

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

HODNOCENÍ KVALITY PLASTOVÝCH SOUČÁSTÍ Z POM POMOCÍ MIKROTVRDOTI

QUALITY EVALUATION OF PLASTIC PARTS FROM POM VIA MICROHARDNESS ANALYSIS

Tomáš Pokorný
KSP - TP - 771

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*
Konzultant diplomové práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*
Ing. Josef Novotný – *Robert Bosch, s.r.o.*
České Budějovice
Ing. Dita Novotná – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	70
Počet tabulek	12
Počet obrázků	92
Počet příloh	1

Datum: 26.5.2006

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – strojní inženýrství
Diplomant: Tomáš Pokorný
Téma práce: Hodnocení kvality plastových součástí z POM pomocí mikrotvrdomosti

Quality evaluation of plastic parts from POM via microhardness analysis

Číslo DP: KSP - TP - 771
Vedoucí DP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld - *TU v Liberci*
Konzultant: Ing. Luboš Běhálek - *TU v Liberci*
Ing. Josef Novotný - *Robert Bosch, s.r.o.*
České Budějovice
Ing. Dita Novotná - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá hodnocením kvality plastových součástí z POM analýzou mikrotvrdomosti v síle stěny vstříkované součásti. Je brán v úvahu vliv technologických parametrů, expozice materiálu v horké naftě, umístění pod povrchem v síle stěny a místa odběru vzorku z hodnoceného tělesa na mikrotvrdomost. V závěru je uvedeno zhodnocení použitelnosti měření mikrotvrdomosti pro hodnocení kvality plastových součástí.

Abstract:

The thesis deals with quality evaluation of plastic parts from POM via microhardness analysis in wall thickness on injection parts. The work looks at influence of the technological parameters, exposition in hot diesel, location below the surface in wall thickness and the place on evaluated solid by sampling on microhardness. In the result is introduced the evaluation of this method for quality evaluation on plastic parts.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26.5.2006

.....
Tomáš Pokorný
Mistrovice 118
471 13, Nový Oldřichov

Poděkování:

Mé poděkování patří všem, kteří mi při psaní této práce pomáhali. Hlavně konzultantům, ing. Josefu Novotnému za pomoc při vytváření vzorků pro měření, ing. Ditě Novotné za pomoc při jejich měření a ing. Luboši Běhálkovi za pomoc při finální úpravě této práce.

Hlavní dík však patří mé rodině za podporu při celém studiu, speciálně pak prarodičům Sochovým, u kterých jsem při svých studiích v Liberci bydlel. Bohužel se můj děda, pan Josef Socha, dokončení mých studií nedožil, když zemřel den před začátkem výuky ve čtvrtém ročníku.

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1. Polyoxymethylén	12
2.1.1. Základní vlastnosti a charakteristika.....	12
2.1.2. Chemická odolnost.....	14
2.1.3. Zpracování polyoxymethylénu.....	15
2.1.3.1. Vstřikování.....	15
2.1.3.2. Další metody zpracování.....	18
2.1.4. Aplikace polyoxymethylénu v technické praxi.....	19
2.2. Viskoelastické chování plastů.....	19
2.3. Mikrotvrlost Vickers	23
2.3.1. Měření mikrotvrlosti dle Vickerse.....	23
2.3.2. Mikrotvrlost polymerů ve srovnání s mezí kluzu.....	25
2.5. Další metody měření tvrdosti plastů	26
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	27
3.1. Výroba a úprava vzorků.....	27
3.1.1. Odběr vzorků z těles pro tahovou zkoušku.....	31
3.1.2. Odběr vzorků z těles palivového modulu.....	32
3.1.3. Označení vzorků.....	35
3.2. Hodnocení mikrotvrlosti.....	36
3.2.1. Postup měření.....	37
3.2.2. Postup vyhodnocení naměřených veličin.....	41

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE.....	57
4.1. Vyhodnocení mikrotvrdoti vzorků těles pro tahovou zkoušku	57
4.1.1. Vyhodnocení mikrotvrdoti použitých materiálů.....	57
4.1.2. Vyhodnocení mikrotvrdoti v závislosti na podmínkách vstřikování.....	58
4.1.3. Vyhodnocení mikrotvrdoti v závislosti na podmínkách exposice v motorové naftě	60
4.2. Vyhodnocení mikrotvrdoti vzorků hrnce palivového modulu.....	63
4.2.1. Vyhodnocení mikrotvrdoti v závislosti na místě odběru.....	63
4.2.2. Vyhodnocení mikrotvrdoti v závislosti na podmínkách vstřikování.....	63
4.2.3. Vyhodnocení mikrotvrdoti v závislosti na expozici v motorové naftě	65
5. ZÁVĚR.....	68
LITERATURA.....	70
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

σ	- normálové napětí [Pa]
E	- modul pružnosti [Pa]
ε	- poměrné prodloužení [-]
τ	- smykové napětí [Pa]
η	- dynamická viskozita [Pa.s]
$\frac{d\gamma}{dt}$	- rychlost smykové deformace [s ⁻¹]
MHv	- Vickersova mikrotvrdot [MPa]
d_1, d_2	- délky úhlopříček vpichu Vickersova indentoru [m]
d	- průměr délek úhlopříček jednoho vpichu Vickersova indentoru [m]
p	- tlak [Pa]
F	- zatížení [N]
A	- plocha vpichu [m ²]
σ_y	- napětí na mezi kluzu [Pa]
R_α	- Tvrdot Rockwell α [-]
H	- tvrdost vtlačení kuličky [N.mm ⁻²]
GF	- skelná vlákna
PE	- polyetylén
POM	- polyoxymetylén

1. ÚVOD

Plasty jsou dnes objemově nejpoužívanějšími materiály, když v roce 1990 překonaly ocel. Dnes je jejich objemová produkce asi dvakrát větší. Důvodem jejich rozsáhlého použití ve všech oblastech lidské činnosti jsou jejich výhodné vlastnosti, především dobrá zpracovatelnost za výrazně nižších teplot i tlaků oproti kovům, nízká měrná hmotnost nebo odolnost korozi.

Tato diplomová práce vznikla na základě spolupráce mezi TU v Liberci a společností Robert Bosch s.r.o. v Českých Budějovicích, jejíž výrobním programem jsou komponenty automobilové techniky pro koncernovou divizi GS – Gasoline Systems (palivové systémy) vyráběné technologií vstřikování. Vyrábějí se zde především palivové moduly, elektronické plynové pedály, sací moduly a víka hlav válců. Českobudějovická společnost exportuje přes 90% své produkce zákazníkům, jimiž jsou téměř všechny významné evropské automobilky.

Z důvodu dosažení vysoké kvality výstřiků, na kterou je v současnosti kladen stále větší důraz, je posuzována jejich geometrická přesnost, sledován a korigován výrobní proces. Správnost technologického postupu, který je dán nastavením vstřikovacího lisu, je v praxi posuzována především podle charakteristických povrchových, případně vnitřních vad výstřiku. Hlavním identifikátorem stability procesu výroby je sledování hmotnosti výstřiku a vybraných rozměrů, případně struktury polymerů.

Z důvodu stále se zvyšujících nároků na životnost a bezpečnost výrobků, za současného tlaku na snižování ceny výrobků, je důležité zaručit nejen optimální dimenzování výrobků, ale i dosáhnout a garantovat dobré mechanické vlastnosti materiálu. Současné, výše uvedené nástroje sledování kvality, se jeví jako nedostatečné. Společnost Robert Bosch vyrábí navíc plastové dílce za provozu mnohdy značně mechanicky namáhané ve velkém rozsahu teplot (od -40°C až do 120°C) a to v různých prostředích, jako jsou například automobilová paliva, oleje či roztoky solí nebo mycích prostředků. Životnost za těchto podmínek je očekávána běžně více než 5 let. Potřeba zajištění dobrých a stabilních mechanických vlastností souvisí nejen s výběrem kvalitního materiálu, ale především se správným způsobem jeho

zpracování. To se neobejde bez potřeby přesně, rychle a levně měřit materiálové vlastnosti hotových výrobků. Tato potřeba byla motivem vzniku projektu s pracovním názvem "Manuál kvality", k čemuž došlo ve firmě Robert Bosch počátkem roku 2005.

Hlavním cílem manuálu je nalezení a popsání metody zjišťování vlastností materiálů formou jednoduché návodky, včetně stanovení mezních kritérií pro dané výrobky. Vychází se z předpokladu, že snahy o maximální zkrácení vstřikovacího cyklu, jako například využití nižší teploty taveniny a formy, či samotné zkracování jednotlivých cyklů, jako je dotlak či doba chladnutí semikrystalického materiálu ve formě, má vliv na užité vlastnosti konečného výrobku. Bez nástrojů umožňujících zjištění vnitřního stavu a vlastností daného výrobku není možné přesně optimalizovat a sledovat výrobní proces výrobku. Firma Bosch zpracovává materiály od různých výrobců (Ticona, BASF, DuPont, Mitsubishi), jedná se především o kopolymery POM, dále POM a PA plněný skleněnými vlákny a okrajově pak i o některé další materiály. Vzhledem k rozsahu celého úkolu, který je dán nejen tvarovou a materiálovou rozmanitostí vyráběných výrobků, ale i jejich různým provozním zatížením, byl úkol rozdělen do několika dílčích částí.

Prvním z těchto úkolů je hlubší studium struktury různých typů materiálů, včetně hledání a prověření vhodných metod pro potřeby sledování kvality výrobků s ohledem na jejich schopnost identifikovat různé vlastnosti materiálu.

Dalším úkolem je měření mechanických vlastností materiálu zpracovaného za různých technologických podmínek a v závislosti na geometrii výstřiku. Úkol je opět hledání, prověření a výběr vhodných metod k hodnocení těchto vlastností pro různé typy výrobků.

Specifickým úkolem je najít a optimalizovat vhodný, pokud možno jednotný způsob odběru vzorku materiálu z různých výrobků s ohledem na přesnost, opakovatelnost a vhodnost pro všechny potřebné druhy materiálových analýz.

Dalším nevyhnutelným a částečně zastřešujícím úkolem je nalezení vzájemných souvislostí mezi tím, co ukazují analýzy struktury, a výsledky zjištěnými hodnocením mechanických vlastností materiálu, který byl zpracován za různých technologických podmínek. Úkol zahrnuje podle

možností i případně vysledovat vliv odchylek vlastností výchozího granulátu, tedy vliv rozdílných vlastností jednotlivých šarží jednoho druhu materiálu na výslednou jakost.

Dalším úkolem doplňujícím studii tvorby manuálu kvality výstřiků je měření jejich mechanických vlastností pomocí mikrotvrdomosti. A právě tento úkol se na základě spolupráce TU v Liberci a firmy Robert Bosch stal předmětem této diplomové práce.

Cílem této diplomové práce je posoudit, zda je analýza mikrotvrdomosti vhodnou zkouškou pro posouzení kvality výrobků, případně nalézt souvislosti, které by mohly být použity v manuálu kvality společnosti Robert Bosch České Budějovice.

Je zřejmé, že se jednotlivé úkoly tvorby manuálu vzájemně prolínají a doplňují, celý úkol se průběžně vyvíjí a zpřesňuje. Cílem projektu tvorby manuálu kvality je tedy vytvoření příručky či směrnice, jednoznačně popisující proceduru zjišťování vlastností materiálů, včetně stanovení mezních kritérií daných parametrů. Na základě takto popsaného zkoumání (struktury, mechanických zkoušek apod.) lze pak optimalizovat a nastavit výrobní proces pro daný dílec tak, aby bylo dosaženo jeho požadované kvality, případně sledovat stabilitu procesu.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Jak již bylo uvedeno v úvodu diplomové práce, zabývá se tato hodnocením mikrotvrdoti, avšak vzhledem k jejímu rozsahu pouze pro výstřiky vyráběné z polyoxymethylénu. Z tohoto důvodu je v teoretické části práce věnována pozornost především charakteristice, významu a vlastnostem tohoto polymerního materiálu. Charakterizována je rovněž metoda měření mikrotvrdoti polymerních materiálů dle Vickerse a ve stručnosti jsou uvedeny další možné metody pro hodnocení tvrdosti plastových, resp. polymerních součástí obecně. Vzhledem k tomu, že se při měření mechanických vlastností plastů, tedy i mikrotvrdoti, projevují jejich viskoelastické vlastnosti, je v teoretické části této práce věnována pozornost rovněž této problematice. Vlastnosti plastů však závisí na mnoha faktorech: chemickém složení, kopolymeraci, stereoregularitě polymerů, molekulární i nadmolekulární struktuře, použitých aditivech, konformaci řetězce makromolekul, podmínkách zatěžování, apod. Většina z uvedených faktorů je dána přípravou polymeru od výrobce. V průběhu zpracování však lze vlastnosti výrobků ovlivnit konstrukcí vtokové soustavy formy, ale také způsobem temperace vstřikovacích forem, tj. způsobem odvodu tepla z taveniny výstřiku, ovlivňující míru homogenity teplotního a napěťového pole výstřiku během procesu vstřikování, vlivem změny morfologie (nadmolekulární struktury) plastu.

2.1. Polyoxymetylén

2.1.1. Základní vlastnosti a charakteristika /1/, /2/

Polyoxymetylén nebo také polyformaldehyd či polyacetál se vyrábí polymerací formaldehydu. Na trh byl uveden v roce 1958 v USA. Pod označením polyacetály rozumíme homopolymery i kopolymery aldehydů. Zvláštní je jejich stavba makromolekul, viz obr. 2.1.. Zatímco ostatní polymery mají v makromolekule delší nebo kratší úseky na sebe vázaných atomů uhlíku, u polyacetálů se střídají pravidelně atomy uhlíku a kyslíku, přesněji methylenové skupiny s atomy kyslíku. Tato struktura řetězců způsobuje vysoký stupeň krystalinity (až k 80%) a vysokou houževnatost. I v nevystuženém stavu patří mezi plasty s největší tuhostí a pevností.

Tab. 2.1.: Přehled vlastností POM /1/

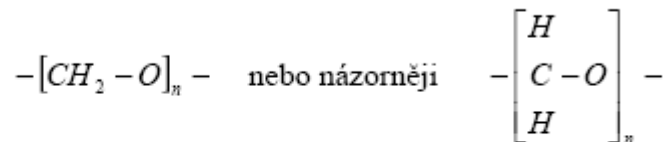
vlastnost	jednotka	homopolymer	kopolymer	kopolymer+20%GF
hustota	g/cm ³	1,42	1,41	1,59
modul pružnosti v tahu	MPa	2900-3500	2700-3200	8000-9000
modul pružnosti v ohybu	MPa	2600-2800		
mez kluzu	MPa	67-85	62-71	
deformace na mezi kluzu	%	8-12	8-10	
pevnost v tahu	MPa	67-69		125
vrubová houževnatost Charpy, 23°C	kJ/m ²	3,5	4-6,5	4
rázová houževnatost Izod, 23°C	kJ/m ²		80 až bez lomu	25-30
rázová houževnatost Izod, -30°C	kJ/m ²		70-160	30-35
vrubová houževnatost Izod, 23°C	kJ/m ²		4-7	5
vrubová houževnatost Izod, -30°C	kJ/m ²		4-7	5,5
tvrdost vtlačení kuličky			150-160	200-215
teplota tání krystalitů	°C	175	164-168	164-168
tvárová stálost za tepla ISO 75A	°C	127-136	110-125	165
teplota měknutí dle Vicata B	°C	173	160-163	171
nejvyšší dlouhodobá teplota použití	°C	100	100	120
koeficient teplotní roztažnosti	10 ⁻⁵ /K	12	12	1-3
permitivita 50 Hz		3,7	4	4,5
ztrátový činitel 50 Hz	10 ⁻⁴	50	50	50
vnitřní rezistivita	Ω.cm		10 ¹⁴	10 ¹⁴
povrchová rezistivita	Ω		10 ¹⁴	10 ¹⁴
index lomu	-	1,48		
smrštění	%	1,9-2,3		
nasákavost	%	0,9-1,4	0,65	0,9

Polyoxymetylén se vyznačuje následujícími přednostmi: vysokou houževnatostí až do nízkých teplot , až k -40°C, vysokou tvrdostí a tuhostí a tedy malou ohebností, vysokým modulem pružnosti, vysokou teplotní odolností, tvarovou stálostí za tepla a vysokou teplotou měknutí, dobrou odolností proti korozi za napětí, malou navlhavostí, mají dobrou odolnost proti působení různých činitel, snadnou zpracovatelnost (při zpracování je nutné

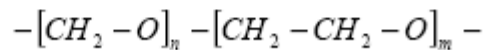
počítat s velkým smrštěním 1,5-2,5%), vyznačují se také dobrými kluznými vlastnostmi. Přehled vybraných vlastností POM je uveden v tab. 2.1..

Tento příznivý soubor vlastností předurčuje POM k využití jako konstrukčního materiálu pro výrobu dílů vysoké rozměrové a tvarové přesnosti.

Submolekulární struktura polyoxymethyleny (Delrin):



Příklad kopolymeru polyoxymethyleny (Iupital):



Obr. 2.1.: Struktura polyoxymetylénu /1/

2.1.2. Chemická odolnost POM /1/, /2/

POM je poměrně dobře odolný vůči působení chemikálií. Velmi důležitá je jeho odolnost vůči pohonným hmotám a methanolu, který se v pohonných hmotách vyskytuje, tato vlastnost ho předurčuje pro použití v dílech přicházejících do styku s pohonnými hmotami. Za teplot pod 50°C se POM bez rozkladu rozpouští jen v perfluorovaných alkoholech a ketonech, nad 150°C se rozpouští v benzylalkoholu a dimethylformamidu. Odolává slabým kyselinám a louhům (silným louhům odolávají jen kopolymery), benzenu, alkoholům, olejům, tukům, halogenovaným uhlovodíkům, vodě i detergentům. Jeho trvalé použití ve vodě je omezeno do teploty 65°C, neboť při vyšších teplotách vykazuje jistou náchylnost k hydrolyze. Je napadán a rozrušován silnými kyselinami a oxidačními činidly. Neboť v organických rozpouštědlech. Výtečná odolnost POM vůči téměř všem organickým rozpouštědlům je spojována s vysokým stupněm krystalinity polymeru (kopolymery s nižší krystalinitou jsou také poněkud více rozpustné).

2.1.3. Zpracování polyoxymethylénu

Hlavním způsobem zpracování polyoxymethylénu je vstřikování. Typy s vyšší střední molární hmotností, tedy typy s nižším indexem toku taveniny, se hodí pro vytlačování. Některé typy jsou i mírně zesíťované, ty lze zpracovat vyfukováním.

2.1.3.1. Vstřikování /1/, /2/, /3/, /4/ , /5/

Technologie vstřikování je v současné době nejrozšířenější a také nejvíce se vyvíjející a modernizující technologií pro zpracování polymerních materiálů. Vstřikováním polymerů se označuje takový zpracovatelský proces, při kterém se tavenina plastu vstříkuje vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem do uzavřené dutiny formy, která je temperovaná (chlazená) a kde plast tuhne ve finální výrobek.

Vzhledem k mírné navlhavosti materiálu se doporučuje jej před zpracováním předsušet při 85-110°C po dobu 2 hodin ve vakuové nebo horkovzdušné sušárně tak, aby bylo zabráněno nežádoucím změnám kvality výstřiku, tedy povrchové vadě stříbření (šlírovitosti), ale také změnám mechanických a jiných vlastností výstřiku.

Šlírovitost vlhkostí (viz obr. 2.2.) se na povrchu dílů objevuje jako otevřený profil ve tvaru U proti směru tečení. Výrobek vykazuje v oblasti stříbrné šlírovitosti většinou hrubý, porézní povrch. Fyzikální příčinou je vlhkost v granulátu, která vytváří v tavenině při zpracování materiálu vodní páry, přes rychlostní profil na čele toku jsou bubliny transportovány na povrch taveniny. Při jejich snaze vyrovnat tlak praskají a jsou postupujícím čelem toku



Obr. 2.2.: Výrobek se šlírovitostí /4/

ochlazený na stěně nástroje. Příčinou této povrchové vady není pouze nedostatečné předsušení materiálu, ale také zkondenzovaná voda na stěnách nástroje, netěsnosti temperačního systému, případné špatné uskladnění materiálu.

Teplota taveniny při vstřikování POM závisí především na indexu toku materiálu. Pohybuje se od 180°C do 230°C. Při vyšších teplotách se POM snadno tepelně štěpí. Toto štěpení je kromě zápachu formaldehydu provázeno vznikem lunek, žloutnutím plastu vlivem tepelné degradace a síťováním. Teplota formy by se měla pohybovat od 50°C do 100°C, vhodnější jsou, vzhledem k požadovanému stupni krystalinity, teploty vyšší. U dlouhých tokových drah vtokového systému formy je možné teplotu formy zvýšit až na 140°C.

Lunkr (viz obr. 2.3.) je stejně jako šlíovitost vada výrobku. Oproti ní je to vada vnitřní, která tedy není na výrobku pozorovatelná bez jeho destrukce. Lunkr neboli staženina se projevuje jako vakuová oblast vzniklá omezeným smrštěním hmoty při tuhnutí převážně v místech nahromadění materiálu u konstrukčních vazeb T a +.



Obr 2.3.: Ukázka lunkru na výrobku /3/

Lunkry se ve výrobcích z POM vyskytují poměrně často, protože polyoxymetylén má vysokou hodnotu smrštění. To je závislé na zpracovatelských teplotách, na teplotě formy a také na tloušťce stěny dílu. Celkové smrštění výrobků z polyoxymethylénu se skládá z výrobního smrštění a z dodatečného smrštění. Na výrobní smrštění má vliv teplota formy (viz tab. 2.2.), vstřikovací tlak, dotlak a tloušťka stěny. Dodatečné smrštění je ovlivněno tloušťkou stěny, teplotou formy (čili rychlostí ochlazování) a teplotou okolí. Vyšší teplota okolí a tloušťka stěny má za následek nižší velikost dodatečného smrštění. Významné je i dodatečné temperování na vzduchu či v olejové lázni při teplotách 150-160°C z důvodu snížení smrštění a dosažení požadovaného stupně krystalinity dokrystalizací.

Tab. 2.2...: Hodnoty smrštění POM v závislosti na teplotě formy /1/

teplota formy [°C]	smrštění [%]
60	1,3-2,0
80	1,4-2,3
100	1,8-2,4
120	1,9-2,5

Jak již bylo uvedeno, lze v průběhu procesu vstřikování, resp. jeho technologickými parametry, ovlivnit výsledné vlastnosti výrobků změnou nadmolekulární struktury materiálu. POM je semikrystalický plast a pro ně je charakteristickou veličinou stupeň krystalinity, udávající podíl krystalické fáze v celkovém objemu plastu. U POM dosahuje stupeň krystalinity až 80%, to znamená, že 80% plastu je tvořeno krystalitami a zbylých 20% je amorfních.

Při zpracování plastů vstřikováním vzniká na povrchu výrobku vrstva o tloušťce několik desítek mikrometrů, ve které nejsou vlivem rychlého ochlazení výrobku na stěně formy vyvinuty krystality (viz obr. 2.4.). Tuto oblast považujeme za amorfní. Ve skutečnosti se jedná o krystalickou oblast v níž se v důsledku rychlého ochlazení ještě nestačily krystality vytvořit.



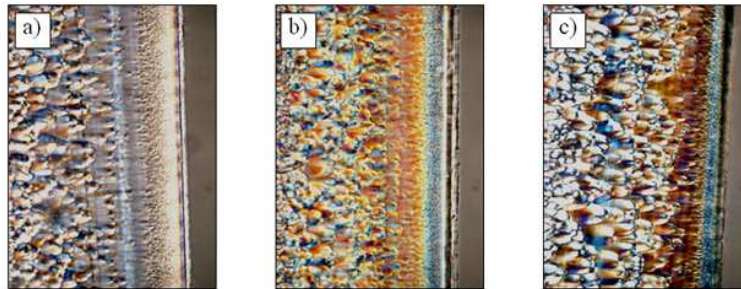
Nadmolekulární struktura semikrystalického plastu

Obr. 2.4.: Rozdíly ve struktuře povrchové a přechodové oblasti vstřiku /5/

S hloubkou pod povrchem výrobku následuje dále různě mocná (stovky mikrometrů) přechodová vrstva, ve které již lze pozorovat výskyt krystalitů, materiál ještě ale není homogenní a vyskytuje se zde větší podíl amorfní fáze, než ve středu vzorku, kde již jsou krystality vzniklé rovnoměrně.

S ohledem na podíl amorfní fáze se lze domnívat, že oblasti blízké povrchu výrobku mají odlišné vlastnosti, než oblast ve středu výrobku, tedy že na povrchu výrobku je materiál houževnatější. Při měření mikrotvrdosti v síle stěny je rovněž očekáván rozdíl mezi hodnotami naměřenými u povrchu a ve středu vzorku. Jaké rozdíly lze očekávat ukáže srovnání vlastností amorfních a semikrystalických plastů.

Na tloušťku amorfnní povrchové vrstvy a navazující přechodové vrstvy má velký vliv teplota formy při vstřikování. Čím je teplota formy menší, tím mocnější jsou tyto vrstvy (viz obr. 2.5.). Lze tedy očekávat výraznou změnu mikrotvrdosti mezi výrobky vyráběnými s různými teplotami formy.



Charakteristické rozdíly ve struktuře semikrystalického výstřiku (PE) na jeho povrchu a v jádře, v závislosti na teplotě temperace (chlazení)

a) $T_m = 20\text{ }^\circ\text{C}$, b) $T_m = 40\text{ }^\circ\text{C}$, c) $T_m = 80\text{ }^\circ\text{C}$

Obr. 2.5.: Rozdíly ve struktuře povrchových vrstev materiálů zpracovaných za různých teplot chlazení /5/

2.1.3.2. Další metody zpracování /1/

K dalším metodám zpracování polyoxymethylénu patří vytlačování. Tím se vyrábějí převážně polotovary, hlavně desky, tyče, trubky a profily. Teploty pro vytlačování jsou nižší než pro vstřikování, mezi 180-190°C, záleží také na druhu POM.

Z následných technologických postupů je pro výrobky, resp. polotovary z POM rozšířené obrábění. K tomu lze využít běžných obráběcích strojů.

Polyoxymetylén lze také potiskovat po předchozí úpravě povrchu, podobně jako polyolefiny. K povrchové úpravě lze použít speciálních laků. Galvanické pokovení je možné u některých speciálních typů POM.

Spojování jednotlivých dílů lze uskutečnit pomocí svařování topným elementem, ultrazvukem nebo vibračně. Kromě svařování je jedním z nejpoužívanějších způsobů spojování lepení, doporučují se rozpouštědlová lepidla. Pokud se lepí neupravené plochy, lze vysoké soudržnosti dosáhnout tavnými lepidly na bázi vinylických kopolymerů, kyanoakrylátových lepidel, epoxidových pryskyřic i lepidel na bázi polyuretanů.

2.1.4. Aplikace polyoxymetylénu v technické praxi /1/, /6/, /7/

Polyoxymetylén nalézá největší použití ve výrobě dopravních prostředků (35%), elektronice (25%), ve výrobcích pro domácnost a volný čas (20%) a ve strojírenských aplikacích (15%).



Obr. 2.6.: Příklad použití POM v palivovém modulu /6/

V dopravních prostředcích nalezneme POM v posilovačích brzd, jako díly spon upevňovacích pásů, dílů přicházejících do styku s pohonnými hmotami (viz obr. 2.6.), na mřížkách reproduktorů apod.

Polyoxymetylénu se používá jako součástí myček nádobí. V kancelářských strojích slouží pro výrobu pohonných systémů, klávesnic, kopírovacích strojů. V domácnosti slouží v elektrických spotřebičích.

V elektronice jej nalezneme v reproduktorech, radiopřehrávačích, budících, videorekordérech, a dalších výrobcích.

Používá se i jako drobné nábytkové díly či v sanitární technice – součásti vanových a sprchových baterií, v lékařství – ventily přístrojů pro narkózu, v přístrojích pro zubní lékařství a také v elektrických zubních kartáčcích. Ve sportovním vybavení se nachází v lyžařském vázání.



Obr. 2.7.: Použití POM v ozubených kolech /7/

Pro své dobré kluzné vlastnosti se používá pro výrobu ozubených kol (viz obr. 2.7.), šroubů nebo kluzných pouzder.

2.2. Viskoelastické chování plastů /8/, /9/

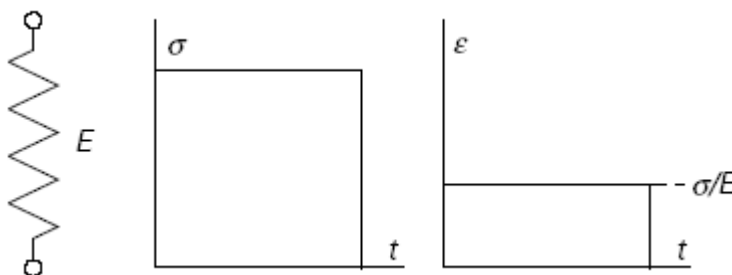
Při hodnocení mechanických vlastností, ale nejen zde, lze u polymerních materiálů pozorovat jejich výraznou časovou závislost na zatěžování, příp. rychlosti deformace. U kovů obdobnou závislost nenajdeme. Polymery totiž díky své složité struktuře vykazují viskoelastické

vlastnosti, tzn. že jsou stlačitelné. Kromě elastické a plastické deformace vykazují ještě zpožděně elastickou deformaci.

Elastickou deformaci lze popsat ideálně pružným tělesem (viz obr. 2.8.), pružinou, jehož deformace je při jednoosém tahovém namáhání charakterizována Hookeovým zákonem. Začne-li na toto těleso působit vnější napětí, ihned vznikne deformace, jejíž velikost je dle Hookeova zákona (2.1.) úměrná velikosti napětí a s časem se nemění. Po odstranění působení napětí se těleso okamžitě vrátí do stavu před deformací.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.1.)$$

kde σ [MPa] je normálové napětí
 E [MPa] je modul pružnosti
 ε [-] je poměrné prodloužení



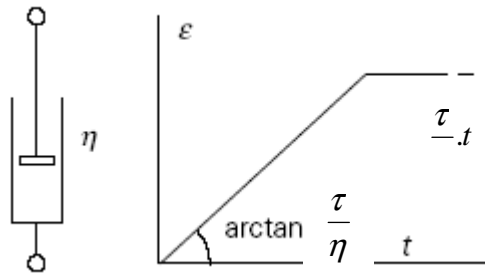
Obr. 2.8.: Model ideálně pružného tělesa /8/

Plastickou deformaci lze popsat ideálně plastickým tělesem (viz obr. 2.9.), netěsným pístem. Vztah mezi smykovým napětím a deformací je možné vyjádřit Newtonovým zákonem (2.2.). Pokud je toto těleso zatěžováno napětím, bude se jeho deformace rovnoměrně zvětšovat po celou dobu působení napětí. Deformace, které je dosaženo při odstranění napětí, je zachována do doby, než bude na těleso opět působit napětí.

$$\tau = \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.2.)$$

kde τ [MPa] je smykové napětí
 η [Pa.s] je dynamická viskozita

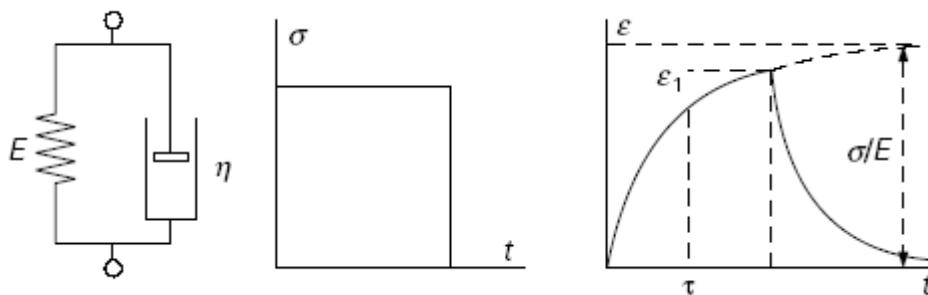
$\frac{d\gamma}{dt}$ [s^{-1}] je rychlost smykové deformace



Obr. 2.9.: Model ideálně plastického tělesa /8/

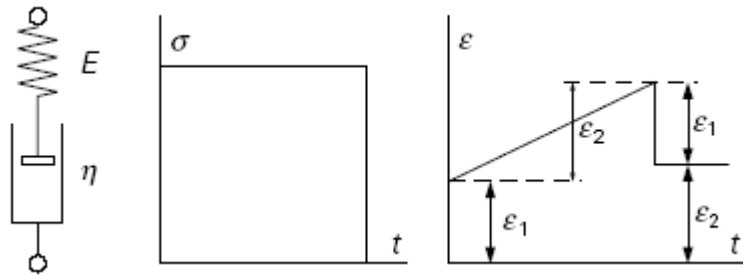
Deformaci závislou na čase lze popsat třemi modely, které se skládají ze dvou výše uvedených ideálních těles – pružného a plastického, pružiny a netěsného pístu.

Nejjednodušším modelem je model Kelvinův (viz obr. 2.10.), kde jsou pružina a píst řazeny paralelně. Při působení napětí roste deformace a po jeho odstranění opět klesá.



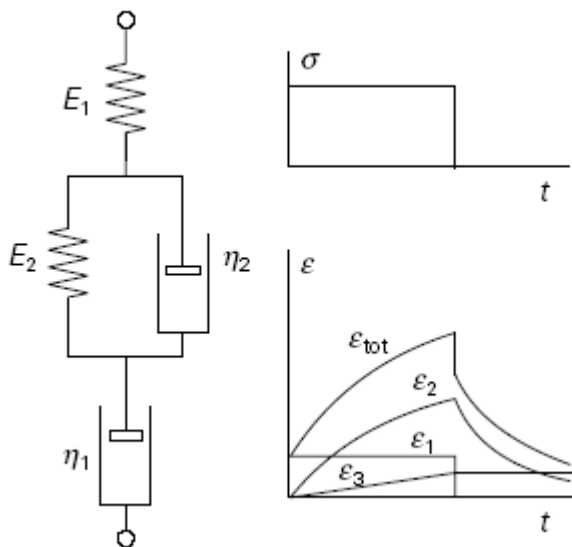
Obr. 2.10.:Kelvinův model /8/

Dalším modelem je Maxwellův model (viz obr. 2.11.), kde jsou pružina a píst řazeny sériově. Při působení napětí okamžitě vzniká na pružině elastická deformace (na obr. 2.11. odpovídá deformaci ϵ_1) a na pístu roste deformace s časem. Po zrušení napětí ihned klesá deformace o elastickou složku a plastická deformace na pístu (na obr. 2.11. odpovídá ϵ_2) je zachována.



Obr. 2.11.: Maxwellův model /8/

Složitějším modelem, kterým již lze lépe popsat deformační chování polymerních materiálů je model Tucketův (viz obr. 2.12.). Ten je složen ze sériového zapojení Maxwellova a Kelvinova modelu. Chování při působení napětí popisuje obr. 2.12., na kterém je ϵ_{tot} celková deformace modelu složená z elastické deformace ϵ_1 , plastické deformace ϵ_3 a zpožděně elastické ϵ_2 . Nejpřesněji by popsal deformační chování polymerů Tucketův model s větším množstvím Kelvinových modelů řazených sériově.



Obr. 2.12.: Tucketův model /8/

Uvedený pokles napětí v deformovaném tělese je nazýván relaxace napětí. Při ní se elastická deformace s časem zmenšuje a plastická naopak roste. Tím dochází k uvolňování napětí. Relaxace napětí se velmi projevuje při měření mechanických vlastností polymerů. Pokud bude mechanická zkouška probíhat rychleji, než může probíhat relaxace napětí, bývají naměřené hodnoty znatelně vyšší, než hodnoty naměřené při nižších

rychlostech deformace. Rychleji zatěžované materiály se jeví jako tvrdší a křehčí.

2.3. Mikrotvrdomost Vickers /10/, /11/, /12/

2.3.1. Měření mikrotvrdomosti dle Vickerse

Mikrotvrdomost charakterizuje místní odpor materiálu proti vniku tvrdšího tělesa - indentoru.

Měření mikrotvrdomosti se stává stále populárnějším mezi metodami zkoušení polymerů. Jeho výhodami nejsou jen rychlost a snadnost měření, ale také nedestruktivnost - nedeformuje se tvar výrobku, což je jinak obvykle nemožné pro charakterizování mechanických vlastností výrobků se složitým tvarem. Měření mikrotvrdomosti může sloužit jako náhrada v těch případech, kdy nemohou být mechanické vlastnosti měřeny jinými konvenčními metodami.

Měření mikrotvrdomosti se skládá z vtlačení tělesa definovaného tvaru definovanou silou do kusu měřeného materiálu. Tvrdomost není skutečná materiálová hodnota určená přesnou definicí, jako např. modul pružnosti nebo mez pevnosti. Velikost tvrdosti je výsledek definování měřící procedury. Mezi metodami měření mikrotvrdomosti je nejpoužívanější metoda Vickers pro charakterizování polymerů.

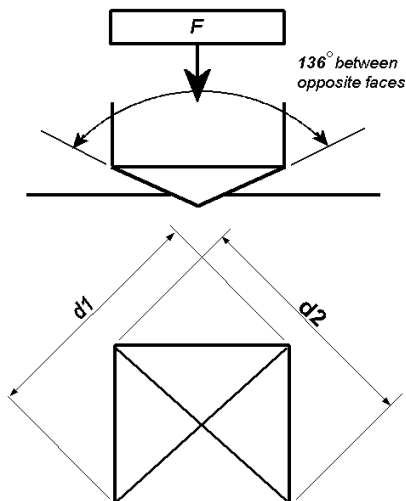
Metoda měření mikrotvrdomosti dle Vickerse se skládá z vnikání diamantového indentoru do testovaného materiálu. Indentor má tvar pravidelného jehlanu se čtvercovou základnou s vrcholovým úhlem 136° (viz obr. 2.13.), výška jehlanu je okolo $100\ \mu\text{m}$. Hloubka vpichu je asi $1/7$ délky jeho úhlopříček. Zatížení je aplikováno v dané výši po danou dobu, nejčastěji mezi 6-30 s. Hrot tlačení zatížením F (podle měřící stanice od 10g do 1000g, tj. 0,1-10N), způsobuje plastickou deformaci ve tvaru jehlanu na zkoušené ploše. Fyzikálně významným parametrem charakterizující proces je zaznamenaný tlak na ploše vpichu stanovený dle (2.3.). Velikost tlaku je nazývána Vickersovou mikrotvrdomostí a je označována MH_v . Velikost vpichu je měřena mikroskopicky, určování velikostí úhlopříček vpichu – d_1 a d_2 po uvolnění indentoru. Hodnota mikrotvrdomosti je pak určena dle vztahu (2.4.).

$$p=F/A \quad (2.3.)$$

kde p [MPa] je tlak na ploše vpichu
 F [N] je působící zatížení
 A [mm²] je celková plocha vpichu

$$MHv=1,854F/d^2 \quad (2.4.)$$

kde MHv [MPa] je Vickersova mikrotvrdot
 F [N] je aplikované zatížení
 d [mm] je průměr délek úhlopříček
konstanta 1,854 přepočítává průměr délek
úhlopříček na plochu



Obr. 2.13.: Geometrie Vickersova indentoru /10/

Mikrotvrdot dle Vickerse je spojena s trvalou deformací materiálu. Vpich do materiálu může být vytvořen, jen je-li materiál plastický. Oproti kovům doplňuje u plastů plně vratnou okamžitou elastickou deformaci ještě viskoelastická deformace (viz kapitola 2.2.) a výrazně časově závislá plastická deformace, když je aplikované zatížení nad mezí kluzu materiálu. Ve srovnání s kovy mohou tyto efekty výrazně ovlivnit měření mikrotvrdoti v závislosti na aplikovaném zatížení. Pro minimalizaci vlivu těchto efektů je mikrotvrdot určena sklonem závislosti působícího zatížení na kvadrátu průměru úhlopříček. Protože je zatížení měřeno v newtonech a velikost

úhlopříček v metrech, je jednotkou mikrotvrdomosti pascal. Měřením diagonál v milimetrech dostaneme mikrotvrdomost v megapascalch.

