby deformace v nerovnostech povrchu byly naprosto přízřebivé. (12)

Greenwoodova práce a práce jeho kolegů při měření nerovností a pokusech analyzovat a vysvětlit kontaktní jevy pro skutečné povrchy pravděpodobně měla největší hodnotu na tomto poli. Pozornost byla hlavně věnována průběhu - prosakování kapaliny mezi nerovnostmi povrchu. V té době bylo hlavním cílem následující podání teorie adhezní neshody, třecí chování povrchů a jejich elektrický přechodový odpor. Toto vedlo nutně ke komplexnějšímu popisu povrchového profilu než byl dosud užívaný. (12)

Rathbun, Tsukizoe a Hisakado analyzovali a měřili nerovnosti na vytyčené ploše a hledal místa průsaku kapaliny a hledal odlišnosti takovéto plochy od plochy dokonale rovné. Oba přístupy jsou založeny na plastické deformaci a konstantním tlaku na jednotlivé nerovnosti povrchu., Mitchell a Rowe ukázaly že tento předpoklad nemusí být odůvodněný. (12)

Mitchell a Rowe zvažovali že nerovnost povrchu se skládat z rovnoměrných klínů a zkoumaly změnu deformačního tlaku při vzájemném ovlivňování mezi sousedními nerovnostmi povrchu. Analýza předpokládala

značené zvýšení deformačního přitlaku na počátku zásahu. Významným z tohoto vyplynul poměr mezi zatížením a skutečnými kontaktními plochami. Patrný styčný tlak pro dosažení tohoto stavu je způsoben formováním (deformováním) kovu v těsnících (kontaktních) plochách. (12)



Obr. 3.1 Model klínovité nerovnosti(12)

3.1 Klínovitá nerovnost povrchu - model klínové verze drsnosti povrchu

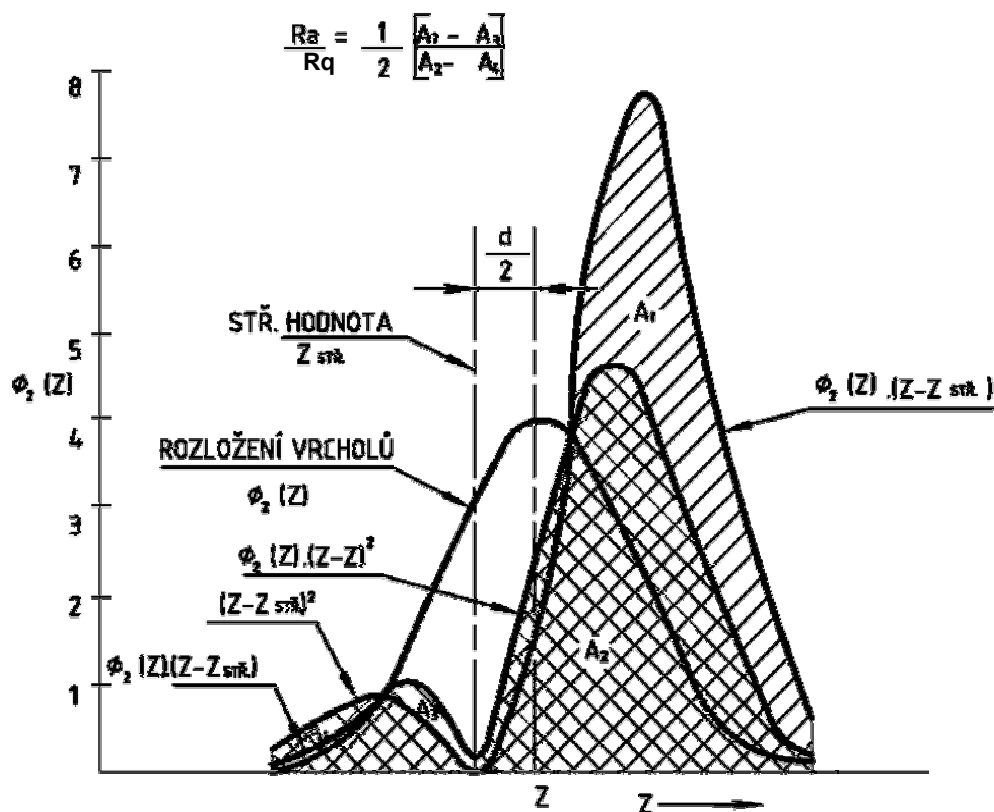
Vrcholem řešení vyvinutým Mitchellem a Rowe byla úvaha deformace vytvořené stlačením klínu (vrcholů) pevnou nepružnou rovnou plochu pro to, aby v konečném stupni stlačení zjistily průtok nebo průsak kapaliny uvnitř deformovaného prostoru.

Použitý model je znázorněn na Obr. 3.1 který představuje model vhodný pro počáteční stavy stlačení. Tento model je podobný skluzové čáře, model je platný pro podobná sestavení a platí pro stejný rozsah deformací. CB, CX, CD, BX, XD, a DE jsou naprosto hranice nespojitosti rychlosti, model existuje oboustranně kolem osy, polovina je dostačující pro výpočet. (12)

3.2 Vztah mezi rozložením vrcholů, prohlubní a střední hodnotou

Pokud je směrodatná odchylka rozložení vrcholů a rozložení úrovně prohlubní (σ_1 a σ_2) čára, rovná se čáře střední hodnoty profilu. Vyskytuje se na úrovni definované osy souměrnosti mezi dvěma součtovými čarami četnostmi. To je nezbytný předpoklad pro překrytí křivek rozložení k tomu, aby existovala, a v tomto případě: čára symetrie leží na bodu průsečnice dvou křivek. Vzdálenost mezi vrcholy dvou křivek rozložení je označený Ra . Střednice aritmetická hodnota (Ra .) profilu křivka je dán tímto výrazem (3.1). (12)

$$Ra = \int_0^x |y| dx / \int_0^x dx \dots \quad (3.1) \quad (12)$$



Obr. 3.2 Rozložení vrcholů (12)

SHRNUTÍ TEORETICKÝCH PŘEDPOKLADŮ

Pro odvození vztahu mezi zatížením a přeměnou plochy styku byl použit idealizovaný povrch, protože výpočet tu nepředpokládá vzájemnou nerovnost povrchu to znamená využití na rovném podkladu. Pokud rozložení vrcholů a rozložení prohlubní je určeno počtem zvrátů postupně klesající profilové

stopy a úrovně ve které se vyskytují, mnoho vrcholů a prohlubní by mohlo být zahrnout mezi větší nerovnoměrnosti. Tyto menší nerovnosti by mohly ovlivnit zatížení nosných částí povrchu a, proto, by měla být pozornost věnována určení rozložení křivky, aby zajistila, že takové nerovnosti v ní nebudou obsaženy. Profil takového povrchu je vysvětlen na Obr. 3.3. Nicméně, povrch který má značenou vlnitost, takový, jako ten na Obr. 3.4, by mělo zatížení-stlačení charakteristický velkou měrou určenu menšími drsnostmi ve vrcholech vlnitostí. Za těchto okolností veškeré nerovnosti povrchu by rovněž měly být zahrnuty v rozložení. (12)

Tyto pozorování, však, neubere z hlavní dedukce, kdy veličina R_a / R_q je vhodný bezrozměrný poměr pro popis charakteru drsnosti povrchu čelního těsnění. Pokud je celková drsnost povrchu rozmístěna normálním způsobem, a menší nerovnosti mají stejnou pravděpodobnost hustoty, pak R_a a bude nezměněno výskytem menší nerovností. Z toho důvodu, způsob, jakým se mění stlačení v kontaktní ploše v deformování bude jen pozměněný, velikost poměru tlaku v kontaktní ploše se změní podle počtu malé nerovnosti. (12)

Kvalifikace měření míry nerovností a znaky hrubých povrchů ukazují povrchy vyrobené náhodným procesem. Povrchy vyrobené náhodným procesem mají vrcholy a prohlubně rozložené ve tvaru Gaussovy křivky. Směrodatná odchylka dvou rozdělení je přibližně stejná. Tento typ povrchového přizpůsobení se převezme oproti ose i nahoře. Avšak, povrchy které byly postupně obrušovány měly rozložení vrcholů které jsou negaussovské a směrodatné odchylky jsou horší než ty pro prohlubně. Obdobné postřehy byly zaznamenány od Greenwood a Williamsona. Určení vztahu mezi zatížením a plocha styku, pro takové povrchy by byl pochopitelné mnohem složitější než pro idealizovaný zvažovaný případ, ale použitá metodika by byla stále použitelná. (12)



Obr. 3.3 Povrch s nepravidelnostmi drsnosti (12)



Obr. 3.4 Povrch s krátkou vlnovou délkou nerovnosti umístěn na dlouhou vlnovou délku (12)

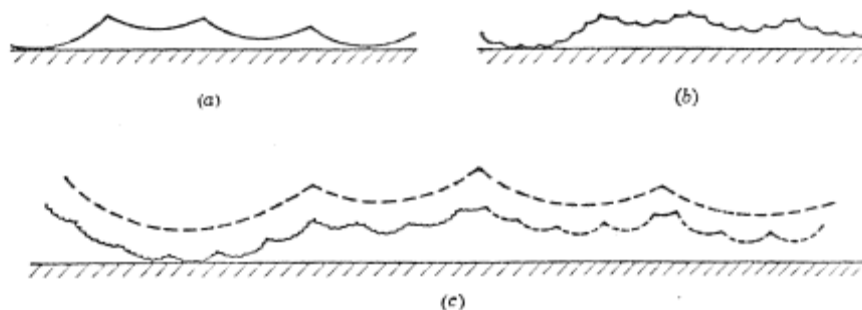
Nový způsob popisující charakteru drsnosti povrchu je navržen v použití velikosti R_a / R_q (poměr vzdálenosti mezi průměrnými vrcholy a průměrnými prohlubněmi proti směrodatné odchylce rozložení vrcholů a úrovně

prohlubní). Množství informací poskytuje popis povrchu profilu, kde průměrná hodnota střednice, která je užívána spolu s tím, dává míru v poměru nerovnosti. To bylo demonstrováno rozbohem to Ra/Rq - poskytující významné informace o nerovnostech čelního těsnícího provedení povrchů. Pro dobré těsnící vlastnosti by měla být Ra . minimální zatímco Ra / Rq by měl být velký maximální. (12)

3.3 VAZBA MEZI POVRCHEM A FUNKCÍ

Povrchová topografie významně vstoupila do mechanismů zjištěné plastické deformace. Správnost této teorie měla koncepční problémy. Jak zakomponovat plastickou deformaci do triboiogických podmínek tření? Vhodnost daného zobrazení. Pro odpověď na tyto otázky byly udělány pokusy vyvinutí verze pružných styků. Hlavním měřítkem pro pružné stlačení byla drsnost. Hlavní kritérium souviselo s průměrným zešíkmení profilu m , tvrdosti H a moduly pružnosti E . Na něm bylo dokázáno že jestli $m < k(H/E)$ žádná plastická deformace nenastala, k závisí na tvaru drsnosti a je v rozsahu $1 \rightarrow 2$. Dalším průlomem byla Archardova realizace povrchu zahrnujícího odlišné velikostí drsnosti jak na Obr.3.5 pak bylo možné obdržet vztah mezi styčnou plochou a zatížením v naprosto pružných podmínkách. (19)

Tvrdost značená H (N/mm^2) je odpor kladený materiálem proti vnikání cizího tělesa.