Zvláště v oblasti kovů je velikost mikrotvrdomosti dle Vickerse často používaná. Zatížení bývá měřeno v kilogramech a specifická hodnota reprezentující napětí je udávána v kg/mm², je označována HV. V příručkách nacházíme, že např. „Vickersova tvrdost může být udávána např. 800HV/10, což označuje Vickersovu tvrdost 800, které bylo dosaženo použitím zatížení 10kg.“ V literatuře o plastech je pro mikrotvrdomost použita jednotka MPa, často po korekci viskoelastických efektů. Zde je možné nalézt rozpor s normou ČSN EN ISO 4516. V normě je hodnota mikrotvrdomosti určena součinem F/d^2 a koeficientu 0,189 a je určena nepojmenovaným číslem, které vyjadřuje zatížení přepočtené na plochu vtisku a odpovídající jednotky jsou kp/mm². Jedná se tedy o tlak a v mezinárodní literatuře o plastech se užívá mezinárodně platné jednotky, tedy Pascal pro tlak. Při výpočtu hodnot mikrotvrdomosti pro polymerní materiály se tedy používá hodnota směrnice závislosti zatížení na kvadrátu průměru délek úhlopříček (to eliminuje vliv viskoelastických vlastností plastů) násobená koeficientem 1,854, který přepočítává plochu pláště vtisku z naměřené délky úhlopříček. Přepočet takto získaných hodnot na hodnoty dle normy lze provést jejich vynásobením koeficientem 0,102, který odpovídá převrácené hodnotě gravitačního zrychlení.

2.3.2. Mikrotvrdomost polymerů ve srovnání s mezí kluzu

Důležitým bodem je možnost porovnat mikrotvrdomost s jinými mechanickými vlastnostmi. Taborův vztah (2.5.) srovnává mikrotvrdomost s mezí kluzu σ_y jednotlivých materiálů.

$$MHv \sim 3 \sigma_y \quad (2.5.)$$

kde MHv [MPa] je Vickersova mikrotvrdomost

σ_y [MPa] je mez kluzu

Vztah je aplikovatelný pro ideálně plastický materiál, který se neprojevuje elastickými deformacemi. Přesto může platit s dostatečnou přesností i pro polymery, zejména po provedení korekce měření na elastické

efekty. Hodnota $MHv/\sigma_y=3$ byla nalezena pro PE a to pro vzorky s rozdílnou molekulovou hmotností. Detailnější měření provedené na PE vzorcích později ukázalo hodnotu 3 pro tahové napětí na mezi kluzu a hodnotu 2 pro tlakové napětí na mezi kluzu. Bližší výzkum dat ukázal nepatrné odchylky od těchto hodnot, které byly připsány rozdílům v morfologii vzorků závislým na jejich historii.

Hlavní výhoda Vickersovy mikrotvrdomosti je založena na malých rozměrech měřidel, které umožňují sběr dat mechanických vlastností z malých oblastí. Proto mohou být objeveny lišící se hodnoty mechanických vlastností v různých místech heterogenního vzorku. Možnost srovnání s nadmolekulární strukturou polymerů je pak zřejmá.

2.4. Další metody měření tvrdosti /13/, /14/, /15/, /16/

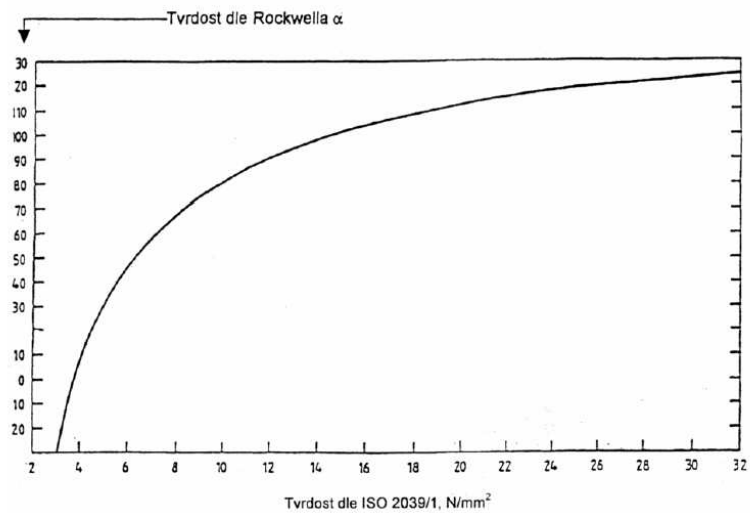
Pro měření tvrdosti je užíváno mnoho druhů zkoušek. U měření polymerních materiálů se používají hlavně metoda vtlačení kuličky, tvrdost dle Rockwella a stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore). Tvrdost se od mikrotvrdomosti liší velikostí použitého zatížení. Používali se zatížení menší než 10N, jde o měření mikrotvrdomosti, při použití většího zatížení o měření tvrdosti. Důvod pro používání většího množství metod můžeme nalézt v nákladnosti jednotlivých zařízení, pracnosti metody nebo ve zkušenosti toho kterého institutu s jimi používanou metodou.

Metoda vtlačení kuličky (dříve označovaná jako metoda Brinell) se řídí normou ČSN EN ISO 2039. Tvrdost se určuje jako podíl zatížení v newtonech a plochy povrchu vtisku v milimetrech čtverečných. Výsledná jednotka je tedy N/mm^2 , ale často je tvrdost uváděna bez jednotky, aby nedocházelo k její záměně s jinými vlastnostmi jako s pevností materiálu. Při měření je užívána jako indenter kalená leštěná ocelová kulička průměru 5mm. Při měření je nejprve na indenter aplikováno předběžné zatížení o velikosti 9,8N, hloubkoměr je vynulován a dále je aplikováno zkušební zatížení o jedné z hodnot 49N, 132N, 358N, 961N tak, aby hloubka vpichu po 30-ti sekundách ležela v rozmezí 0,15mm - 0,35mm. Protože je hodnota

tvrdosti polymerů závislá na době zatěžování, je hloubka vpichu měřena po 30-ti sekundách. Hloubka vpichu se po uvedené době odečítá pod zkušebním zatížením, měří se tak trvalá i zpožděně elastická deformace. Jsou-li vyžadovány výsledky s větší přesností, je nutné provést korekci hloubky vpichu na deformaci rámu přístroje.

Metoda Shore se řídí normou ČSN EN ISO 868. Indentorem je tyčinka s kuželovitou plochou. Metoda je rozdělena na Shore A pro měkčí materiály a Shore D pro materiály tvrdší. Liší se geometrií použitého indentoru a velikostí zatížení. Měřena je hloubka vpichu, přičemž zátěžná síla je vyvozena pružinou a hloubka vpichu je přenášena na ukazatel přes pružinu. Právě na velikosti zátěžné síly dané pružinou a v rovnoběžnosti dosedacích patek tvrdoměru s povrchem materiálu závisí přesnost výsledků naměřených touto metodou. Bývají udávány dva druhy hodnot tvrdosti Shore v závislosti na čase, jedna udává okamžitou tvrdost a je určována po 1 sekundě zatěžování. Druhá hodnota je udávána po 15 sekundách.

Rockwellova metoda se řídí normou ČSN EN ISO 2039-2. Obdobně jako u metody vtlačení kuličky je indentorem kalená leštěná ocelová kulička, tentokrát s jedním z průměrů 6,35mm nebo 12,7mm. Na vzorek upevněný na základní desce je aplikováno předběžné zatížení ve výši 98N, po 10s je zavedeno přídatné zatížení o velikosti 588,4N nebo 980,7N, po 15s se přídatné zatížení odstraní a po dalších 15-ti sekundách je odečtena na stupnici hodnota tvrdosti dle Rockwella. Na rozdíl od metody vtlačení kuličky se tedy hloubka vpichu neměří pod plným zatížením, ale po odlehčení. Při měření metodou Rockwell se používají tři stupnice, R, L a M, lišící se použitým přídatným zatížením a použitým průměrem kuličky. Používána je také metoda Rockwell- α , která obdobně jako metoda vtlačení kuličky měří hloubku pod plným zatížením. Tuto tvrdost lze, na rozdíl od tvrdosti Rockwell, přepočítat na tvrdost vtlačení kuličky pomocí Fettova vztahu (2.6.) nebo dle grafu na obr. 2.14..



Obr. 2.14.: Přepoččet tvrdosti vtlačéním kuličky na tvrdost dle Rockwella α /16/

$$R_{\alpha} = 150 - \left(\frac{448,6}{H^{0,813}} \right) \quad (2.6.)$$

kde R_{α} [-] je tvrdost dle Rockwella α

H [N/mm²] je tvrdost vtlačéním kuličky

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST /12/, /17/, /18/

Experimentální část diplomové práce se zabývá měřením mikrotvrdoti na polymerních vzorcích z polyoxymethylénu odebraných ze vstřikovaných těles pro tahovou zkoušku a z hrnce palivového modulu (reálného, tvarově složitého výrobku) vyráběného taktéž vstřikováním a to v závislosti na podmínkách vstřikování, místa odběru z výstřiku a jejich expozice v motorové naftě. Na základě zjištěných výsledků je v závěru práce provedeno zhodnocení vhodnosti aplikace metody mikrotvrdoti k posuzování kvality vstřikovaných dílů, jako součásti manuálu kvality.

3.1. Výroba a úprava vzorků

Vzorky byly odebrány z těles vyrobených vstřikováním za dvou výrazně odlišných podmínek. Nejprve byly odebrány zkušební vzorky z těles vyrobených za standardních technologických parametrů používaných při výrobě ve společnosti Robert Bosch, parametrů při nichž je dosahována požadovaná kvalita výstřiků (dále označeny jako podmínky A) a z těles vyrobených při snížené teplotě taveniny a teplotě formy (ostatní technologické parametry zůstaly zachovány), tedy podmínek, při nichž není dosaženo požadované kvality výstřiků (dále označeny jako podmínky F). Na takto připravených vzorcích je pak následně hodnocena vhodnost použití metody mikrotvrdoti k posouzení kvality plastových součástí. Hodnoty teplot taveniny a formy (pevné a pohyblivé části) jsou pro jednotlivé výstřiky a použitý materiál uvedeny v tab. 3.1.. V tab. 3.2. jsou uvedeny doplňující technologické parametry pro výstřiky těles tahové zkoušky.

Způsob odběru vzorků z vyrobených těles je popsán v kap. 3.1.1 a kap. 3.1.2.. Každá skupina z těchto vzorků odebraných z těles vyrobených za různých technologických parametrů byla rozdělena na dvě části. Jedna část vzorků byla ponechána bez zatížení motorovým palivem a druhá část (vzhledem k určení palivového modulu) byla zatížena motorovou naftou po dobu 96 hodin při teplotě 120°C (podle podnikové normy). Vzhledem k předchozím studiím prováděným ve společnosti Robert Bosch bylo zjištěno, že zatížení benzínem nemá takový vliv na užité vlastnosti výstřiku,

jako zatížení motorovou naftou. Z tohoto důvodu a vzhledem k rozsahu diplomové práce bylo od možnosti zatížit vzorky benzínem upuštěno.

Tab. 3.1.: Přehled technologických podmínek

těleso	materiál	technolog. podmínky	teplota taveniny [°C]	teplota pevné části formy [°C]	teplota pohyblivé části formy [°C]
hrnec palivového modulu	Hostaform C13 021	A	210	70	60
		F	190	50	40
	Delrin DE 10015	A	210	70	60
		F	190	50	40
těleso pro tahovou zkoušku	Hostaform C13 021	A	205	85	85
		F	170	30	30
	Iupital FA20-03	A	205	85	85
		F	170	30	30
	Delrin DE 10015	A	205	85	85
		F	170	30	30
	Ultraform S2320 003	A	205	85	85
		F	170	30	30

Před měřením mikrotvrdosti byly všechny měřené vzorky (pro vhodné upnutí do přípravku mikrotvrdoměru) zality měkkčenou pryskyřicí Technovid 4004, při jejíž aplikaci nedochází k tepelnému ovlivnění vzorku, které by mělo za následek ovlivnění struktury materiálu a tím také výsledných vlastností plastu.

Tab. 3.2.: Doplnující technologické parametry pro vstříky těles k tahové zkoušce

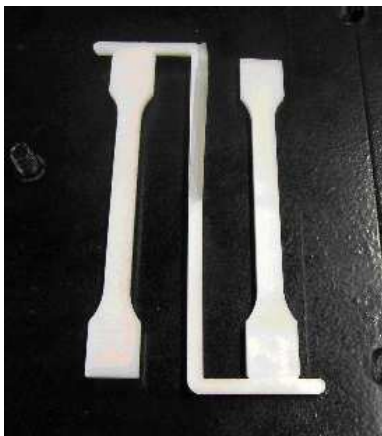
veličina	jednotka	velikost
dávka	cm ²	33
otáčky šneku	m/min	15
protitlak	bar	80
vstřikovací rychlost	mm/s	10
vstřikovací tlak nastavený	bar	1000
vstřikovací tlak měřený v cyklu	bar	930
čas vstřikování	s	3,2
přepnutí na dotlak od objemu	cm ²	6,5
velikost dotlaku	bar	800
doba dotlaku	s	15
doba chlazení	s	20
hmotnost vstříku	g	32,1

Měření mikrotvrdomosti je velmi závislé na kvalitě povrchu zkoumaných vzorků. Proto byly tyto pro zajištění dostatečně hladkého povrchu vzorku po zalití pryskyřicí následně upraveny seříznutím povrchové vrstvy na řezačce mikrotomových řezů.

3.1.1. Odběr vzorků z těles pro tahovou zkoušku

Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku (viz obr. 3.1.) byla vyrobena ze čtyř druhů POM používaných k výrobě palivových modulů ve společnosti Robert Bosch – Delrin DE 10015 (fy. DuPont), Hostaform C13 021 (fy. Ticona), Lupital FA20-03 (fy. Mitsubishi) a Ultraform S2320 003 (fy. BASF). Vybrané fyzikální, mechanické a tepelné vlastnosti těchto materiálů jsou uvedeny v tab. 3.3.. Uvedená zkušební tělesa byla vyrobena na vstřikovacím stroji Arburg ARB370C (viz obr. 3.2.) a dvojnásobné dvoudeskové vstřikovací formě s jednou dělicí rovinou a štěrbinovým ústím vtoku zajišťujícím rovnoměrné plnění tvarové dutiny formy. Vstřikovací forma byla opatřena temperačním systémem pro cirkulující teplotnosné médium (vodu) uvnitř temperačních kanálů.

Vzorky o rozměrech 10x4x10 pro hodnocení mikrotvrdomosti byly odebrány ze středních částí zkušebních těles tahové zkoušky odříznutím listovou pilou. Takto odebrané vzorky před zalitím do pryskyřice byly označeny tak, aby i po následujících krocích přípravy vzorků pro měření mikrotvrdomosti bylo možné určit, která z povrchových vrstev tělesa, resp. vzorku, byla ve styku s tvárnicí nebo tvárníkem vstřikovací formy.



Obr. 3.1.: Tahová tělesa



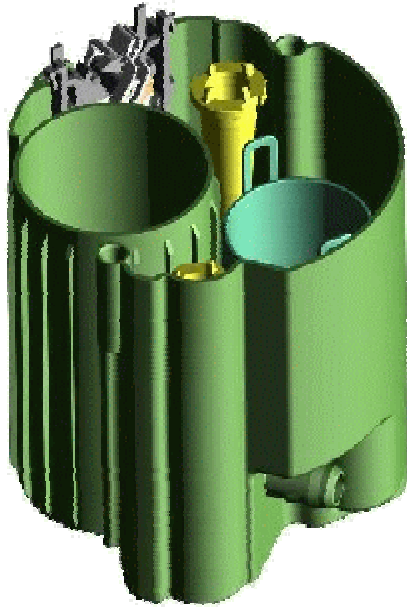
Obr. 3.2.: Vstřikovací lis Arburg ARB370C

Tab. 3.3. Tabulka fyzikálních, mechanických a tepelných vlastností zkoumaných druhů POM

Vlastnosti	Jednotka	Materiál			
		Hostaform	Iupital	Ultraform	Delrin
Fyzikální vlastnosti					
Hustota	g/cm ³	1,38-1,43	1,39-1,43	1,38-1,42	1,4-1,44
Index toku taveniny	cm ³ /10min	10,8-13,2	6-9	9-13	10 -14
Mechanické vlastnosti					
Mez pevnosti v tahu	MPa	min. 60	min. 57	min. 59	min. 54
Poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu	%	min. 7	min. 7	min. 6,5	min. 7
Modul pružnosti v tahu	MPa	min. 2500	min. 2200	min. 2300	min. 2200
Rázová houževnatost Charpy při 23°C	kJ/m ²	min. 80	min. 110	min. 95	min. 120
Vrubová houževnatost Charpy při 23°C	kJ/m ²	min. 3,5	min. 5	min. 4	min. 6
Tepelná vlastnost					
Teplota tání	°C	164-172	164-172	164-172	166-174

3.1.2. Odběr vzorků z hrnce palivového modulu

Hrniec palivového modulu (viz obr. 3.3.) byl vyroben ze dvou druhů POM - Delrinu DE 10015 (fy. DuPont) a Hostaformu C13 021 (fy. Ticona) na vstřikovacím stroji Engel ES750/175 HL (viz obr. 3.4.) a jednonásobné vstřikovací formě (viz obr. 3.5.) s horkým ústím vtoku a temperačním systémem využívající k temperaci formy průtoky teplotního média (vody).



Vzorky pro měření mikrotvrdosti byly z hrnce odebírány ze tří míst, které se mohou vyznačovat jinými podmínkami tečení taveniny ve formě a jinými podmínkami chlazení, tedy kde byl předpoklad rozdílných vlastností v místech výstřiku. Jednalo se o místa s vazbou T (dále jen místo odběru T), s rádiusem (dále jen místo odběru R) a přímou stěnou (dále jen místo odběru S). Jednotlivá místa odběru jsou znázorněna na obr. 3.6. až obr. 3.8..

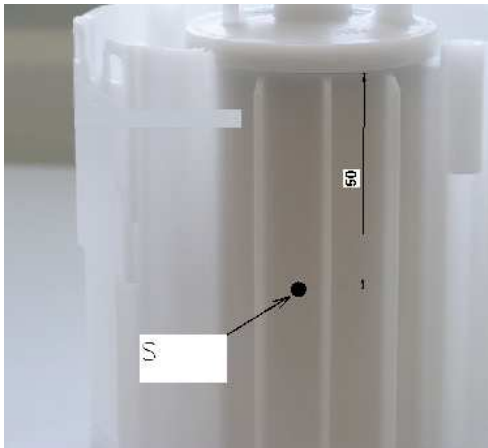
Obr 3.3.: Těleso palivového modulu



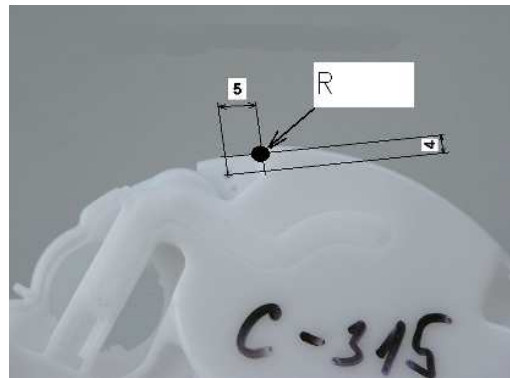
Obr. 3.4.: Vstřikovací stroj Engel ES750/175 HL.



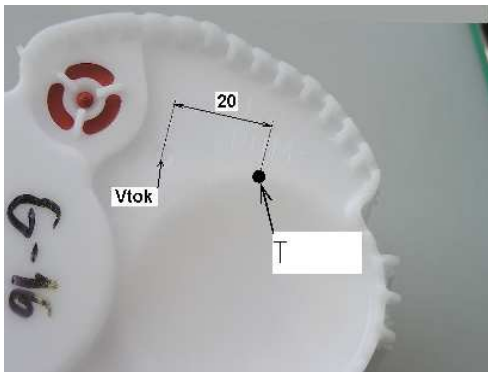
Obr. 3.5.: Otevřená vstřikovací forma s tělesem palivového modulu



Obr. 3.6.: Místo odběru vzorku přímé stěny S



Obr. 3.7.: Místo odběru vzorku z rádiusu R



Obr. 3.8.: Místo odběru vzorku vazby T

Vzorky byly z hrnce odebírány speciálním nástrojem – dutým vrtákem s vnitřním průměrem 4mm (viz obr. 3.9.). Jedná se o nový způsob vytváření vzorků vyvinutý společností Robert Bosch České Budějovice s.r.o. ve spolupráci s a.s. ČZ Strakonice, jehož předností je možnost odběru vzorků přesných rozměrů ze stanoveného místa zkušebního tělesa pomocí souřadnicového obráběcího stroje, aniž by došlo k destrukci celého tělesa. Geometrie vrtáku a řezné podmínky byly v rámci jeho vývoje optimalizovány tak, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění vzorku, které je v případě polymerních materiálů, při hodnocení jejich vlastností, nežádoucí. V průběhu experimentálního měření této práce docházelo při odběru vzorku (vrtáním) z vazby T k posunu tělesa, což mělo za následek nestejnou tvaru odebraného vzorku. Pro optimální odběr vzorků bude nutné při dalším vývoji tohoto nástroje vyřešit upnutí tělesa tak, aby nedocházelo k jeho posunu při vrtání. V současné době jsou v společnosti Robert Bosch používány vrtáky třech různých vnitřních průměrů, kdy každý je vhodný pro jinou metodu zkoušení (viz tab. 3.4.).

Tab. 3.4.: Duté vrtáky – použité řezné podmínky

Vnitřní průměr	1,5 mm	2 mm	4 mm
Přísuv	0,5	0,5	0,3
Otáčky [1/min]	500	480	450
Vhodnost pro metodu	DSC,TGA		mikrotvrdost



Obr 3.9.: Duté vrtáky průměrů 1,5mm, 2mm a 4mm

3.1.3. Označení vzorků

Pro přehlednost vyhodnocení výsledků mikrotvrdosti bylo zavedeno čtyřmístné písmenné označení připravených vzorků, které respektuje vzorky odebrané z těles pro tahovou zkoušku (označení T), z hrnce palivového modulu (označení H nebo D, dle materiálu), materiál vzorku (D, H, I, U), podmínky výroby (A, F), místa odběru (T, R, S) a zatížení motorovou naftou (D, n).

➤ **označení vzorků z těles pro tahovou zkoušku**

- první písmeno je vždy T (jako těleso pro tahovou zkoušku)
- druhé písmeno označuje materiál a je tvořeno začátečním písmenem názvu materiálu (např. H ... Hostaform)
- třetí písmeno označuje vstřikovací podmínky, viz tab. 3.1.
- čtvrté písmeno označuje zatížení palivem – D ... vzorek zatížen motorovou naftou po 96h při 120°C , n ... vzorek nezatížen palivem

➤ **označení vzorků z těles palivového modulu**

- první písmeno označuje materiál a je tvořeno začátečním písmenem názvu materiálu (např. D ...Delrin)

- druhé písmeno označuje vstřikovací podmínky, viz tab. 3.1.
- třetí písmeno označuje místo odběru vzorku z tělesa palivového modulu
 - R ... vzorek rádiusu R
 - T ... vzorek vazby T
 - S ... vzorek z přímé stěny
- čtvrté písmeno označuje zatížení palivem – D ... vzorek zatížen motorovou naftou po 96h při 120°C , n ... vzorek nezatížen palivem

Pro názornost jsou zde uvedeny 2 příklady označení:

- HFRD ... označuje vzorek z tělesa palivového modulu z materiálu Hostaform, vyrobený za podmínek vstřikování F, odebraný z tělesa z místa R a zatížený motorovou naftou
- THAn ... označuje vzorek z tělesa pro tahovou zkoušku z materiálu Hostaform, vyrobený za podmínek vstřikování A, nezatížený palivem.

3.2. Hodnocení mikrotvrdomosti

K hodnocení mikrotvrdomosti výše připravených vzorků byla použita metoda měření mikrotvrdomosti podle Vickerse pro kovové a jiné anorganické povlaky podle ČSN EN ISO 4516. Tato metoda je normována výhradně pro kovové materiály. Na základě poznatků zjištěných v rámci spolupráce Katedry materiálu TU v Liberci a Ústavu makromolekulární chemie AV ČR ji lze však výhodně aplikovat i pro polymerní materiály. Je však nutné přihlídnout k viskoelastickým vlastnostem polymerům, pro které je nutné použít tuto metodu v upravené podobě, která byla blíže popsána v kap. 2.3.



Obr. 3.10.: Měřicí pracoviště s mikrometrem Buehler

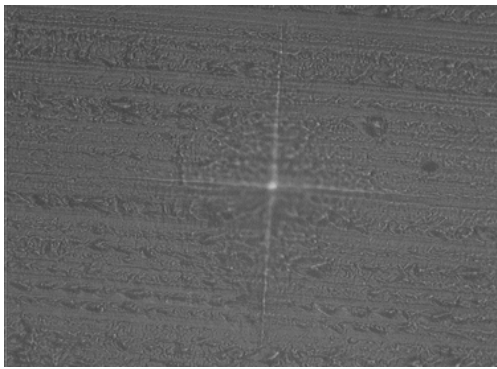
K měření mikrotvrdomosti byl použit mikrotvrdoměr Mikromet 2101 fy. Buehler, který byl propojen s PC se systémem kvantitativní analýzy obrazu LUCIA G (viz obr. 3.10.)

3.2.1. Postup měření

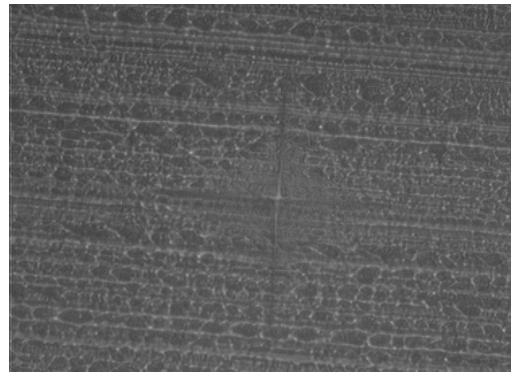
Při měření mikrotvrdoměru je důležitá výborná kvalita povrchu zkoumaného vzorku. Jak již bylo uvedeno, vzorky byly zality speciální hmotou Technovid 4004 a následně seříznuty na řezačce mikrotomových řezů. Tato úprava poskytuje kvalitní povrch vzorku bez nutnosti další úpravy, např. leštění. Vzorky byly před měřením kondicionovány ve standardním prostředí 23/50 dle ČSN EN ISO 291.

Měřený vzorek byl upnut do čelistí mikrotvrdoměru tak, aby byl jeho povrch kolmý k ose vnikacího tělesa, a aby nedošlo k posunutí vzorku během měření. Na mikrotvrdoměru byly k dispozici dva objektivy s různými zvětšeními – 10x a 40x. Polyoxymetylen je tvrdý semikrystalický plast s vysokým stupněm krystalinity a z prvních zkušebních vpichů bylo patrné, že pro měření bude používán objektiv s zvětšením 40x, při němž bylo dosaženo optimální velikosti vpichu zobrazeného na obrazovce monitoru.

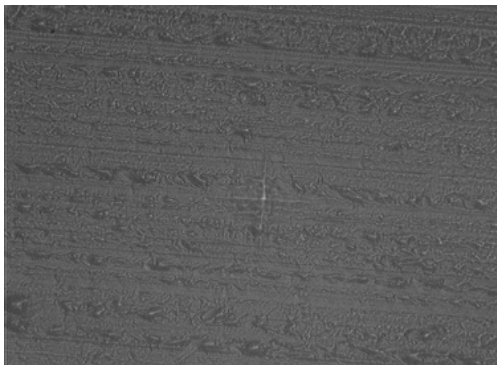
Jak bylo uvedeno v kap. 2.3, je vhodné pro polymery použít 3 různá zatížení pro získání hodnoty mikrotvrdoměru daného vzorku, v tomto případě 100g, 50g a 10g. Těmito zatíženími umožňoval měřit systém mikrotvrdoměru Mikromet 2101 a softwaru Lucia G. Experimentální měření byla vedeno tak, aby bylo rovněž možné sledovat změnu mikrotvrdoměru v závislosti na hloubce vpichů pod povrchem v síle stěny vzorku. S ohledem na velikosti vpichů (až 110 μ m při zatížení 100g, viz obr. 3.11., vpichy zatíženími 50g a 10g jsou uvedeny na obrázcích 3.12. a 3.13.) byly vybrány tři oblasti pro měření v síle stěny. První oblastí byla přechodová vrstva u povrchu, která byla při vstřikování ve formě na straně tvárníku (tato oblast je dále označena jako povrch 1). Druhou oblastí byl střed stěny vzorku (dále označeno jako střed) a třetí oblastí byla přechodová vrstva u povrchu na straně tvárnice (oblast dále označena jako povrch 2). Vpichy v oblastech povrchu 1 a povrchu 2 byly prováděny ca. 200 μ m pod povrchem vzorku. Umístění vpichů pod povrchem je zřejmé z obrázku 3.14..Tloušťka povrchové vrstvy, jak bylo zjištěno pomocí světelného mikroskopu pozorováním mikrotomových řezů v polarizovaném světle, je dle materiálu do 30 μ m, viz obr. 3.15. Vzdálenost 200 μ m od povrchu vzorků byla zvolena tak, aby ani při největším zatížení vnikajícího tělesa nezasáhl vpich povrchovou vrstvou, lišící se ve struktuře od oblastí pod touto vrstvou.



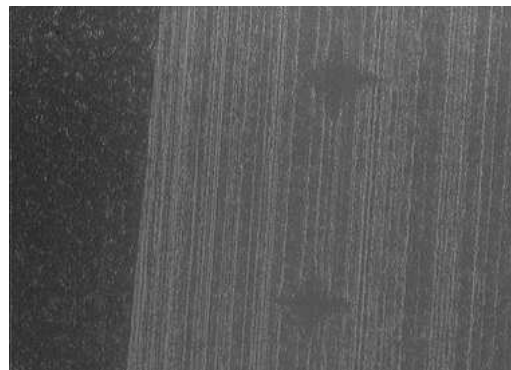
Obr. 3.11.: Vtisk zatížením 100g



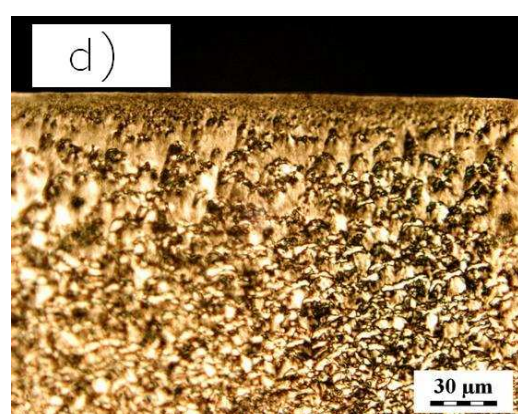
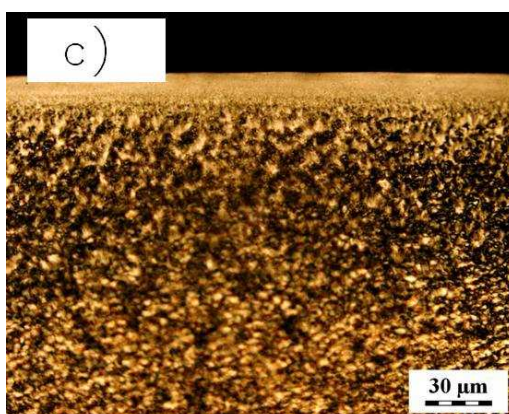
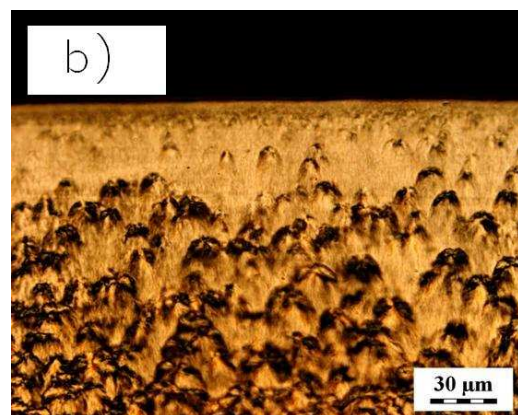
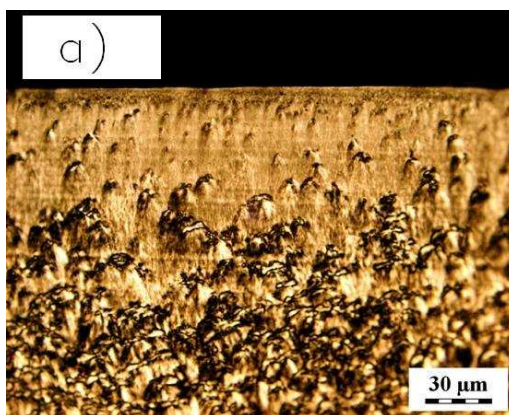
Obr. 3.12.: Vtisk zatížením 50g



Obr. 3.13.: Vtisk zatížením 10g



Obr. 3.14.: Umístění vpichů pod povrchem vzorku



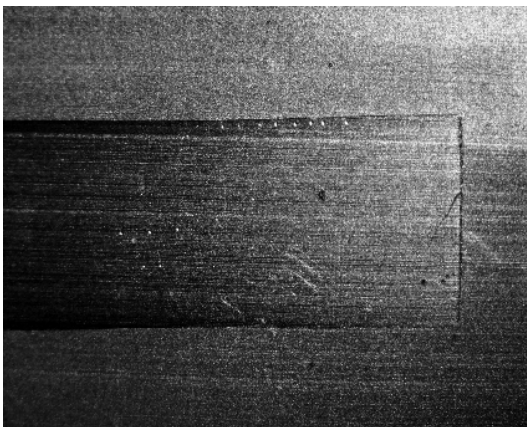
Obr. 3.15.: Mikrotomy povrchové vrstvy jednotlivých materiálů /18/

a) Delrin, b) Hostaform, c) Lupital, d) Ultraform

Před každou sérií vpichů bylo nutné v systému LUCIA nastavit příslušné parametry měření, t.j. velikost objektivu, velikost a dobu zatížení, která byla v tomto případě nastavena trvale na 12 s. Při měření byl zaostřen vzorek a vybráno vhodné místo pro vytvoření vpichu. Když bylo takovéto místo nalezeno, byl na revolverové hlavě mikrotvrdoměru vyměněn objektiv za hrot a do provozu uvedeno automatické zařízení vytvářející vpich. Po ukončení vnikacího procesu byl zpět vyměněn hrot za objektiv a vzniklý vpich (kosočtverec) zobrazen na monitoru, na němž bylo třeba co nejpřesněji označit vrcholy. Protože byl povrch vzorků dostatečně kvalitní, bylo možné najít vrcholy snadno pomocí malého rozostřování obrazu. Z označených vrcholů vpichu byly systémem LUCIA vypočteny velikosti obou úhlopříček, které byly uloženy do paměti. V následujícím měření bylo vybráno další vhodné místo pro vpich tak, aby byl tento umístěn alespoň o pětinasobek délky úhlopříčky od předcházejícího a nedošlo ke vpichu do oblasti ovlivněné předcházejícím vpichem. Uvedený postup byl opakován 5x pro každé zatížení.

Na jednom vzorku byly tedy provedeny vpichy s třemi různými zatíženími, vždy pětkrát pro dané zatížení a to ve třech oblastech vzorku, tedy celkem 45 vpichů. Získány tak byly 3 hodnoty mikrotvrdomosti, ve středu vzorku a u jeho povrchů, v závislosti na technologických podmínkách výroby, místa odběru z výstřiku a expozice v motorové naftě.

Výsledkem měření pro jeden vzorek byl soubor devíti tabulek hodnot délek úhlopříček a jejich průměrných hodnot, které byly použity pro další vyhodnocení.



Obr. 3.16: Vzorek TIAN s patrnými vpichy u povrchu a na středu

Na vzorcích z těles pro tahovou zkoušku probíhalo měření dle výše uvedeného postupu, příklad měřeného vzorku je uveden na obr. 3.16..

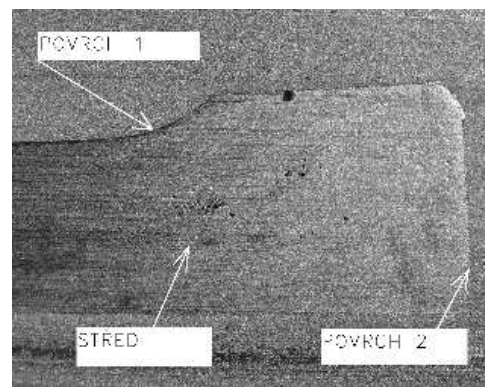
Měření mikrotvrdosti u vzorků z hrnce palivového modulu se v některých případech odlišovalo od uvedeného postupu. Bylo to dáno malými vzorky, kde nebylo možné vzhledem k jejich velikosti udělat vpichy všemi třemi zatíženími. Byla tedy použita zatížení jen 100g a 50g. Na výsledné hodnoty mikrotvrdosti by tato úprava neměla mít vliv, protože vtisk vytvořený zatížením 10g je vzhledem k jeho velikosti nejhůř měřitelný a je u něj největší pravděpodobnost subjektivní chyby měření.

Ve vzorcích vazby T se v oblasti středu vzorku vyskytoval lunkr (viz obr. 3.17.), proto bylo měření v této oblasti provedeno 300 μm od okraje lunkru po jeho obvodu (označováno dále jako oblast střed). Na vzorcích bylo dále měřeno také v oblasti zaoblení (dále označeno jako povrch 1) a v oblasti přímé stěny na vrcholu vazby T (označeno jako povrch 2). Při odběru vzorků vazby T odvrtáváním (viz kap. 3.1.2.) se projevily již zmiňované obtíže s upnutím hrnce palivového modulu a nebyla tak odříznuta celá vazba T, ale pouze jen její část (viz obr. 3.18.). Na měření mikrotvrdosti však toto nemělo vliv.

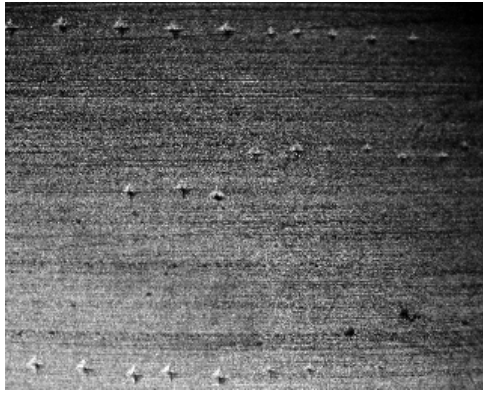
U vzorků vazby S byla měření prováděna taktéž ve středu vzorku a u obou jeho povrchů (ve vzdálenosti 200 μm od povrchu), tak jak je znázorněno na obr. 3.19.. Vzorky vazby R byly měřeny ve středu a v oblastech u povrchu obou poloměrů, přičemž větší (vnější) poloměr byl označen jako povrch 1 a vnitřní poloměr jako povrch 2 (viz obr. 3.20.).



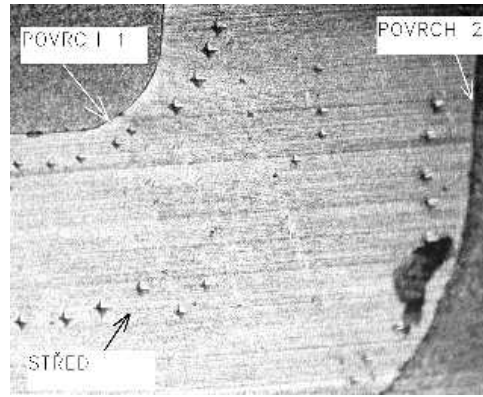
Obr. 3.17.: Mikrotom vazby T s lunkrem



Obr. 3.18.: Vzorek vazby T s patrnými vpichy



Obr. 3.19.: Vzorek vazby S s vpichy



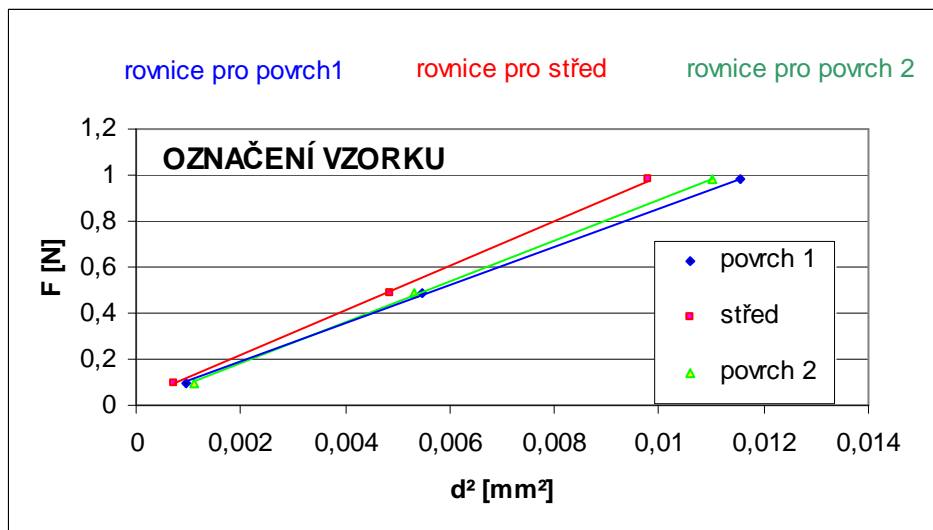
Obr. 3.20.: Vzorek vazby R s vpichy

Výsledky měření délek úhlopříček vpichů, včetně jejich průměrných hodnot pro každé zatížení, místo vpichu a druh vzorku jsou uvedeny v příloze diplomové práce P1.

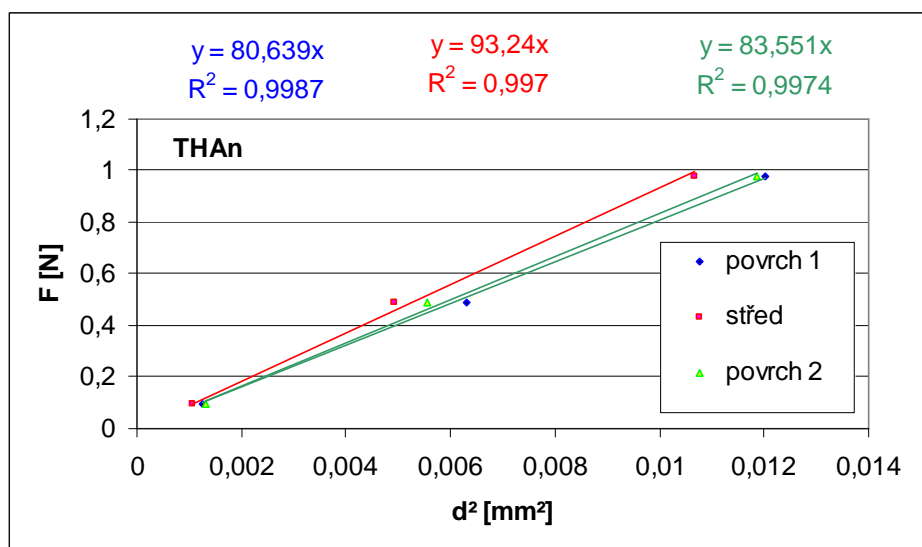
3.2.2. Postup vyhodnocení naměřených veličin

Ze získaných průměrů délek obou úhlopříček byla pro každé zatížení vypočtena průměrná hodnota délky úhlopříčky vpichu z 5-ti měření. Pro získání hodnoty mikrotvrdomosti v dané oblasti vzorku byly určeny tyto průměry pro všechna tři zatížení a následně sestrojena grafická závislost zatížení (F) na kvadrátu průměrných hodnot délek úhlopříček (d^2). Tato závislost byla proložena lineární regresí tak, aby regrese procházela počátkem souřadného systému a ze směrnice přímky (F/d^2) byla dle vztahu (2.4.) vypočtena hodnota mikrotvrdomosti.

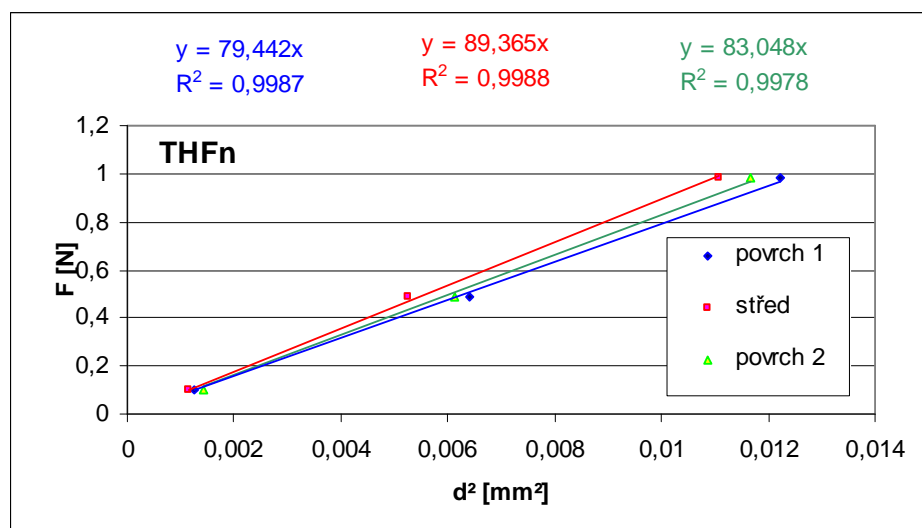
Pro větší přehlednost byly všechny tabulky a grafy upraveny tak, aby byly v každé tabulce a grafu zaneseny hodnoty příslušné jednomu vzorku. Takto byly získány tři hodnoty mikrotvrdomosti na vzorek v závislosti na hloubce měření pod povrchem. Všechny naměřené výsledky včetně grafů a výsledných hodnot mikrotvrdomostí jsou vzhledem k rozsahu diplomové práce a pro její přehlednost uvedeny v příloze P1. Na obr. 3.22. až 3.61. jsou uvedeny grafické závislosti $F=f(d^2)$, z nichž se vychází při určování mikrotvrdomosti. V každém obrázku je uvedeno označení vzorku podle oddílu 3.1.3.. Jsou zde také uvedeny rovnice lineárních regresí, včetně hodnoty spolehlivosti R^2 . Obr. 3.21. je příkladem, na němž jsou ukázána označení, použitá pro větší přehlednost v obr. 3.22. až 3.61..



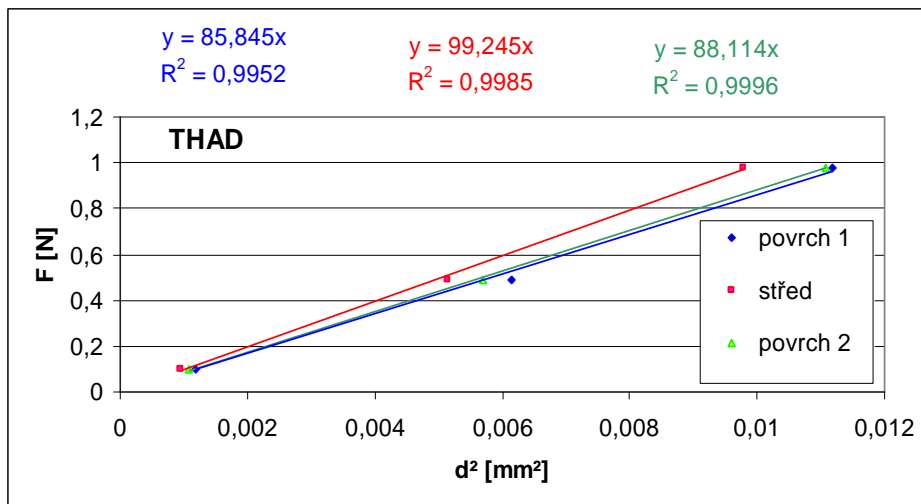
Obr. 3.21.: Příklad grafické závislosti pro určení mikrotvrdosti s použitým označením



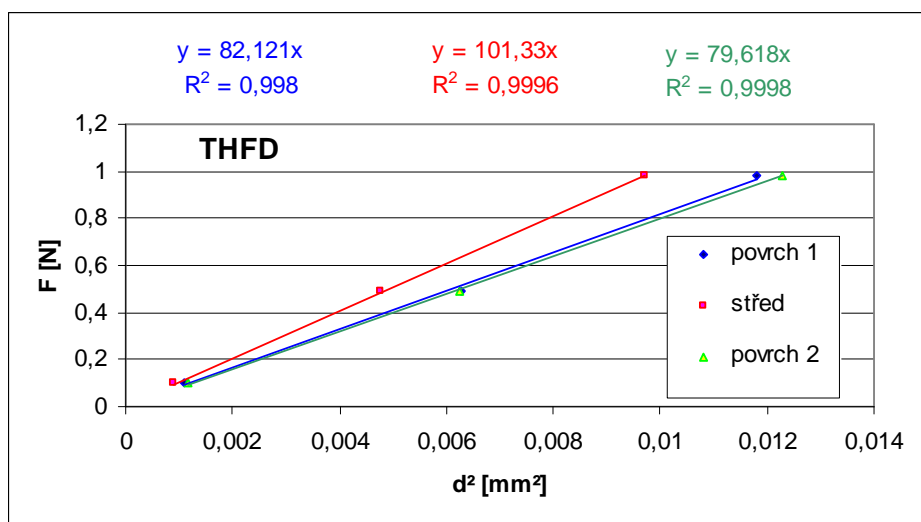
Obr. 3.22. : Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku THAn



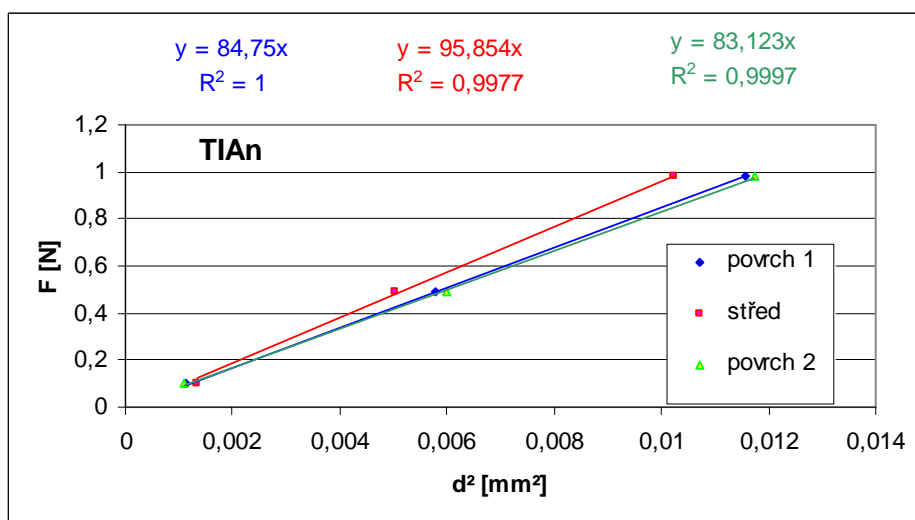
Obr. 3.23. : Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku THFn



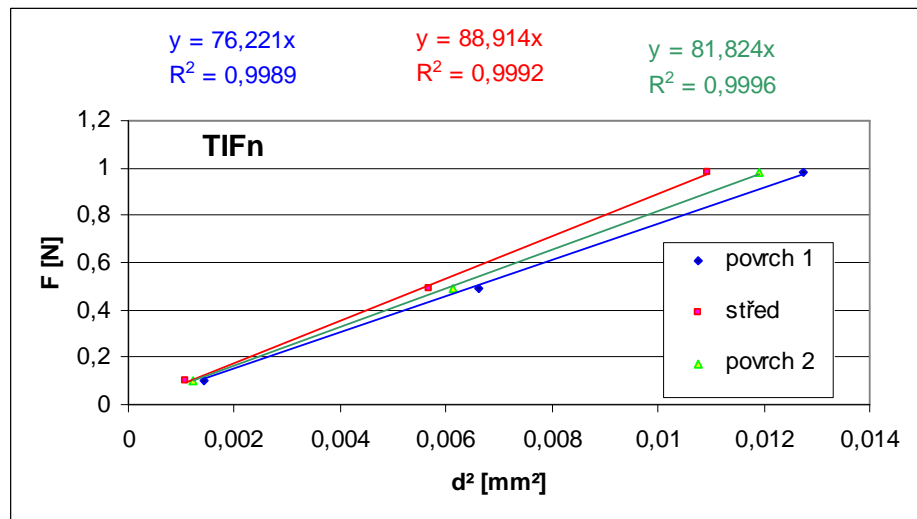
Obr. 3.24.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku THAD



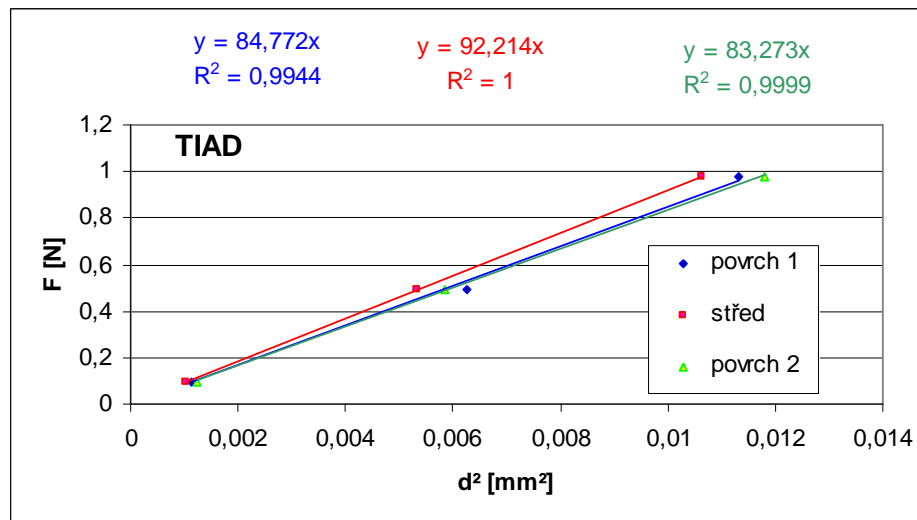
Obr. 3.25.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku THFD



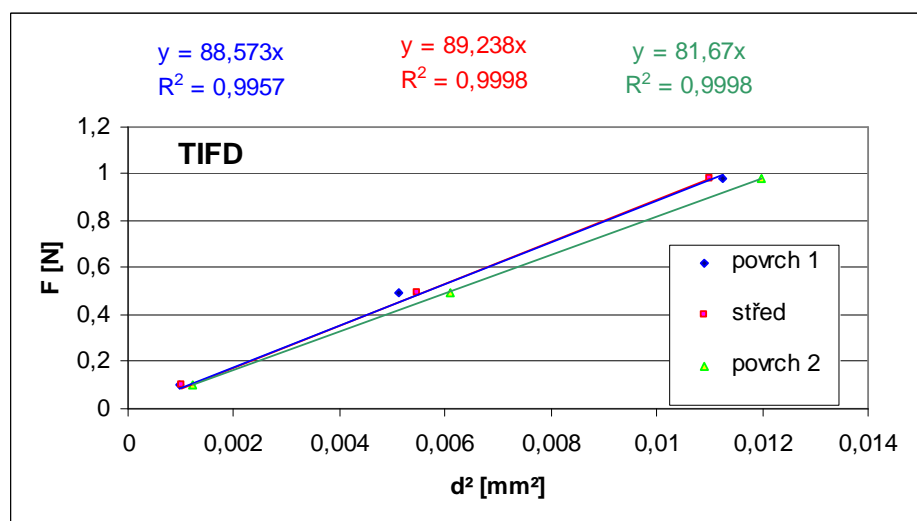
Obr. 3.26: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TIAN



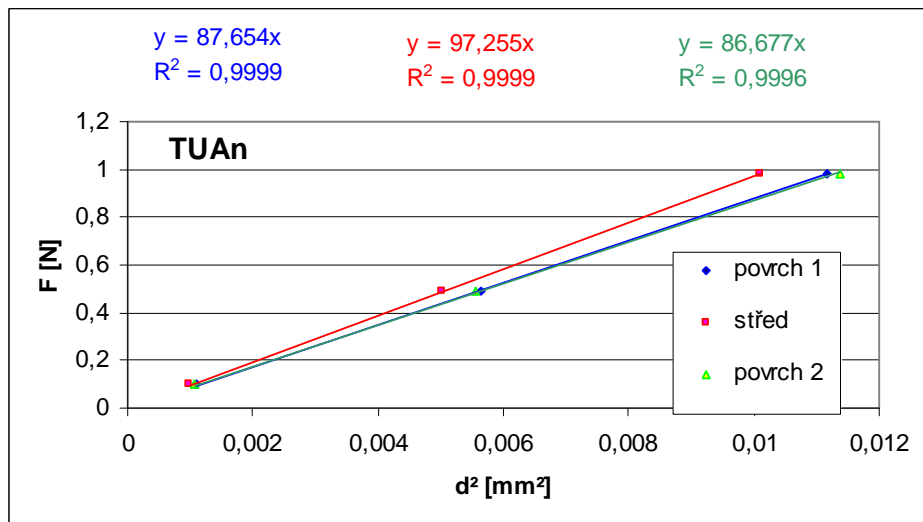
Obr. 3.27: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TIFn



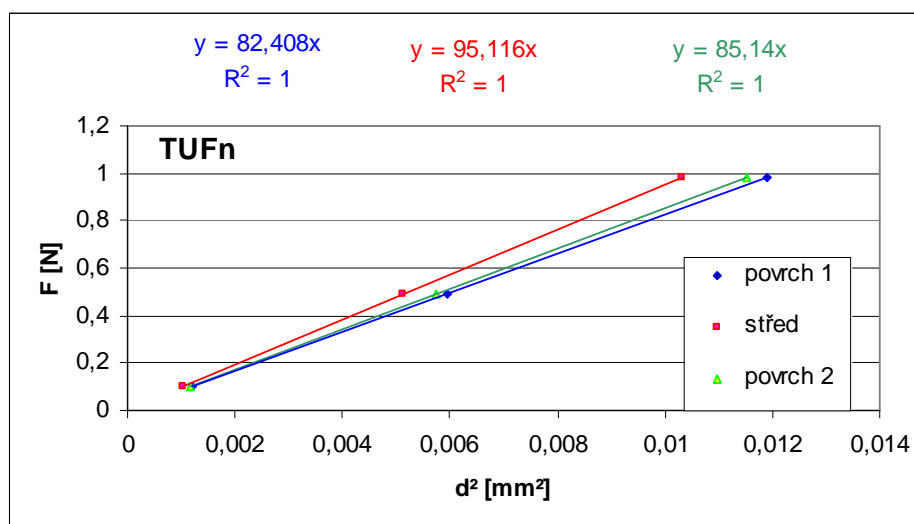
Obr. 3.28: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TIAD



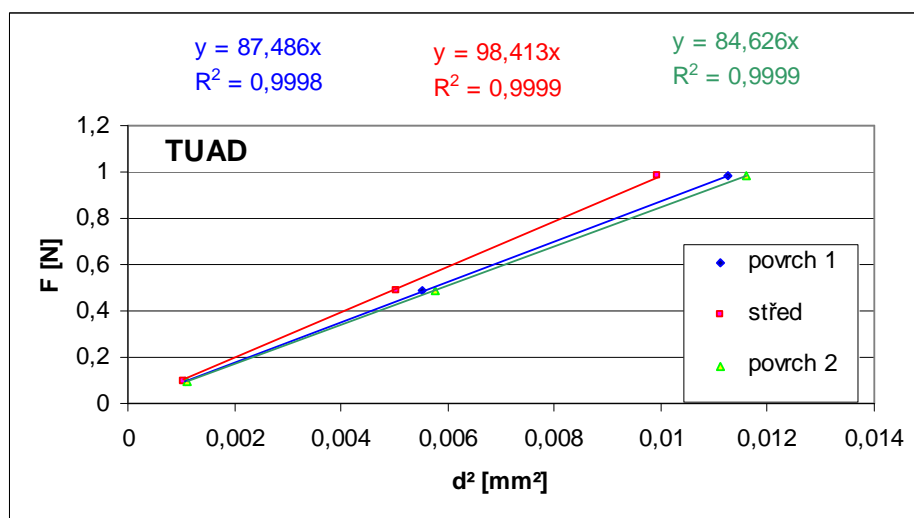
Obr. 3.29: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TIFD



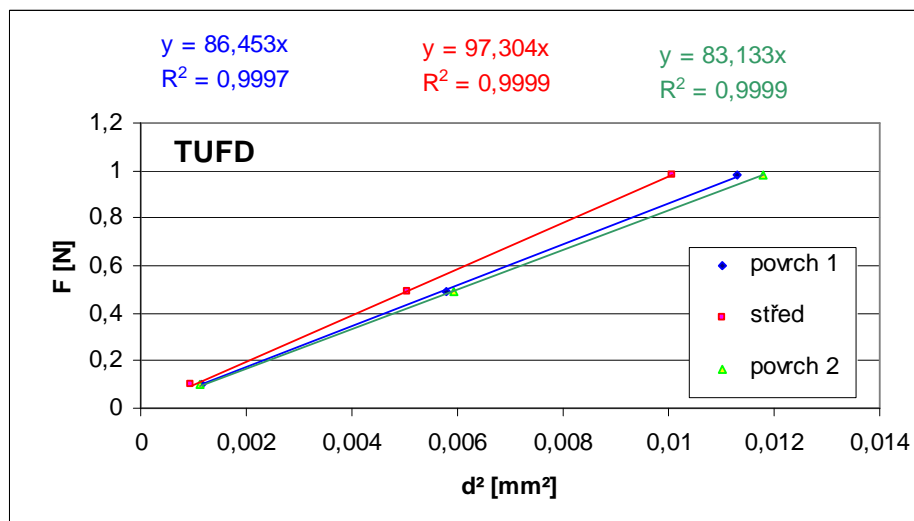
Obr. 3.30.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUAn



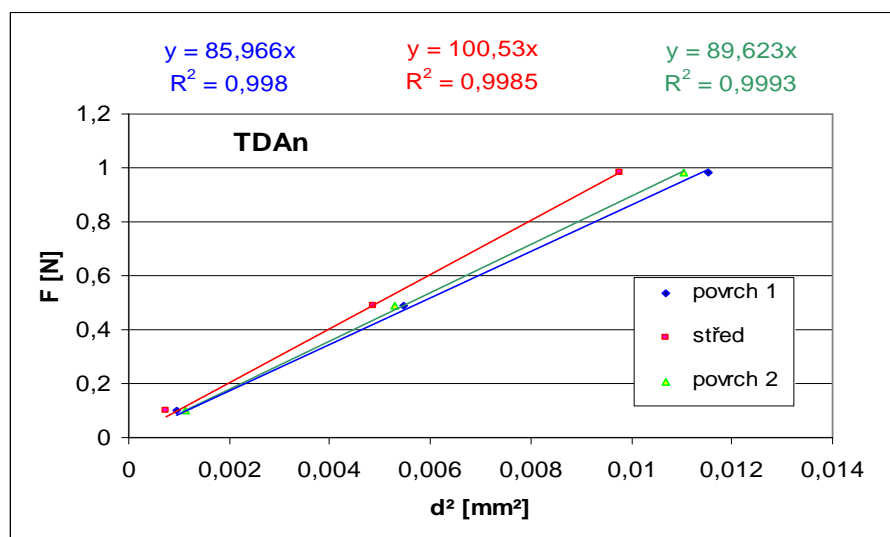
Obr. 3.31.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUFn



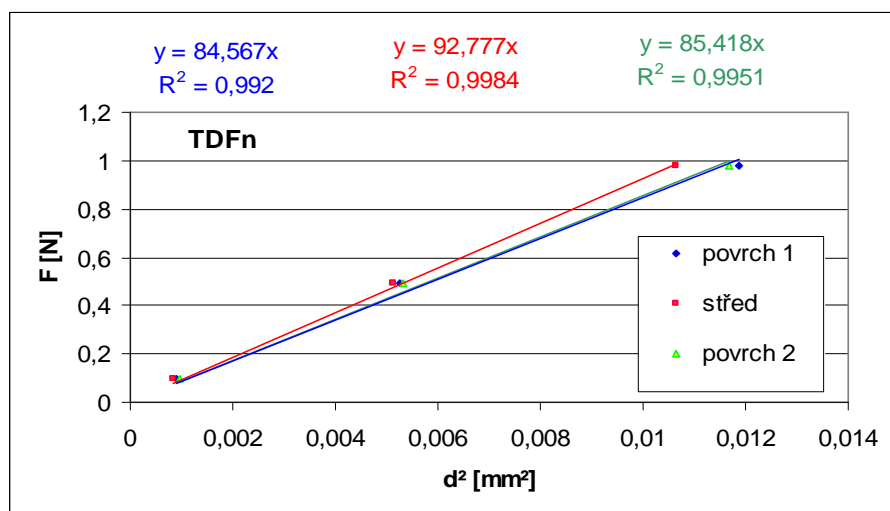
Obr. 3.32.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUAD



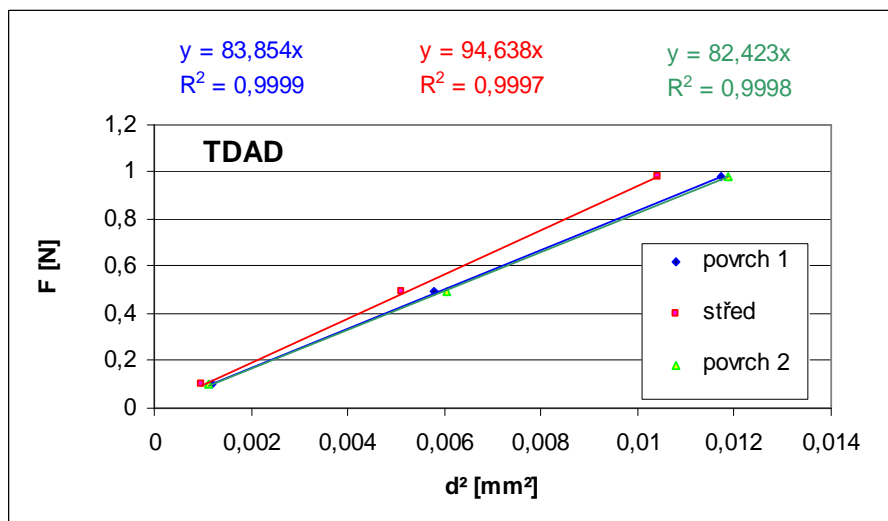
Obr. 3.33.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUFd



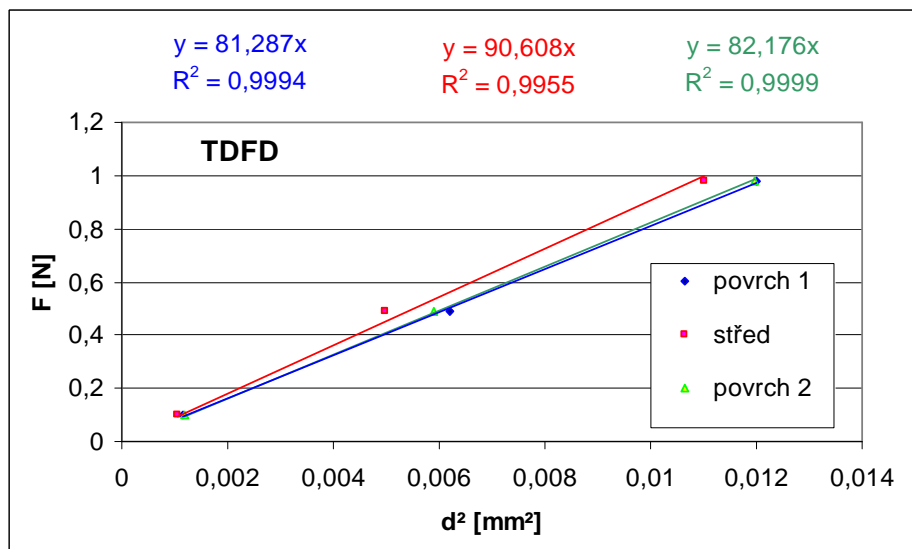
Obr. 3.34.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TDAn



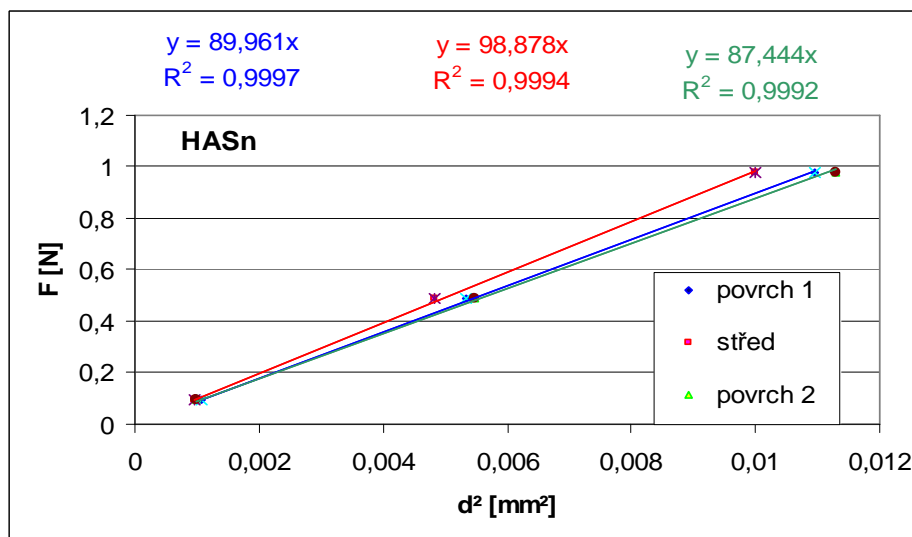
Obr. 3.35.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TDFn



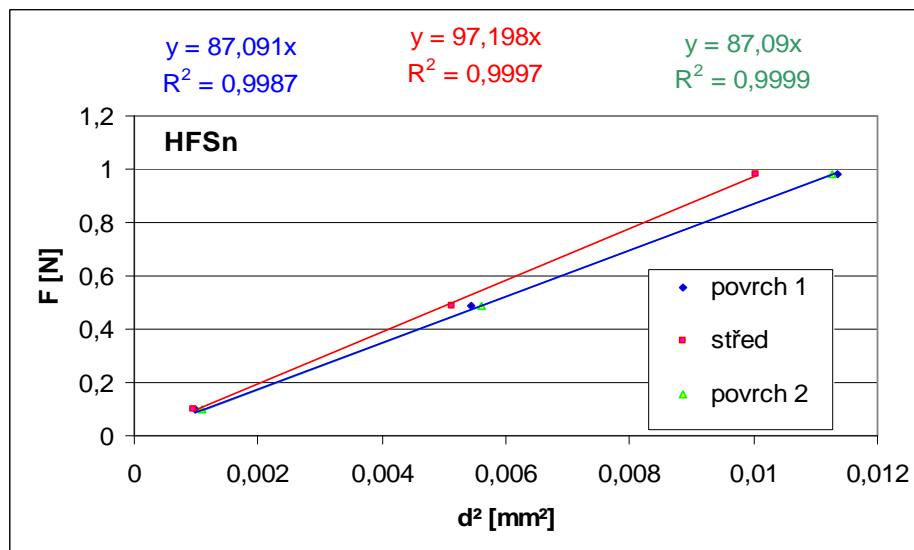
Obr. 3.36.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TDAD



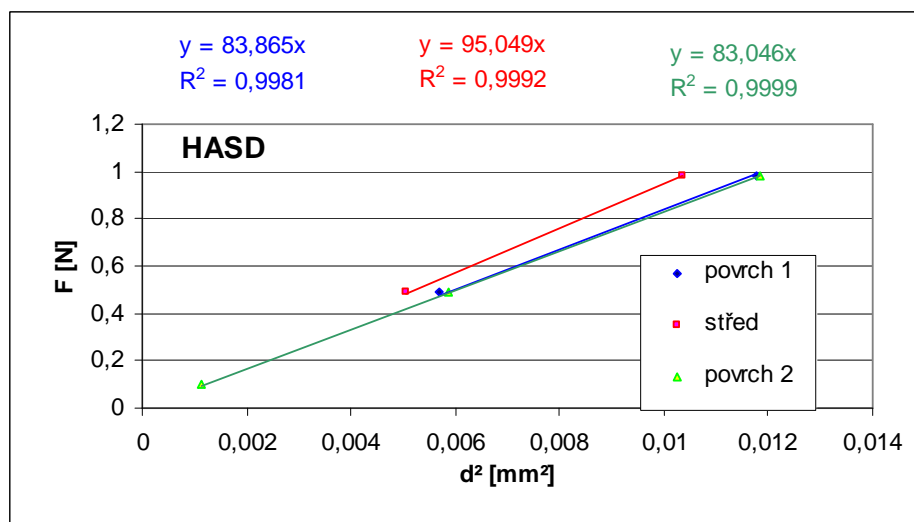
Obr. 3.37.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TDFD



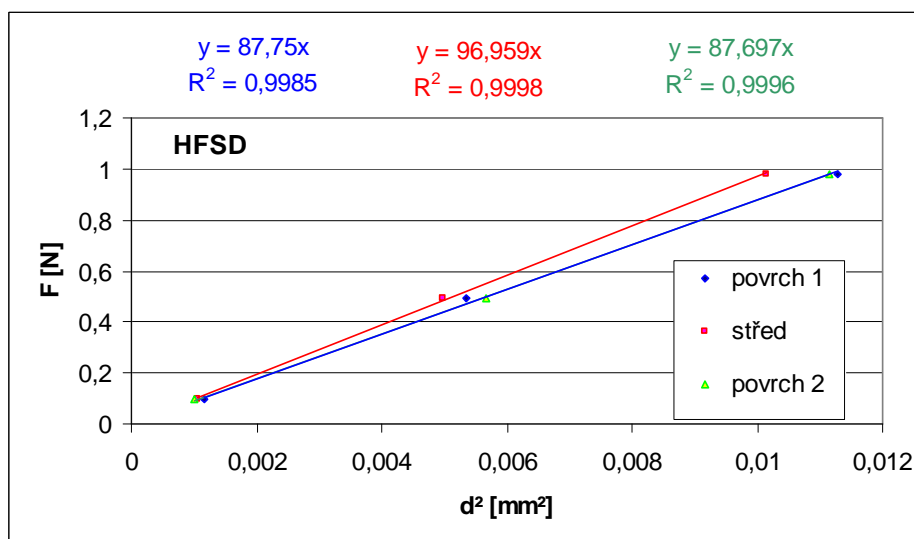
Obr. 3.38.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HASn



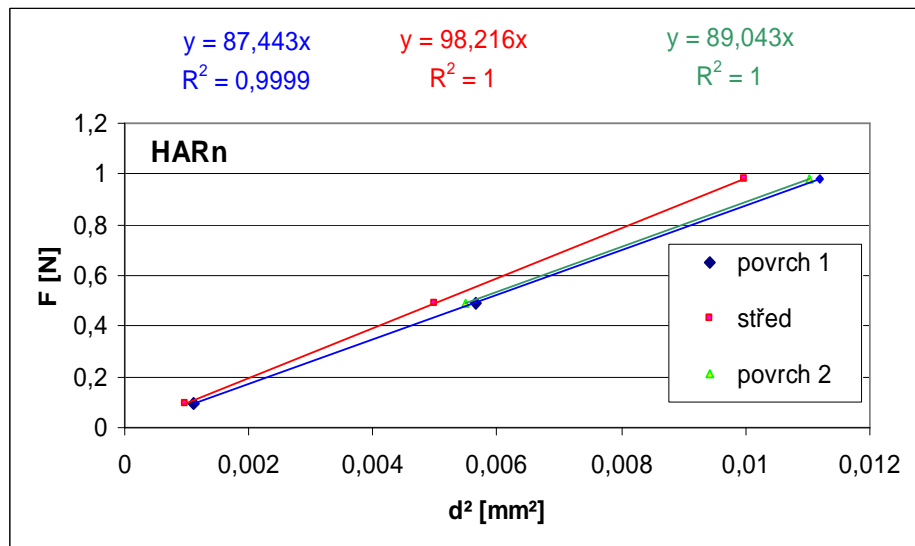
Obr. 3.39.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFSn



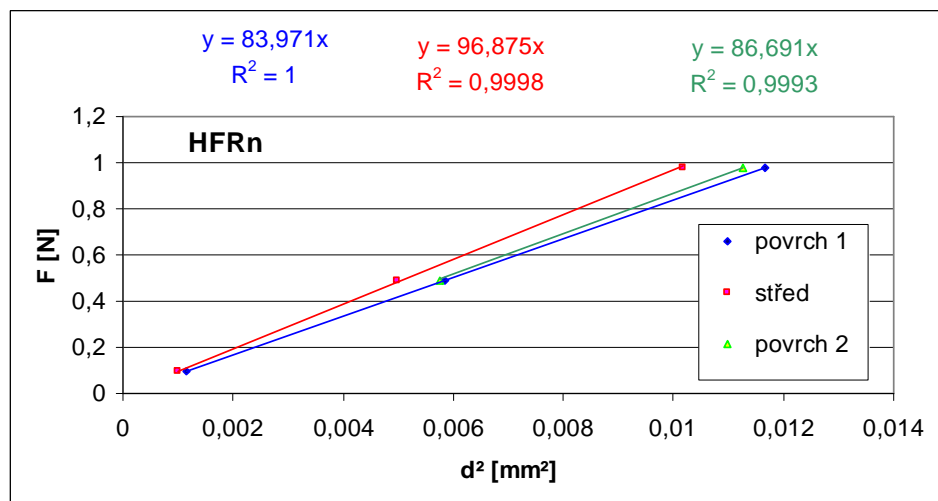
Obr. 3.40.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HASD



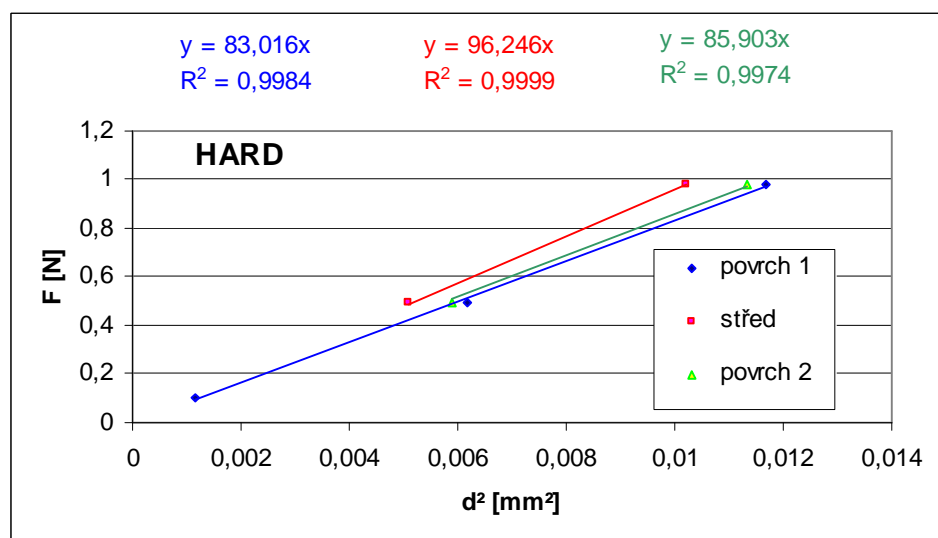
Obr. 3.41.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFSD



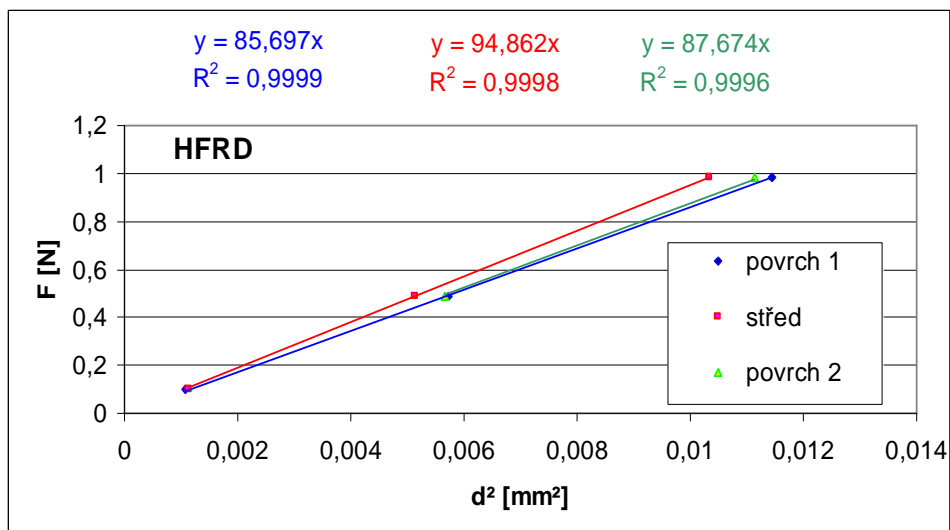
Obr. 3.42.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HARn