Obr. 3.5 Ukazuje stupně určení hladin (19)

- (a) Dlouhá vlnová délky
- (b) Dlouhá a střední vlnová délka
- (c) Dlouhá, střední a krátká vlnová délka

Struktura povrchu v tomto způsobu má velmi důležitou úlohu. Především pracovníci ve výzkumu studovali složitost povrchů (jeho specifikace) a jejich vztah ke styku a k opotřebování. Mezi prvními experimentátory využívajícími digitální metody na začátku 1960 byly Greenwood a Williamson, dokázali, že mnoho povrchů má rozložení vrcholů, které má charakter Gaussovy křivky. S použitím tohoto experimentálního výsledku postavili model povrchu který se skládal z Gaussova rozložení kulovité drsnosti, mající pravidelné poloměry R s hustotou na jednotku plochy. Z toho vyplynulo že tento povrch charakteristický pro dokončovací metody měl vztah mezi zatížením a plochou, která existovala v těsné blízkosti bez ohledu na způsob deformace. To

představovalo vlastnosti povrchu, který do značné míry vymezil způsob ujasnění indexu plastičnosti ψ (3.2) , způsob ve kterém určil režim deformace povrchu. (19)

$$\psi = \frac{E}{H} \sqrt{\frac{Rq}{R}} \quad (3.2) (19)$$

Kde Rq byla střední kvadratická hodnota rozdělení vrcholů. Jestli $\psi > 1$ velká část kontaktu by byl plastická, pro $\psi < 0.6$ možností plasticko-elastická deformace byla velice malá. V této době analýza náhodného procesu začala nabývat značný význam při analýze povrchů. Dřívější práci rozvinul velmi rychle Peklenik setřídil povrchy pomocí jejich autokorelační funkce. Toto spojení umožnilo vyvinout teorii o přechodných vlastnostech křivek a podobných detailech jako zakřivení nejvyšší bodů. Whitehouse a Archard poskytly podruhé průlom kdy definovali důležité spojení mezi teorií náhodného procesu a parametry podstatnými pro kontakt a opotřebení. (19)

V roce 1970 byl předveden význam v trojrozměrných hledisek povrchů z pohledu kontaktních styků. Williamson použil počítač k tomu, aby dokončil vrstevnicové mapy povrchů. Dokázal, že při styku dvou povrchů ke kontaktu ve vrcholech dochází pouze zřídka. (19)

Problematicke drsnosti povrchu a hodnocení textury je věnováno velké množství prací. V celku je velmi málo známa jedna z prvních prací v této oblasti. Belidor se již v 18. století zabýval nerovnostmi povrchu. Definoval povrch množstvím polokulových vrcholů a prohlubní a odvodil i elementární výraz pro sílu, pro překonání těchto překážek při vzájemném pohybu dvou povrchů ve styku. (18)

Podobné studie prováděl také Sliehting, který při svém studiu volil jako elementární nerovnosti koule, polokoule a hranoly konstantních výšek a měnil jejich vzájemné mezery. Ze svých pokusů pak vyvodil závěry o turbulenci. Z jeho prací i z prací Rouseho vyplynulo, že pouze jeden kvantitativní rozměr nerovnosti je zcela nedostatečný pro charakteristiku pvrch a že bude nutno charakterizovat také nepravidelnost tvaru mezer a hustoty nerovností. Moore se pak snažil kvantitativně zhodnotit texturu povrchu. Ukázal, že pro studium funkce a drsnosti je třeba nejméně tří parametrů (velikost, tvar, mezery). Své teoretické domněnky podpořil odpovídajícími experimenty. (18)

4 VYUŽITÍ TEORETICKÝCH POZNATKŮ V PRAXI

Při volbě vhodné drsnosti povrchu jde o zabezpečení spolehlivé funkce obrobené plochy součásti, spolehlivé činnosti a dostatečné životnosti stroje nebo zařízení. I při stejném způsobu opracování dochází k určitým odlišnostem v drsnosti povrchu a to i na jedné ploše. Má-li obrobená plocha funkčně vyhovovat požadovaným podmínkám, musí být dosaženo drsnosti v požadovaných rozmezích. Bylo by proto velice vhodné mít k dispozici požadavky a směrnice pro volbu drsnosti povrchu pro jednotlivé obory strojírenské praxe.

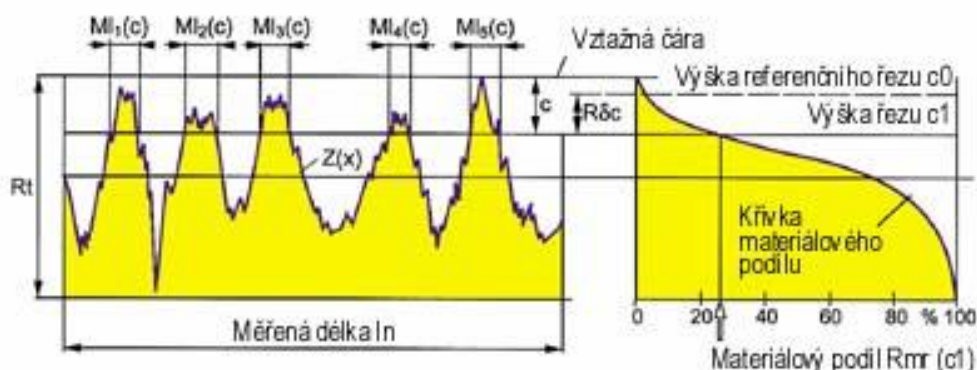
Funkční spolehlivost a životnost těsněného spoje a součástí vůbec závisí ve velké míře na kvalitě a konečné úpravě povrchu. Zářezy, poškrábání, póry a jiné poškození plochy je nepřijatelné. Integrity povrchu je odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vznikla a souvisí s důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do souladu k funkčním požadavkům na celý výrobek. Z tohoto pohledu je třeba sledovat jednotlivé parametry drsnosti povrchu a povrchového stavu z hlediska výskytu nejružnějších necelistvostí - anomálií např. trhlin a pórů. Nejčastěji používané charakteristiky pro popis drsnosti povrchu R_a a R_z jsou definované v normě, avšak tyto charakteristiky samotné nejsou pro stanovení požadavků v těsnicí technice dostatečné. (15)

Pro zjišťování výsledků je důležité charakterizovat povrch právě těmi veličinami drsnosti, které zajišťují požadované a nezbytné informace o stavu povrchu. K tomuto popisu slouží normalizované i nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu. Charakterizovat vlastnosti povrchu ve vztahu k jeho funkci je velice obtížné, zejména proto, že se jedná o více navzájem propojených vlastností tvořících celistvý komplex vlastností např. třecí, těsnicí, adhezní, optické a další. Přitom většina používaných "funkčních" parametrů se vztahuje jen k některým jednotlivým funkcím, např. nosným vlastnostem stykových ploch, udržení maziva na povrchu atd. (15)

Při výpočtu parametrů statistickým způsobem se často jednotlivé vlastnosti charakteristiky povrchu ztrácejí úplně nebo alespoň potlačují. Např. povrch s danou nosnou křivkou se bude chovat odlišně v závislosti na tvaru a vzájemné poloze jednotlivých výstupků a prohlubní. Zatímco spojování výstupků bude rozhodující pro kvalitu styku povrchů, spojování prohlubní ovlivní mazání a bude rozhodující pro těsnění ploch. (15)

4.1 Drsnost povrchu – materiálový poměr

Velikost stykových ploch je velice významnou vlastností pro spojení dvou součástí. To charakterizuje parametr označovaný jako materiálový poměr profilu R_{mr} (4.1) (nosný podíl) a křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka) (Obr. 4.1 a 4.2), které poskytují nezbytné informace. Její hodnota je definována jako poměr součtu velikostí úsečků M_i na čáře c, rovnoběžné se střední čarou profilu m v celkové měřené délce l_n . Ze známých hodnot nosných podílů je možno sestavit nosnou (Abbotovu) křivku.