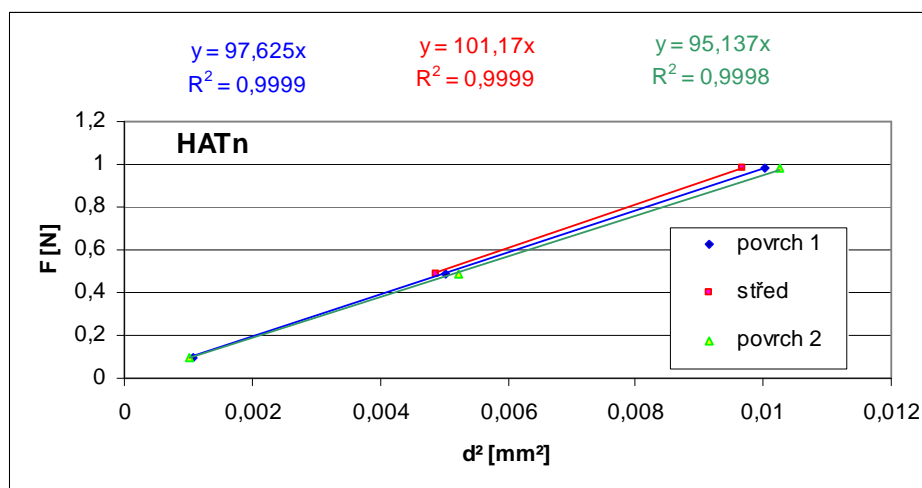
Obr. 3.43.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFRn



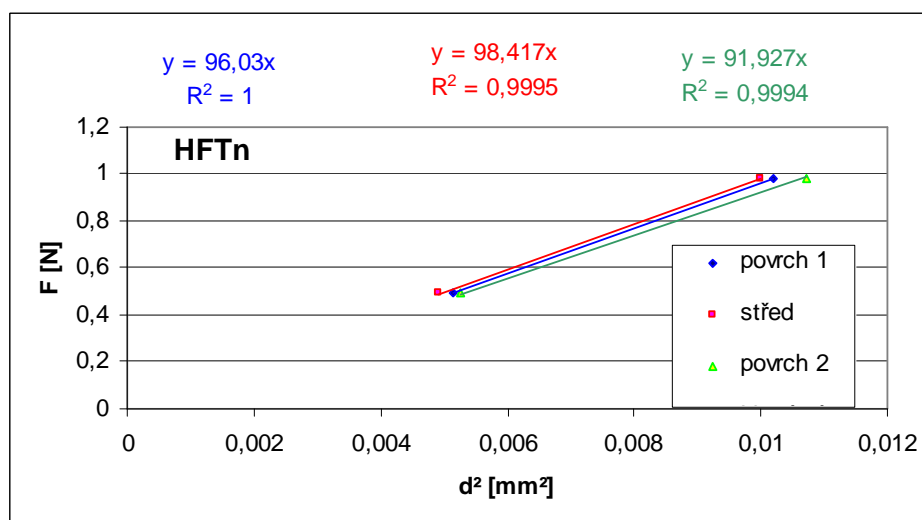
Obr. 3.44.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HARD



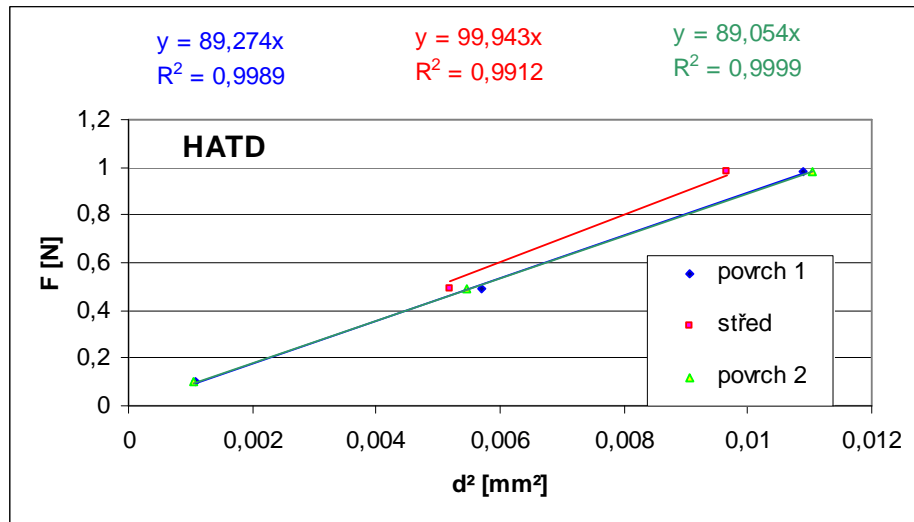
Obr. 3.45.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFRD



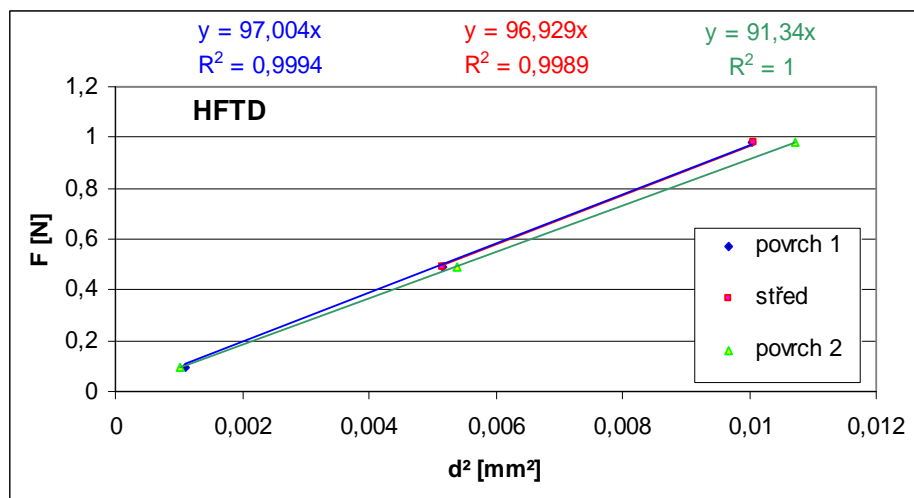
Obr. 3.46.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HATn



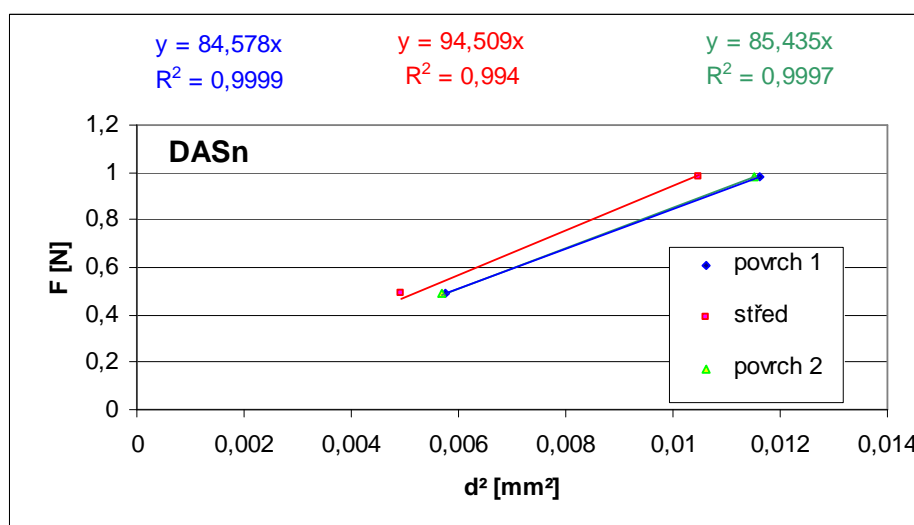
Obr. 3.47.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFTn



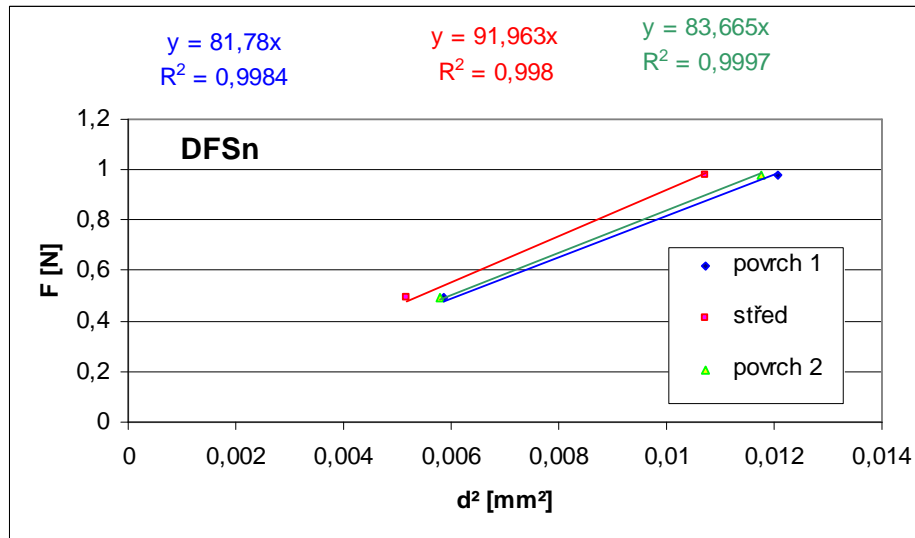
Obr. 3.48.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HATD



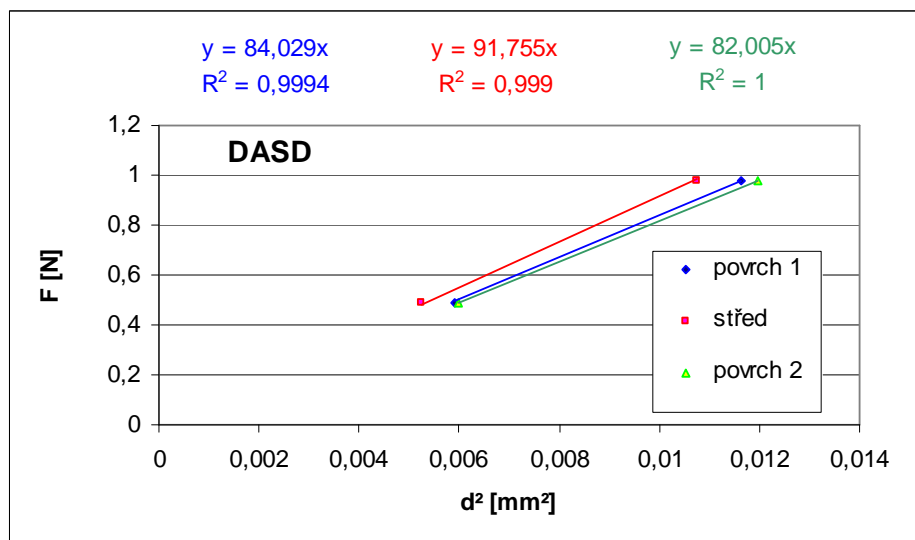
Obr. 3.49.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFTD



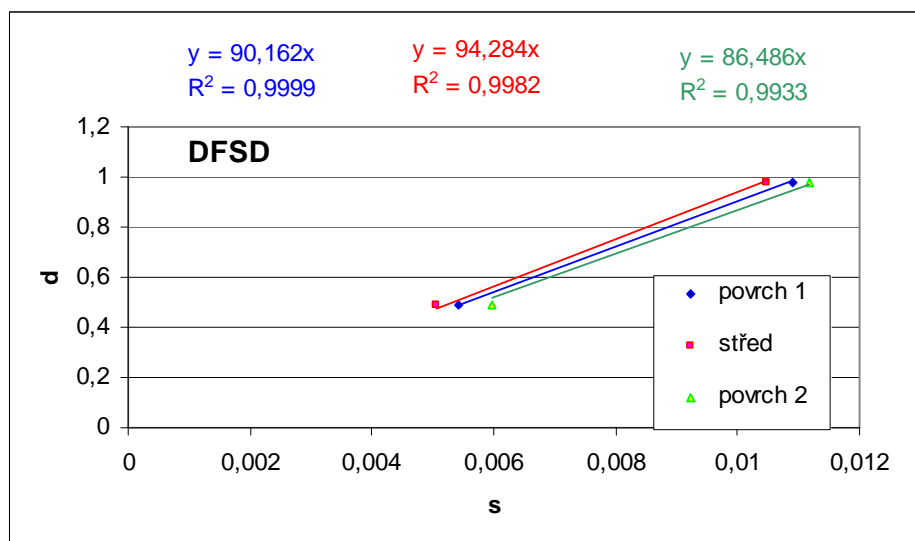
Obr. 3.50.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DASn



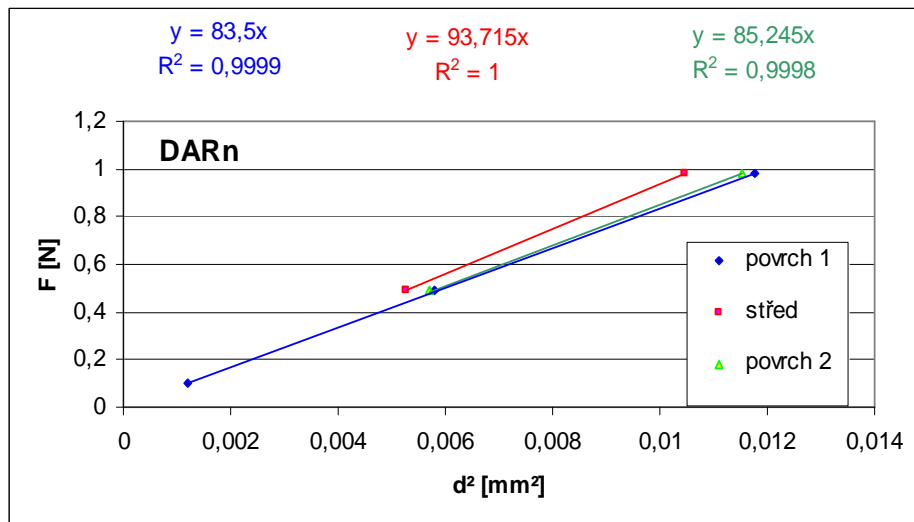
Obr. 3.51.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdomosti vzorku DFSn



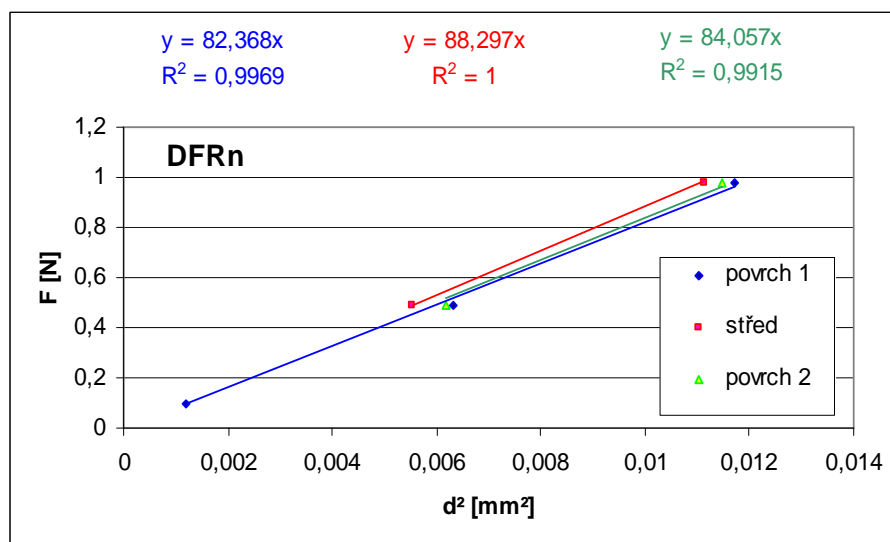
Obr. 3.52.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdomosti vzorku DASD



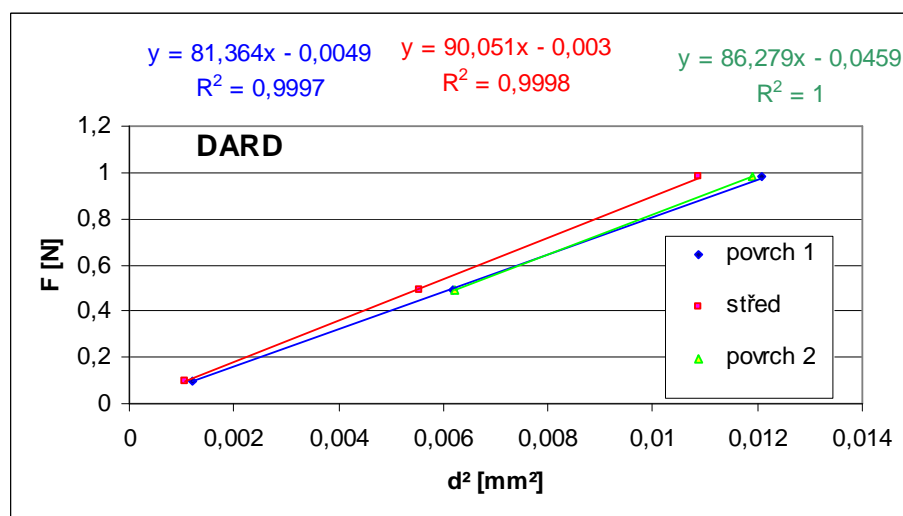
Obr. 3.53.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdomosti vzorku DFSD



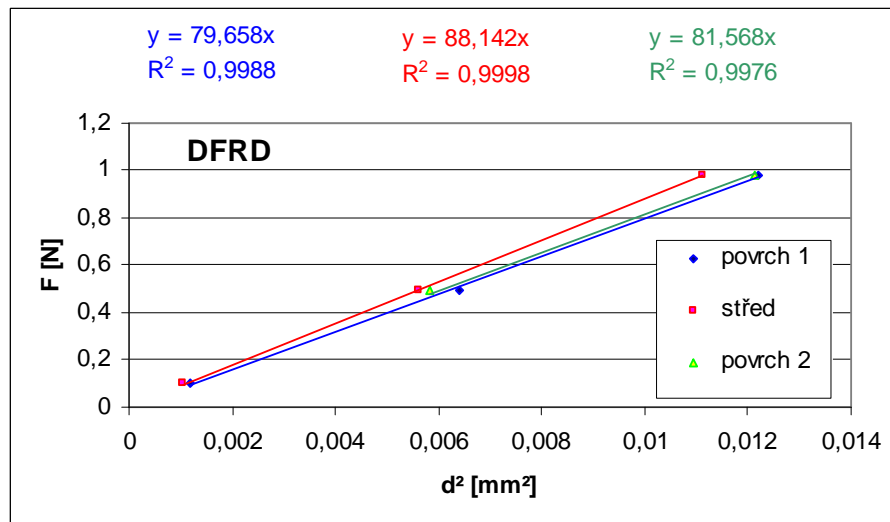
Obr. 3.54.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DARn



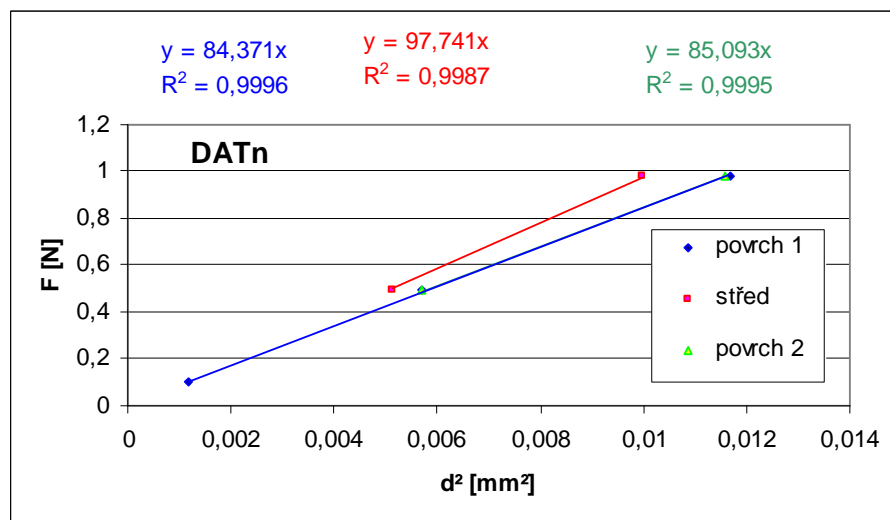
Obr. 3.55.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFRn



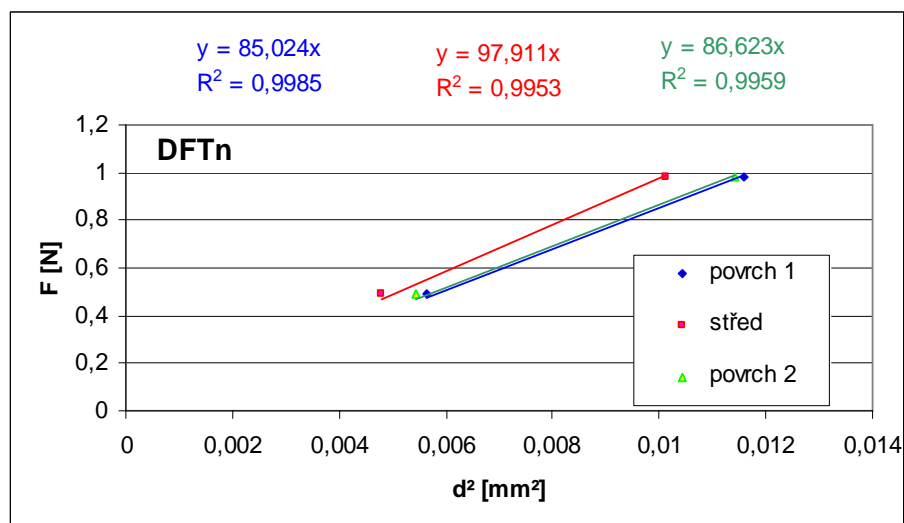
Obr. 3.56.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DARD



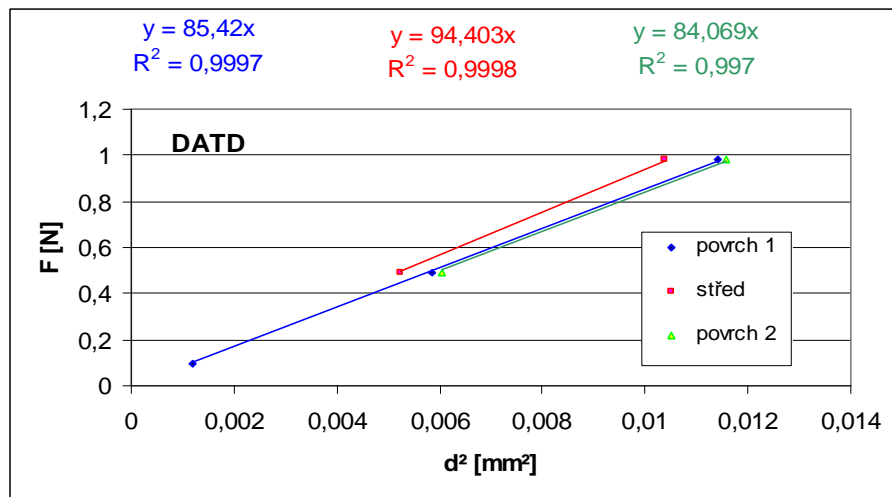
Obr. 3.57.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFRD



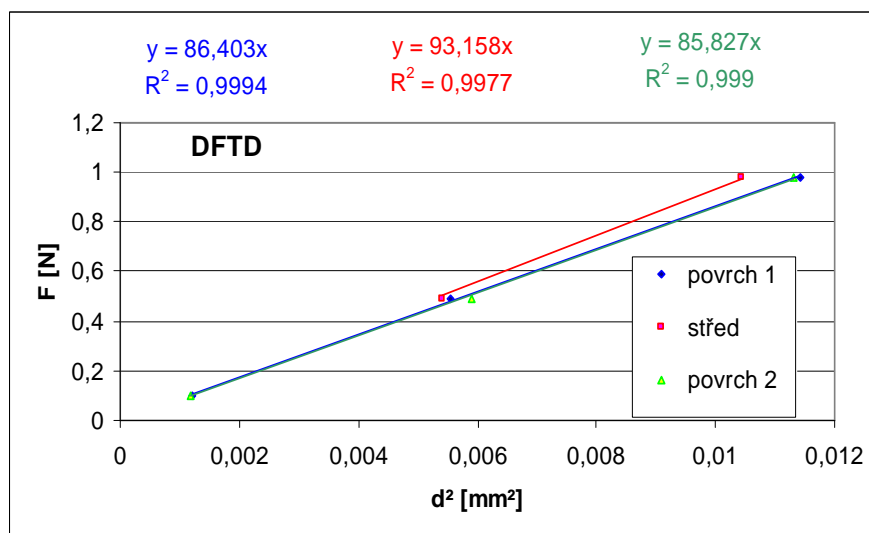
Obr. 3.58.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DATn



Obr. 3.59.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFTn



Obr. 3.60.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdomosti vzorku DATD



Obr. 3.61.: Grafická závislost pro určení mikrotvrdomosti vzorku DFTD

Z výše uvedených grafických závislostí, resp. směrnic přímky a vztahu (2.4.) byla vypočtena hodnota mikrotvrdomosti pro dané vzorky v závislosti na místě měření v síle stěny. Pro přehlednost výsledů jsou tyto uvedeny v tab. 3.5. pro vzorky z těles pro tahovou zkoušku a v tab. 3.6. pro hrnce palivového modulu.

Tab. 3.5.: Vypočtené hodnoty mikrotvrdosti vzorků z těles pro tahovou zkoušku

vzorek	MHv [MPa]		
	povrch 1	střed	povrch 2
Hostaform			
THAn	150	173	155
THFn	147	166	154
THAD	159	184	163
THFD	152	188	148
Iupital	povrch 1	střed	povrch 2
TIAAn	157	178	154
TIFn	141	165	152
TIAD	157	171	154
TIFD	164	165	151
Ultraform	povrch 1	střed	povrch 2
TUAn	163	180	161
TUFn	153	176	158
TUAD	162	182	157
TUFD	160	180	154
Delrin	povrch 1	střed	povrch 2
TDAAn	159	186	166
TDFn	157	172	158
TDAD	157	175	153
TDFD	151	168	152

Tab. 3.6.: Vypočtené hodnoty mikrotvrdosti vzorků z těles palivového modulu

Vzorek	MHv [MPa]						
	Hostaform			Delrin			
S	povrch 1	střed	povrch 2	S	povrch 1	střed	povrch 2
HASn	167	183	162	DASn	157	175	158
HFSn	161	180	161	DFSn	152	170	155
HASD	155	176	154	DASD	156	170	152
HFSD	163	178	163	DFSD	167	175	160
R	povrch 1	střed	povrch 2	L	povrch 1	střed	povrch 2
HARn	162	182	165	DARn	155	174	158
HFRn	156	180	161	DFRn	153	164	156
HARD	154	178	159	DARD	150	166	151
HFRD	159	176	163	DFRD	148	163	151
T	povrch 1	střed	povrch 2	T	povrch 1	střed	povrch 2
HATn	181	188	176	DATn	156	181	158
HFTn	178	182	170	DFTn	158	182	161
HADT	166	185	166	DADT	158	175	156
HFDT	180	180	169	DFDT	160	173	159

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE

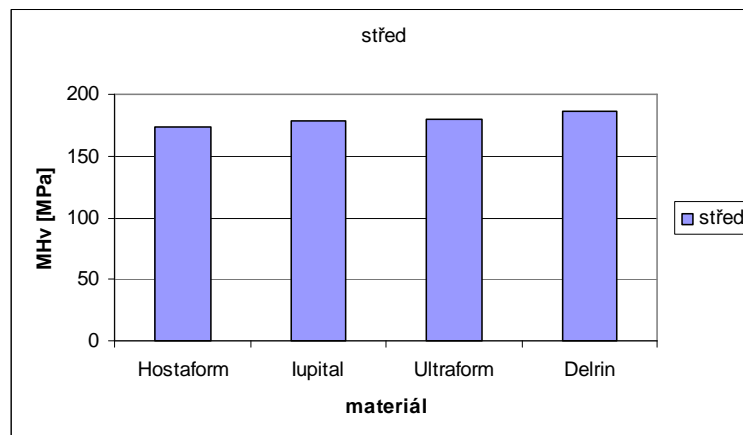
Vyhodnocení výsledků, včetně jejich diskuse je rozděleno na dvě části. Nejprve je věnována pozornost mikrotvrdomosti těles pro tahovou zkoušku, následně pak mikrotvrdomosti hrnců palivového modulu. Diskutován je především vliv polymerního materiálu, nastavení technologických parametrů (teploty taveniny a formy), místa měření a to jak v síle stěny, tak také výstřiků (v jednotlivých vazbách) a také podmínkách expozice v motorové naftě.

4.1. Vyhodnocení mikrotvrdomosti vzorků těles pro tahovou zkoušku

Pro lepší názornost výsledků jsou tyto rozděleny do několika oblastí. Nejprve jsou v kap. 4.1.1. porovnány použité materiály mezi sebou a to na základě mikrotvrdomosti ze středu vzorků při technologických podmínkách výroby zajišťující správnou kvalitu výroby (podmínky A dle kap. 3.1.). A dále je porovnáním výsledků mikrotvrdomosti v jednotlivých místech síly stěny, u jednotlivých materiálů zatížených a nezatížených motorovou naftou, hodnocena vhodnost aplikace metody mikrotvrdomosti pro stanovení kvality výstřiků, srovnáním vzorků vyrobených za technologických podmínek u nichž je a není dosahováno požadované kvality výrobků (podmínek A a F).

4.1.1. Vyhodnocení mikrotvrdomosti použitých materiálů

Z výsledků mikrotvrdomosti ve středu těles jednotlivých materiálů (viz obr. 4.1.) je patrné, že nejtvrdším materiálem je polyoxymetylén Delrin následovaný Ultraformem a lupitalem, naopak nejměkčím materiálem je Hostaform.

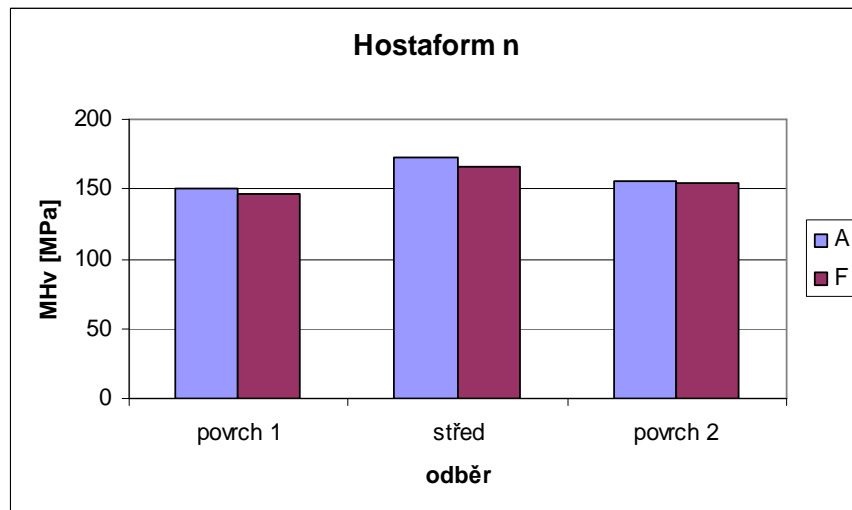


Obr. 4.1.: Mikrotvrdomosti použitých materiálů

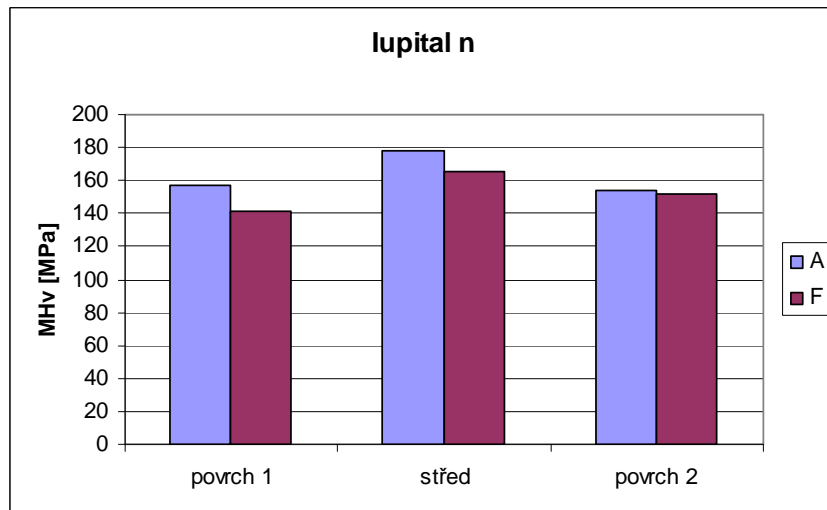
4.1.2. Vyhodnocení mikrotvrdomosti v závislosti na podmínkách vstřikování

V této kapitole je věnována pozornost zjištěným rozdílům mezi tělesy vyrobenými za standardních podmínek (odpovídající požadované kvalitě výstřiků) a za podmínek se sníženými teplotami formy a taveniny, bez zatížení palivem. Výsledky pro jednotlivé materiály jsou znázorněny na obr. 4.2. až 4.5. z nichž plynou dvě zajímavé skutečnosti: ze tří měřených oblastí v síle stěny (povrch1, střed a povrch2) je tvrdší oblast středu, než oblasti u obou povrchů těles, a že vzorky vyrobené za podmínek F jsou výrazně měkčí, než vzorky vyrobené za podmínek A. Druhý výsledek je pro hodnocení vhodnosti metody mikrotvrdomosti k posouzení kvality výstřiků velmi důležitý. Rozdíly mezi vzorky vyrobenými za standardních podmínek a za podmínek se sníženými teplotami taveniny a formy jsou uvedeny v tab. 4.1.. Největší rozdíly jsou zaznamenány u polyoxymethylénu Lupitalu, dále Delrin, Ultraform a naopak nejmenší u materiálu Hostaform.

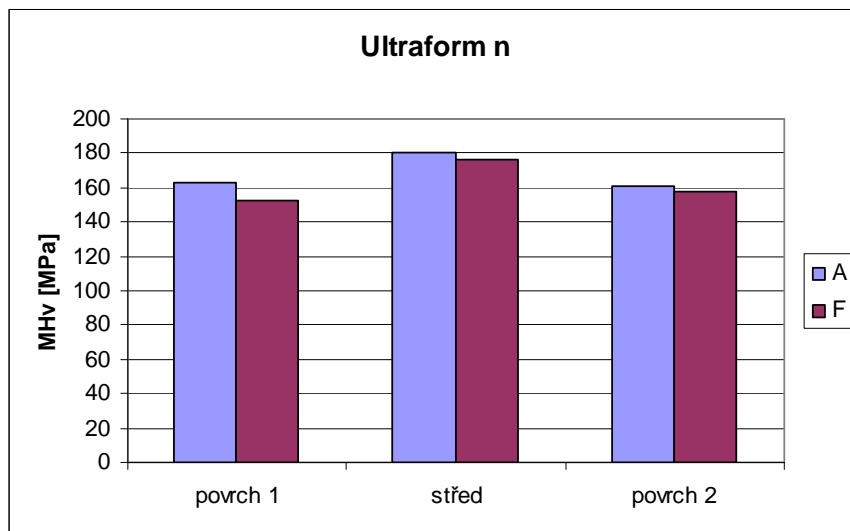
Z obr. 4.2. až obr. 4.5. je zřejmé, že rozdíly v mikrotvrdomosti na obou površích těles jsou zanedbatelné a to s ohledem na chybu měření, která je ovlivňována rovněž subjektivním určováním vrcholů úhlopříček.



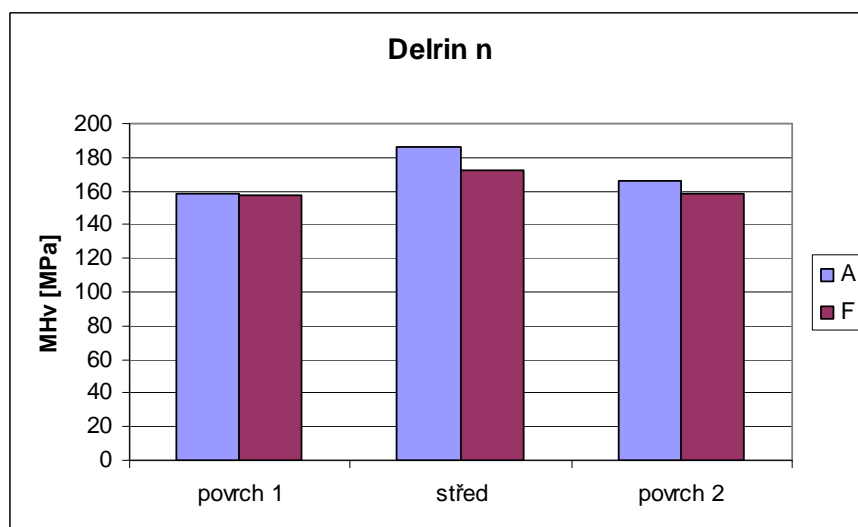
Obr. 4.2.: Mikrotvrdomosti Hostaformu při podmínkách A a F bez zatížení palivem



Obr. 4.3.: Mikrotvrdomosti lupitalu při podmínkách A a F bez zatížení palivem



Obr. 4.4.: Mikrotvrdomosti Ultraformu při podmínkách A a F bez zatížení palivem



Obr. 4.5.: Mikrotvrdomosti Delrinu při podmínkách A a F bez zatížení palivem

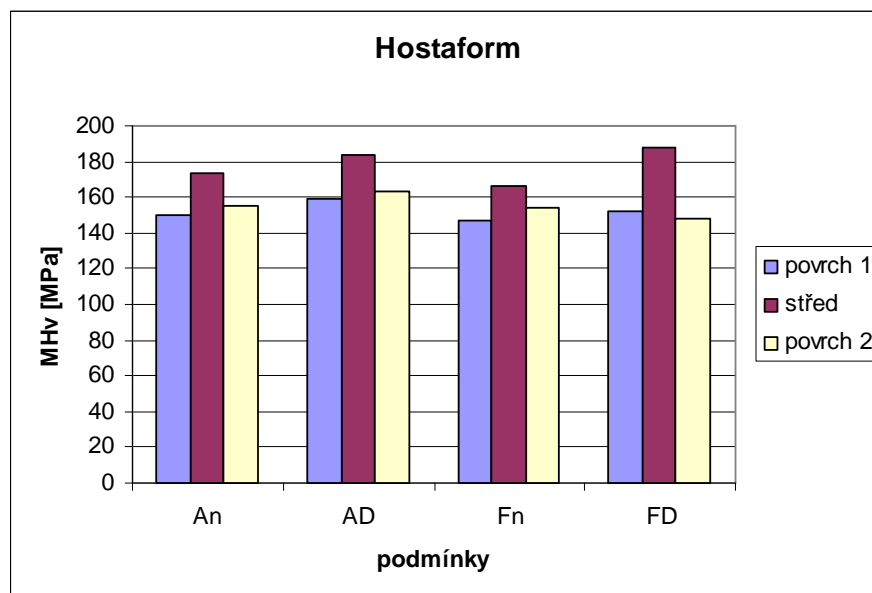
Tab. 4.1.: Tabulka rozdílů mezi podmínkami A a F bez zatížení palivem pro jednotlivé materiály

materiál	MHv _A - MHv _F [MPa]			Ø rozdílů
	povrch 1	střed	povrch 2	
Hostaform	3	7	1	3,67
lupital	16	13	2	10,33
Ultraform	10	4	3	5,67
Delrin	2	14	8	8

4.1.3. Vyhodnocení mikrotvrdomosti v závislosti na podmínkách expozice v motorové naftě

Při hodnocení vlivu expozice v naftě je důležité výsledky opět rozdělit podle materiálů, protože nalézt obecné závěry je obtížné.