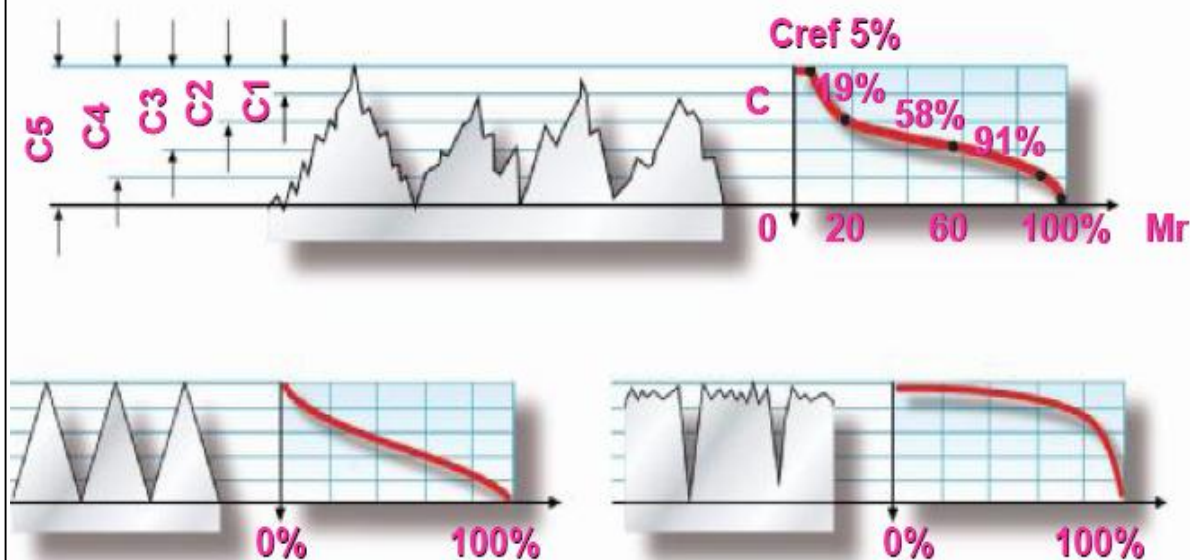


Obr. 4.1 Materiálový podíl (20)

$$R_{mr}(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n Ml(c) = \frac{Ml(c)}{l_n} \quad (4.1)$$

Z nosných křivek, získaných ze dvou na sebe kolmých směrů je možno sestavit křivky nosné plochy. Křivky nosné plochy dávají pochopitelně objektivnější charakteristiku tvaru povrchu.

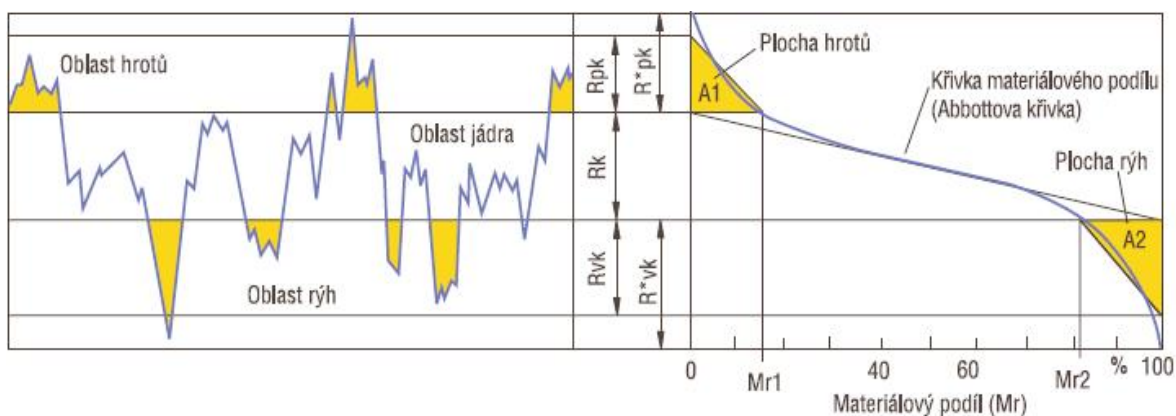
Křivka materiálového poměru profilu povrchu, charakteristická pro jednotlivé metody dokončování, má velký význam pro posuzování zatěžovaných funkčních povrchů. Parametry křivky materiálového poměru profilu jsou vztaženy k významu funkčnímu částí křivky. (15)



Obr. 4.2 Průběh materiálového poměru (11)

Výška jádra profilu drsnosti R_k má největší význam pro funkční vlastnosti povrchu. Je rozhodující pro zatěžování povrchu. Malá hodnota R_k odpovídá jemným dokončovacími operacím (např. lapování, honování,...). Při zátěži dochází k malým změnám měrného tlaku t_{zn} , že se styková plocha pomaleji opotřebovává. To vše dokazuje prakticky neměnné (funkční) kontaktní

podmínky. Čím menší bude hloubka jádra, tím „rovnější“ bude charakter povrchu. Obr. 4.3 (15)



Obr. 4.3 Veličiny nosného podílu (17)

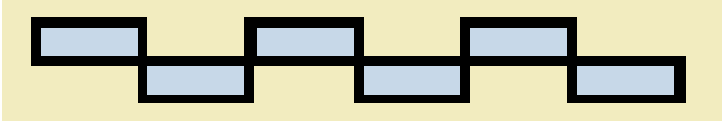
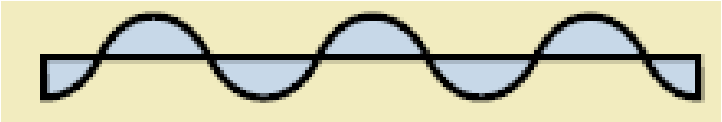
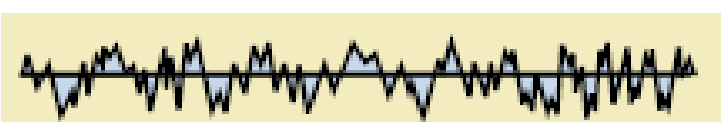
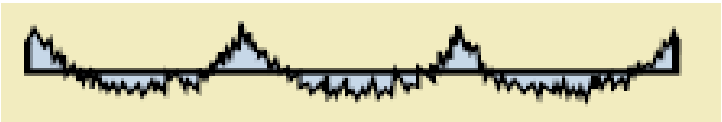
U požadavků na těsnění a těsnicí schopnosti je důležité jak uspořádání textury povrchu, tak i velikost mezer mezi dvěma stykovými plochami. Jako kritérium pro těsnění povrchu lze užít poměr R_t / R_q , kde je R_t největší výška nerovností a R_q je střední kvadratická úchylka drsnosti povrchu. Tento poměr je užitečný pro odhad těsnících vlastností povrchu. Uvedený poměr je užitečný pro odhad těsnících vlastností povrchů obrobených jednobřítým nástrojem. U povrchů s náhodným rozložením jako je povrch vzniklý nástrojem nedefinovanou geometrií ostří jako je např. broušení toto kritérium již není příliš vhodné, neboť poměr zůstává konstantní. Odhad těsnících schopností povrchů s odlišným způsobem opracování v závislosti velikosti nosného podílu je naznačen na Obr. 4.4(1)

Profily	R_t	R_q	$Mr_{c=0,25}$	Abbottova křivka
	1	0,25	75%	
	1	0,25	15%	
	1	0,20	85%	
	1	0,20	20%	
	1	0,08	7%	
	1	0,20	25%	
	1	0,30	38%	

Obr. 4.4 Přehled možných druhů opracování (11)

Pro ilustraci jemné broušení zajistí nosný podíl povrchu cca 15 - 20%. Po broušení je povrch sice "jemný", ale "ostrý". Požadovaného nosného podílu je osazeno dokončovacími operacemi jako leštění, superfiniš, lapování, nebo např. válečkováním (běžný způsob pro úpravu povrchu trubek pro méně až středně namáhané válce). Prostě "jakákoliv" operace, která srazí vrcholky nerovností. Povrchy vzniklé dokončovacími metodami bývají nazývána jako : stratifikované funkční povrchy. Pro porovnání povrchy : broušený a lapovaný oba Ra 0,3 zvětšeno 500x. Obr. 4.5 a Obr. 4.6.

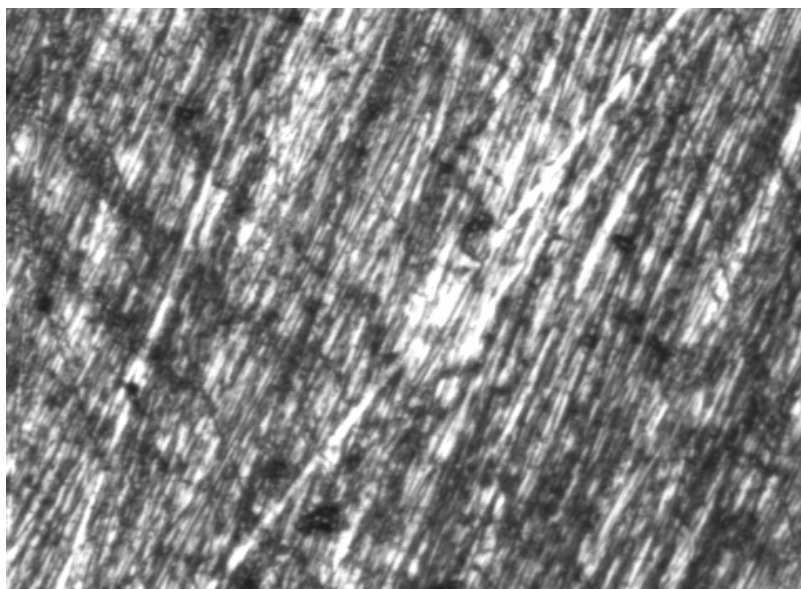
Tab. 4.1 Rozdílné opracování povrchů (20)

	$Ra / Rz = 0,5$
	$Ra / Rz = 0,32$
	$Ra / Rz = 0,25$
	$Ra / Rz = 0,16 \div 0,26$
	$Ra / Rz = 0,10 \div 0,17$
	$Ra / Rz = 0,05 \div 0,12$
	$Ra / Rz = 0,095$