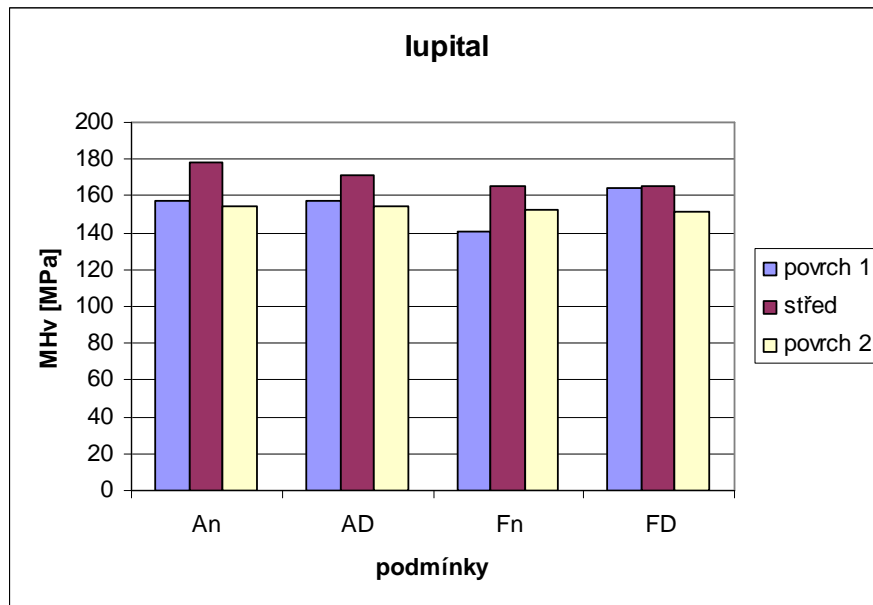
U materiálu **Hostaform** jsou vzorky exponované v naftě (označené jako AD a FD) výrazně tvrdší (viz obr. 4.6.), než vzorky neexponované (označené jako An a Fn). Mezi středy vzorků exponované v naftě a vyrobenými za různých podmínek není výrazný rozdíl, ale oblasti pod povrchy vzorků jsou u podmínky F výrazně měkčí.



Obr. 4.6.: Porovnání mikrotvrdomosti vzorků bez zatížení palivem a exponovaných v naftě

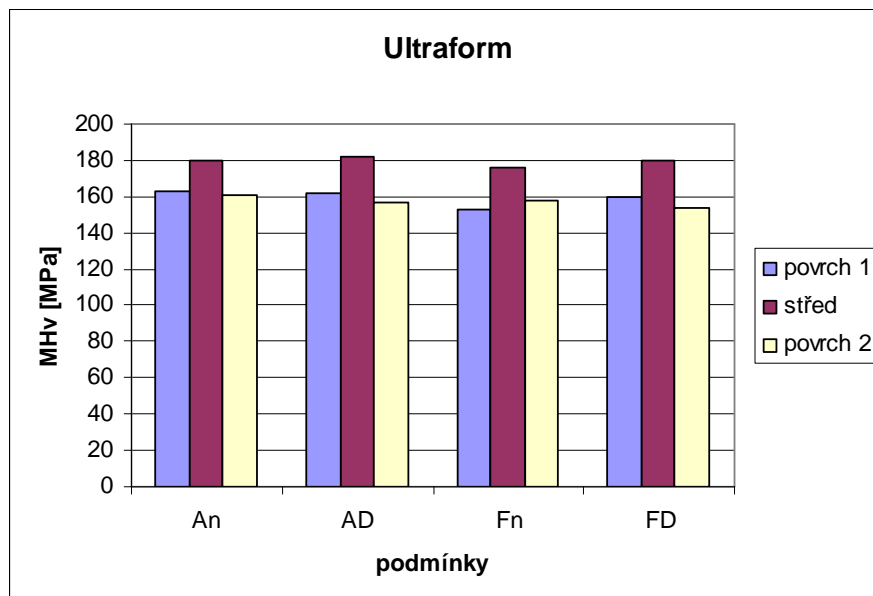
U vzorků z materiálu **lupital** vyrobených za podmínek A jsou vzorky exponované v naftě na středu výrazně měkčí (viz obr.4.7.), než neexponované, zatímco u povrchu je tvrdost stejná. U podmínek F jsou

rozdíly v jednotlivých oblastech malé, kromě povrchu 1, který je výrazně tvrdší u vzorku exponovaném v naftě.



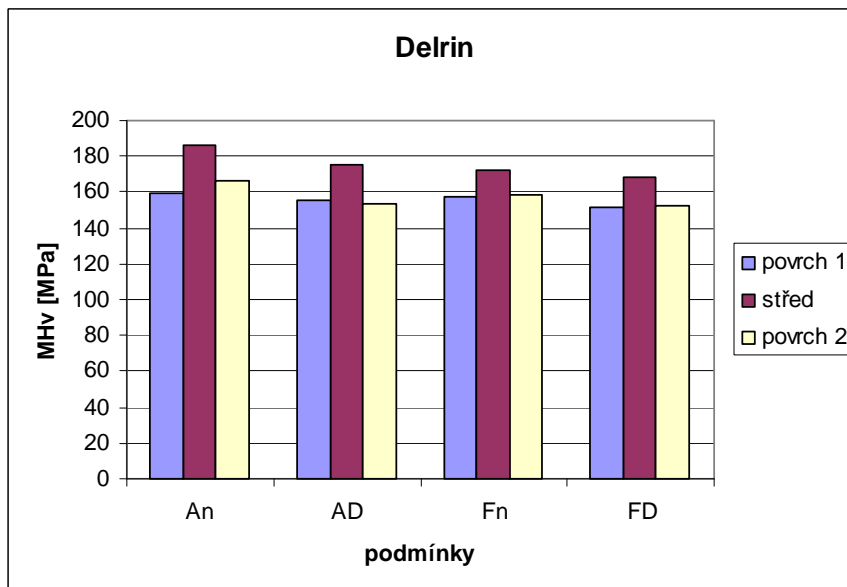
Obr. 4.7.: Porovnání mikrotvrdomosti vzorků bez zatížení palivem a exponovaných v naftě

Mezi vzorky z materiálu **Ultraform** jsou rozdíly v mikrotvrdomosti znázorněné na obr. 4.8. malé a mohou být, tak již bylo výše uvedeno, ovlivněné subjektivním určováním vrcholů úhlopříček vpichu.



Obr. 4.8.: Porovnání mikrotvrdomosti vzorků bez zatížení palivem a exponovaných v naftě

U vzorků z materiálu **Delrin** je zřejmé, že po exponování v motorové naftě došlo k poklesu mikrotvrdosti ve všech měřených oblastech (viz obr. 4.9.).



Obr. 4.9.: Porovnání mikrotvrdosti vzorků bez zatížení palivem a exponovaných v naftě

Z výše uvedené diskuse, při hodnocení vlivu expozice v horké motorové naftě, je zřejmé, že nelze vyvodit obecné závěry vlivu motorové nafty na výslednou mikrotvrdost vstříkovaných dílců, a že každý materiál se chová odlišně. Při srovnání rozdílů mezi vzorky bez zatížení motorové nafty a vzorky zatíženými bylo zjištěno, že největší vliv expozice v naftě na mikrotvrdost vykazuje materiál Hostaform, dále Delrin a lupital, nejmenší naopak Ultraform (viz tab. 4.2.).

Tab. 4.2.: Tabulka rozdílů mezi vzorky bez zatížení palivem a vzorky zatíženými palivem

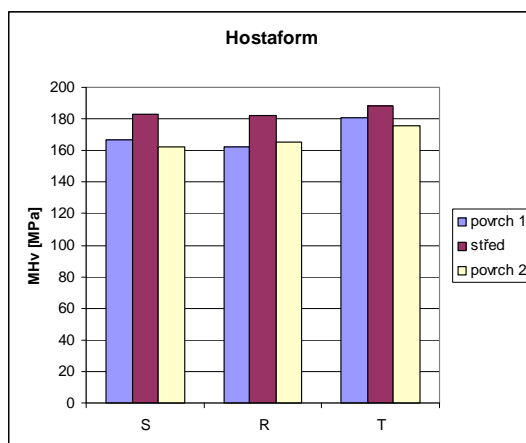
materiál	MHv _n -MHv _D [MPa]				Ø I rozdílůl
	podmínka	povrch 1	střed	povrch 2	
Hostaform	A	-9	-11	-8	10,17
	F	-5	-22	6	
lupital	A	0	7	0	5,17
	F	-23	0	1	
Ultraform	A	1	-2	4	3,67
	F	-7	-4	4	
Delrin	A	4	11	13	7,33
	F	6	4	6	

4.2. Vyhodnocení mikrotvrdomosti vzorků hrnce palivového modulu

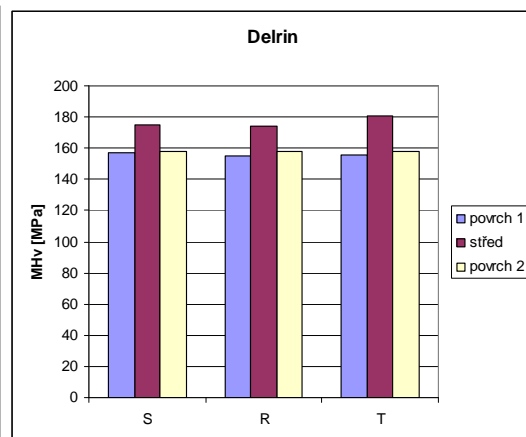
Porovnání výsledků těles palivového modulu je vzhledem k místům odběru zkušebních těles (z vazby T, R, a S) složitější, než u těles pro tahovou zkoušku. Jsou zde vzorky ze dvou materiálů, vyrobené rovněž za dvou podmínek vstřikování a zatížené i nezatížené motorovou naftou.

4.2.1. Vyhodnocení mikrotvrdomosti v závislosti na místě odběru

Vyhodnocení mikrotvrdomosti hrnců palivového modulu v závislosti na místě odběru (z vazby T, R, a S) za podmínek A bez zatížení palivem je znázorněno pro materiál Hostaform na obr. 4.10. a Delrin na obr. 4.11.. Nejměkčím místem na středu i površích stěny vzorků je místo odběru R, nepatrně tvrdším místem je oblast S a výrazně nejtvrdším oblast T a to pro oba uváděné materiály.



Obr. 4.10.: Srovnání hodnot Hostaformu

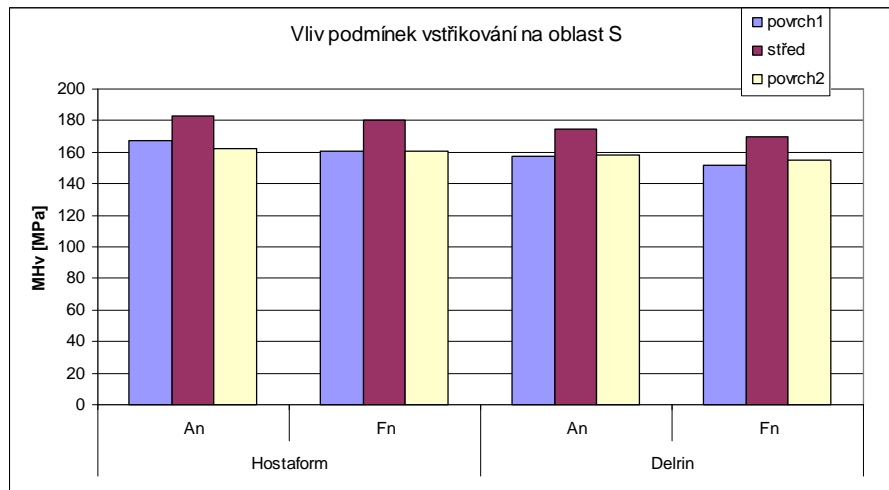


Obr. 4.11.: Srovnání hodnot Delrinu

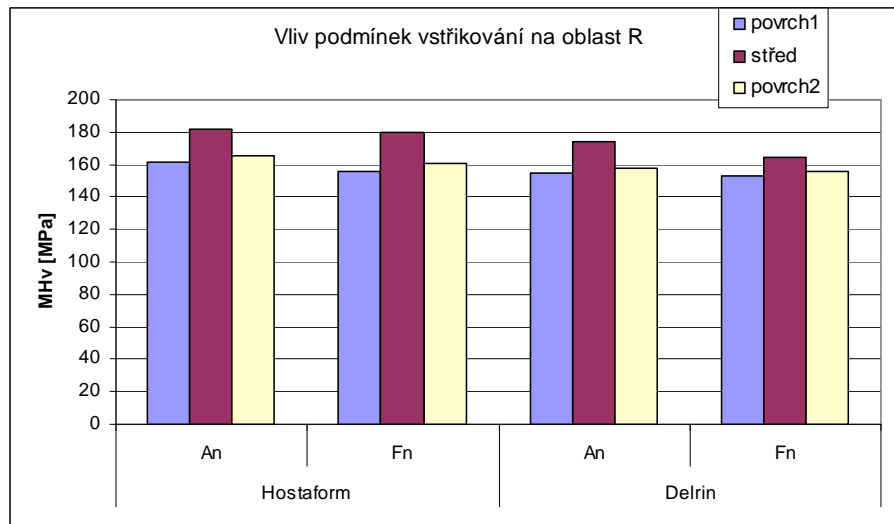
4.2.2. Vyhodnocení mikrotvrdomosti v závislosti na podmínkách vstřikování

V této kapitole je věnována pozornost vyhodnocení mikrotvrdomosti vzorků z hrnce palivového modulu ve všech třech oblastech v síle stěny a obou materiálů v závislosti na podmínkách vstřikování, resp. hodnocení aplikace použití této metody k posouzení kvality plastových výstřiků.

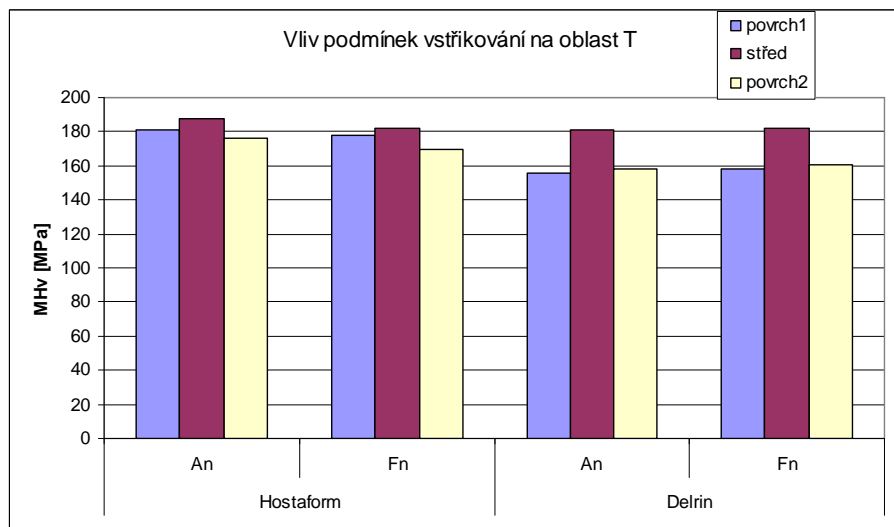
Hodnocení je provedeno pro každé místo odběru vzorku z hrnce palivového modulu zvlášť (viz obr. 4.12. až obr. 4.14.).



Obr. 4.12.: Vliv podmínek vstřikování na vazbu S



Obr. 4.13.: Vliv podmínek vstřikování na vazbu R



Obr. 4.14.: Vliv podmínek vstřikování na vazbu T

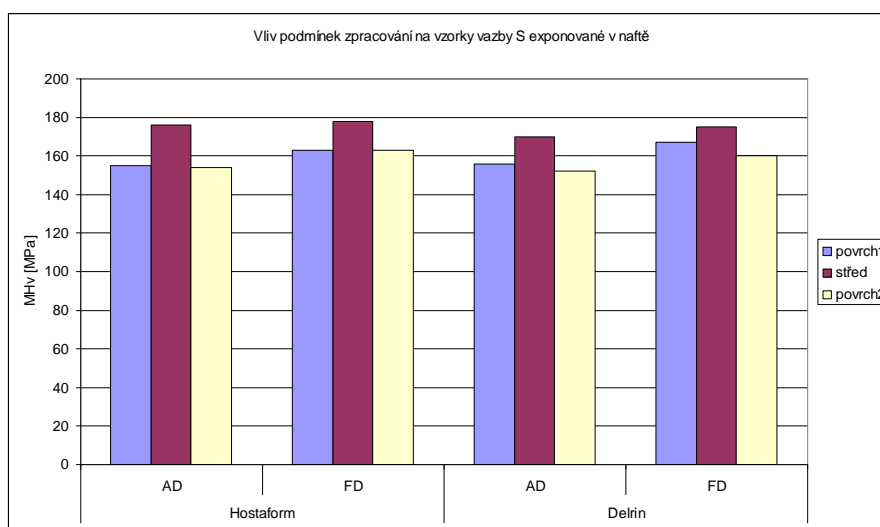
Při určování vlivu podmínek vstřikování na mikrotvrdomost jednotlivých vzorků byla zjištěna obdobná závislost jako u těles pro tahovou zkoušku. Vzorky vyrobené za podmínek F jsou, kromě vazby T u Delrinu, měkčí, než vzorky s podmínkami A. U vazby R je povrch 2, tedy oblast menšího poloměru tvrdší, než povrch 1, oblast u většího poloměru. Největší rozdíly mikrotvrdomosti mezi podmínkami vstřikování A a F (viz tab. 4.3.) byly nalezeny u vazby R, dále u vazby S a T. Rozdíly oproti tělesům pro tahovou zkoušku jsou přibližně poloviční.

Tab. 4.3.: Rozdíly mezi podmínkami A a F

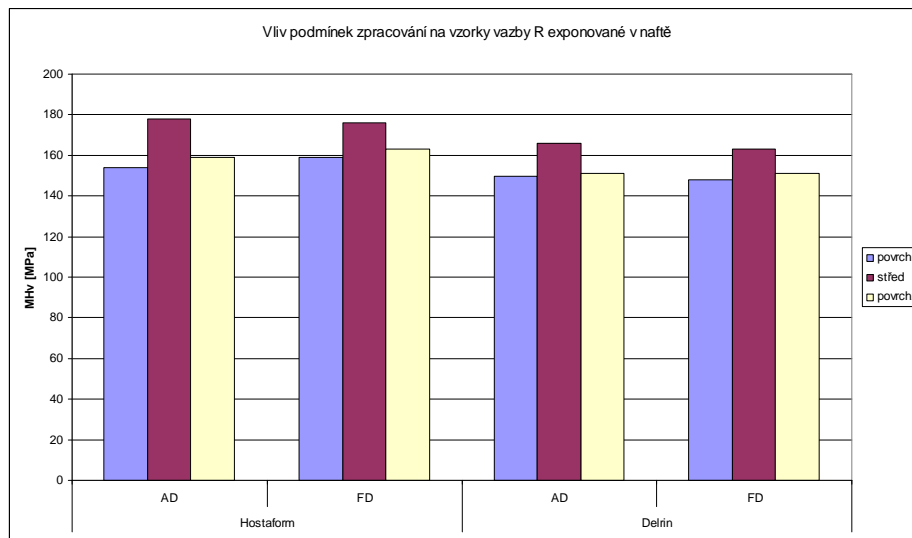
materiál	vazba	MHv _A – MHv _F [MPa]			
		povrch 1	střed	povrch 2	Ø rozdílů
Hostaform	S	6	3	1	3,33
	R	6	2	4	4
	T	3	6	6	5
Delrin	S	5	5	3	4,33
	R	3	10	2	5
	T	-2	-1	-3	-2

4.2.3. Vyhodnocení mikrotvrdomosti v závislosti na expozici v motorové naftě

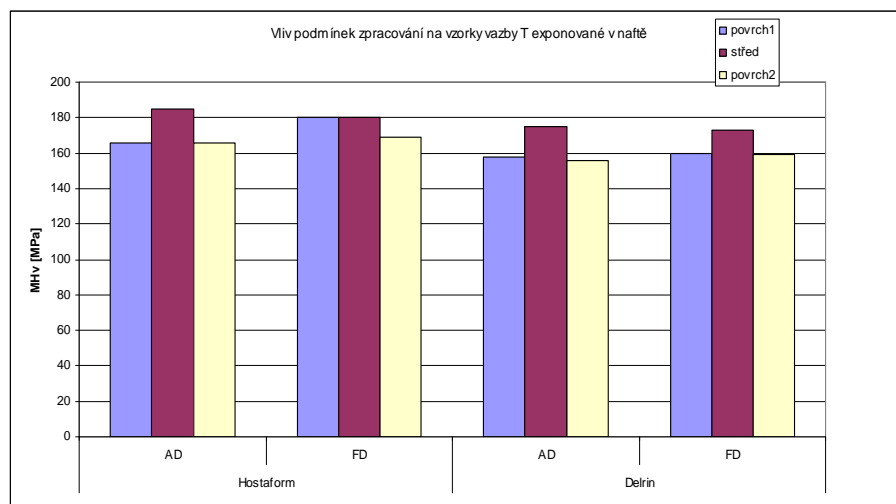
Při vyhodnocení mikrotvrdomosti je nejprve na obr. 4.15. až obr. 4.17. uveden pro jednotlivé vazby vliv podmínek vstřikování na vzorky exponované v motorové naftě a dále jsou v tab. 4.4. uvedeny rozdíly mezi vzorky nezatíženými a zatíženými motorovou naftou.



Obr. 4.15.: Vliv podmínek zpracování na vzorky vazby S exponované v naftě



Obr. 4.16.: Vliv podmínek zpracování na vzorky vazby R exponované v naftě



Obr. 4.17.: Vliv podmínek zpracování na vzorky vazby T exponované v naftě

U vzorků z materiálu Hostaform bylo zjištěno, že vzorky vyrobené za podmínek F jsou při srovnání s podmínkami A u povrchů tvrdší, v oblasti středu jsou rozdíly minimální. U materiálu Delrin je závislost u vazby S obdobná, zatímco u vazby R a T jsou rozdíly minimální.

Z rozdílů mezi vzorky zatíženými a nezatíženými motorovou naftou (viz tab. 4.4.) je zřejmé, že v oblasti středu jsou vzorky bez zatížení naftou většinou tvrdší, zatímco u povrchů vzorků je obtížné nalézt souvislost mezi zatížením a nezatížením motorovou naftou. U obou povrchů jsou většinou rozdíly obdobné.

Tab. 4.4.: Rozdíly mezi vzorky nezatíženými a zatíženými naftou

		MH _{v_n} ,MH _{v_D} [MPa]		
Hostaform	podmínky	povrch 1	střed	povrch 2
S	A	12	7	8
	F	-2	2	-2
R	A	8	4	6
	F	-3	4	-2
T	A	15	3	10
	F	-2	2	1
Delrin				
S	A	1	5	6
	F	-15	-5	-5
R	A	5	8	-3
	F	5	1	5
T	A	-2	6	2
	F	-2	9	2

5. ZÁVĚR

Mezi hodnocenými druhy POM byly nalezeny významné rozdíly v mikrotvrdomosti, jak u těles pro tahovou zkoušku, tak i u těles palivového modulu. Rozdíly pak byly nalezeny při hodnocení všech zkoumaných vlivů, jako vlivu technologických podmínek, hloubky měřeného místa pod povrchem vzorku, expozice v naftě nebo vlivu místa odběru.

Při srovnávání materiálů byly hodnoceny hodnoty na středech vzorků bez zatížení palivem vyrobených standardními podmínkami, byly hodnoceny jak tělesa pro tahovou zkoušku, tak i u hrnců palivového modulu. U těles pro tahovou zkoušku vychází jako nejtvrdší materiál Delrin, následovaný Ultraformem a Lupitalem, nejměkčí je Hostaform. Odlišně vychází srovnání materiálů těles palivového modulu, kdy je u všech tří míst tvrdší Hostaform, než Delrin.

Při hodnocení vlivu technologických podmínek na mikrotvrdomost, kdy je tento vliv zásadní pro hodnocení kvality výstřiků pomocí mikrotvrdomosti, bylo zjištěno, že vzorky vyrobené se sníženými teplotami taveniny a formy jsou výrazně měkčí ve všech sledovaných oblastech síly stěny než vzorky vyrobené za standardních podmínek. Lze tedy říci, že nekvalitní vzorky vykazují menší mikrotvrdomost ve všech měřených oblastech síly stěny, než vzorky kvalitní.

Byla také hodnocena tři místa v síle stěny vzorků, v oblasti povrchové vrstvy u obou povrchů vzorku a oblast jeho středu. Bylo zjištěno, že oblast středu vzorku je výrazně tvrdší, než oblasti u obou povrchů (nezávisle na expozici v horké naftě), což je dáno utvářením nadmolekulární struktury plastu během chladnutí výstřiku.

Při hledání souvislostí mezi vzorky zatíženými a nezatíženými horkou naftou nelze nalézt obecnou závislost. Vliv expozice v horké naftě se liší podle materiálu. Pro tělesa tahové zkoušky z Hostaformu jsou vzorky exponované v naftě výrazně tvrdší, než vzorky neexponované. Naopak u vzorků z materiálu Delrin došlo po exponování v motorové naftě k poklesu mikrotvrdomosti ve všech měřených oblastech. U vzorků z Lupitalu vyrobených za podmínek A jsou vzorky z nafty na středu výrazně měkčí, u povrchu je tvrdost stejná. U podmínek F jsou rozdíly malé, kromě povrchu 1, který je

výrazně tvrdší u vzorku z nafty. Mezi vzorky z Ultraformu jsou rozdíly malé. Při hodnocení vlivu expozice v naftě na vzorky z hrnce palivového modulu byly nalezeny odlišné vlastnosti. U vzorků z materiálu Hostaform bylo zjištěno, že vzorky vyrobené za podmínek F jsou při srovnání s podmínkami A po expozici v motorové naftě u povrchu tvrdší, v oblasti středu jsou rozdíly minimální. U materiálu Delrin je závislost u vazby S obdobná, zatímco u vazby R a T jsou rozdíly minimální.

Při hodnocení jednotlivých míst odběru vzorků z těles palivového modulu vyrobených za standardních podmínek bez zatížení palivem vychází nejměkčí místo odběru R, nepatrně tvrdší je místo S a výrazně nejtvrdší je místo T, což je pravděpodobně ovlivněno podmínkami chlazení. U vazby R je tvrdší povrch 2 než povrch 1, tvrdší je tedy oblast u menšího poloměru zaoblení.

Zjištěné závislosti ukazují, že metoda měření mikrotvrdoti plastových součástí může vhodně sloužit k hodnocení kvality plastových dílů a to buď jako náhrada za jiné metody hodnotící jejich kvalitu, jež by vzhledem ke konstrukčnímu řešení součásti nešly aplikovat, anebo ji využít současně s nimi. V takovémto případě však bude nutné přesně stanovit místo odběru vzorku ze součásti, neboť jak bylo prokázáno, má toto výrazný vliv na výslednou hodnotu mikrotvrdoti. Pro toto místo pak je nutné stanovit rozsah hodnoty mikrotvrdoti odpovídající požadované kvalitě výrobku. Vzhledem k náročnosti měření bude nutné také vytvořit přesný postup hodnocení mikrotvrdoti, tak aby byla zajištěna shodnost měřených výsledků.

LITERATURA

- /1/ SOVA, A.; KREBS, J. A KOL.: *Termoplasty v praxi*, Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2004.
- /2/ ŠTĚPEK, J.; ZELINGER, J.; KUTA, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, Praha: SNTL/ALFA, , 1989.
- /3/ NOVÁČEK, J.: *Plastikářská technologie*, výukový text fy. Robert Bosch České Budějovice (nepublikováno).
- /4/ LENFELD, P.: *Navrhování výrobků z plastů*, TU v Liberci, výukový text (nepublikováno).
- /5/ BĚHÁLEK, L.; LENFELD, P.; AUSPERGER, A.; POUPA, T.: Temperace vstříkovacích forem s ohledem na vlastnosti a morfologii výstřiků, *Strojírenská technologie*, X/zvláštní číslo, 2005, s. 9-13.
- /6/ Propagační materiály firmy Robert Bosch České Budějovice s.r.o.
- /7/ www.matiz.cz/linearni-technika-2-14-cz.html (březen 2006)
- /8/ VAN DER VEGT, A.K.: *From polymers to plastic* , DUP Blue Print, 2002.
- /9/ CRAWFORD, R.J.: *Plastic engineering 2nd edition*, Pergamon press, 1987.
- /10/ LEDNICKÝ, F.: *Microhardness of polymers* (nepublikováno).
- /11/ ČSN EN ISO 4516
- /12/ NOVOTNÁ, D.: *Hodnocení mikrotvrdomosti polymerních materiálů*, Diplomová práce, TU v Liberci, 2005.
- /13/ ČSN EN ISO 2039-1
- /14/ ČSN EN ISO 868
- /15/ ČSN EN ISO 2039-2
- /16/ BĚHÁLEK, L.: *Vlastnosti a inženýrské aplikace plastů*, TU v Liberci, výukový text (nepublikováno).
- /17/ LEDNICKÝ, F.: *Prezentace Bosch 2006 - Manuál kvality* (nepublikováno).
- /18/ Protokol Mikroskopická analýza pro RBCB (nepublikováno).

PŘÍLOHY

diplomové práce

Příloha 1: Naměřené hodnoty délek úhlopříček, včetně jejich vyhodnocení

Příloha 1: Naměřené hodnoty délek úhlopříček, včetně jejich vyhodnocení

Tab. P1: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku THAn

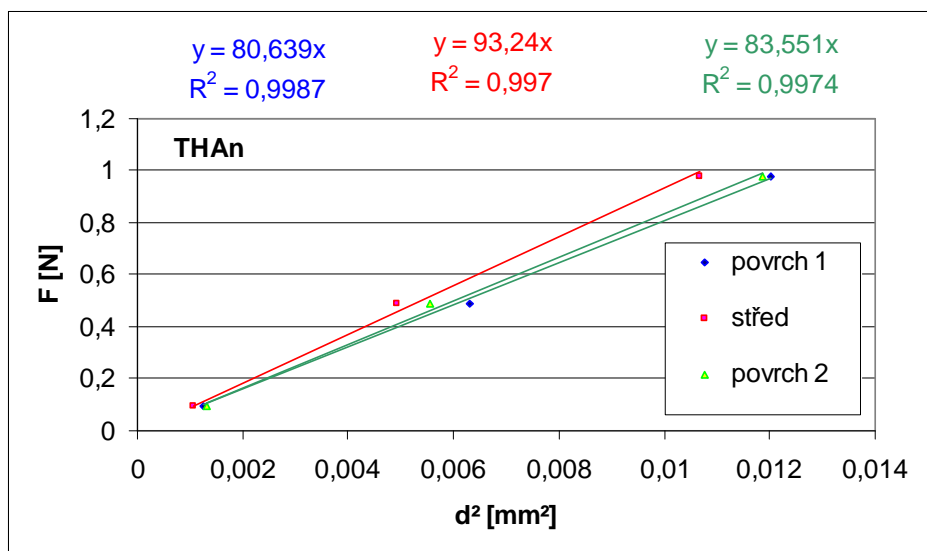
THAn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,0	112,0	110,0	78,5	84,0	81,3	36,5	36,3	36,4
	2	115,9	109,8	112,8	79,5	80,8	80,2	35,7	32,7	34,2
	3	108,6	108,4	108,5	77,3	81,8	79,6	34,9	38,8	36,8
	4	109,0	109,6	109,3	76,5	78,1	77,3	34,3	35,5	34,9
	5	107,3	108,2	107,8	79,3	79,1	79,2	37,9	32,7	35,3
	∅			109,68			79,52			35,52
střed	1	101,5	105,7	103,6	74,3	69,6	71,9	31,6	33,3	32,5
	2	104,7	99,2	102	70,4	72	71,2	32,1	33,3	32,7
	3	107,0	102,3	104,6	65,8	71,6	68,7	34,3	34,7	34,5
	4	103,1	98,4	100,7	69,8	65,2	67,5	29,8	32,9	31,4
	5	99,6	111,6	105,6	72,6	70,8	71,7	30,0	32,5	31,2
	∅			103,3			70,2			32,46
povrch 2	1	116,5	100,6	108,6	81,4	53,8	67,6	37,9	34,9	36,4
	2	106,3	118,7	112,5	71,6	74,7	73,1	37,3	35,1	36,2
	3	112,8	107,1	110,0	78,9	80,0	79,4	37,8	43,2	40,5
	4	108,5	98,4	103,5	71,7	71,9	71,8	35,3	39	37,1
	5	110,8	109,6	110,2	80,8	80,0	80,4	31,2	32,7	32,0
	∅			108,96			74,46			36,44

Tab. P2: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

THAn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,01203	0,010671	0,011872
0,4904	0,006323	0,004928	0,005544
0,09807	0,001262	0,001054	0,001328

Tab. P3: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	80,639	93,24	83,551
MHv [MPa]	150	173	155



Obr. P1: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku THAn

Tab. P4: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku THFn

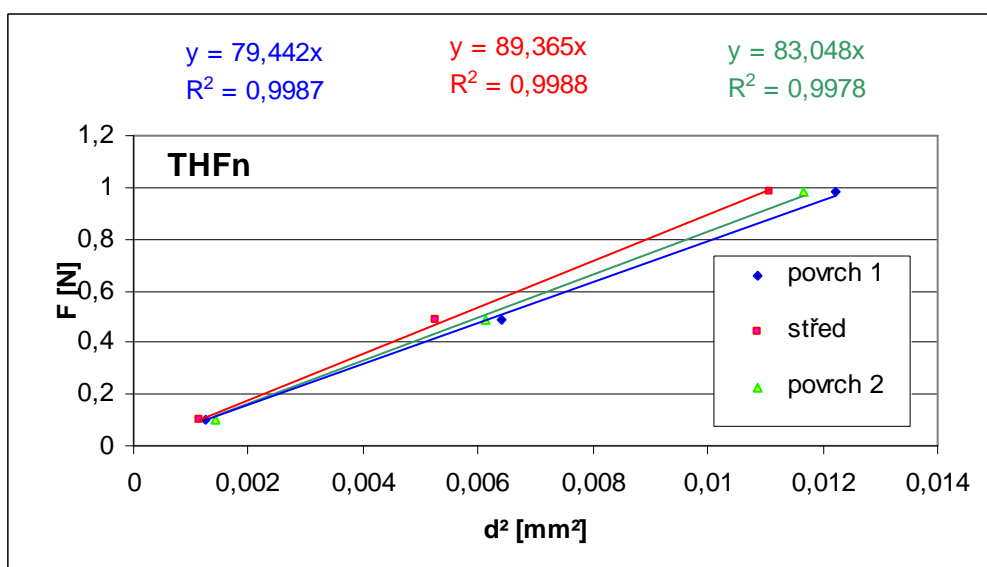
THFn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 šipka	1	113,8	106,1	110,0	77,9	87,4	82,7	36,1	32,1	34,1
	2	107,7	115,7	111,7	78,5	82,4	80,5	34,5	33,7	34,1
	3	110,8	113,8	112,3	74,3	80,6	77,4	36,6	36,9	36,7
	4	107,6	108,7	108,2	73,1	87,2	80,1	45,9	34,1	40,0
	5	114,7	105,9	110,3	78,8	81,2	80,0	34,9	31,3	33,1
	Ø			110,5			80,14			35,6
střed	1	107,7	101,3	104,5	70,4	76,9	73,6	36,5	37,9	37,2
	2	106,1	109,3	107,7	69,0	74,1	71,5	33,7	36,1	34,9
	3	105,5	103,5	104,5	70,4	79,2	74,8	33,5	31,6	32,6
	4	109,8	101,1	105,4	73,9	72,1	73,0	33,7	31,9	32,8
	5	105,5	102,5	104,0	71,4	68,8	70,1	31,5	33,5	32,5
	Ø			105,22			72,6			34
povrch 2	1	111,4	109,4	110,4	76,1	80,2	78,1	40,8	36,5	38,7
	2	108,6	105,1	106,8	80,0	75,3	77,6	36,3	37,7	37,0
	3	108,4	106,5	107,5	82,0	71,4	76,7	38,6	39,2	38,9
	4	108,5	106,9	107,7	82,4	75,9	79,1	37,7	36,1	36,9
	5	109,6	105,9	107,7	80,8	78,3	79,5	37,7	37,3	37,5
	Ø			108,02			78,2			37,8

Tab. P5: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

THFn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,01221	0,011071	0,011668
0,4904	0,006422	0,005271	0,006115
0,09807	0,001267	0,001156	0,001429

Tab. P6: Hodnoty směrníc a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	79,442	89,365	83,048
MHv [MPa]	147	166	154



Obr. P2: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku THFn

Tab. P7: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku THAD

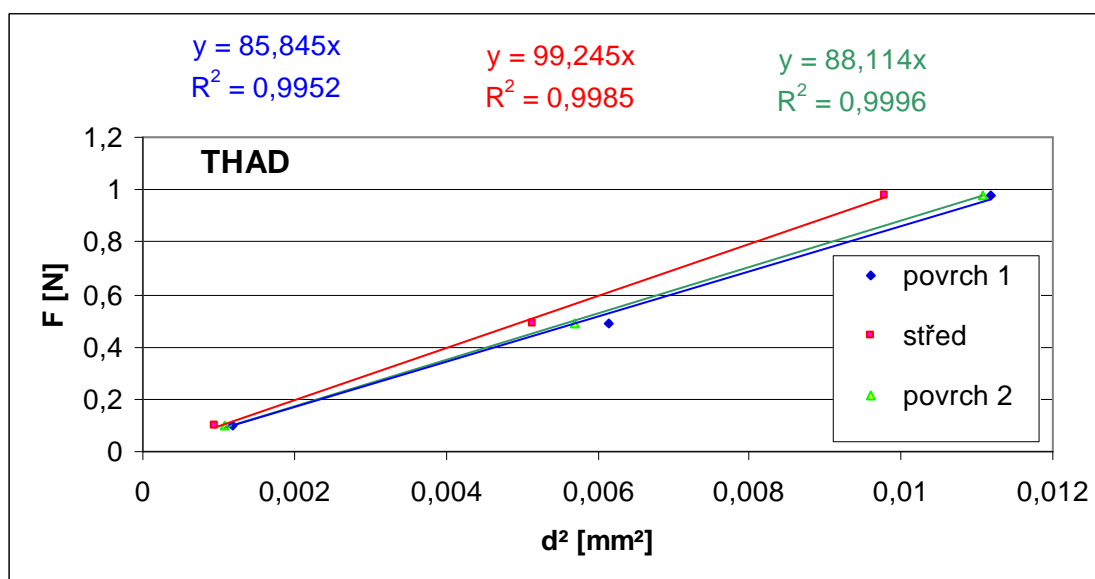
THAD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	101,7	110,8	106,3	79,3	76,5	77,9	35,1	34,1	34,6
	2	100,7	108,6	104,6	78,7	75,9	77,3	34,1	34,3	34,2
	3	111,4	105,1	108,3	76,3	79,4	77,8	33,9	35,3	34,6
	4	112,6	97,6	105,1	80,6	77,7	79,2	35,3	34,3	34,8
	5	107,1	101,4	104,3	81,0	79	80	34,1	34,3	34,2
	Ø			105,72			78,44			34,48
střed	1	98,2	103,3	100,7	71,2	72,2	71,7	30,6	29,8	30,2
	2	96,2	99,8	98,0	71,0	69,4	70,2	28,6	29,4	29
	3	96,6	98,5	97,5	69,8	71,4	70,6	30,9	31,2	31,1
	4	99,8	98,0	98,9	56,9	91,8	74,4	31,5	33,1	32,3
	5	98,2	100,3	99,2	71,0	73,1	72,1	32,1	29,6	30,8
	Ø			98,86			71,8			30,68
povrch 2	1	107,2	112,1	109,6	74,7	76,1	75,4	31,7	33,1	32,4
	2	105,1	108,4	106,7	76,3	74,5	75,4	34,1	32,5	33,3
	3	106,6	102,1	104,3	76,3	78,5	77,4	31,7	32,5	32,1
	4	103,3	98,0	100,7	74,5	76,3	75,4	33,9	34,5	34,2
	5	107,4	102,3	104,8	72,9	73,9	73,4	31,9	33,3	32,6
	Ø			105,22			75,4			32,92

Tab. P8: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

THAD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011177	0,009773	0,011071
0,4904	0,006153	0,005155	0,005685
0,09807	0,001189	0,000941	0,001084

Tab. P9: Hodnoty směrníc a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	85,845	99,245	88,114
MHv [MPa]	159	184	163