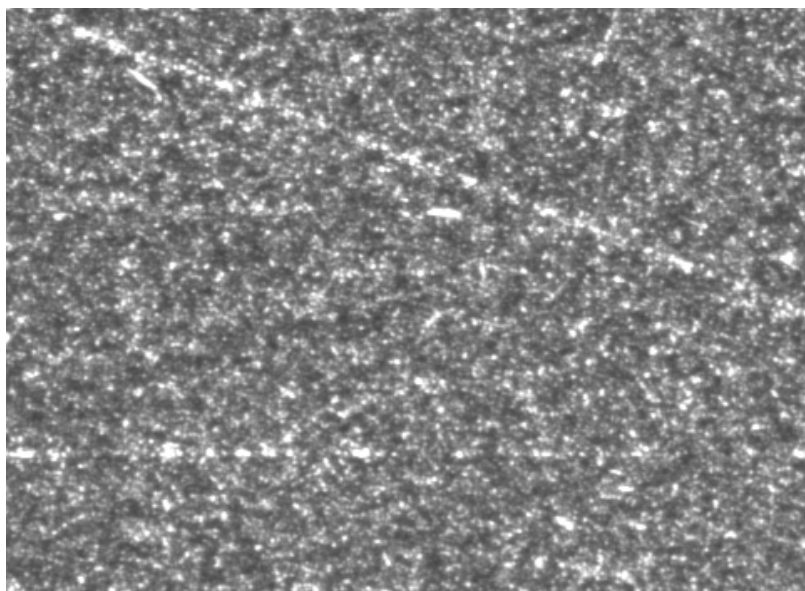
Takovéto povrchy jsou velice vhodné pro těsnění z elastomeru a z materiálu na bázi PTFE. Je požadavek, aby v něm zůstaly prohlubně a chceme, aby byly odstraněny ostré špičky nerovností - ty těsnění nejvíce ničí a právě to nám popisuje nosný podíl povrchu. Výrobci těsnění doporučují

hodnotu nosného poměru v rozmezí mezi 50 – 70%. Proč je ideální hodnota 50 -70%? Tato hodnota je stanovena ze zkušeností z dlouhodobého vývoje a výroby těsnicích prvků. Proč ne více? Bylo by to výrobně nákladné a hlavně naprosto „dokonalý hladký“ povrch není žádoucí. Z pohledu těsnění je dobré, aby na povrchu zůstaly prohlubně. V prohlubních se udržuje provozní kapalina, která funguje jako mazivo celé aplikace. Prohlubně pomáhají vytvářet a udržet tenký mikrofilm, který snižuje tření v aplikaci a zlepšuje tribologické vlastnosti aplikace. Pokud by povrch byl absolutně hladký, bude se těsnění po protipovrchu pohybovat tzv. "na sucho", aplikace bude mít poměrně velké tření, bude se generovat třecí teplo, aplikace (a tím i těsnění) se bude zahřívat a bude docházet k rychlejšímu stárnutí těsnicích materiálů. Tato tvrzení se dotýkají zejména těsnění pro dynamické systémy. Možnosti odhadu tvaru a textury povrchu z běžně dostupných parametrů, kterými jsou R_a a R_z , jsou naznačeny v Tab 4.1(11)

Výše uvedené skutečnosti platí v první řadě pro těsnění dynamická a pro těsnění z tvrdších materiálů (termoplastů). Z této skupiny se hodně používá PTFE a kompozity na bázi PTFE. Zde totiž platí, že tyto tvrdší materiály se společně s horším opracováním navzájem "zalapují" - dojde k vyleštění např. pístnice/trubky válce a zároveň k opotřebení těsnění. U těsnění na bázi elastomerů je to trochu jinak, elastomer je pružnější a tak nerovnosti lépe snáší. Proto se pro elastomerové těsnění povoluje jakost opracování horší s nosným podílem profilu cca 50%. Pro těsnění na bázi PTFE to je $R_a=0,05-0,2$ + nosný podíl profilu 50-70%. (11)



Obr. 4.5 Broušený povrch $R_a 0,3$, 500x zvětšeno



Obr. 4.6 Lapovaný povrch Ra 0,3, 500x zvětšeno

Rozdíl mezi těsněním statickým a dynamickým. Z pohledu těsnění není tak důležité, zda se jedná o zástavbu radiální či axiální. Důležité je, zda se těsněná plocha vůči těsnění pohybuje nebo nikoliv. Obecně - dynamické těsnění potřebuje lepší opracování než statické. Zde je vidět rozdíl: pohyb znamená opotřebení, čím kvalitnější povrch, tím menší opotřebení. Statické těsnění, které se nepohybuje se do protipovrchu "zamáčkne" a těsní, téměř nic se neděje. Je jedno zda se jedná o opracování v nejvyšší, střední nebo dokonce horší kvalitě. Ale tak úplně pravda to není, u statického těsnění dochází vlivem změn tlaku k mikropohybům, takže i u axiálního těsnícího provedení existují určité hranice požadavku na opracování povrchu. Snížení požadavku na kvalitu opracování se týká pouze těsnících systémů s těsněním.

4.2 Ověření vlivu plastické deformace na změnu drsnosti povrchu

PLASTICKÁ DEFORMACE

Napětí vyvolané v tělese vnějšími silami vede k jeho deformaci. Proti vnějším silám působí síly vnitřní, mající tendenci udržet atomy v původních polohách a tím zabránit deformaci. Po překonání určité hodnoty zatížení nad mez platnosti Hookova zákona, kterou nazýváme mez pružnosti se deformovaný materiál již nevrátí do počátečních mezí a materiál se přestane chovat pružně. Změnu tvaru tělesa způsobenou vnějšími nebo vnitřními silami, aniž by došlo k porušení spojitosti materiálu nazýváme deformací a každou trvalou změnu nazýváme deformací plastickou. Pojem deformace je používán v teorii velmi malých rozměrových změn v pružně plastické oblasti. Pro označení velkých plastických deformací při tváření polykrystalů se užívá pojem přetvoření. (10)

V průběhu přetvoření může dojít k nežádoucímu porušení spojitosti materiálu vznikem trhlin nebo k celkové destrukci tvářeného tělesa. Pružná

deformace, která předchází deformaci plastickou je charakterizována vratností do původního stavu po odstranění vnějšího zatížení. Hlavním znakem plastické deformace je nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovů. Deformace mohou nastat buď na hranicích nebo uvnitř zrn. (10)

I když skutečná styková plocha má nepravidelný tvar, využívají se pro zjednodušení výpočtu stykové plochy tvary elipsy nebo kružnice. Způsob modelování stykové plochy ve tvaru kružnice umožňuje jednodušší matematické zpracování v porovnání s elipsou, a proto je při výpočtu více používán. Kruhová styková plocha dovoluje také využívat modelu stykové úseče na rovinné ploše a tím získat velmi důležité údaje pro charakterizování mikrogeometrie povrchu při styku dvou tuhých těles.

Při běžných způsobech zatěžování je deformace nerovností velmi nepatrná. Při zvětšení zatížení v oblasti pružných deformací dochází ke zvětšení stykové plochy a tím k přiblížení obou ploch. Tím se styková plocha proti výchozí ploše zvětší. Tyto změny stykové plochy se dají dobře vyjadřovat pomocí nosné křivky a to v oblasti nejvyšší nerovnosti profilu. (1)

Pro ověření vlivu plastické deformace na texturu povrchu byla použita sada šesti, standardně vyráběných a používaných součástí vysokotlakého vstřikovače z nichž některé záměrně nesplňovaly parametry předepsané technickým výkresem tj. těleso vstřikovače (příloha č.1) a vložka (příloha č.2) vyrobených za obvyklých technických a technologických podmínek.

Broušení vložky bylo provedeno na stroji „Thielenhaus Micro Star Series 100“ s použitím hrubovacího kotouče CBN (pojivo bakelit) o zrnitosti 320 a kotouče dokončovacího z umělého korundu s příměsí síry o zrnitosti 800. Broušení vložky bylo provedeno na stroji BE- 41 –V, hrubovacím kotoučem z umělého korundu o zrnitosti 320 a dokončeno kotoučem z umělého korundu s bakelitovým pojivem o zrnitosti 400. Vzorky těles T1,T2aT3 byla broušna alternativní technologií. Pro broušení byla použita bruska BPH 300 / 1500 kde byly pro broušení použity brusné kameny z umělého korundu o tvrdosti J. dokončení bylo provedeno na jednokotoučovém lapovacím stroji RC 221 použita byla prášková lapovací pasta F-1000 (FSK-SIC GmbH), pro namíchání pasty byl použit olej SYNOL S-30 a kalibrační kapalina ISO-SHELL. Pasta byla namíchána v poměru 1 díl F-1000 : 5 dílů SYNOL S30 : 3 díly ISO SHELL.

Měření rovinnosti bylo prováděno na zařízení interferometr „ Laser INTERFEROMETER AK 100 S “ (3D) a měření drsnosti bylo prováděno na zařízení HOMMEL TESTER T 500.

Pro dotažení požadovaným utahovacím momentem byl použit momentový ohybový klíč BELZER IZO-M-100 a utažení bylo prováděno pod lisem v mírně sevřeném stavu aby bylo částečně zabráněno vzájemnému prokluzu čelních ploch čímž by byl zkrácen konečný výsledek.

Lapovaná tělesa bylo nutno před prvním měřením nutno přeleštit ručně lapovacím papírem z důvodu získání lesklé – viditelné plochy pro použití laserového interferometru. Tab. 4.2. Mezi jednotlivými utaženími a demontáží pro potřeby měření byl zachováván osmihodinový odstup.

Tab. 4.2 Výchozí hodnoty použitých vzorků

	1T	1V	2T	2V	3T	3V	4T	4V	5T	5V	6T	6V
Opracování Rz	0,78 0,48*	0,27	0,72 0,35*	0,24	0,83 0,43*	0,43	0,27	0,27	0,29	0,27	0,37	0,93

* opravené plochy (přeleštěné na lapovacím papíru o drsnosti 2000 μm) z důvodu změření rovinnosti laserovým intrferometrem

Těleso:

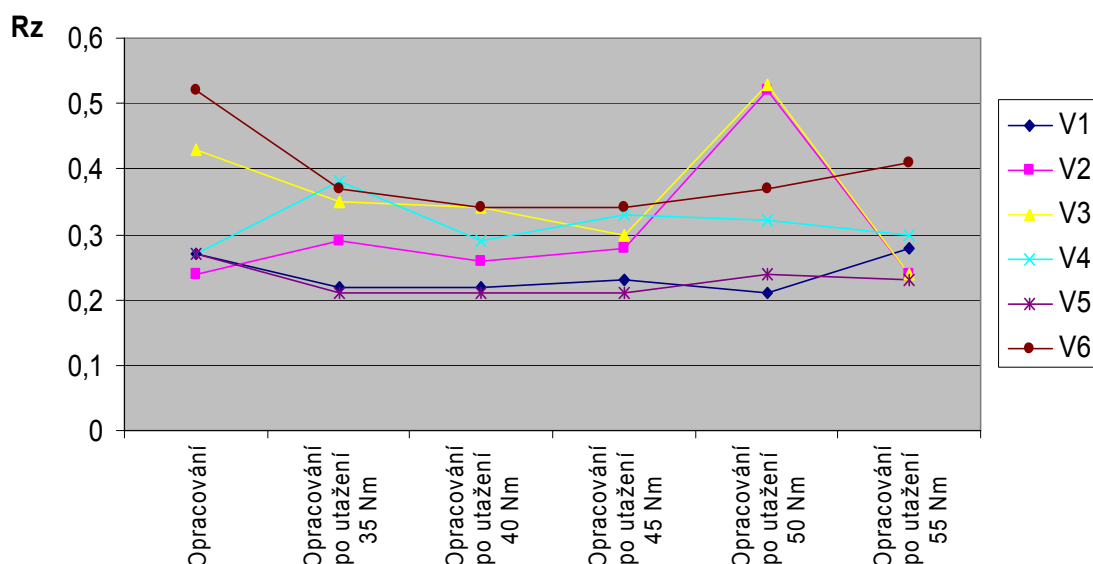
T1 – lapované
T2 – lapované
T3 – lapované
T4 – broušené
T5 – broušené
T6 – broušené

Vložka :

V1 – lapované
V2 – broušené – vadná rovinnost
V3 – broušené – vadné opracování
V4 – lapované
V5 – broušené – vadná rovinnost
V6 – broušené – vadné opracování

Tab. 4.3 Vliv zatížení na drsnost Rz povrchu vložky

	Výchozí opracování	Opracování po zatížení 35 Nm	Opracování po zatížení 40 Nm	Opracování po zatížení 45 Nm	Opracování po zatížení 50 Nm	Opracování po zatížení 55 Nm
V1	0,27	0,22	0,22	0,23	0,21	0,28
V2	0,24	0,29	0,26	0,28	0,52	0,24
V3	0,43	0,35	0,34	0,3	0,53	0,24
V4	0,27	0,38	0,29	0,33	0,32	0,3
V5	0,27	0,21	0,21	0,21	0,24	0,23
V6	0,52	0,37	0,34	0,34	0,37	0,41



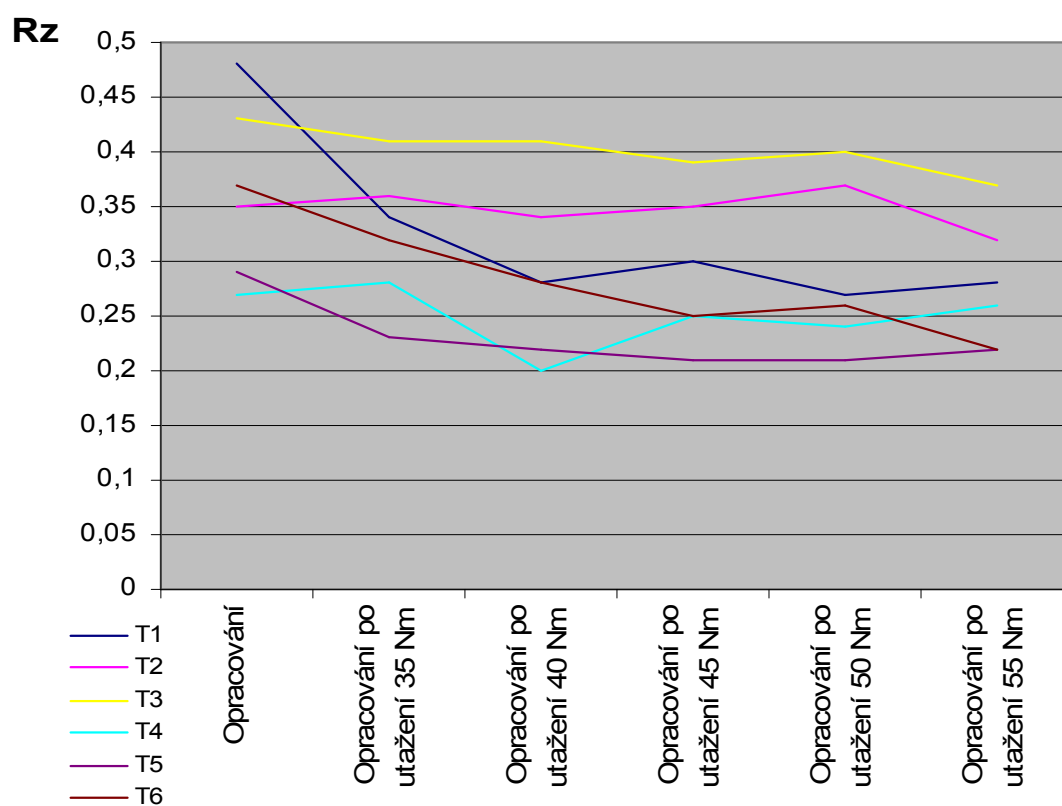
Obr. 4.7Vliv zatížení na drsnost povrchu

Tab. 4.4Vliv ztížení na drsnost povrchu tělesa Rz

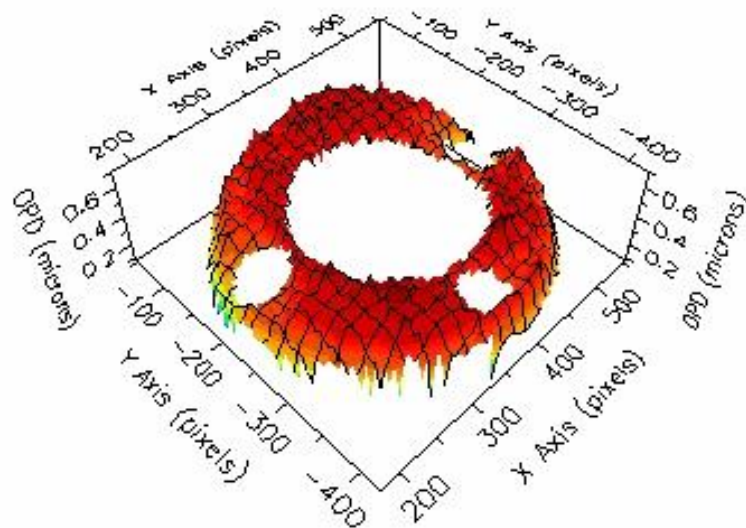
	Výchozí opracování	Opracování po zatížení 35 Nm	Opracování po zatížení 40 Nm	Opracování po zatížení 45 Nm	Opracování po zatížení 50 Nm	Opracování po zatížení 55 Nm
T1	0,48	0,34	0,28	0,3	0,27	0,28
T2	0,35	0,36	0,34	0,35	0,37	0,32
T3	0,43	0,41	0,41	0,39	0,4	0,37
T4	0,27	0,28	0,2	0,25	0,24	0,26
T5	0,29	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22
T6	0,37	0,32	0,28	0,25	0,26	0,22

Tab. 4.5Vliv zatížení na rovinnost povrchu

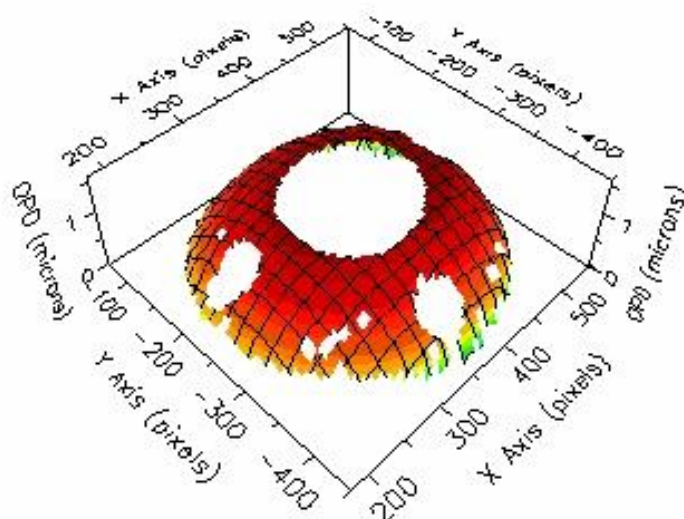
	1T	1V	2T	2V	3T	3V	4T	4V	5T	5V	6T	6V
Rovinnost 1	0,64	1,02	1,47	1,39	0,95	0,92	0,75	1,95	0,83	0,87	0,86	1,15
Rovinnost 2	0,47	1,02	1,46	1,35	0,78	0,93	0,73	1,97	0,75	0,9	0,89	1,12



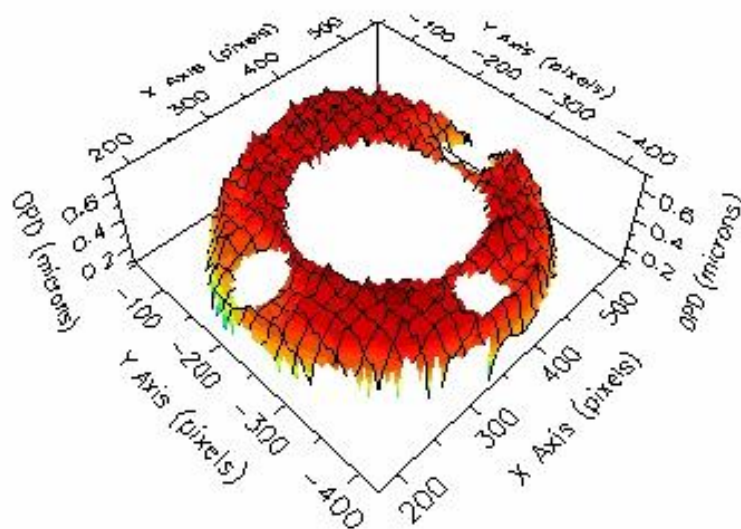
Obr. 4.8Vliv zatížení na drsnost povrchu tělesa