Obr. P3: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku THAD

Tab. P10: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku THFD

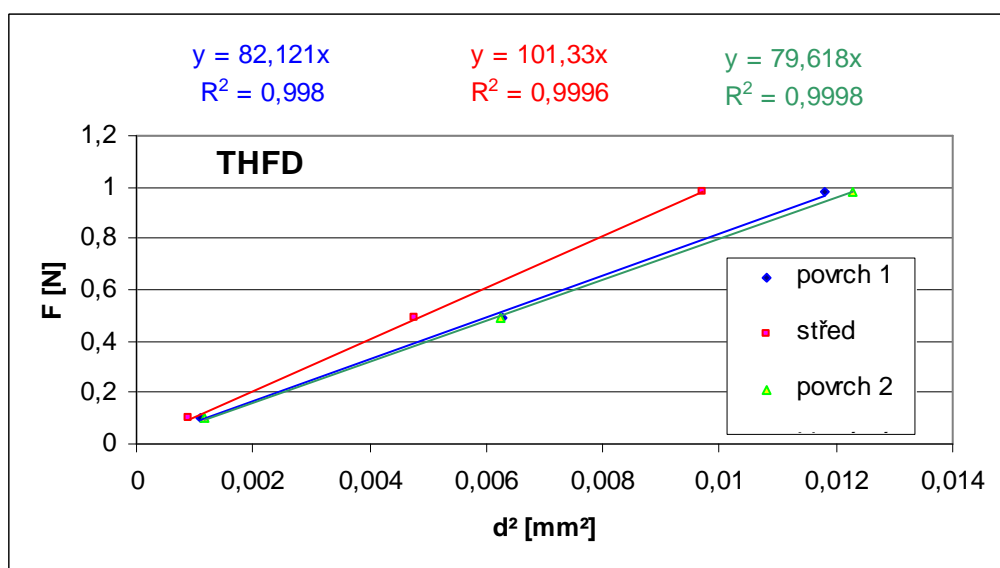
THFD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,2	110,0	109,1	79,4	79,3	79,3	34,7	32,1	33,4
	2	103,7	109,0	106,3	81,1	81,6	81,4	31,4	32,5	32,0
	3	98,8	99,5	99,1	76,3	78,7	77,5	34,1	33,9	34,0
	4	109,8	108,0	108,9	78,8	76,9	77,8	34,3	31,4	32,9
	5	107,8	116,5	112,1	76,1	79,3	77,7	33,8	34,1	33,9
	∅			108,6			79,16			33,24
střed	1	100,7	104,7	102,7	69,4	68,0	68,7	29,4	29,6	29,5
	2	95,8	99,7	97,7	67,8	69,4	68,6	30,4	31,9	31,1
	3	100,4	95,4	97,9	71,4	69,6	70,5	28,4	29,8	29,1
	4	99,0	96,0	97,5	68,2	69,6	68,9	31,3	29,6	30,4
	5	98,5	96,2	97,3	66,4	69,8	68,1	30,8	28,8	29,8
	∅			98,62			68,96			29,98
povrch 2	1	113,8	108,0	110,9	80,8	77,1	78,9	32,3	34,9	33,6
	2	107,2	114,7	110,9	77,9	79,2	78,6	32,7	33,9	33,3
	3	118,5	108,0	113,2	79,4	80,4	79,9	35,7	33,9	34,8
	4	114,3	105,9	110,1	80,2	76,7	78,4	30,5	34,5	32,5
	5	113,3	105,1	109,2	80,4	77,3	78,8	36,5	34,8	35,7
	∅			110,86			78,92			33,98

Tab. P11: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

THFD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011794	0,009726	0,01229
0,4904	0,006266	0,004755	0,006228
0,09807	0,001105	0,000899	0,001155

Tab. P12: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	82,121	101,33	79,618
MHv [MPa]	152	188	148



Obr. P4: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku THFD

Tab. P13: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TIA n

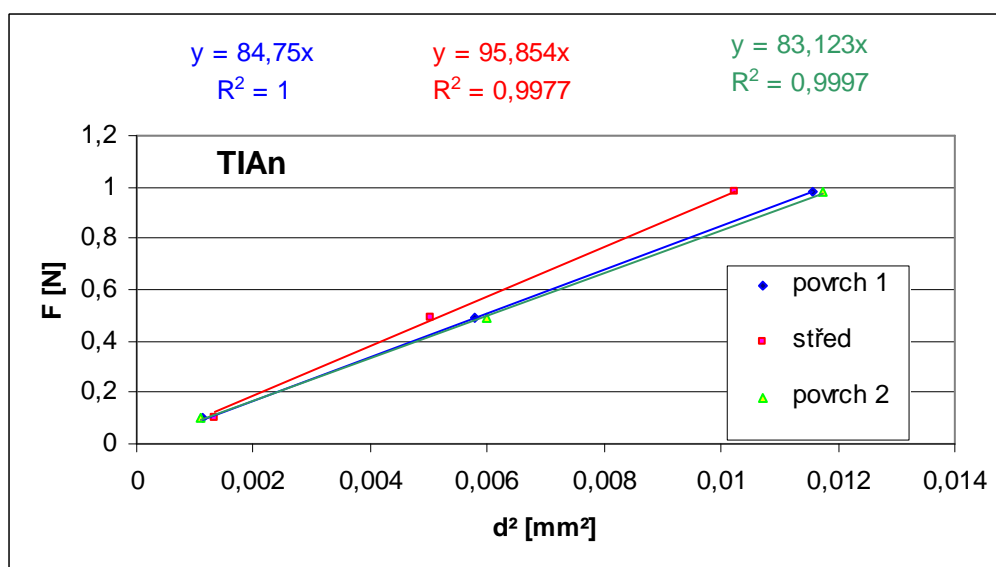
TIA n		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	109,2	107,5	108,3	77,2	78,2	77,7	31,9	31,5	31,7
	2	109,6	110,3	109,9	76,4	74,6	75,5	35,8	34,7	35,2
	3	106,3	108,9	107,6	78,1	74,5	76,3	33,6	33,3	33,4
	4	103,9	107,0	105,4	75,8	73,4	74,6	33,8	34,4	34,1
	5	108,5	104,6	106,6	75,8	77,5	76,6	34,3	32,7	33,5
	Ø			107,56			76,14			33,58
střed	1	105,1	102,5	103,8	73,4	73,2	73,3	31,3	38,3	34,8
	2	103,7	101,7	102,7	71,4	68,2	69,8	33,5	40,4	36,9
	3	99,6	95,4	97,5	70,6	69,8	70,2	35,5	37,9	36,7
	4	103,9	98,6	101,3	70,2	71,8	71,0	41,2	36,1	38,7
	5	100,4	100,7	100,6	69,2	71,0	70,1	34,3	35,5	34,9
	Ø			101,18			70,88			36,4
povrch 2	1	109,0	110,6	109,8	94,7	51,6	73,2	35,9	30,8	33,4
	2	108,6	106,9	107,8	73,8	79,6	76,7	33,1	33,3	33,2
	3	110,2	106,5	108,4	77,5	75,3	76,4	34,5	31,0	32,7
	4	109,4	106,9	108,2	84,8	76,7	80,8	34,9	34,3	34,6
	5	109,6	105,9	107,8	83,1	77,8	80,4	32,9	31,9	32,4
	Ø			108,4			77,5			33,26

Tab. P14: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TIA n	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011569	0,010237	0,011751
0,4904	0,005797	0,005024	0,006006
0,09807	0,001128	0,001325	0,001106

Tab. P15: Hodnoty směrnice a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,75	95,854	83,123
MHv [MPa]	157	178	154



Obr. P5: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TIA n

Tab. P16: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TIFn

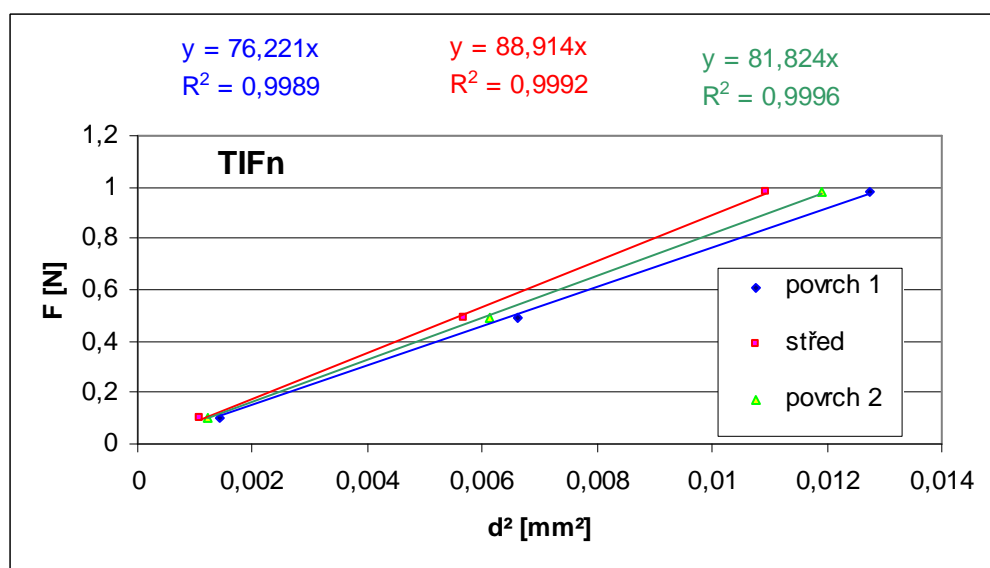
TIFn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	122,7	110,2	116,5	81,4	80,3	80,9	40,2	38	39,1
	2	109,4	110,6	110,0	86,5	79,5	83,0	37,7	35,9	36,8
	3	113,5	109,8	111,6	83,2	82,6	82,9	37,3	35,3	36,3
	4	115,3	110,8	113,0	80,7	75,9	78,3	37,3	40,0	38,7
	5	109,4	117,5	113,4	81,0	83,2	82,1	35,5	41,6	38,6
	∅			112,9			81,44			37,9
střed	1	102,5	106,5	104,5	72,4	74,3	73,4	33,7	33,9	33,8
	2	105,3	100,8	103,1	74,9	75,3	75,1	30,4	32,2	31,3
	3	106,7	107,7	107,2	77,9	75,3	76,6	31,7	32,1	31,9
	4	103,3	104,5	103,9	74,5	79,1	76,8	31,0	32,5	31,8
	5	105,1	103,5	104,3	73,5	77,1	75,3	34,9	35,3	35,1
	∅			104,6			75,44			32,78
povrch 2	1	109,3	108,1	108,7	79,1	73,9	76,5	35,5	35,1	35,3
	2	107,9	107,1	107,5	81,7	75,2	78,4	36,4	34,5	35,5
	3	110,0	110,1	110,1	78,0	77,6	77,8	33,9	34,3	34,1
	4	109,6	107,5	108,5	78,2	77,5	77,8	34,7	34,9	34,8
	5	109,5	112,4	111,0	79,8	81,7	80,7	36,6	35,4	36,0
	∅			109,16			78,24			35,14

Tab. P17: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TIFn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,012746	0,010941	0,011916
0,4904	0,006632	0,005691	0,006121
0,09807	0,001436	0,001075	0,001235

Tab. P18: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	76,221	88,914	81,824
MHv [MPa]	141	165	152



Obr. P6: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TIFn

Tab. P19: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TIAD

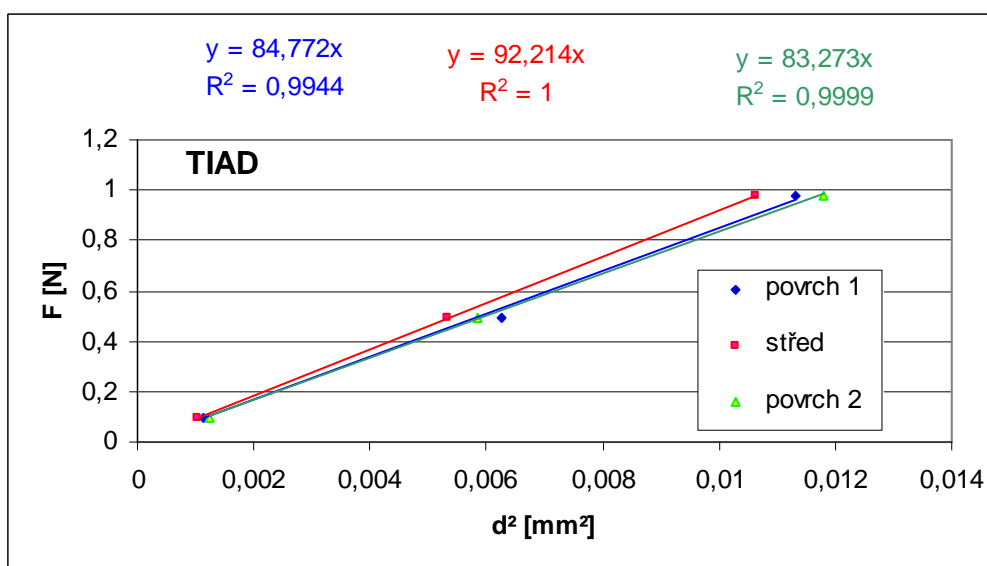
TIAD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	110,0	107,8	108,9	78,1	83,2	80,7	32,5	30,8	31,7
	2	110,4	112,2	111,3	75,3	81,0	78,1	31,9	34,5	33,2
	3	100,9	102,7	101,8	76,3	78,9	77,6	35,9	34,5	35,2
	4	104,8	100,0	102,4	79,7	81,8	80,8	33,5	34,3	33,9
	5	108,2	106,3	107,2	77,3	79,9	78,6	34,5	34,5	34,5
	∅			106,32			79,16			33,7
střed	1	102,9	99,7	101,3	74,5	70,6	72,6	32,3	32,1	32,2
	2	102,7	106,1	104,4	76,3	76,3	76,3	32,1	31,5	31,8
	3	103,3	104,3	103,8	71,4	72,2	71,8	33,3	29,4	31,4
	4	101,3	103,7	102,5	73,6	71,9	72,8	32,9	33,1	33
	5	102,1	104,9	103,5	72,7	70,8	71,7	32,5	32,1	32,3
	∅			103,1			73,04			32,14
povrch 2	1	110,1	108,5	109,3	80,6	74,2	77,4	37,8	36,8	37,3
	2	111,0	104,7	107,8	78,8	74,8	76,8	36,1	33,3	34,7
	3	109,9	107,5	108,7	79,9	74,7	77,3	35,3	34,4	34,8
	4	109,8	111,2	110,5	78,0	74,0	76,0	35,6	33,2	34,4
	5	107,7	105,5	106,6	77,4	72,6	75,0	34,1	34,2	34,2
	∅			108,58			76,5			35,08

Tab. P20: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TIAD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011304	0,01063	0,01179
0,4904	0,006266	0,005335	0,005852
0,09807	0,001136	0,001033	0,001231

Tab. P21: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,772	92,214	83,273
MHv [MPa]	157	171	154



Obr. P7: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TIAD

Tab. P22: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TIFD

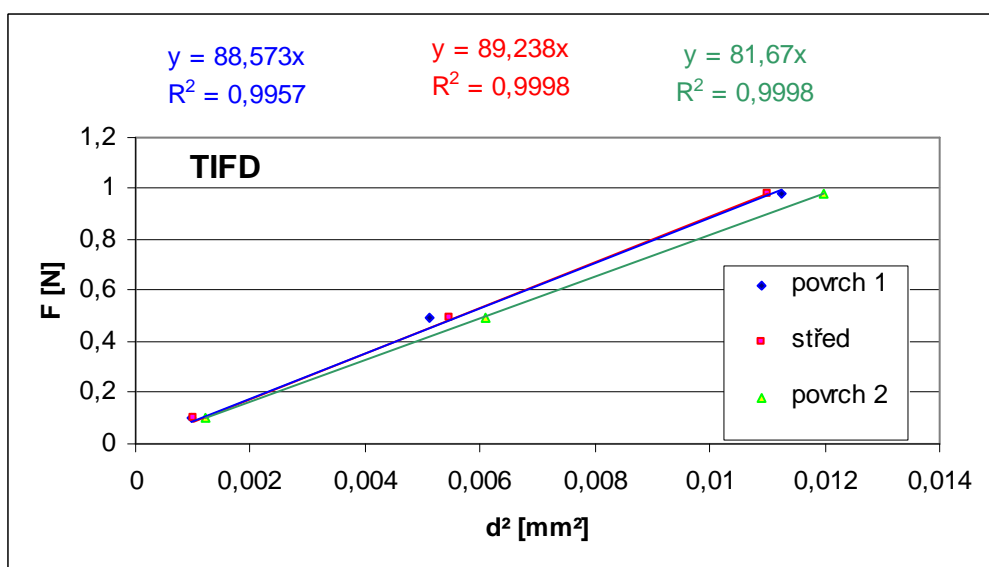
TIFD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	104,5	96,4	100,5	71,8	76,3	74,1	34,5	26,2	30,3
	2	108,6	104,9	106,8	70,2	78,3	74,3	28,6	29,7	29,1
	3	106,5	109,6	108,1	73,9	65,8	69,8	32,5	31,6	32,1
	4	106,4	106,7	106,5	70,3	73,3	71,8	31,1	34,5	32,8
	5	107,8	109,8	108,8	70,8	65,7	68,3	33,5	32,3	32,9
	Ø			106,14			71,66			31,44
střed	1	103,5	105,1	104,3	69,8	74,9	72,4	32,7	34,9	33,8
	2	106,7	102,9	104,8	76,3	74,3	75,3	30,2	29,4	29,8
	3	105,7	104,9	105,3	74,5	80,6	77,5	28,6	30,2	29,4
	4	101,3	109,2	105,2	71,3	74,7	73,0	30,7	33,7	32,2
	5	103,7	106,3	105,0	69,2	74,3	71,8	29,5	36,5	33
	Ø			104,92			74			31,64
povrch 2	1	109,3	109,8	109,6	78,4	79,7	79,0	35,7	35,5	35,6
	2	110,1	111,0	110,5	77,6	77,0	77,3	34,3	35,1	34,7
	3	109,9	107,1	108,5	80,1	78,7	79,4	35,2	34,5	34,8
	4	108,5	110,8	109,6	76,2	78,0	77,1	34,7	34,9	34,8
	5	109,5	107,9	108,7	79,2	75,4	77,3	35,5	34,2	34,9
	Ø			109,38			78,02			34,96

Tab. P23: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

TIFD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011266	0,011008	0,011964
0,4904	0,005135	0,005476	0,006087
0,09807	0,000988	0,001001	0,001222

Tab. P24: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

		střed	povrch 2
x	88,573	89,238	81,67
MHv [MPa]	164	165	151



Obr. P8: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TIF

Tab. P25: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TUAn

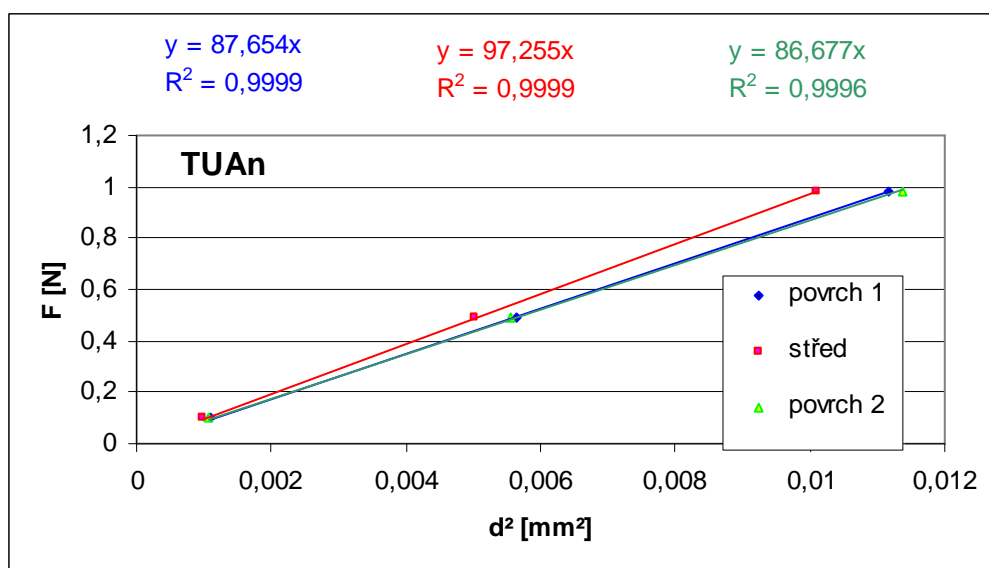
TUAn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	104,7	105,8	105,2	75,7	72,5	74,1	33,9	34,7	34,3
	2	108,6	102,9	105,7	74,1	71,9	73,0	34,1	35,9	35,0
	3	107,1	105,2	106,2	74,9	76,7	75,8	32,7	32,9	32,8
	4	105,9	101,9	103,9	77,3	72,7	75	30,5	30,6	30,5
	5	107,2	107,4	107,3	78,7	77,1	77,9	31,3	32,9	32,1
	Ø			105,66			75,16			32,94
střed	1	99,3	99,1	99,2	69,0	65,8	67,4	30,4	30,4	30,4
	2	102,9	100,5	101,7	72,8	70,2	71,5	30,2	31,7	31,0
	3	101,2	100,5	100,9	70,9	70,7	70,8	31,5	30,3	30,9
	4	100,3	102,7	101,5	70,7	76,5	73,6	30,6	31,9	31,2
	5	100,1	98,6	99,3	70,6	70,4	70,5	32,1	33,7	32,9
	Ø			100,52			70,76			31,28
povrch 2	1	107,0	104,8	105,9	75,9	73,3	74,6	33,1	30,4	31,7
	2	108,4	108,2	108,3	74,7	72,0	73,4	33,9	34,1	34,0
	3	105,8	103,7	104,7	74,5	73,9	74,2	32,3	33,3	32,8
	4	108,6	104,9	106,8	73,3	75,5	74,4	32,7	31,6	32,2
	5	105,1	110,0	107,6	74,9	76,2	75,6	34,3	32,5	33,4
	Ø			106,66			74,44			32,82

Tab. P26: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TUAn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011164	0,010104	0,011376
0,4904	0,005649	0,005007	0,005541
0,09807	0,001085	0,000978	0,001077

Tab. P27: Hodnoty směrnice a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	87,654	97,255	86,677
MHv [MPa]	163	180	161



Obr. P9: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TUAn

Tab. P28: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TUFn

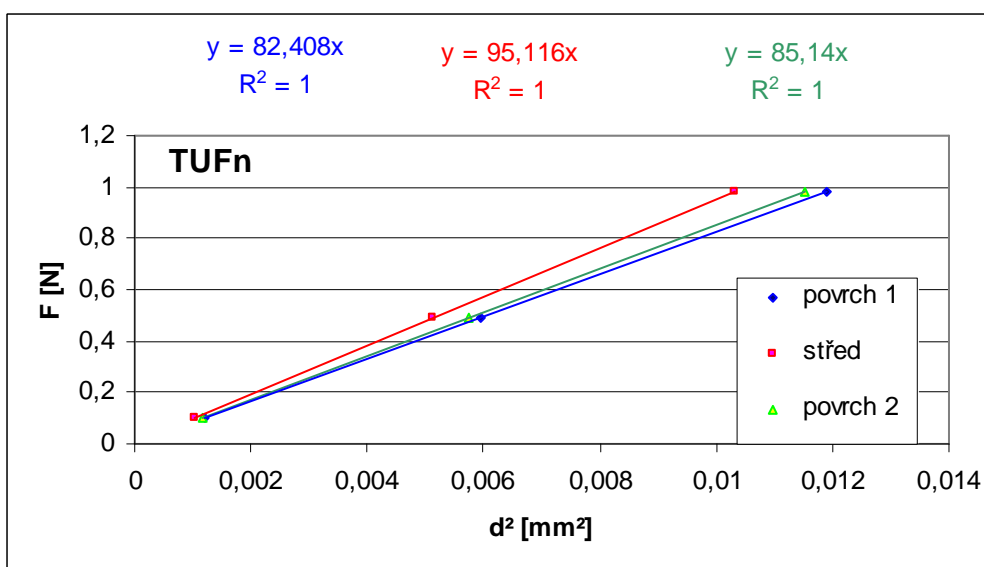
TUFn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	109,6	109,2	109,4	74,9	77,9	76,4	36,3	35,5	35,9
	2	107,2	109,8	108,5	75,9	77,3	76,6	35,9	35,3	35,6
	3	110,2	108,2	109,2	76,5	73,5	75,0	35,9	35,5	35,7
	4	110,4	109,6	110,0	77,3	80,4	78,8	34,3	32,7	33,5
	5	110,0	106,8	108,4	78,1	79,0	78,6	33,7	33,5	33,6
	Ø			109,1			77,08			34,86
střed	1	101,7	101,1	101,4	71,4	72,2	71,8	32	32,9	32,5
	2	101,1	99,6	100,4	72,2	73,3	72,8	32,7	34,5	33,6
	3	101,3	102,1	101,7	71	73,3	72,1	32,3	31,7	32
	4	103,3	99,0	101,2	68,6	72,3	70,4	32,3	31,5	31,9
	5	103,3	103,3	103,3	71,1	71,2	71,1	30,5	30,2	30,3
	Ø			101,6			71,64			32,06
povrch 2	1	106,7	105,4	106,1	74,3	74,5	74,4	34,7	33,9	34,3
	2	108,2	108,4	108,3	79,1	76,1	77,6	36,7	33,5	35,1
	3	109,0	104,9	107,0	75,9	73,9	74,9	35,1	33,9	34,5
	4	104,5	107,8	106,2	74,3	76,5	75,4	35,7	32,5	34,1
	5	109,2	109,2	109,2	76,7	76,5	76,6	31,3	33,7	32,5
	Ø			107,36			75,78			34,1

Tab. P29: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TUFn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011903	0,010323	0,011526
0,4904	0,005941	0,005132	0,005743
0,09807	0,001215	0,001028	0,001163

Tab. P30: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	82,408	95,116	85,14
MHv [MPa]	153	176	158



Obr. P10: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUF

Tab. P31: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TUAD

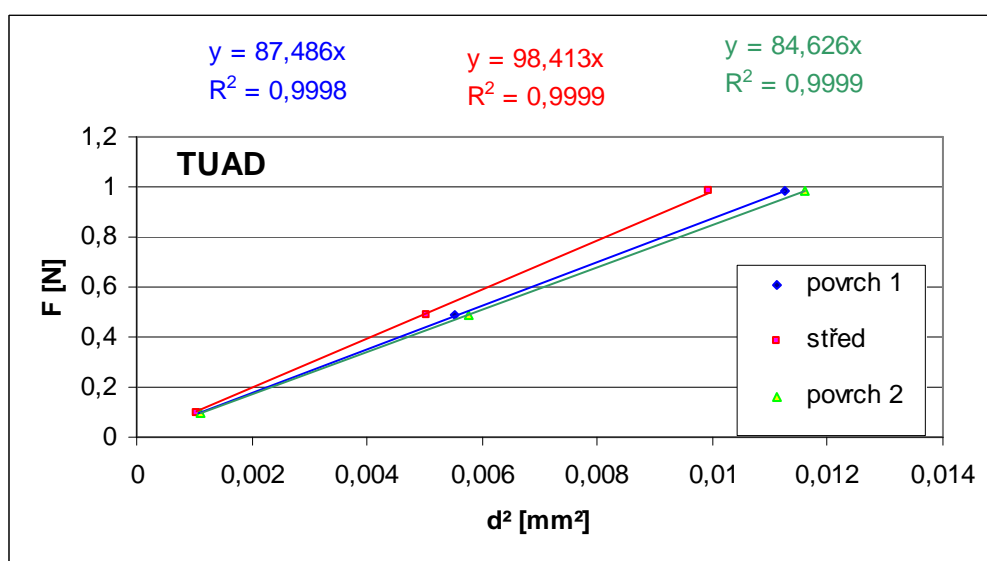
TUAD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
povrch 1	1	105,3	108,6	106,9	70,6	76,3	73,5	30,2	31,7	30,9
	2	106,5	104,9	105,7	77,1	72,4	74,8	35,9	32,9	34,4
	3	108,6	97,8	103,2	71,9	75,3	73,6	31,5	35,1	33,3
	4	108,0	104,9	106,5	74,9	71,5	73,2	32,5	32,5	32,5
	5	107,8	108,6	108,2	77,1	75,3	76,2	33,7	34,5	34,1
	Ø			106,1			74,26			33,04
střed	1	101,9	99,7	100,8	72,7	69,0	70,8	32,1	33,7	32,9
	2	101,9	97,2	99,5	71,8	70,8	71,3	28,8	29,9	29,4
	3	98,1	102,9	100,5	71,0	69,2	70,1	32,7	31,4	32,1
	4	100,2	95,8	98,0	70,0	71,0	70,5	32,7	34,1	33,4
	5	98,7	100,4	99,5	72,7	71,8	72,3	33,5	32,0	32,8
	Ø			99,66			71			32,12
povrch 2	1	108,8	107,0	107,9	75,3	76,9	76,1	33,3	33,1	33,2
	2	107,1	109,8	108,5	76,1	76,5	76,3	33,7	36,1	34,9
	3	108,0	108,2	108,1	77,9	75,5	76,7	33,7	31,9	32,8
	4	106,6	103,7	105,1	75,7	71,7	73,7	34,5	33,1	33,8
	5	108,0	110,2	109,1	79,8	74,1	76,9	33,1	29,6	31,3
	Ø			107,74			75,94			33,2

Tab. P32: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TUAD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011257	0,009932	0,011608
0,4904	0,005515	0,005041	0,005767
0,09807	0,001092	0,001032	0,001102

Tab. P33: Hodnoty směrníc a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	87,486	98,413	84,626
MHv [MPa]	162	182	157



Obr. P11: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TUAD

Tab. P34: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TUFĐ

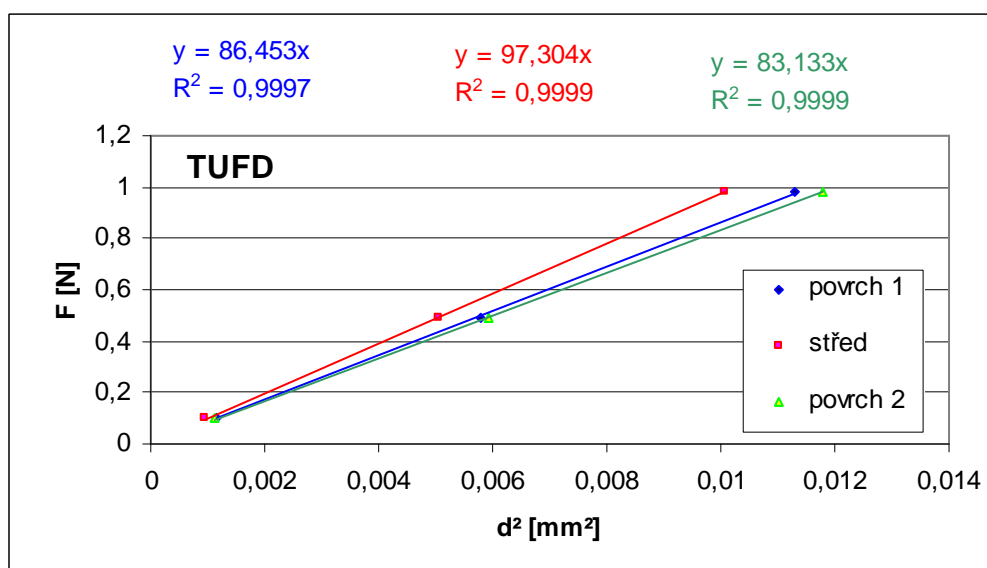
TUFĐ		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
povrch 1	1	107,2	101,1	104,1	76,3	74,0	75,2	32,5	33,5	33,0
	2	109,4	102,3	105,9	79,6	74,9	77,2	33,9	33,9	33,9
	3	108,7	107,0	107,8	75,9	70,5	73,2	32,7	35,1	33,9
	4	108,4	108,4	108,4	80,1	73,3	76,7	36,9	34,5	35,7
	5	105,5	104,5	105	79,6	76,1	77,8	33,7	33,3	33,5
	∅			106,24			76,02			34
střed	1	99,2	100,3	99,7	70,8	71,0	70,9	31,7	31,0	31,4
	2	103,7	103,3	103,5	73,4	70,4	71,9	30,7	31,5	31,1
	3	97,9	97,2	97,5	73,3	69,4	71,3	30,6	29,4	30,0
	4	101,9	98,0	100	69,0	71,6	70,3	31,0	29,6	30,3
	5	103,1	99,0	101,1	73,1	69,8	71,4	32,3	30,4	31,3
	∅			100,36			71,16			30,82
povrch 2	1	107,4	109,0	108,2	75,7	80,2	77,9	34,1	35,9	35,0
	2	107,4	109,0	108,2	77,7	75,2	76,5	35,3	35,1	35,2
	3	108,2	110,0	109,1	75,5	79,8	77,6	33,5	32,5	33,0
	4	107,8	108,0	107,9	78,7	74,9	76,8	29,4	30,6	30,0
	5	110,0	108,6	109,3	77,5	75,5	76,5	37,1	33,9	35,5
	∅			108,54			77,06			33,74

Tab. P35: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TUFĐ	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011287	0,010072	0,011781
0,4904	0,005779	0,005064	0,005938
0,09807	0,001156	0,00095	0,001138

Tab. P36: Hodnoty směrníc a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	86,453	97,304	83,133
MHv [MPa]	160	180	154



Obr. P12: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TUFĐ

Tab. P37: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TDAn

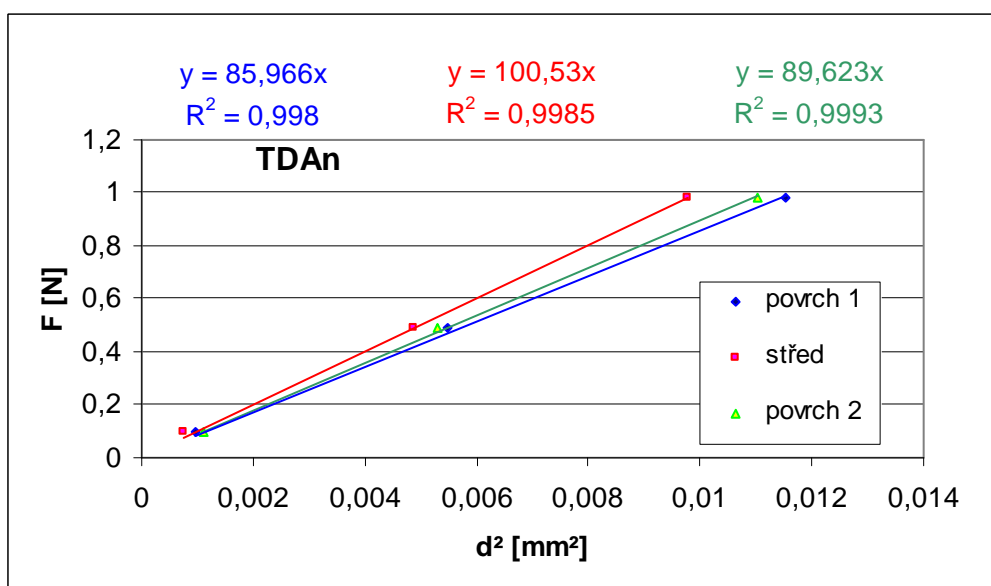
TDAn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	106,6	111,0	108,8	76,1	69,4	72,7	34,7	30,4	32,6
	2	108,0	104,9	106,5	76,5	74,9	75,7	32,1	29,0	30,5
	3	107,6	107,2	107,4	70,4	74,7	72,6	33,3	27,8	30,5
	4	104,7	106,3	105,5	76,7	73,1	74,9	31,8	27,8	29,8
	5	106,7	110,9	108,8	74,9	72,9	73,9			
	∅			107,4			73,96			30,85
střed	1	98,7	94,0	96,3	69,6	68,9	69,2	27,2	25,6	26,4
	2	103,5	95,4	99,5	71,6	72,9	72,3	28,8	28,4	28,6
	3	107,4	95,8	101,6	72,1	64,7	68,4	28,0	25,6	26,8
	4	95,6	97,6	96,6	71,9	66,8	69,4	28,2	24,1	26,2
	5	101,7	99,0	100,4	72,3	67,0	69,6	27,6	28,0	27,8
	∅			98,88			69,78			27,16
povrch 2	1	106,6	105,5	106,0	73,9	70,2	72,0	31,9	31,5	31,7
	2	108,4	100,1	104,2	72,7	71,4	72,0	32,9	33,5	33,2
	3	107,3	107,0	107,2	70,8	72,7	71,7	32,1	34,7	33,4
	4	100,7	104,3	102,5	67,8	73,9	70,8	36,1	35,7	35,9
	5	108,6	101,3	105,0	75,3	75,9	75,6	34,5	32,3	33,4
	∅			104,98			72,82			33,52

Tab. P38: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TDAn	d ² [mm ²]		
	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011535	0,009777	0,011021
0,4904	0,00547	0,004869	0,005303
0,09807	0,000952	0,000738	0,001124

Tab. P39: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	85,966	100,53	89,623
MHv [MPa]	159	186	166



Obr. P13: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TDAn

Tab. P40: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TDFn

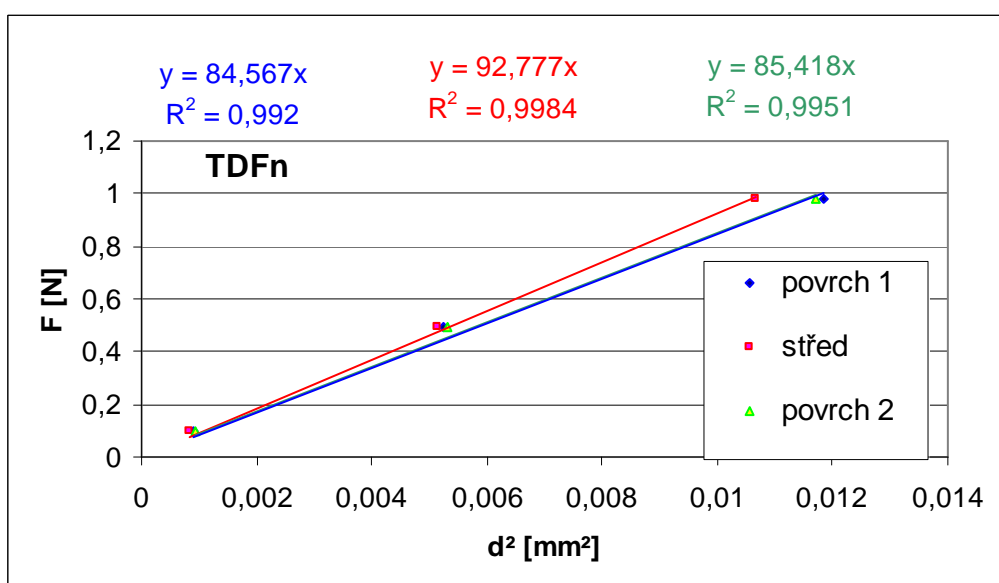
TDFn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	114,9	107,0	110,9	72,5	79,6	76,1	26,2	27,2	26,7
	2	106,3	109,2	107,8	70,1	69,5	69,8	31,2	31,9	31,5
	3	110,8	107,8	109,3	72,4	67,4	69,9	30,0	29,4	29,7
	4	110,2	105,1	107,7	65,8	73,9	69,8	33,3	30,0	31,6
	5	110,6	107,0	108,8	76,1	77,3	76,7	30,9	30,5	30,7
	Ø			108,9			72,46			30,04
střed	1	102,7	104,5	103,6	70,1	66,9	68,5	26,4	28,2	27,3
	2	101,4	107,6	104,5	71,5	72,8	72,1	29,1	28,2	28,6
	3	103,1	97,0	100,0	66,0	69,7	67,8	33,1	32,3	32,7
	4	101,7	102,1	101,9	74,1	72,9	73,5	32,5	30,8	31,7
	5	108,6	103,7	106,2	76,5	76,1	76,3	26,6	23,7	25,2
	Ø			103,24			71,68			29,1
povrch 2	1	109,4	101,9	105,7	74,3	70,4	72,3	31,9	28,8	30,3
	2	109,4	106,4	107,9	75,1	72,6	73,9	29,8	29,4	29,6
	3	107,6	114,3	111,0	72,1	72,4	72,3	32,3	29,6	30,9
	4	115,5	109,4	112,5	72,7	75,5	74,1	34,7	31,0	32,9
	5	106,6	100,5	103,5	73,7	70,4	72,0	32,3	28,8	30,6
	Ø			108,12			72,92			30,86

Tab. P41: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TDFn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011859	0,010658	0,01169
0,4904	0,00525	0,005138	0,005317
0,09807	0,000902	0,000847	0,000952

Tab. P42: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,567	92,777	85,418
HV [MPa]	157	172	158