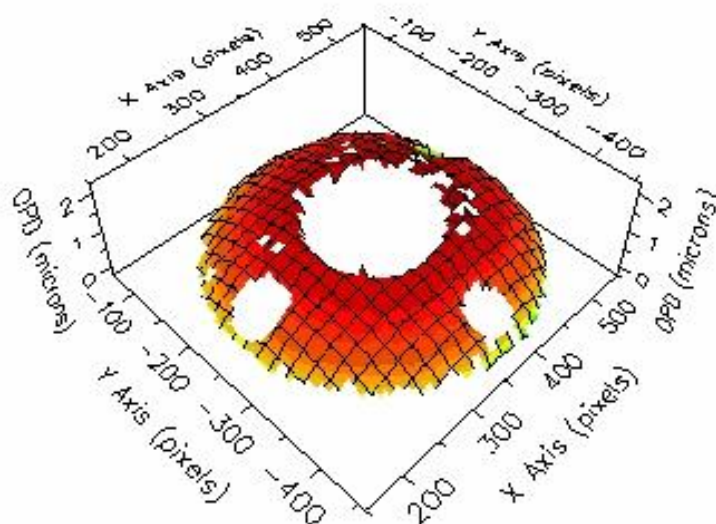
Obr. 4.9Těleso 1 před deformací



Obr. 4.10 Vložka 1 před deformací



Obr. 4.11 Těleso 1 po deformaci



Obr. 4.12 Vložka 1 po deformaci

Výsledky ověření vlivu plastické deformace na drsnost povrchu a profil povrchu zaznamenané v tabulkách pro hodnoty těles Tab.4.2 až Tab. 4.5 .4.4 s hodnotami vložek přenesené do grafů Obr. 4.7 a Obr. 4.8 naznačují, že s rostoucím utahovacím momentem dochází ke změně drsnosti profilu měřeného parametrem Rz.

Hodnoty i grafy naznačují vliv plastické deformace, snižující se hodnotou drsnosti a rovněž i většina hodnot rovinnosti vykazuje nižší hodnotu na konci než na počátku pokusu. K největšímu poklesu hodnoty rovinnosti došlo u tělesa č.1. Na grafickém výstupu z měřidla nejsou patrné žádné rozdíly, Jak by se dalo teoreticky usuzovat a předpokládat jediným rozdílem je změna hodnoty. Na druhém komponentu z dvojice tedy vložce č.1 se změna neprojevila ani ve změně hodnoty ani ve změně grafického výstupu. Obr. 4.9 až Obr. 4.12.

Hodnoty nedokazují lineární závislost jednoznačně, některé dokonce místně projevují rostoucí tendenci, ale tento nedostatek je možné přičíst způsobu měření. Aby mělo měření skutečně vypovídající schopnost, bylo by nutné provést velice měření na větším počtu komponent a použít komponenty rozdílných pevností. Měření, které vychází z teorie, že jedna plocha obrobena jedním nástrojem při stejných řezných podmínkách je v celém svém rozsahu stejná.

4.3 Ověření vlivu tvaru těsnicí plochy na těsnicí schopnosti

Kontrola vysokotlaké těsnosti slouží k ověření těsnosti mezi kovovými těsníci plochami vysokotlakého prostoru vstřikovače pomocí simulace

skutečných provozních podmínek na motoru za zvýšeného tlaku ($95 \div 100$ Mpa) a při teplotě zkušební kapaliny $45 \pm 5^\circ\text{C}$. Hlavním účelem této kontroly je zamezení závad na motoru, které jsou způsobeny netěsnostmi vysokotlakého prostoru vstřikovače.

Kontrola spočívá v provozování kontrolovaného vstřikovače na zkušebním zařízení za předepsaných podmínek, při kterém se sleduje případné prolínání zkušební kapaliny mezi těsníci plochami. Netěsnost se posuzuje vizuálně podle množství unikající kapaliny v prostoru mezi upínací maticí a tělesem vstřikovače. Těsnost je kontrolována v časových intervalech 0,5 hod a výsledky jsou průběžně zapisovány do zkušebního protokolu. Před kontrolou těsnosti musí být kontrolované vstřikovače vysušeny v peci vyhřáté na 90°C po dobu jedné hodiny, aby se z prostoru upínací matice odpařila zkušební kapalina která by v konečném důsledku ovlivnila výsledek zkoušky.

Pro ověření vlivu tvaru těsnících ploch na těsnící schopnosti byla použita sada šesti, standardně vyráběných a používaných součástí vysokotlakého vstřikovače z nichž některé záměrně nesplňovaly parametry předepsané technickým výkresem, aby bylo možno ověřit případně vyvrátit vliv tvaru plochy na těsnící schopnost spoje. Použité komponenty tělesa vstřikovače (příloha č.1) a vložka (příloha č.2) vyrobených za obvyklých technických a technologických podmínek.

Broušení vložky i tělesa bylo provedeno na stroji „Thielenhaus Micro Star Series 100“ s použitím hrubovacího kotouče CBN (pojivo bakelit) o zrnitosti 320 a kotouče dokončovacího z umělého korundu s příměsí síry o zrnitosti 800.

Měření rovinnosti bylo prováděno na zařízení interferometr „ Laser INTERFEROMETER AK 100 S “ (3D) a měření drsnosti bylo prováděno na zařízení HOMMEL TESTER T 8000 Obr. 4.13.



Obr. 4.13HOMMEL TESTER T 8000

Vstřikovače byly složeny obvyklým způsobem dle technologického postupu při dodržení veškerých zásad a podmínek zachování čistoty.

Pro dotažení utahovacím momentem 40 Nm byl použit momentový ohybový klíč BELZER IZO-M-100 a utažení bylo prováděno pod lisem v mírně sevřeném stavu aby bylo zamezeno namáhání fixačních kolíků na stříh a případnému vyhrnutí materiálu.

Naměřené hodnoty sady vstřikovačů určené pro zkoušku těsnosti:

Tab. 4.6 Naměřené hodnoty těles

Parametr	Rt	Ra	Rq	Rz	Wt	Wq	Mr1	Mr2	Rovinnost
Těleso č. 1	0,398	0,038	0,48	0,318	0,041	0,011	7,84%	87,24%	2,2914
Těleso č. 2	0,83	0,053	0,077	0,481	0,049	0,013	8,86%	86,73%	2,9341
Těleso č. 3	0,372	0,04	0,052	0,306	0,049	0,013	9,39%	89,64%	2,1514
Těleso č. 4	0,414	0,039	0,051	0,317	0,039	0,01	9,89%	87,03%	1,9738
Těleso č. 5	0,502	0,045	0,058	0,373	0,036	0,009	10,18%	85,29%	2,107
Těleso č. 6	0,458	0,047	0,061	0,376	0,04	0,011	8,35%	90,95%	2,0056

Tab. 4.7 Tvar plochy těles

Těleso č.	1	2	3	4	5	6
Konvexní+	+	+	+	-	-	-
Konkávni-		*				

Tab. 4.8 Naměřené hodnoty vložek

Parametr	Rt	Ra	Rq	Rz	Wt	Wq	Mr1	Mr2	Rovinnost
Vložka č.1	0,307	0,031	0,04	0,249	0,048	0,014	6,71%	87,23%	2,0502
Vložka č.2	0,3	0,031	0,41	0,251	0,045	0,011	5,29%	84,05%	3,0982
Vložka č.3	0,33	0,035	0,045	0,255	0,032	0,007	5,07%	88,31%	2,5483
Vložka č.4	0,433	0,047	0,061	0,36	0,034	0,008	7,56%	88,35%	1,3401
Vložka č.5	0,422	0,056	0,07	0,362	0,041	0,011	6,71%	88,29%	0,8287
Vložka č.6	0,357	0,045	0,056	0,305	0,053	0,015	4,12%	88,25%	0,7569

Tab. 4.9 Tvar plochy vložek

Vložka č.	1	2	3	4	5	6
Konvexní+ Konkávní-	+ *	+	+	+ *	+	+

Tab. 4.10 Naměřené hodnoty vložek sady II

Parametr	Vložka č.7	Vložka č.8	Vložka č.9	Vložka č.10	Vložka č.11	Vložka č.12
Rovinnost	3,4215	3,7204	3,6768	3,4660	3,2148	3,2118
Rt	0,362	0,326	0,443	0,389	0,353	0,471
Ra	0,043	0,044	0,052	0,050	0,045	0,050
Rq	0,054	0,055	0,066	0,062	0,056	0,062
Rz _{ISO}	0,311	0,314	0,395	0,345	0,322	0,397
Rz	0,310	0,304	0,389	0,336	0,302	0,374
Wt	0,049	0,071	0,063	0,052	0,064	0,022
Wq	0,016	0,020	0,016	0,012	0,016	0,006
Rpk*	0,070	0,070	0,110	0,060	0,090	0,130
Rpk	0,050	0,051	0,073	0,047	0,055	0,053
Rk	0,150	0,150	0,170	0,180	0,140	0,160
Rvk*	0,140	0,100	0,160	0,150	0,120	0,180
Rvk	0,067	0,064	0,076	0,075	0,070	0,083
Mr1	7,93	6,94	8,42	4,59	9,38	7,30
Mr2	91,46	88,12	88,10	90,48	87,28	87,50
Rvk / Rk	0,4444	0,4284	0,4477	0,4179	0,5028	0,5157
Rt / Ra	8,3846	7,3403	8,4546	7,7392	7,9271	9,5094

Tab. 4.11 Tvar plochy vložek sady II

Vložka č.	7	8	9	10	11	12
Konvexní+	-	-	-	-	-	-
Konkávní-	-	-	-	-	-	-

* - doplňková symbolika charakterizující nepravidelně zvlněný povrch na rozdíl od ostatních ploch mající „pravidelně“ konkávní nebo konvexní tvar plochy

Pozn. protokoly a výstupy z měřících přístrojů jsou ve formátu pdf uloženy v elektronické podobě na přiloženém CD

Vstřikovače byly sestaveny způsobem těleso č.1 až 6 a vložka č.1 až 6. Takto sestavené kusy byly připraveny pro zkoušku vysokotlaké těsnosti. Výsledky zkoušky byly průběžně zaznamenány. V tomto případě se jednalo o vzájemně příznivější sestavení ploch, alespoň podle teoretického předpokladu. Naměřené hodnoty vložek i těles jsou v tabulkách Tab. 4.6 až Tab. 4.9.

V této zkoušce nejhůře dopadlo sestavení vložka č.2 a těleso č.2. Uvedené sestavení bylo vyhodnoceno stupněm č.3. Rovněž u sestavení 1 a 4 bylo možno pozorovat mírné zhoršení těsnosti, přesto že obě sestavení byla hodnocena ještě jako vyhovující. Jednotlivé body hodnocení jsou uvedeny v příloze č.3÷6 graficky.

Způsob hodnocení je pouze vizuální:

- 1- žádný průsak zkušební kapaliny, povrch je suchý
- 2- mírná netěsnost, těleso vstřikovače je vlhké od vypařující se kapaliny
- 3- střední netěsnost, zkušební kapalina stojí mezi upínací maticí a tělesem vstřikovače
- 4- silná netěsnost, zkušební kapalina stéká po upínací matici.

Z důvodu větší vypovídající schopnosti byla vyrobena výše popsaným způsobem ještě jedna sada vložek (č.7 ÷ č.12). Hodnoty byly pro účely zkoušky vyrobeny mimo toleranci předepsanou výkresem a byly vyrobeny s výrazně konkávním (vydutým) tvarem plochy.Tab. 4.10 až Tab. 4.11.

Pro opakovanou zkoušku byla použita původní tělesa s hodnotami uvedenými v Tab. 4.6 a Tab. 4.7 a vložky z druhé sady s hodnotami Tab. 4.10 a Tab. 4.11. Sestavení bylo provedeno postupně v pořadí těleso č.1÷ 6 a vložka č. 7÷12. Složení bylo provedeno podle technologického postupu se zachováním všech zásad pro zajištění čistoty těsnících ploch a zamezení výskytu drobných nečistot, které by později ovlivnily výsledek zkoušky. Před kontrolou těsnosti byli kontrolované vstřikovače vysušeny v peci vyhřáté na 90°C po dobu jedné hodiny, aby se z prostoru upínací matice odpařila zkušební kapalina která by v konečném důsledku ovlivnila výsledek zkoušky.

Takto sestavené kusy byly připraveny pro opakovanou zkoušku vysokotlaké těsnosti. Výsledky zkoušky byly průběžně zaznamenány do protokolu o zkoušce . Vyhodnocení výsledků opakované zkoušky označilo

sestavení těleso č. 1 a vložka č. 7 jako nevyhovující-střední netěsnost, hodnocené stupněm č. 3. Sestavení těles č. 4,5,6 s vložkami č. 10,11,12 jako mírnou netěsnost. Označenou stupněm č. 2

Cílem této zkoušky bylo potvrzení nebo vyvrácení původní teoretické domněnky, že nezáleží pouze na opracování, ale velký vliv na těsnost má tvaru povrchu profilu plochy – vlnitost, že opracování ve velmi vysoké kvalitě nezaručí těsnost samo o sobě v případě nevhodného tvaru dosedací plochy popřípadě jejích stykových částí je těsnost pouze teoretická. Podle původního předpokladu vhodnější pro těsnost stykových ploch je jejich tvar vypouklý (konvexní) směrem vzhůru. Po stlačení takovýchto ploch by se měla zvětšit plocha styku. Obrácený tvar konkávní propadlý směrem dovnitř po stlačení – sevření by neměl vytvořit dostatečně velkou těsnící plochu.

Tyto předpoklady se nepodařilo jednoznačně potvrdit. Skutečnost je, že spojení konkávních ploch představené složením těles č. 4,5 a 6 a vložek č. 10,11 a 12, vykazovalo mírnou netěsnost není možno brát jako jednoznačnou, neboť dle způsobu uvedeného hodnocení byla označena jako vyhovující. V úvahu je nutno brát rovněž i skutečnost, že dílce s těmito hodnotami byly vyrobeny výrazně mimo toleranci předepsanou výkresem pouze pro účely zkoušky.

Závěry vyplývající z popisované zkoušky byt' byla provedena pouze v omezeném rozsahu naznačují zhoršení u spojení ploch, které nemají tvar plochy jednoznačně vyhraněný to znamená jednoznačně konkávní případně jednoznačně konvexní. Z výše uvedených zkoušek i tabulek s hodnotami vystupují pouze tři vzorky jejichž plocha je výrazně odlišná od ostatních to znamená mají zvlněný profil a dva z těchto vorků se objevují mezi těmi s horšími výsledky, v jednom případě dokonce jako nevyhovující. Zvýšený význam tvaru plochy se dá předpokládat v případě, utěsnění velmi vysokých tlaků a v případě, kdy se bude jednat o utěsnění plynů případně kapalin s velice nízkou viskozitou.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo analyzovat a zhodnotit různá hlediska ovlivňující těsnost spoje dvou kovových ploch. Při této analýze se vycházelo z popisu a ověření deformace povrchu ploch, které se spolu stýkají a ovlivňují těsnost spoje a tak zabraňují pronikání dopravovaného média v tomto případě paliva.

Při řešení tohoto problému byla nejdříve posuzována a hodnocena deformace nerovností povrchu stýkajících se ploch a současně byly hledány možnosti popisu těsnících vlastností na základě parametru textury povrchu, vyjádřené jejich drsností a vlnitostí.

Pro ověření byl zvolen takový postup, že povrchy styčných ploch byly dokončeny metodou superfinišování a lapování a následně byly povrchy vystaveny různým tlakům. Po tomto zatížení byly jejich parametry zapsány a byly vybrány parametry ovlivňující těsnost tohoto spoje. V literatuře uváděný poměr R_t / R_q byl uvažován jako jedno z kritérií, ale pro povrchy obrobené dokončovacími technologiemi zůstává hodnota téměř nezměněna. Tato veličina je vhodná pro méně přesné dokončení. Byla proto doporučena jiná veličina a tou je vlnitost a nosná křivka a její parametry R_k , R_{pk} a R_{vk} .

Materiálový podíl u použitých vzorků je celkem vysoký pohybující se v rozmezí $87 \div 91\%$ což odpovídá dokončovacím technologiím. Parametry s ním spojené R_k a R_{vk} vypovídající o plnosti povrchu se jeví jako nejvhodnější pro predikci těsnících schopností povrchu. (Obr. 4.4)

Vliv deformace se projevuje v závislosti na tvrdosti stlačovaného materiálu a velikosti přitlačné síly. Z toho je patrné, že nejvíce se projeví u měkkých materiálů, které jsou náchylnější k deformování. Jak naznačily výsledky měření nejvíce nepříznivým se jevil zvlněný nepravidelný tvar plochy, takováto plocha se podle výsledku měření deformuje nejméně, jak ukázaly výsledky sestavení vložky č.2 a tělesa č.2 hodnoceno jako nevyhovující střední netěsnost a sestavení 1a 4 jako mírná netěsnost. Pro jednoznačné potvrzení případně vyvrácení takového tvrzení by bylo nutno provést měření v mnohem širším rozsahu a u více druhů povrchů. Zde se jednalo pouze o povrchy vytvořené dokončovací metodou superfinišováním a jednalo se dva povrchy z nichž jeden byl tvrdý 60 ± 3 HRC a druhý relativně měkký 45 ± 11 HRC.

Výsledky experimentu prokázaly že významnou veličinou pro hodnocení těsnících vlastností povrchů je nosná křivka a její střední část vyjádřená velikostí jejího jádra R_k . (Obr. 4.4) Výška jádra profilu drsnosti R_k má největší význam pro funkční vlastnosti povrchu. Je rozhodující pro zatěžování povrchu. Čím menší bude hloubka jádra, tím „rovnější“ bude charakter povrchu. Také tvar stykových ploch – vlnitost sehrává důležitou úlohu při zabezpečení těsnosti těchto spojů.

Těsnění spojů sestává z tělesa a vložky. Prosté ověření bylo provedeno na těchto konkrétních součástech.

Metodika experimentu byla navržena tak, aby byly proměřeny parametry před zkouškou zatížení, stykové plochy byl k sobě přitlačeny různými silami a po odlehčení byly parametry opět proměřeny a výsledky byly porovnávány.

Výsledky prokázaly:

- pro těsnění je důležité uspořádání textury povrchu
- stejně významná je i mezera mezi stykovými plochami
- jako kritérium pro posouzení těsnicí vlastnosti povrchu je nosná křivka její střední část vyjádřená parametry R_k a R_{vk} .

Těsnění těchto výrobků potvrzují hlavní problém ve výrobě vstřikovacího zařízení a vstřikovačů uvedené výsledky mohou přispět k lepšímu zabezpečení spolehlivosti sledovaných součástí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BUMBÁLEK, B, OŠŤÁDAL, B, ODVODY, M. *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1989.
2. WHITEHOUSE, D. *Handbook of surface metrology*. Taylor-Hobson. UK. 2001
3. BATORA, B. *Funkčné povrchy*. 1. vyd. Trenčín : Univerzita A.Dubčeka., 2003. 280s. ISBN 80-6028-450-0
4. *Properties and Metrology of surfaces. Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering*, Oxford: 1968. Vol.182,
5. <http://www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=660900>
6. *Vliv dokončovacích metod obrábění na jakost výrobku*. Seminář Kongresové centrum Brno, 2001
7. KOČMAN,K.-BUMBÁLEK,B. a kol.*Typologie povrchu ploch dokončených vysoce přesnými metodami obrábění*. VZ ÚST-FSI, VUT Brno. 2002,
8. GUZANOVÁ, Anna. *Transfer inovácii : Fraktálná dimenzia - perspektíva v hodnotení povrchov* [online]. 2008 [cit. 2008-04-01]. Slovenština. Dostupný z WWW: <<http://web.tuke.sk/sjf-icav/stranky/transfer.htm>>.
9. ČSN EN ISO 12085 Geometrické požadavky na výrobky(GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody motíř
10. FOREJT, M, PIŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9., 223 s..
11. *Těsnění přímočarých pohybů hydraulika* [online]. 2008 [cit. 2008-04-11]. Čeština Dostupný z WWW: <http://www.tss.trelleborg.com/com/www/media/downloads/catalogs/rod_cz.pdf>.
12. WHITEHOUSE, D. *Handbook of surface metrology*. Publishing for Taylor-Hobson Ltd, 1994. 988 s. ISBN 07503-0039-6.
13. ONDRÁŠÍK, Radek . Autorevue. *Emisní limity* [online]. 2005 [cit. 2008-03-05].Dostupný z WWW: < <http://www.autorevue.cz/default.aspx?article=7043>
14. ČÍŽEK , Jan. *Těsnící systémy strojních zařízení* [online]. 2002 , 24.01.2002 [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.cschi.cz/urppz/utesnovani.asp>>.