Obr. P14: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TDFn

Tab. P43: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TDAD

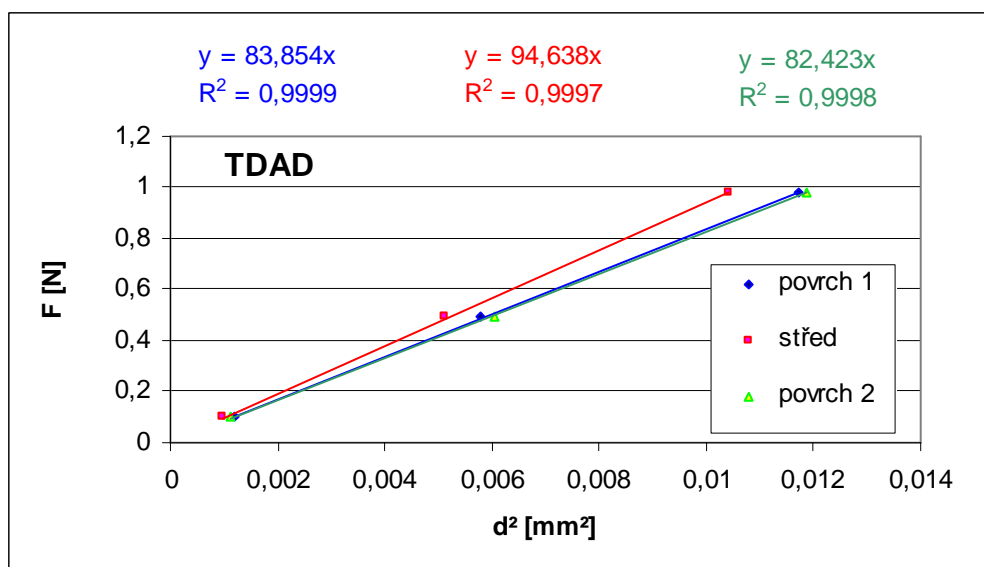
TDAD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	105,7	109,6	107,6	77,7	75,8	76,7	33,3	35,0	34,1
	2	109,1	111,5	110,3	77,6	74,5	76,1	33,4	34,7	34,1
	3	104,2	111,9	108,0	77,0	77,2	77,1	34,8	34,5	34,7
	4	108,5	106,1	107,3	74,6	74,0	74,3	35,3	37,6	36,5
	5	106,3	110,3	108,3	75,8	75,8	75,8	32,9	33,1	33,0
	∅			108,3			76			34,48
střed	1	99,0	97,7	98,3	73,3	69,4	71,3	29,9	31,5	30,7
	2	97,4	99,8	98,6	70,4	70,7	70,5	28,6	29,6	29,1
	3	107,2	106,5	106,8	73,0	68,6	70,8	32,3	33,7	33,0
	4	102,5	105,7	104,1	72,9	72,0	72,5	30,2	30,5	30,4
	5	102,7	101,5	102,1	70,0	75,3	72,7	29,8	33,1	31,5
	∅			101,98			71,56			30,94
povrch 2	1	109,4	115,1	112,2	74,3	80,4	77,4	34,7	31	32,9
	2	109,2	106,4	107,8	73,7	79,5	76,6	33,1	34,1	33,6
	3	109,2	104,1	106,6	77,1	74,9	76,0	32,7	37,1	34,9
	4	109,0	109,2	109,1	81,6	80,6	81,1	33,9	36,0	34,9
	5	109,8	107,8	108,8	77,3	77,5	77,4	33,1	30,8	32,0
	∅			108,9			77,7			33,66

Tab. P44: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TDAD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011729	0,0104	0,011859
0,4904	0,005776	0,005121	0,006037
0,09807	0,001189	0,000957	0,001133

Tab. P45: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	83,854	94,638	82,423
MHv [MPa]	157	175	153



Obr. P15: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku TDAD

Tab. P46: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku TDFD

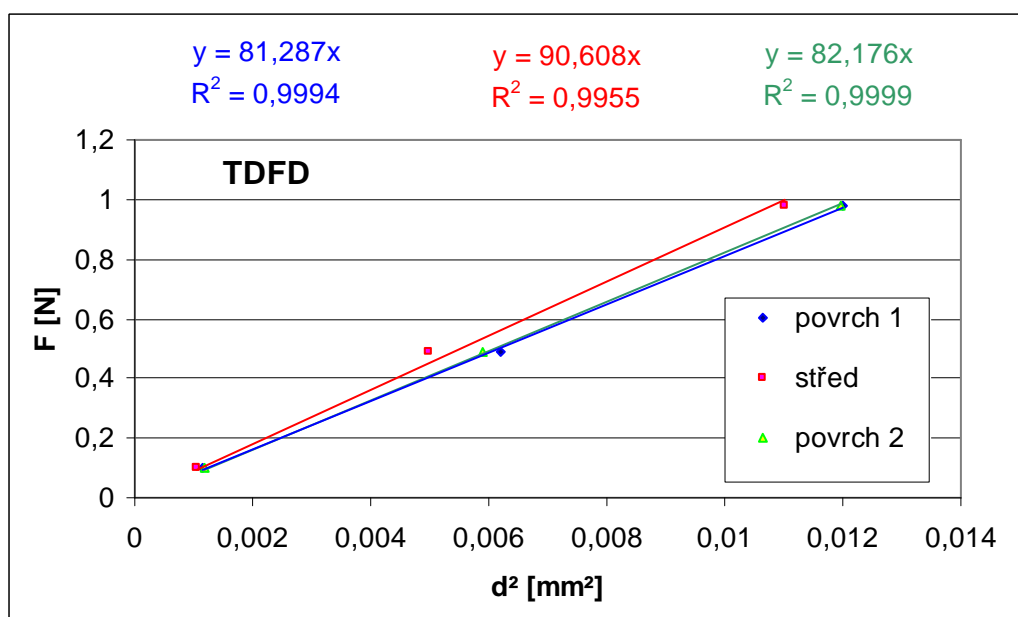
TDFD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,4	109,0	108,7	78,3	78,5	78,4	33,7	33,3	33,5
	2	107,6	109,4	108,5	77,1	77,9	77,5	35,3	31,0	33,2
	3	109,0	109,2	109,1	79,4	78,7	79,1	34,1	33,9	34,0
	4	109,2	110,8	110,0	80,4	80,8	80,6	34,5	33,7	34,1
	5	109,2	113,1	111,1	77,9	77,9	77,9	34,9	36,3	35,6
	∅			109,48			78,7			34,08
střed	1	110,2	104,1	107,2	70,0	71,3	70,7	36,1	35,1	35,6
	2	107,0	103,9	105,4	72,2	72,4	72,3	31,8	30,7	31,3
	3	109,0	105,7	107,3	72,3	68,6	70,4	34,5	32,0	33,3
	4	99,9	105,7	102,8	64,5	71,4	68,0	31,4	32,3	31,9
	5	102,5	101,7	102,1	70,0	73,7	71,9	29,2	30,8	30,0
	∅			104,96			70,66			32,42
povrch 2	1	108,8	107,9	108,4	77,4	71,3	74,4	35,1	36,8	36,0
	2	109,2	114,0	111,6	78,0	75,4	76,7	35,7	34,7	35,2
	3	109,3	107,9	108,6	76,8	78,0	77,4	36,8	30,4	33,6
	4	109,5	112,4	110,9	78,1	73,6	75,8	33,7	32,9	33,3
	5	109,9	105,1	107,5	80,8	78,9	79,8	35,0	32,1	33,5
	∅			109,4			76,82			34,32

Tab. P47: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

TDFD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011986	0,011017	0,011968
0,4904	0,006194	0,004993	0,005901
0,09807	0,001161	0,001051	0,001178

Tab. P48: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	81,287	90,608	82,176
MHv [MPa]	151	168	152



Obr. P16: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku TDFD

Tab. P49: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HASn

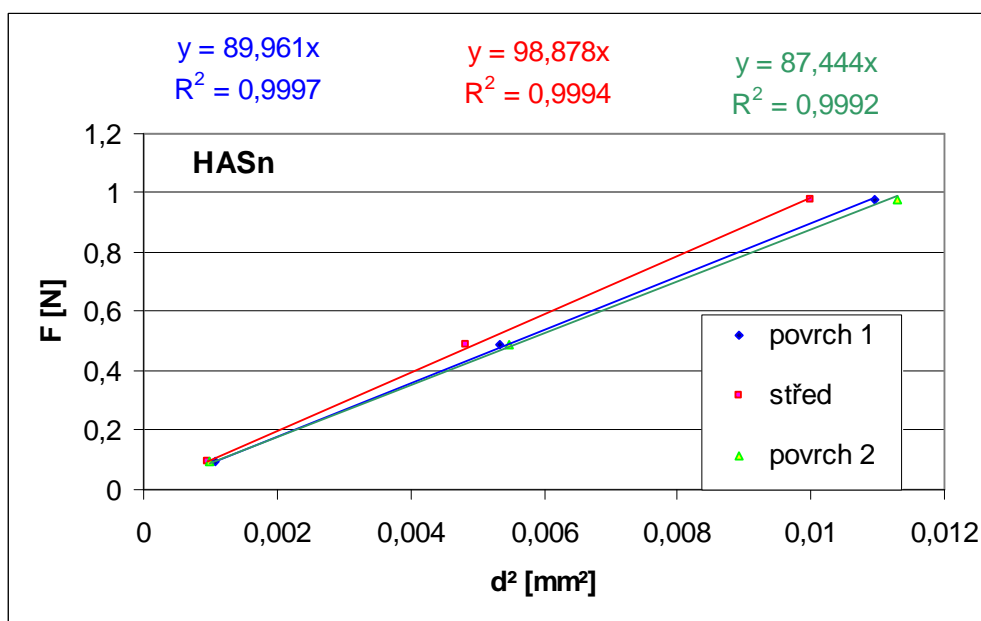
HASn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	104,4	105,5	104,9	75,4	72,1	73,7	34,6	30,1	32,7
	2	101,2	105,8	103,5	70,1	74,3	72,2	31,1	33,7	32,7
	3	105,5	103,0	104,3	72,9	73,7	73,3	32,9	33,3	33,1
	4	106,9	101,4	104,1	75,0	68,8	71,9	33,1	30,1	31,6
	5	107,8	105,3	106,5	73,9	75,2	74,6	33,5	32,3	32,9
	Ø			104,66			73,14			32,60
střed	1	104	99,6	101,8	69,3	70,1	69,7	32,0	32,3	32,2
	2	99,0	101,2	100,1	67,6	73,8	70,7	31,5	30,3	30,9
	3	98,5	97,8	98,2	72,5	67,6	70,1	31,7	29,7	30,7
	4	103,2	98,4	100,8	69,7	67,1	68,4	32,7	30,5	31,6
	5	100,0	97,5	98,7	69,9	67	68,5	29,4	31,9	30,6
	Ø			99,92			69,48			31,2
povrch 2	1	100,6	111,4	106,0	73,3	74,2	73,7	31,3	28,8	30,1
	2	108,6	101,9	105,3	72,3	74,3	73,3	31,1	30,9	31,0
	3	110,3	104,2	107,3	72,7	74,3	73,5	33,6	32,7	33,1
	4	103,0	112,6	107,8	75,2	74,8	75,0			
	5	108,5	101,4	104,9	73,4	75,7	74,5			
	Ø			106,26			74			31,4

Tab. P50: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HASn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010954	0,009984	0,011291
0,4904	0,005349	0,004827	0,005476
0,09807	0,001063	0,000973	0,000986

Tab. P51: Hodnoty směrníc a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	89,961	98,878	87,444
MHv [MPa]	167	183	162



Obr. P17: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku HASn

Tab. P52: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFSn

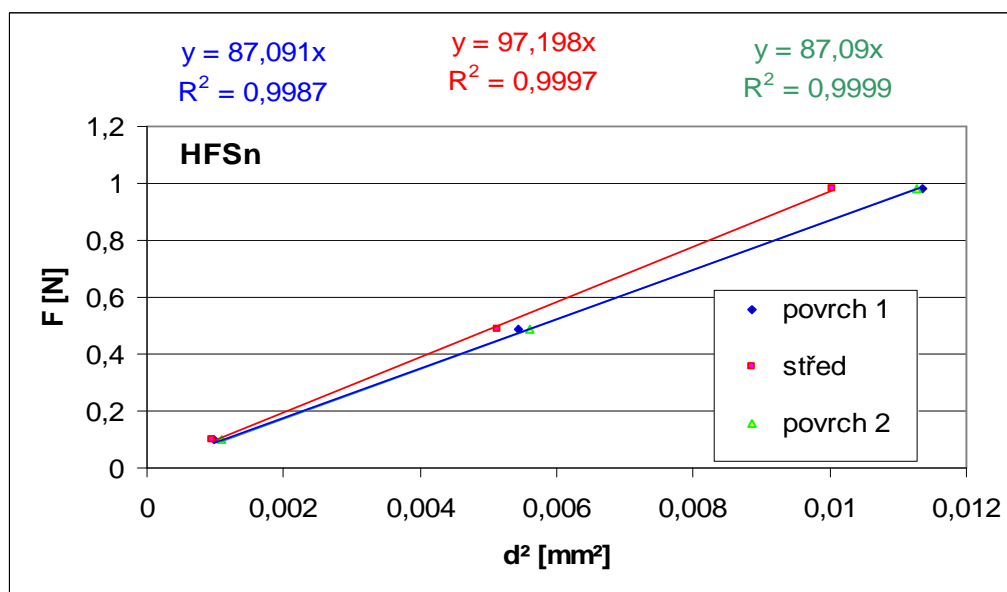
HFSn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	105,2	105,1	105,2	73,3	72,1	72,7	30,2	32,9	31,6
	2	107,3	103,5	105,4	71,8	72,1	71,9	33,5	30,9	32,2
	3	108,1	108,1	108,1	76,2	74,8	75,5	31,5	29,6	30,6
	4	105,9	109,7	107,8	74,4	75,0	74,7			
	5	109,3	103,6	106,5	73,0	74,9	74,0			
	Ø			106,6			73,76			31,467
střed	1	96,7	99,7	98,2	70,5	70,3	70,4	31,9	31,9	31,9
	2	101,0	100,8	100,9	71,9	72,5	72,2	30,1	31,9	31
	3	103,2	99,4	101,3	70,7	73,6	72,1	31,7	31,9	31,8
	4	102,6	97,5	100,0	72,6	71,3	71,9	30,5	32,1	31,3
	5	102,2	99,4	100,8	69,1	74,2	71,7	30,3	28,4	29,3
	Ø			100,24			71,66			31,06
povrch 2	1	103,6	108,3	106,0	75,0	76,2	75,6	32,5	35,2	33,9
	2	105,3	104,8	105,1	72,7	74,4	73,5	32,5	32,9	32,7
	3	103,4	103,0	103,2	73,8	77,4	75,6	32,7	33,3	33
	4	104,7	107,3	106,0	74,8	77,2	76,0	33,3	30,9	32,1
	5	109,5	112,0	110,8	71,3	75,4	73,3			
	Ø			106,22			74,8			32,925

Tab. P53: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

HFSn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011364	0,010048	0,011283
0,4904	0,005441	0,005135	0,005595
0,09807	0,00099	0,000965	0,001084

Tab. P54: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	87,091	97,198	87,09
MHv [MPa]	161	180	161



Obr. P18: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFSn

Tab. P55: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HASD

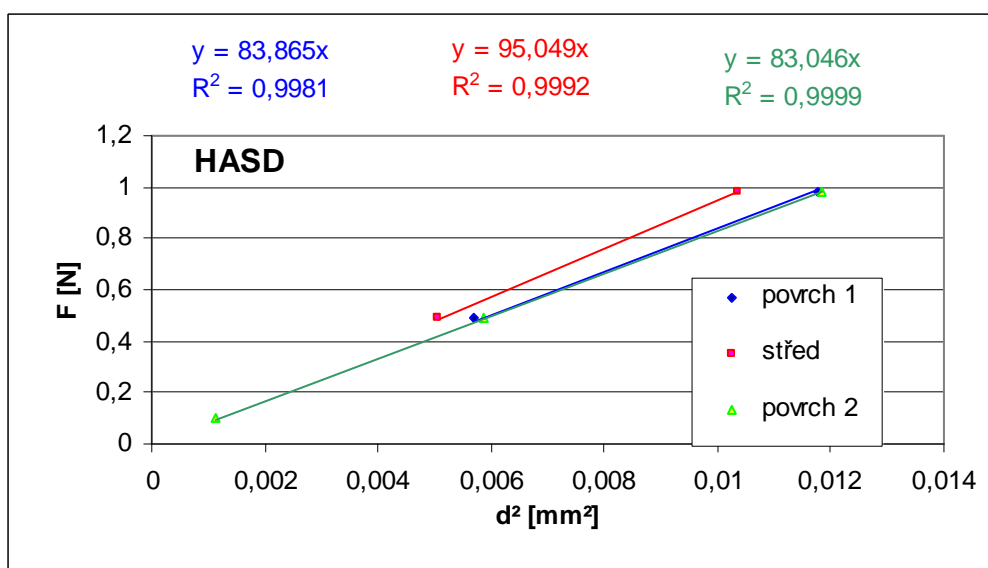
HASD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,7	111,2	109,9	71,0	77,2	74,1			
	2	108,3	107,4	107,8	72,0	74,3	73,2			
	3	107,9	108,5	108,2	78,2	77,8	78,0			
	4	108,3	107,7	108	73,6	77,8	75,7			
	5	108,3	108,8	108,6	76,4	75,6	76,0			
	∅			108,5			75,4			
střed	1	104,2	105,0	104,6	72,0	71,3	71,7			
	2	102,6	96,3	99,5	72,7	72,1	72,4			
	3	103,8	99,4	101,6	69,8	69,4	69,6			
	4	103,4	99,1	101,3	72,9	70,3	71,6			
	5	103,8	100,3	102	71,8	69,5	70,6			
	∅			101,8			71,18			
povrch 2	1	108,7	111,2	109,9	77,8	76,4	77,1	32,9	31,9	32,4
	2	109,1	106,3	107,7	74,2	77,8	76,0	32,9	36,2	34,6
	3	108,6	108,7	108,7	72,1	75,6	73,9	33,7	34,9	34,3
	4	108,7	111,7	110,2	78,6	75,6	77,1			
	5	107,7	106,9	107,3	78,1	80,1	79,1			
	∅			108,76			76,64			33,767

Tab. P56: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

HASD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011772	0,010363	0,011829
0,4904	0,005685	0,005067	0,005874
0,09807			0,00114

Tab. P57: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	83,865	95,049	83,046
MHv [MPa]	155	176	154



Obr. P19: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HASD

Tab. P58: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFSD

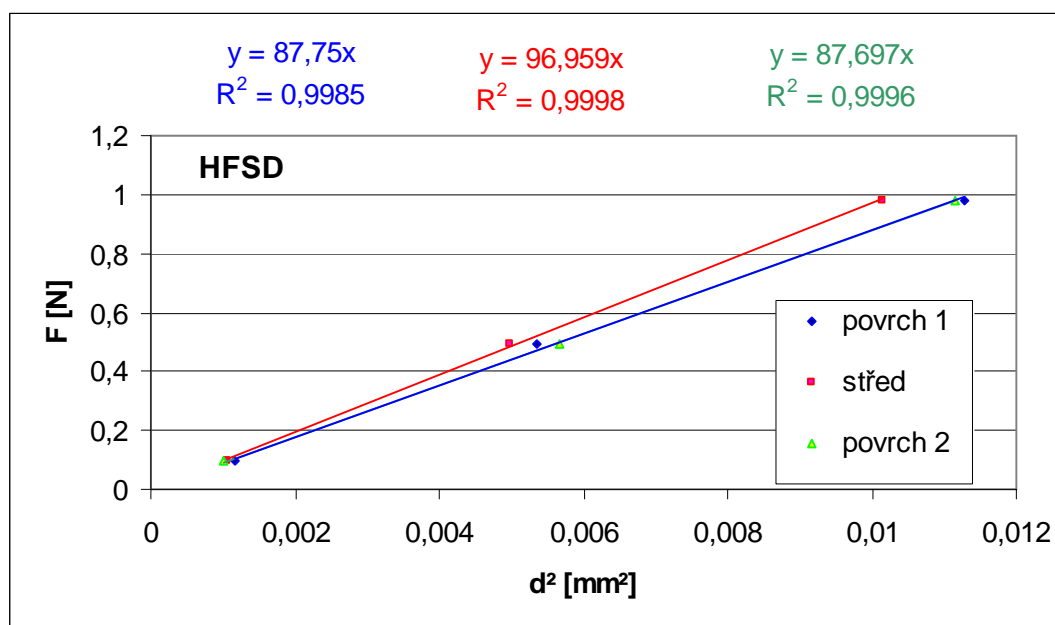
HFSD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,3	104,5	106,4	71,1	72,3	71,7	35,8	34,5	35,1
	2	109,3	106,3	107,8	70,4	72,5	71,5	33,4	34,3	33,8
	3	105,1	105,7	105,4	73,4	73,4	73,4	33,3	33,9	33,6
	4	108,3	104,1	106,2	75,6	73,5	74,6			
	5	108,0	102,8	105,4	74,8	73,9	74,3			
	Ø			106,24			73,1			34,167
střed	1	104,4	96,5	100,5	68,9	69,3	69,1	31,2	34,9	33,0
	2	104,4	98,1	101,3	68,9	72,0	70,4	31,0	31,9	31,5
	3	101,4	101,0	101,2	73,5	66,7	70,1	34,2	32,1	33,1
	4	105,1	96,5	100,8	72,4	70,3	71,3			
	5	101,8	97,9	99,9	73,5	70,3	71,9			
	Ø			100,74			70,56			32,533
povrch 2	1	109,3	105,0	107,2	78,4	74,8	76,6	32,1	32,5	32,3
	2	106,7	110,1	108,4	74,6	78,2	76,4	31,9	32,7	32,3
	3	107,6	103,8	105,7	78,0	69,9	73,9	32,1	29,2	30,7
	4	104,5	98,2	101,3	75,8	76,8	76,3			
	5	105,0	105,8	105,4	73,3	73,5	73,4			
	Ø			105,6			75,32			31,767

Tab. P59: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HFSD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011287	0,010149	0,011151
0,4904	0,005344	0,004979	0,005673
0,09807	0,001167	0,001058	0,001009

Tab. P60: Hodnoty směrníc a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	87,75	96,959	87,697
MHv [MPa]	163	178	163



Obr. P20: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku HFSD

Tab. P61: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HARn

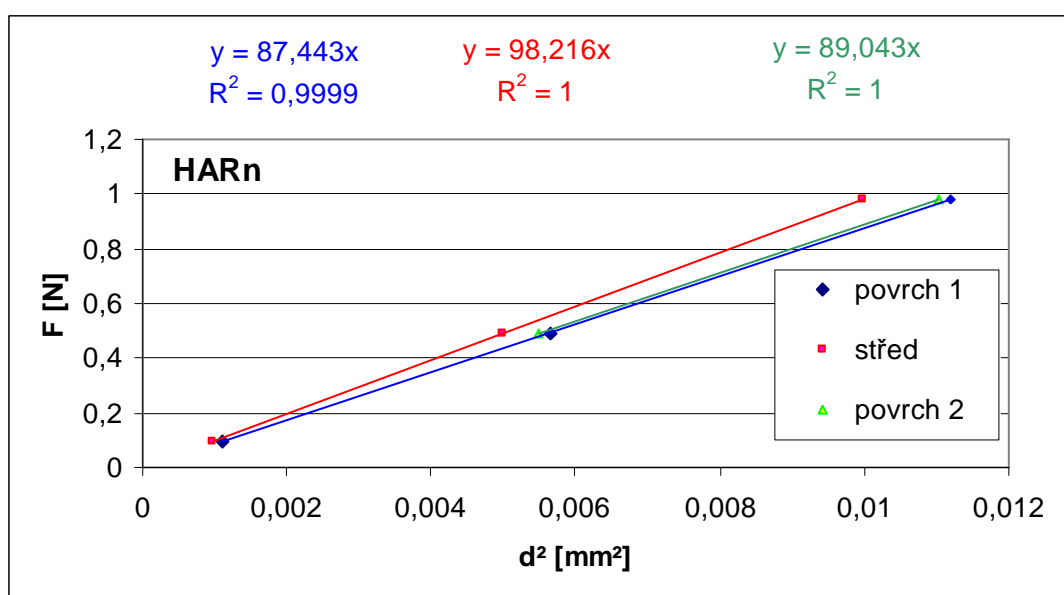
HARn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 větší R	1	106,5	105,1	105,8	77,2	75,8	76,5	35,3	33,5	34,4
	2	105,5	106,7	106,1	73,3	77,2	75,3	31,9	32,7	32,3
	3	104,2	106,3	105,2	74,2	74,3	74,3	31,9	33,1	32,5
	4	105,0	105,1	105,1	74,4	76,0	75,2	32,1	32,9	32,5
	5	106,3	107,3	106,8	73,2	76,2	74,7	34,5	33,9	34,2
	Ø			105,8			75,2			33,18
střed	1	96,5	100,6	98,6	71,3	71,4	71,4	31,9	31,0	31,5
	2	102,6	99,2	100,9	69,5	71,1	70,3	30,0	32,5	31,3
	3	100,6	101,8	101,2	71,1	73,8	72,4	33,1	32,1	32,6
	4	98,6	99,0	98,8	68,7	71,1	69,9	29,1	31,1	30,1
	5	101,2	99,2	100,2	70,1	68,5	69,3	29,7	30,7	30,2
	Ø			99,94			70,66			31,14
povrch 2	1	104,2	107,5	105,9	71,5	75,0	73,2			
	2	104,0	104,3	104,2	73,5	73,6	73,6			
	3	105,0	106,7	105,9	75,2	79,2	77,2			
	4	104,5	106,1	105,3	71,9	74,0	73,0			
	5	103,0	104,4	103,7	76,0	70,5	73,3			
	Ø			105			74,06			

Tab. P62: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HARn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011194	0,009988	0,011025
0,4904	0,005655	0,004993	0,005485
0,09807	0,001101	0,00097	

Tab. P63: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	87,443	98,216	89,043
MHv [MPa]	162	182	165



Obr. P21: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HARn

Tab. P64: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFRn

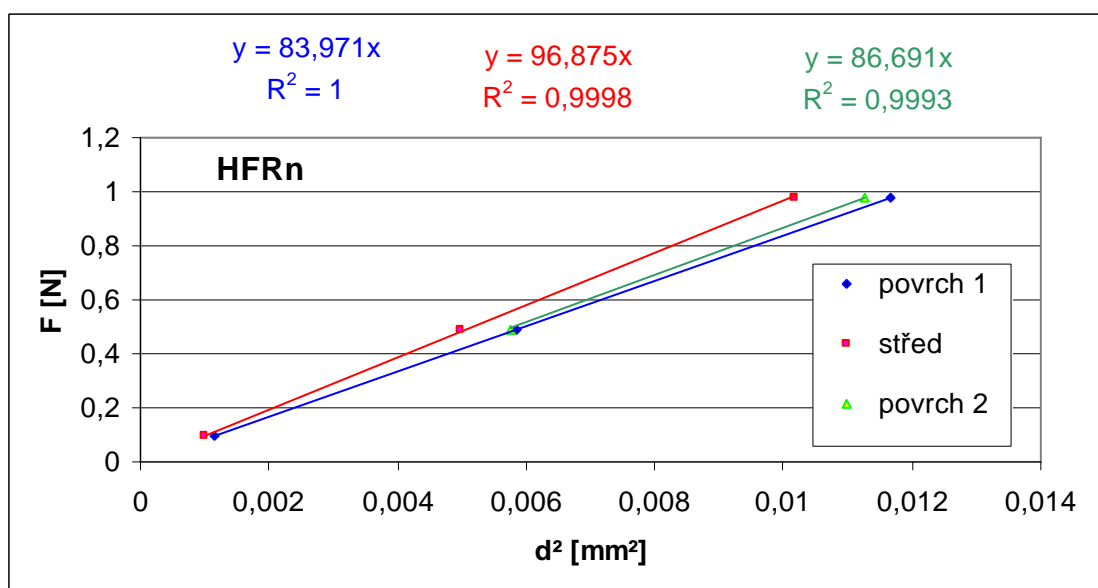
HFRn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 větší R	1	104,4	112,4	108,4	76,8	74,8	75,8	36,1	34,7	35,4
	2	110,7	104,4	107,6	75,6	82,7	79,1	32,0	35,8	33,9
	3	108,9	104,0	106,5	77,2	74,8	76,0	28,9	31,5	30,2
	4	111,8	108,3	110,0	75,4	76,4	75,9	34,9	36,8	35,9
	5	105,8	109,7	107,8	74,4	76,8	75,6	32,3	34,9	33,6
	Ø			108,06			76,48			33,8
střed	1	100,4	105,8	103,1	68,7	71,1	69,9	31,3	31,1	31,2
	2	105,5	97,3	101,4	75,4	68,5	71,9	32,7	31,7	32,2
	3	98,2	103,4	100,8	70,5	71,3	70,9	31,7	31,3	31,5
	4	102,6	97,8	100,2	68,1	70,8	69,4	30,7	31,7	31,2
	5	96,9	100,0	98,5	71,1	71,1	71,1			
	Ø			100,8			70,64			31,525
povrch 2	1	103,8	105,1	104,4	75,0	80,2	77,6			
	2	104,2	109,2	106,7	76,1	75,8	75,9			
	3	104,4	108,9	106,6	73,7	77,0	75,4			
	4	107,7	107,3	107,5	74,2	75,9	75,1			
	5	105,8	105,3	105,5	73,6	76,6	75,1			
	Ø			106,14			75,82			

Tab. P65: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HFRn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011677	0,010161	0,011266
0,4904	0,005849	0,00499	0,005749
0,09807	0,001142	0,000994	

Tab. P66: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	83,971	96,875	86,691
MHv [MPa]	156	180	161



Obr. P22: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku HFRn

Tab. P67: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HARD

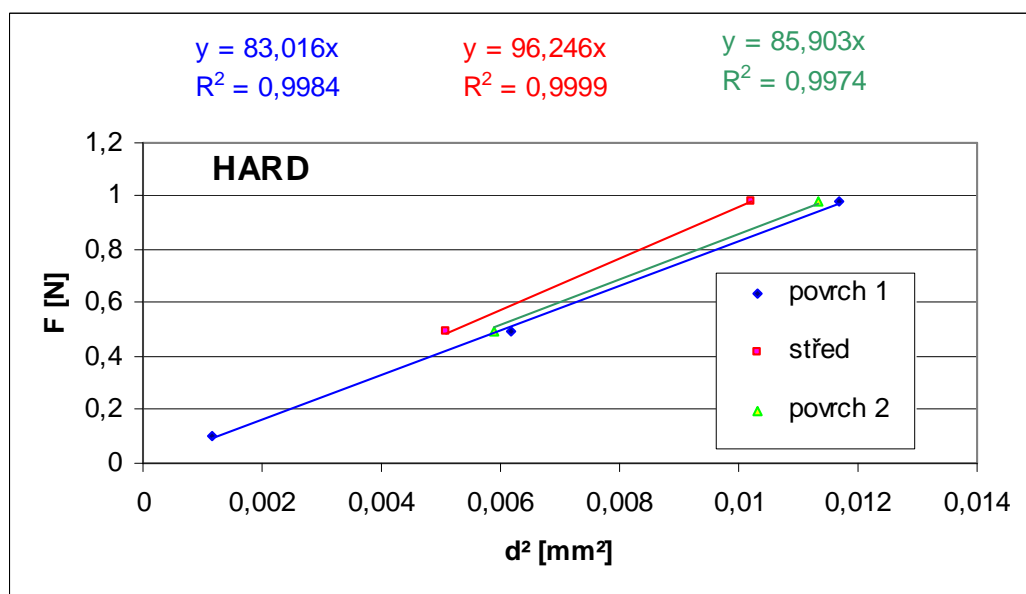
HARD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R velky	1	107,4	103,6	105,5	78,8	77,8	78,3	33,7	33,0	33,3
	2	109,1	111,7	110,4	79,5	77,4	78,5	31,2	32,7	32,0
	3	109,1	107,2	108,2	80,5	77,4	78,9	34,3	35,8	35,1
	4	106,5	109,5	108,0	79,1	77,8	78,4	38,2	35,7	37,0
	5	109,5	106,8	108,2	79,0	78,3	78,7	32,1	32,0	32,0
	Ø			108,06			78,56			33,88
střed	1	101,0	99,5	100,3	71,3	69,4	70,3			
	2	100,7	101,8	101,2	74,3	68,7	71,5			
	3	102,9	99,6	101,2	72,2	73,0	72,6			
	4	102,8	102,6	102,7	71,6	68,8	70,2			
	5	99,9	99,3	99,6	71,9	71,1	71,5			
	Ø			101			71,22			
povrch 2	1	105,9	112,4	109,2	76,8	73,4	75,1			
	2	106,6	103,8	105,2	76,4	79,0	77,7			
	3	105,0	108,5	106,8	74,9	75,9	75,4			
	4	103,4	105,2	104,3	75,1	79,8	77,5			
	5	105,5	107,5	106,5	80,1	76,2	78,1			
	Ø			106,4			76,76			

Tab. P68: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

HARD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011677	0,010201	0,011321
0,4904	0,006172	0,005072	0,005892
0,09807	0,001148		

Tab. P69: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	83,016	96,246	85,903
MHv [MPa]	154	178	159



Obr. P23: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HARD

Tab. P70: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFRD

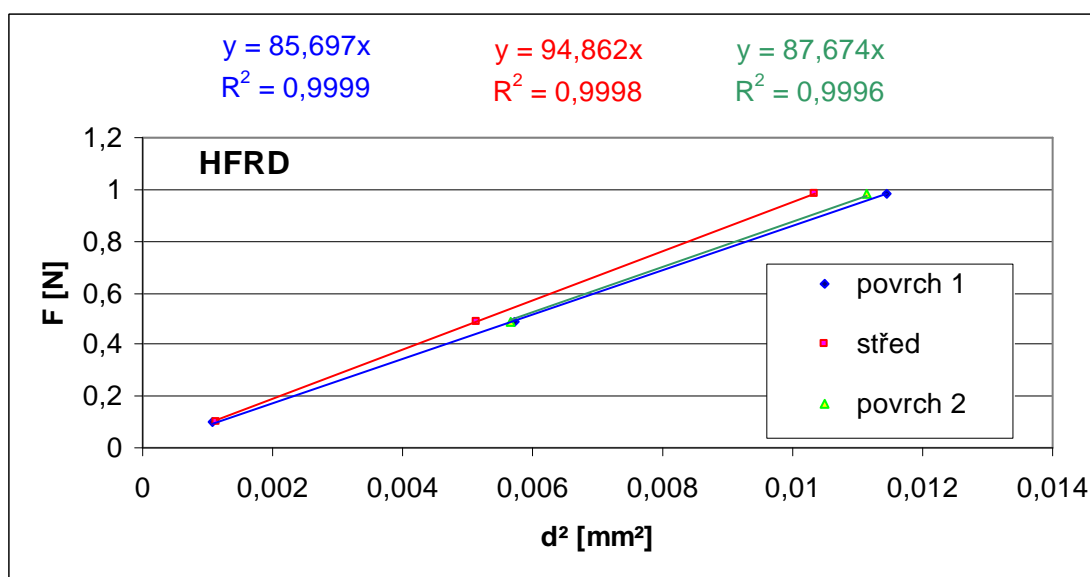
HFRD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 velký R	1	108,5	104,6	106,6	78,0	73,8	75,9	32,5	32,1	32,3
	2	106,4	105,2	105,8	76,3	76,0	76,1	32,3	34,3	33,3
	3	106,9	113,8	110,3	78,8	75,2	77,0	31,3	34,7	33,0
	4	105,1	104,2	104,7	77,6	70,9	74,2	32,1	33,5	32,8
	5	106,7	108,5	107,6	76,0	74,3	75,1	32,7	33,1	32,9
	∅			107			75,66			32,86
střed	1	99,8	101,2	100,5	73,1	71,3	72,2	34,2	38,2	36,2
	2	103,8	104,2	104	70,1	68,7	69,4	32,9	32,5	32,7
	3	100,8	105,1	102,9	74,2	73,7	73,9	33,5	32,9	33,2
	4	97,4	100,2	98,8	71,6	71,9	71,7	31,3	32,9	32,1
	5	100	104,8	102,4	69,7	72,4	71,0	32,9	33,9	33,4
	∅			101,72			71,64			33,52
povrch 2 malý R	1	105,9	105,9	105,9	73,8	71,3	72,6			
	2	103,8	107,1	105,5	74,2	77,4	75,8			
	3	105,5	101,1	103,3	72,4	75,6	74,0			
	4	104,8	104,4	104,6	76,6	77,4	77,0			
	5	105,1	112,2	108,7	75,4	78,2	76,8			
	∅			105,6			75,24			

Tab. P71: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HFRD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011449	0,010347	0,011151
0,4904	0,005724	0,005132	0,005661
0,09807	0,00108	0,001124	

Tab. P72: Hodnoty směrníc a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	85,697	94,862	87,674
MHV[MPa]	159	176	163



Obr. P24: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFRD

Tab. P73: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HATn

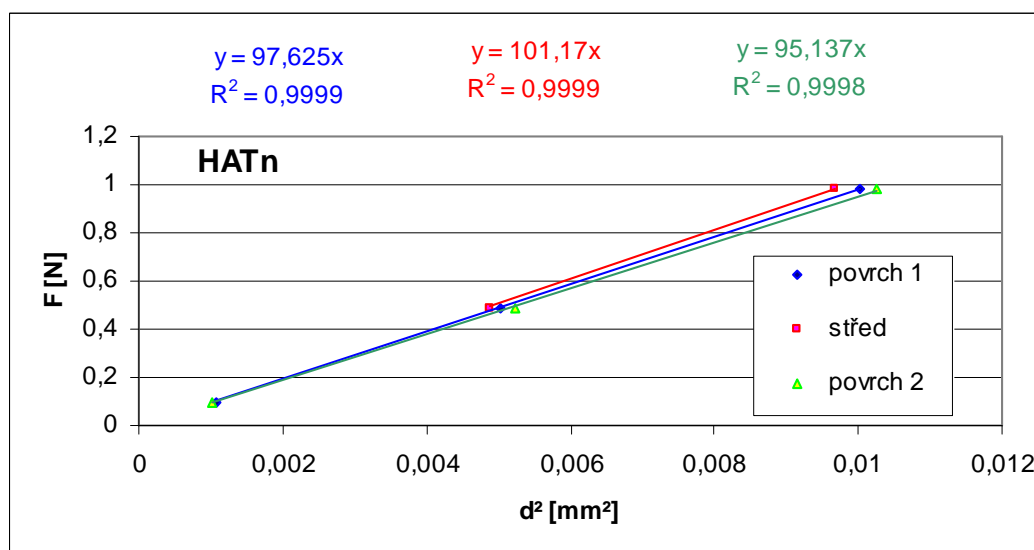
HATn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R	1	100,0	102,3	101,1	73,4	68,7	71,0	33,3	30,1	31,7
	2	96,8	101,9	99,4	70,5	70,3	70,4	32,3	32,5	32,4
	3	101,6	100,4	101,0	68,7	73,0	70,8	31,9	32,7	32,3
	4	100,6	100,8	100,7	71,0	71,8	71,4	36,4	31,6	34,0
	5	97,7	99,4	98,6	71,4	71,0	71,2	32,9	34,2	33,5
	∅			100,16			70,96			32,78
střed	1	96,1	99,2	97,7	70,7	72,4	71,6			
	2	98,3	103,0	100,6	71,7	71,6	71,7			
	3	95,7	95,5	95,6	69,9	69,8	69,9			
	4	98,4	99,7	99,1	68,7	70,8	69,7			
	5	97,7	100,3	99,0	66,8	65,2	66,0			
	∅			98,4			69,78			
povrch 2	1	97,9	105,0	101,5	69,9	73,0	71,4	29,0	31,7	30,4
	2	97,1	104,8	101,0	70,8	72,8	71,8	33,3	32,1	32,7
	3	98,6	104,1	101,3	70,9	72,7	71,8	32,7	34,1	33,4
	4	101,1	101,5	101,3	73,5	73,1	73,3	31,1	33,1	32,1
	5	98,0	105,1	101,5	72,3	74,8	73,6	31,5	31,7	31,6
	∅			101,32			72,38			32,04

Tab. P74: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HATn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010032	0,009683	0,010266
0,4904	0,005035	0,004869	0,005239
0,09807	0,001075		0,001027

Tab. P75: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	97,625	101,17	95,137
MHv [MPa]	181	188	176