15. NOVÁK, Zdeněk. Zvyšování kvality hodnocení struktury. *MM Spektrum* [online]. 2004, č. 12 [cit. 2008-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury>>.
16. *Emissionen in der Gesetzgebung* [online]. 2002 [cit. 2007-08-11]. Dostupný z WWW: <www.vdma.org/motoren>.
17. *Technické informace* [online]. 2002-2005 [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW: <http://www.hommelwerke.cz/cz/techinfo_01.htm>.
18. OŠŤÁDAL, Bohuslav, et al. *Metodika hodnocení drsnosti povrchu na základě statistické analýzy*. 1. vyd. Brno : [s.n.], 1974. 69 s.
19. WHITEHOUSE, D.J. Surfaces-a link between manufacture and function. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 1978, no. 192, s. 178-188.
20. *Surface Texture Contour Measuring Instruments : Explanation of Surface Characteristics Standards* [online]. 2007 [cit. 08-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.accretech.jp/english/pdf>>
21. *TRIBOLOGIE* [online]. 2005 [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf>

Seznam použitých symbolů :

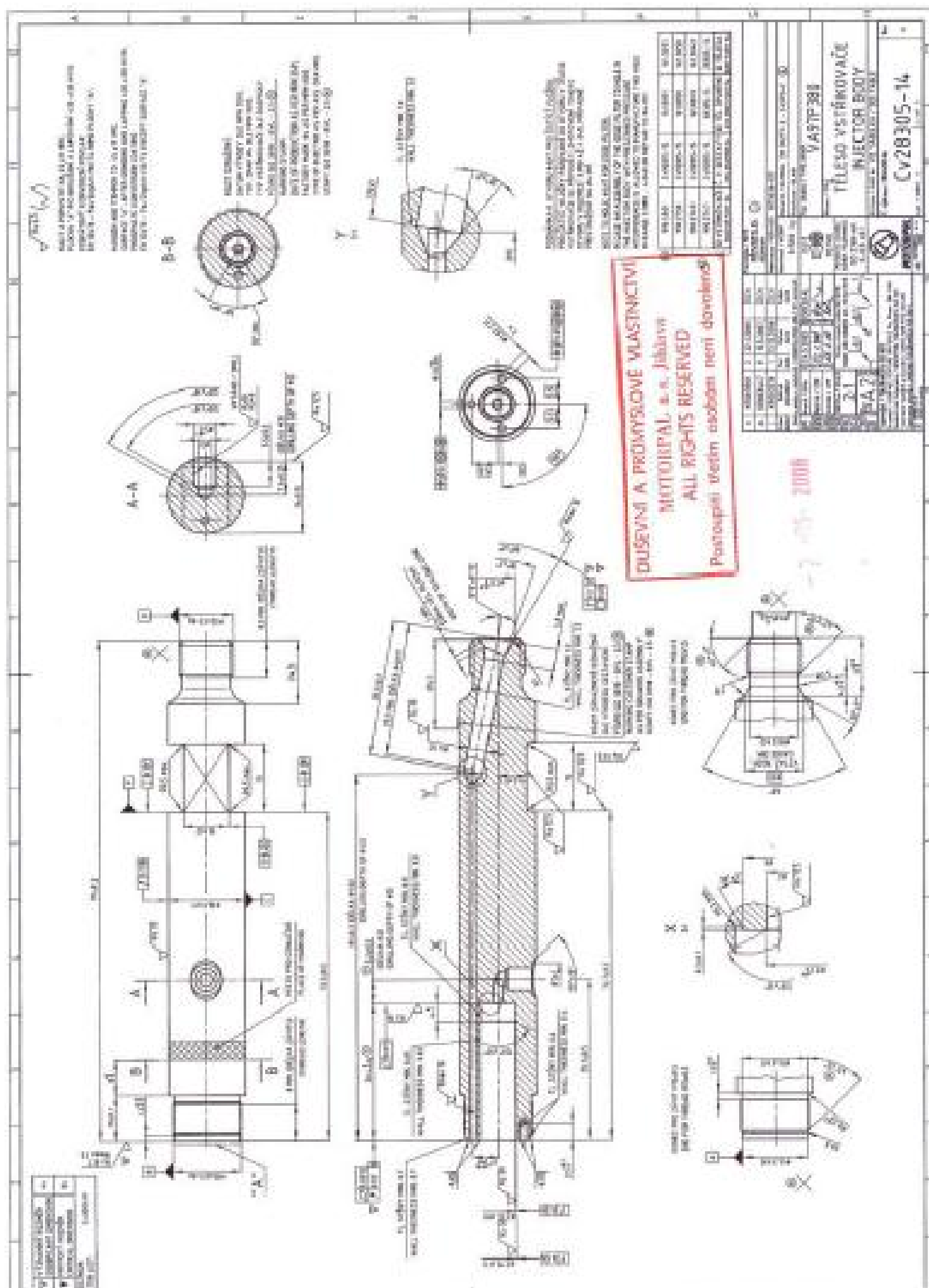
P		základní parametr profilu
W		základní parametr vlnitosti
R		základní parametr drsnosti
Pt	[μm]	hloubka profilu
Wt	[μm]	hloubka vln
Rt	[μm]	největší hloubka drsnosti
Rk	[μm]	výška jádra profilu
Rpk	[μm]	redukovaná výška špiček
Rvk	[μm]	redukovaná hloubka rýh
Rp	[μm]	nejvyšší výstupek
Rv	[μm]	hloubka nenižších rýh
Rz	[μm]	maximální výška profilu
Rc	[μm]	střední vzdálenost výšek elementů profilu
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
RPc		počet výstupků
Rku		příkrost / špičatost
lr	[mm]	základní délka
ln	[mm]	měřená délka
lt	[mm]	celková délka
Rq	[μm]	střední kvadratická úchylka profilu
Rsk		vyosení (nesymetrie)
λ_c	[mm]	mezní vlnová délka
RS _m	[mm]	vzdálenost rýh
R _{mr}	[%]	materiálový podíl drsnosti profilu
lc	[mm]	mezní vlnová délka
E	[Mpa]	modul pružnosti
L ₀	[mm]	délka rozvinutého profilu
H	[N/mm ²]	tvrdost
Mr ₁	[%]	podíl materiálu nad profilem jádra
Mr ₂	[%]	podíl materiálu pod profilem jádra

Seznam příloh :

Příloha 1	Výkres vložky
Příloha 2	Výkres tělesa
Příloha 3	1. stupeň těsnosti
Příloha 4	2. stupeň těsnosti
Příloha 5	3. stupeň těsnosti
Příloha 6	4. stupeň těsnosti

Technical Drawing Details:

- Top View:** Shows a circular plate with a central hole of diameter $\phi 4.7 \text{ H12}$ and a larger outer hole of diameter $\phi 14.33 \text{ h11}$. The distance between the center of the central hole and the center of the outer hole is $120^\circ \pm 3'$. The outer hole has a depth of $120^\circ \pm 3'$. The plate has a thickness of 3.1 ± 0.12 . The outer edge has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The central hole has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The plate is made of material 50MnCrV8-A and is hardened and tempered to $40 \pm 3 \text{ HRC}$.
- Front View:** Shows the profile of the plate with a central hole of diameter $\phi 4.7 \text{ H12}$ and a larger outer hole of diameter $\phi 14.33 \text{ h11}$. The distance between the center of the central hole and the center of the outer hole is $120^\circ \pm 3'$. The outer hole has a depth of $120^\circ \pm 3'$. The plate has a thickness of 3.1 ± 0.12 . The outer edge has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The central hole has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The plate is made of material 50MnCrV8-A and is hardened and tempered to $40 \pm 3 \text{ HRC}$.
- Side View:** Shows the profile of the plate with a central hole of diameter $\phi 4.7 \text{ H12}$ and a larger outer hole of diameter $\phi 14.33 \text{ h11}$. The distance between the center of the central hole and the center of the outer hole is $120^\circ \pm 3'$. The outer hole has a depth of $120^\circ \pm 3'$. The plate has a thickness of 3.1 ± 0.12 . The outer edge has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The central hole has a roughness of $Rz 0.7$ and $R_{max} 1.5$. The plate is made of material 50MnCrV8-A and is hardened and tempered to $40 \pm 3 \text{ HRC}$.



KONTROLA VYSOKOTLAKÉ TĚSNOSTI ZA TEPLA

1. STUPEŇ TĚSNOSTI - TĚSNÉ

Žádný průsak zkušební kapaliny, povrch suchý.

VSTŘIKOVAČ JE VYHOVUJÍCÍ



KONTROLA VYSOKOTLAKÉ TĚSNOSTI ZA TEPLA

2. STUPEŇ TĚSNOSTI - VLHKÉ

Těleso vstřikovače je vlhké od vypařující se zkušební kapaliny.

VSTŘIKOVAČ JE VYHOVUJÍCÍ



KONTROLA VYSOKOTLAKÉ TĚSNOSTI ZA TEPLA

3. STUPEŇ TĚSNOSTI - STŘEDNĚ NETĚSNÉ

Zkušební kapalina stojí mezi upínací maticí a tělesem vstřikovače.

VSTŘIKOVAČ JE NEVYHOVUJÍCÍ



KONTROLA VYSOKOTLAKÉ TĚSNOSTI ZA TEPLA

4. STUPEŇ TĚSNOSTI - SILNĚ NETĚSNÉ

Zkušební kapalina stéká po upínací matici.

VSTŘIKOVAČ JE NEVYHOVUJÍCÍ