Obr. P25: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku HATn

Tab. P76: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFTn

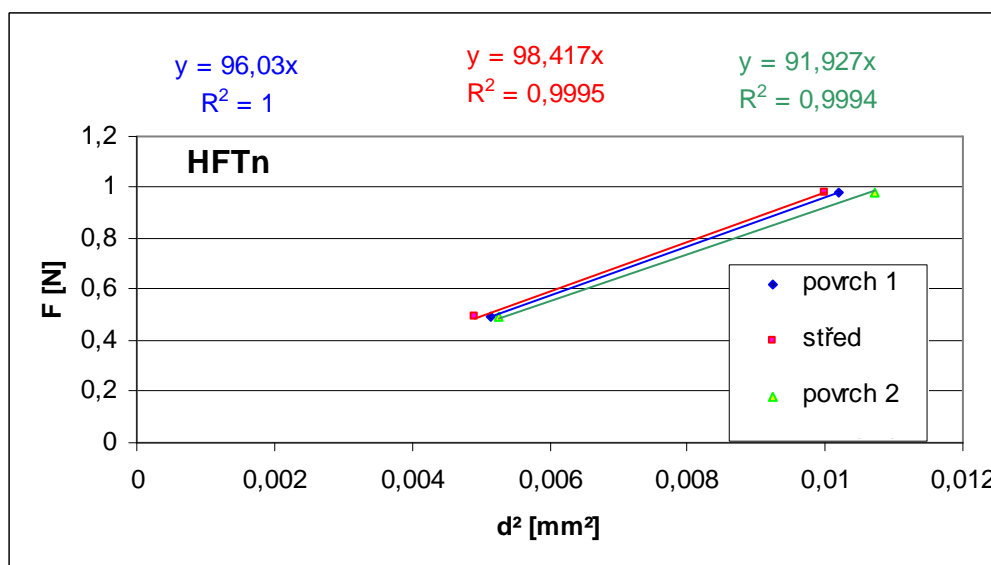
HFTn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	103,0	98,4	100,7	72,3	69,2	70,7			
	2	99,4	104,3	101,8	72,9	70,3	71,6			
	3	104,5	99,7	102,1	76,0	70,3	73,2			
	4	102,4	101,2	101,8	67,7	70,4	69,0			
	5	102,9	94,3	98,6	73,8	73,4	73,6			
	Ø			101			71,62			
střed	1	102,3	102,3	102,3	70,6	69,5	70,0			
	2	103,3	100,9	102,1	70,1	72,1	71,1			
	3	100,6	95,5	98	69,2	68,0	68,6			
	4	98,4	100,0	99,2	69,0	71,1	70,0			
	5	98,4	98,5	98,4	69,9	71,4	70,7			
	Ø			100			70,08			
povrch 2	1	99,2	104,5	101,8	70,4	72,1	71,3			
	2	103,8	103,0	103,4	74,7	73,1	73,9			
	3	100,4	103,4	101,9	69,6	74,6	72,1			
	4	103,9	104,4	104,2	70,1	73,4	71,7			
	5	106,3	106,0	106,1	73,2	73,6	73,4			
	Ø			103,48			72,48			

Tab. P77: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

HFTn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010201	0,01	0,010708
0,4904	0,005129	0,004911	0,005253
0,09807			

Tab. P78: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	96,03	98,417	91,97
MHv [MPa]	178	182	170



Obr. P26: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFTn

Tab. P79: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HATD

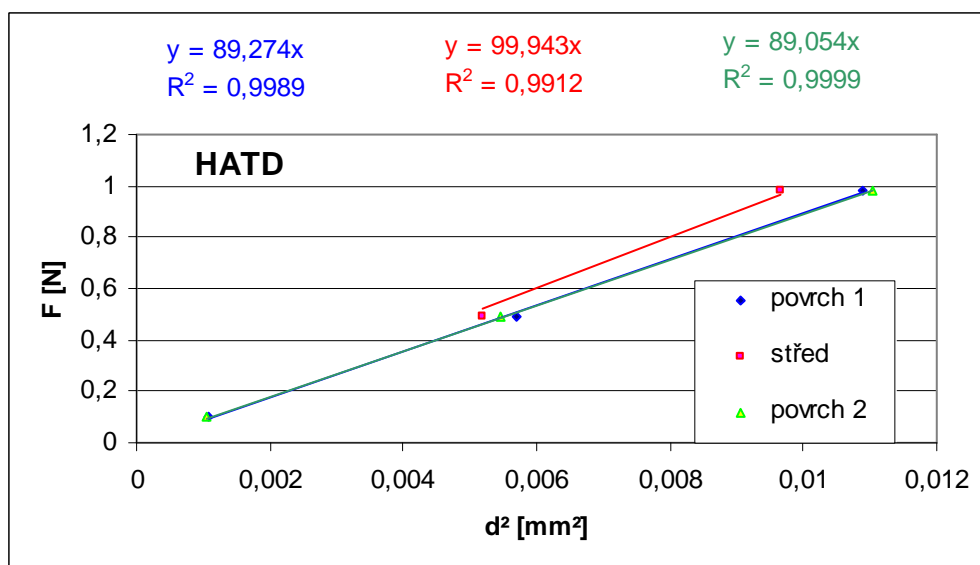
HATD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R	1	102,0	105,1	103,5	76,0	76,2	76,1	34,8	30,5	32,6
	2	101,4	100,5	100,9	71,5	77,4	74,5	30,7	31,8	31,2
	3	104,5	104,5	104,5	75,8	81,1	78,4	35,3	33,0	34,1
	4	105,0	106,5	105,8	73,4	74,4	73,9	32,9	30,9	31,9
	5	106,6	107,1	106,9	74,2	74,5	74,4	34,1	33,9	34,0
	∅			104,32			75,46			32,76
střed	1	94,0	100,6	97,3	70,1	70,3	70,2			
	2	96,7	92,7	94,7	72,9	75,6	74,3			
	3	101,0	104,4	102,7	69,7	75,4	72,5			
	4	96,5	103,1	99,8	71,7	70,5	71,1			
	5	96,4	97,5	96,9	69,7	74,8	72,2			
	∅			98,28			72,06			
povrch 2 přímá	1	100,3	107,2	103,7	73,5	72,1	72,8	31,6	35,2	33,4
	2	103,8	104,9	104,4	72,1	74,8	73,5	36,1	32,9	34,5
	3	104,0	104,4	104,2	73,8	75,0	74,4	32,7	31,5	32,1
	4	104,2	105,0	104,6	71,9	75,5	73,7	30,8	30,7	30,8
	5	103,1	114,0	108,5	77,7	72,1	74,9	30,1	33,9	32,0
	∅			105,08			73,86			32,56

Tab. P80: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

HATD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010883	0,009659	0,011042
0,4904	0,005694	0,005193	0,005455
0,09807	0,001073		0,00106

Tab. P81: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	89,274	99,943	89,054
MHV [MPa]	166	185	166



Obr. P27: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HATD

Tab. P82: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku HFTD

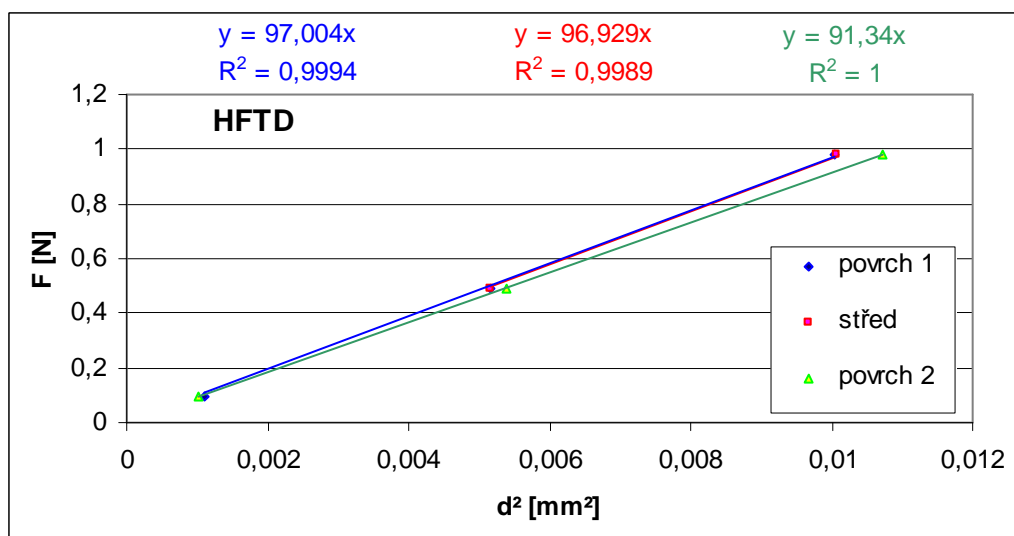
HFTD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	100,9	101,1	101,0	72,5	67,8	70,2	35,0	33,5	34,2
	2	100,5	103,6	102,1	72,1	72,0	72,1	33,7	33,5	33,6
	3	98,2	101,8	100,0	69,7	72,3	71,0	33,1	31,9	32,5
	4	100,4	97,4	98,9	73,8	72,3	73,0	33,5	32,1	32,8
	5	101,0	97,2	99,1	76,9	68,9	72,9	33,8	34,1	33,9
	Ø			100,22			71,84			33,4
střed	1	101,2	98,9	100,0	76,0	72,7	74,3			
	2	101,2	93,4	97,3	72,9	73,8	73,4			
	3	101,5	101,8	101,6	71,9	72,1	72,0			
	4	101,0	101,2	101,1	71,1	69,2	70,2			
	5	101,6	101,6	101,6	70,1	68,6	69,4			
	Ø			100,32			71,86			
povrch 2	1	104,0	106,5	105,2	77,2	70,9	74,1	31,1	29,5	30,3
	2	103,1	103,2	103,1	75,3	73,2	74,2	30,1	35,6	32,8
	3	102,2	107,3	104,8	73,2	74,8	74,0	31,9	32,5	32,2
	4	102,1	100,1	101,1	72,9	72,1	72,5	31,6	35,1	33,3
	5	102,4	105,3	103,8	74,0	70,2	72,1	32,3	31,7	32,0
	Ø			103,6			73,38			32,12

Tab. P83: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

HFTD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010044	0,010064	0,010733
0,4904	0,005161	0,005164	0,005385
0,09807	0,001116		0,001032

Tab. P84: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	97,004	96,929	91,34
MHv [MPa]	180	180	169



Obr. P28: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku HFTD

Tab. P85: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DASn

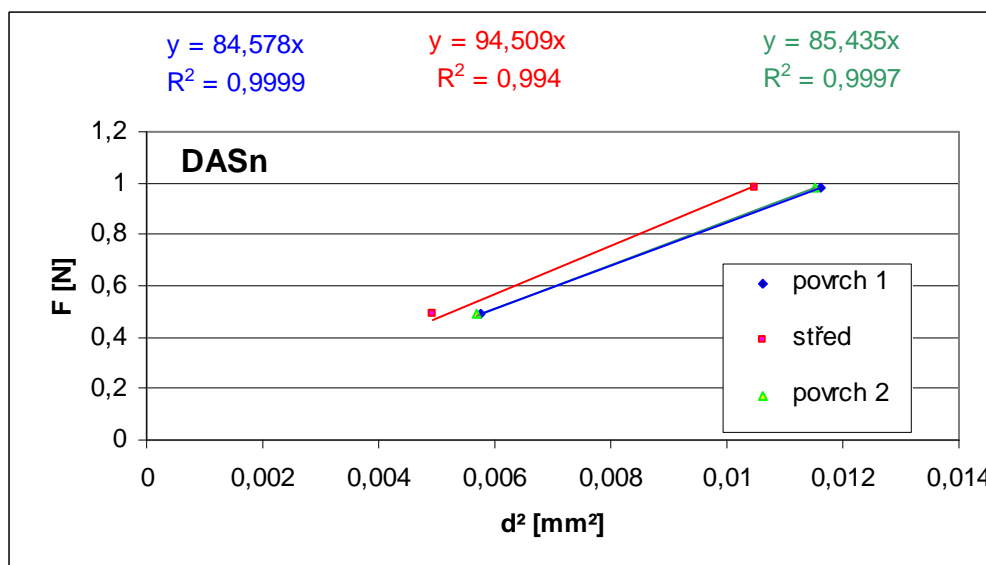
DASn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,8	109,4	109,1	80,4	76,6	78,5			
	2	106,9	110,4	108,6	74,2	68,1	71,1			
	3	108,5	105,9	107,2	78,5	76,6	77,5			
	4	110,0	106,9	108,5	79,4	75,4	77,4			
	5	99,8	111,0	105,4	72,9	77,2	75,1			
	Ø			107,76			75,92			
střed	1	103,3	98,8	101,0	69,1	71,4	70,2			
	2	106,1	99,9	103,0	71,2	71,6	71,4			
	3	103,6	101,4	102,5	67,9	71,6	69,7			
	4	102,6	100,0	101,3	70,1	71,1	70,6			
	5	104,2	104,9	104,5	70,1	68,4	69,2			
	Ø			102,46			70,22			
povrch 2	1	109,4	110,2	109,8	76,8	74,3	75,6			
	2	109,9	105,1	107,5	75,2	75,0	75,1			
	3	108,6	104,3	106,5	78,0	71,9	75,0			
	4	109,6	105,5	107,6	76,6	71,7	74,2			
	5	108,1	101,8	105,0	80,5	73,2	76,9			
	Ø			107,28			75,36			

Tab. P86: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DASn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011612	0,010498	0,011509
0,4904	0,005764	0,004931	0,005679
0,09807			

Tab. P87: Hodnoty směrníc a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,578	94,509	85,435
MHv [MPa]	157	175	158



Obr. P29: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DASn

Tab. P88: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFSn

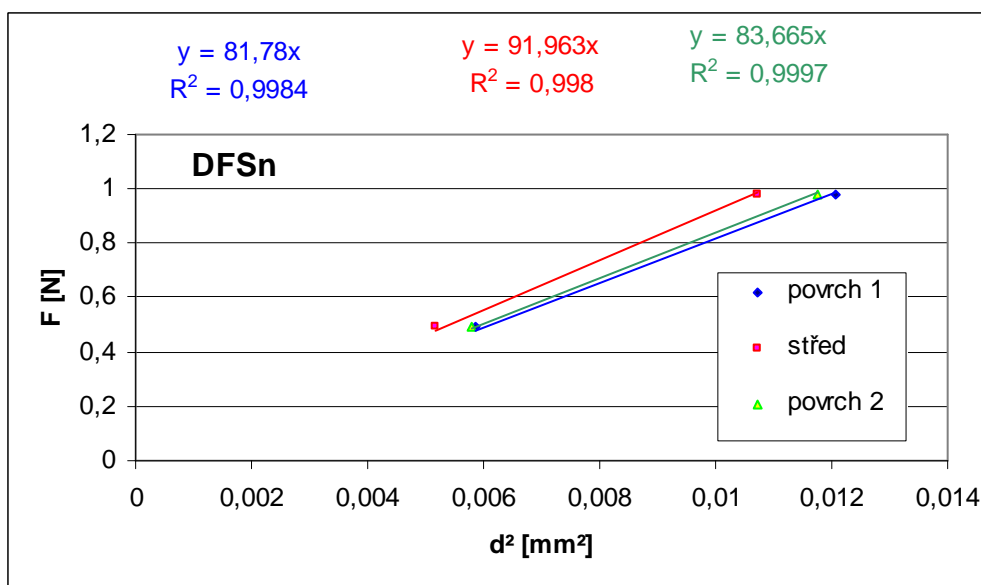
DFSn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	109,3	105,7	107,5	81,9	75,7	78,8			
	2	110,5	109,7	110,1	77,6	77,4	77,5			
	3	109,2	116,2	112,7	76,0	75,2	75,6			
	4	107,9	114,0	111,0	78,7	73,1	75,9			
	5	110,6	105,3	107,9	78,2	70,7	74,5			
	∅			109,84			76,46			
střed	1	105,4	103,5	104,5	72,9	73,4	73,2			
	2	106,1	104,3	105,2	70,5	73,5	72,0			
	3	102,6	105,5	104,0	72,0	71,7	71,8			
	4	102,5	101,5	102,0	70,1	76,8	73,4			
	5	96,1	108,7	102,4	69,7	69,4	69,5			
	∅			103,62			71,98			
povrch 2	1	106,9	108,1	107,5	79,4	78,1	78,7			
	2	103,4	110,4	106,9	78,1	75,2	76,6			
	3	108,1	112,7	110,4	75,8	76,1	75,9			
	4	109,5	106,5	108,0	74,8	69,9	72,4			
	5	107,7	110,8	109,3	75,2	78,8	77,0			
	∅			108,42			76,12			

Tab. P89: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DFSn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,012065	0,010737	0,011755
0,4904	0,005846	0,005181	0,005794
0,09807			

Tab. P90: Hodnoty směrnic a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	81,78	91,963	83,665
MHv [MPa]	152	170	155



Obr. P30: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFSn

Tab. P91: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DASD

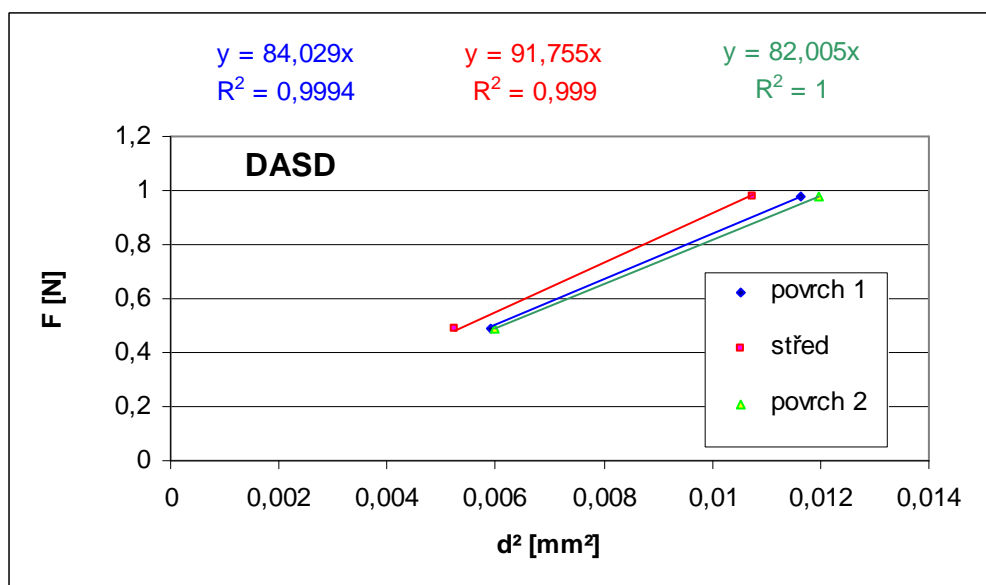
DASD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	108,5	112,0	110,2	74,7	79,4	77,1			
	2	109,8	106,9	108,3	74,0	80,7	77,3			
	3	107,5	110,1	108,8	74,0	81,9	77,9			
	4	106,1	107,2	106,7	74,1	81,3	77,7			
	5	105,1	105,1	105,1	76,4	73,4	74,9			
	∅			107,82			76,98			
střed	1	103,4	104,9	104,1	72,2	72,8	72,5			
	2	103,3	98,8	101,0	72,8	67,8	70,3			
	3	106,9	103,2	105,1	73,9	72,7	73,3			
	4	107,1	104,0	105,6	73,6	74,5	74,0			
	5	104,9	100,0	102,4	71,5	71,9	71,7			
	∅			103,64			72,36			
povrch 2	1	106,7	110,8	108,8	78,9	76,2	77,5			
	2	108,7	111,0	109,8	76,8	76,8	76,8			
	3	107,9	108,1	108,0	75,2	77,4	76,3			
	4	106,4	116,1	111,3	77,2	79,6	78,4			
	5	108,1	109,5	108,8	76,4	79,5	77,9			
	∅			109,34			77,38			

Tab. P92: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DASD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011625	0,010741	0,011955
0,4904	0,005926	0,005236	0,005988
0,09807			

Tab. P93: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,029	91,755	82,005
MHv [MPa]	156	170	152



Obr. P31: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku DASD

Tab. P94: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFSD

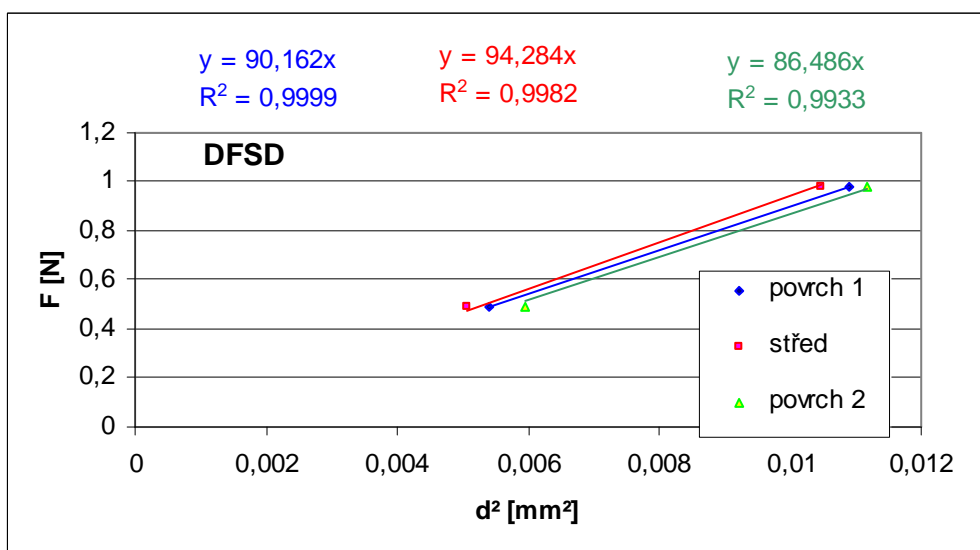
DFSD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	104,4	108,5	106,5	70,8	75,8	73,3			
	2	105,3	103,9	104,6	67,1	75,6	71,4			
	3	103,2	103,0	103,1	70,8	74,4	72,6			
	4	101,4	105,4	103,4	78,3	73,5	75,9			
	5	107,5	100,9	104,2	74,4	74,8	74,6			
	∅			104,36			73,56			
střed	1	99,4	106,2	102,8	68,1	72,9	70,5			
	2	103,4	103,4	103,4	72,0	69,1	70,5			
	3	103,5	99,3	101,4	74,4	72,3	73,4			
	4	102,7	102,4	102,5	69,0	73,9	71,5			
	5	103,5	99,6	101,5	70,0	69,7	69,8			
	∅			102,32			71,14			
povrch 2	1	103,5	108,5	106,0	78,2	76,2	77,2			
	2	106,9	104,3	105,6	75,1	76,0	75,6			
	3	104,2	103,8	104,0	80,5	74,4	77,4			
	4	101,0	105,3	103,1	81,7	78,0	79,9			
	5	106,3	113,9	110,1	73,8	78,1	75,9			
	∅			105,76			77,2			

Tab. P95: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DFSD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,010891	0,010469	0,011185
0,4904	0,005411	0,005061	0,00596
0,09807			

Tab. P96: Hodnoty směrníc a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	90,162	94,284	86,486
MHv [MPa]	167	175	160



Obr. P32: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFSD

Tab. P97: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DARn

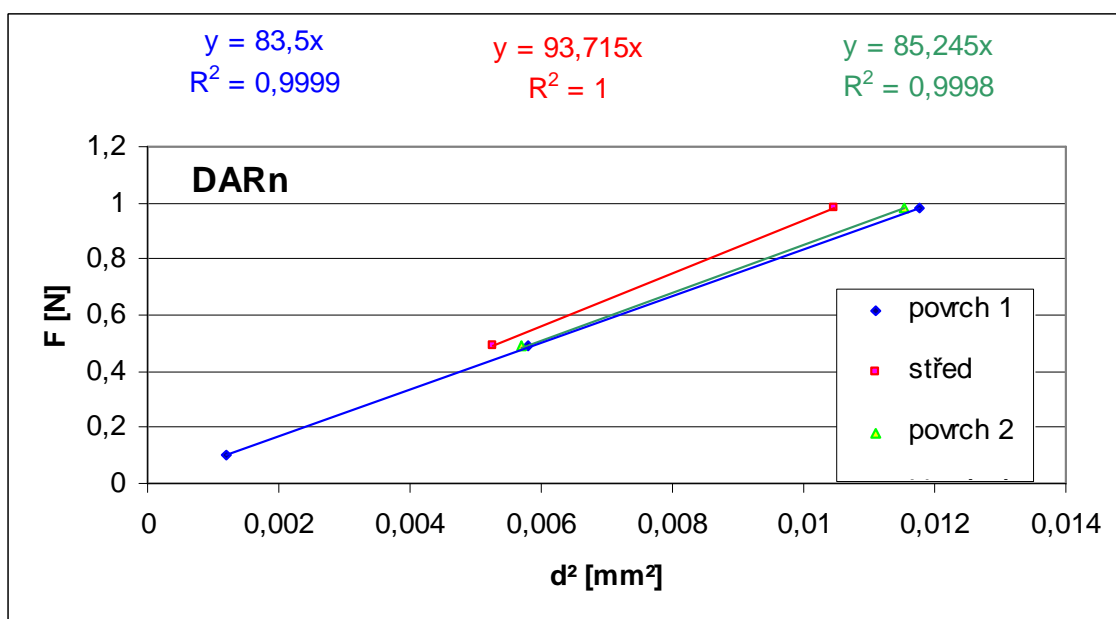
DARn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R velký	1	108,2	118,5	113,3	75,2	72,6	73,9	35,3	34,5	34,9
	2	109,5	106,3	107,9	79,6	76,4	78,0	37,0	34,5	35,8
	3	111,0	104,3	107,6	81,3	76,6	79,0	35,5	37,4	36,4
	4	108,9	104,2	106,6	75,6	72,1	73,8	33,1	32,7	32,9
	5	106,3	108,4	107,3	71,5	80,2	75,9	32,3	34,3	33,3
	∅			108,54			76,12			34,66
střed	1	104,2	100,2	102,2	69,7	72,9	71,3			
	2	105,2	96,5	100,8	70,6	69,7	70,1			
	3	103,8	100,4	102,1	72,8	71,1	72,0			
	4	106,5	97,9	102,2	74,4	73,9	74,2			
	5	101,3	106,5	103,9	75,4	74,4	74,9			
	∅			102,24			72,5			
povrch 2 R malý	1	108,5	104,7	106,6	72,0	75,8	73,9			
	2	110,1	102,4	106,2	73,5	78,3	75,9			
	3	108,9	108,3	108,6	75,4	78,4	76,9			
	4	109,6	104,1	106,8	75,1	76,7	75,9			
	5	109,2	108,3	108,7	72,6	77,1	74,9			
	∅			107,38			75,5			

Tab. P98: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

DARn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,0117809	0,010453	0,01153
0,4904	0,0057943	0,005256	0,0057
0,09807	0,0012013		

Tab. P99: Hodnoty směrnic a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	83,5	93,715	85,245
MHv [MPa]	155	174	158



Obr. P33: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku DARn

Tab. P100: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFRn

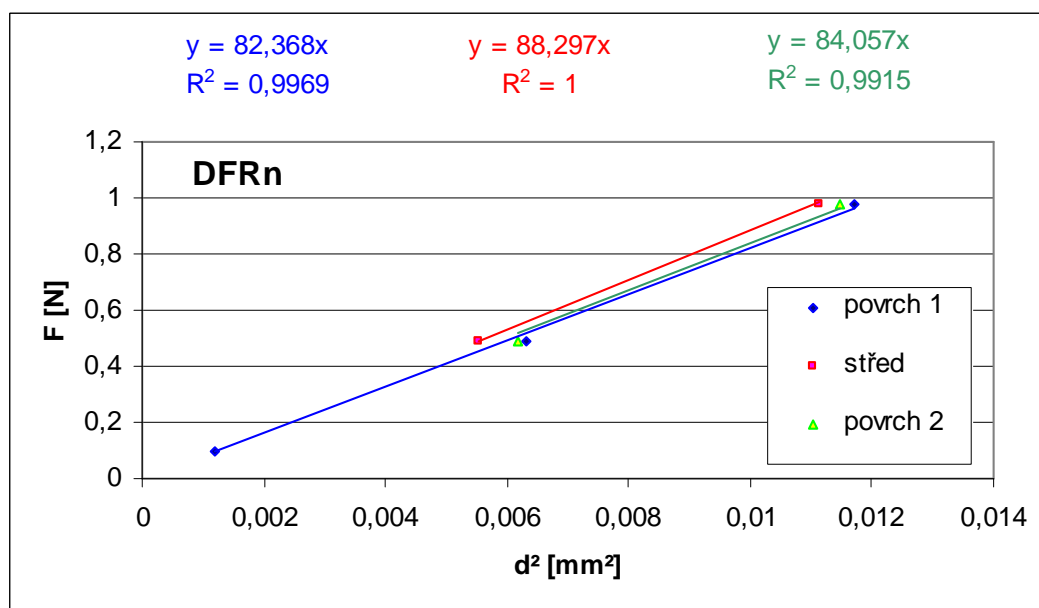
DFRn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	109,4	110,1	109,7	80,4	80,8	80,6	35,5	35,0	35,3
	2	107,9	111,4	109,7	77,0	75,1	76,1	34,5	35,0	34,7
	3	108,5	105,5	107,0	75,4	81,5	78,5	34,3	35,9	35,1
	4	107,9	107,9	107,9	82,7	80,5	81,6	33,5	29,6	31,6
	5	106,3	107,1	106,7	80,3	81,3	80,8	34,1	36,8	35,4
	Ø			108,2			79,52			34,42
střed	1	105,2	102,3	103,7	77,2	75,8	76,5			
	2	100,8	108,9	104,9	77,8	74,8	76,3			
	3	103,6	108,6	106,1	72,2	72,2	72,2			
	4	104,2	108,7	106,5	73,8	71,8	72,8			
	5	100,8	111,1	106,0	74,5	73,8	74,1			
	Ø			105,44			74,38			
povrch 2	1	109,5	112,2	110,9	76,5	79,5	78,0			
	2	107,9	106,3	107,1	76,7	82,3	79,5			
	3	103,1	110,4	106,7	78,6	77,4	78,0			
	4	105,4	106,1	105,7	79,2	77,1	78,1			
	5	105,7	105,3	105,5	79,0	79,1	79,1			
	Ø			107,18			78,54			

Tab. P101: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

DFRn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011707	0,011118	0,011488
0,4904	0,006323	0,005532	0,006169
0,09807	0,001185		

Tab. P102: Hodnoty směrnice a mikrotvrdoti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	82,368	88,297	84,057
MHv [MPa]	153	164	156



Obr. P34: Grafická závislost pro určení mikrotvrdoti vzorku DFRn

Tab. P103: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DARD

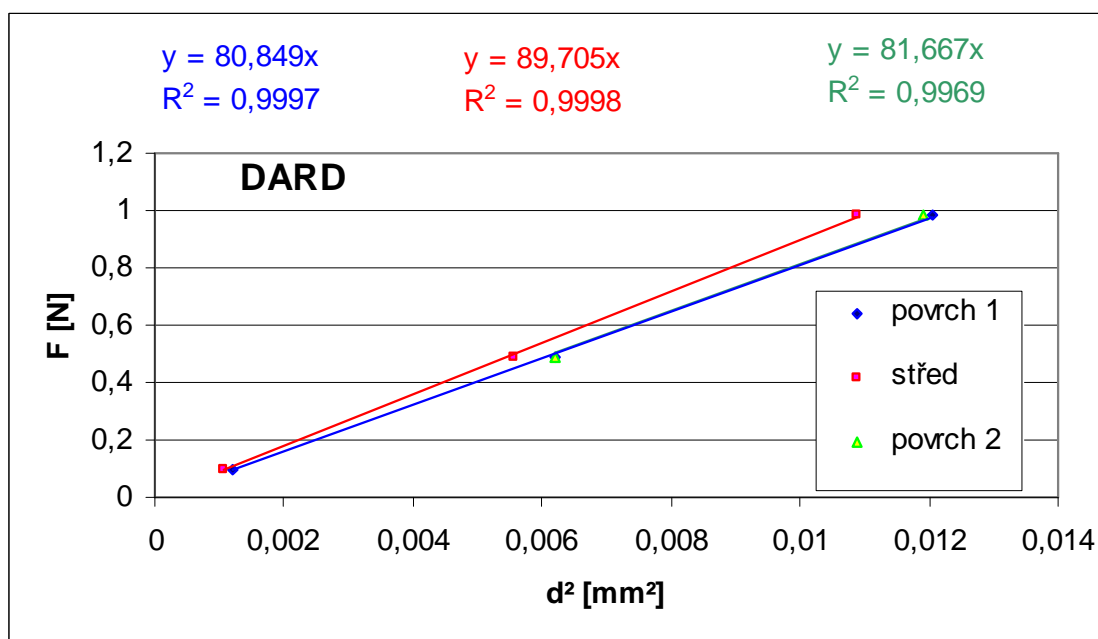
DARD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R velký	1	109,8	105,5	107,6	83,5	79,9	81,7	33,3	39,0	36,2
	2	110,2	112,2	111,2	77,0	80,3	78,6	32,9	37,0	35,0
	3	109,8	109,2	109,5	76,6	77,1	76,9	36,6	34,9	35,8
	4	110,4	112,8	111,6	79,9	78,1	79,0	32,3	35,4	33,8
	5	111,0	107,5	109,3	78,3	76,2	77,3	34,0	32,1	33,0
	Ø			109,84			78,7			34,76
střed	1	104,3	102,4	103,4	73,8	73,9	73,9	31,9	33,4	32,7
	2	107,0	101,4	104,2	75,8	73,4	74,6	31,8	34,8	33,3
	3	106,5	102,2	104,3	73,6	74,8	74,2	30,3	31,9	31,1
	4	105,6	103,7	104,6	74	76,4	75,2	31,2	33,5	32,4
	5	105,4	105,1	105,2	77,2	72,6	74,9	33,1	36,2	34,7
	Ø			104,34			74,56			32,84
povrch 2	1	107,8	112,4	110,1	77,2	78,3	77,7			
	2	108,9	114,8	111,9	80,3	77,8	79,0			
	3	107,5	107,1	107,3	77,8	72,8	75,3			
	4	108,5	107,7	108,1	78,9	79,8	79,3			
	5	108,0	107,9	108,0	88,0	77,9	82,9			
	Ø			109,08			78,84			

Tab. P104: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

DARD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,012065	0,010887	0,011898
0,4904	0,006194	0,005559	0,006216
0,09807	0,001208	0,001078	

Tab. P105: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	80,849	89,705	81,667
MHv [MPa]	150	166	151



Obr. P35: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DARD

Tab. P106: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFRD

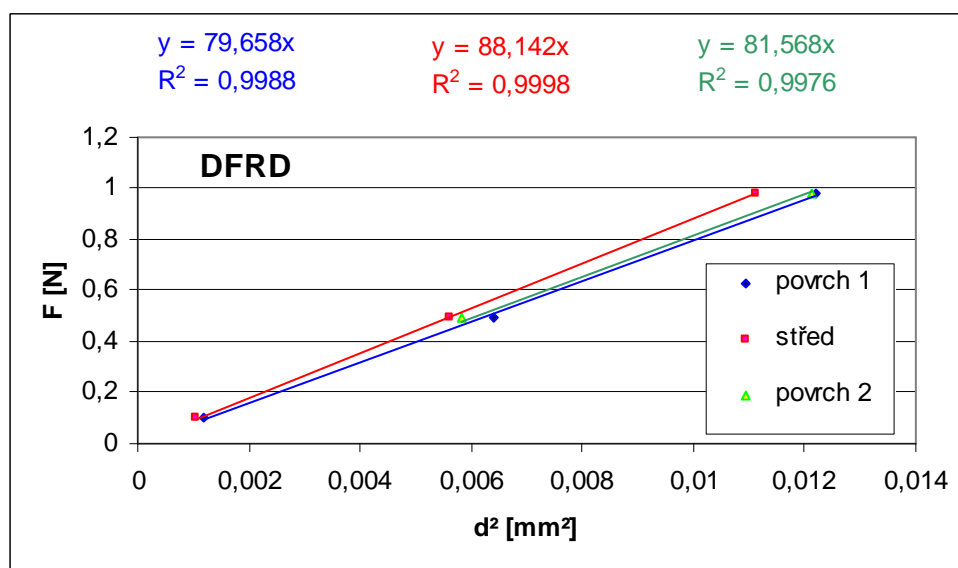
DFRD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1	1	109,8	117,9	113,8	77,0	79,8	78,4	33,6	35,0	34,3
	2	110,4	108,8	109,6	86,1	78,5	82,3	34,1	34,0	34,1
	3	109,8	112,4	111,1	78,5	79,3	78,9	34,8	36,0	35,4
	4	109,9	108,8	109,3	79,9	85,8	82,9	35,2	34,0	34,6
	5	108,5	107,9	108,2	76,9	78,0	77,4	36,0	33,7	34,9
	Ø			110,4			79,98			34,66
střed	1	104,5	103,1	103,8	78,1	73,6	75,8	33,9	29,3	31,6
	2	101,9	109,2	105,5	77,2	74,8	76,0	29,1	33,1	31,1
	3	104,5	108,9	106,7	71,8	73,2	72,5	31,7	30,8	31,2
	4	105,1	104,5	104,8	72,8	74,6	73,7	31,9	31,3	31,6
	5	103,7	108,6	106,2	78,7	74,6	76,6	37,2	32,8	35,0
	Ø			105,4			74,92			32,1
povrch 2	1	109,0	111,7	110,3	81,2	77,5	79,3			
	2	110,0	111,6	110,8	77,5	75,1	76,3			
	3	109,3	113,0	111,1	74,0	75,1	74,6			
	4	109,4	111,2	110,3	76,7	76,2	76,5			
	5	108,3	107,3	107,8	76,0	73,8	74,9			
	Ø			110,06			76,32			

Tab. P107: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DFRD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,012188	0,011109	0,012113
0,4904	0,006397	0,005613	0,005825
0,09807	0,001201	0,00103	

Tab. P108: Hodnoty směrníc a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	79,658	88,142	81,568
MHv [MPa]	148	163	151



Obr. P36: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFRD

Tab. P109: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DATn

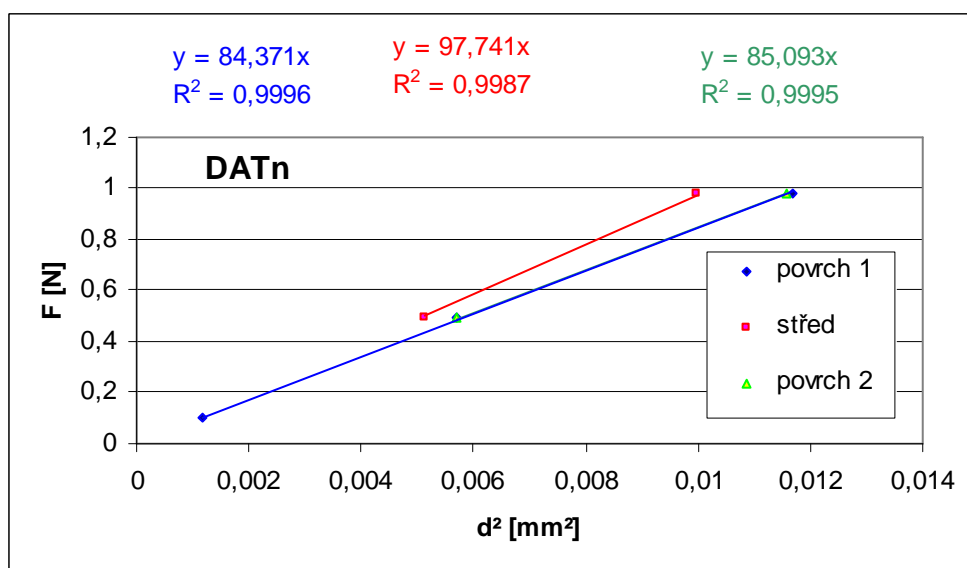
DATn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R	1	105,3	107,1	106,2	74,5	70,9	72,7	32,3	32,1	32,2
	2	108,4	111,0	109,7	73,8	79,7	76,7	34,9	32,9	33,9
	3	107,9	102,7	105,3	75,6	87,6	81,6	34,9	37,2	36,0
	4	105,1	106,7	105,9	74,4	64,8	69,6	35,1	36,6	35,9
	5	109,4	117,3	113,3	77,5	75,6	76,5	33,5	35,6	34,5
	Ø			108,08			75,42			34,5
střed	1	101,3	97,0	99,1	79,1	68,9	74,0			
	2	101,3	101,0	101,2	70,9	74,0	72,5			
	3	100,5	100,4	100,5	68,6	70,9	69,8			
	4	99,0	100,5	99,7	69,3	73,3	71,3			
	5	98,0	99,8	98,9	68,5	72,5	70,5			
	Ø			99,88			71,62			
povrch 2 přímá	1	108,4	104,2	106,3	74,0	66,5	70,2	33,7	36,7	35,2
	2	107,1	105,7	106,4	80,0	77,0	78,5	32,9	33,5	33,2
	3	103,2	110,4	106,8	80,4	73,4	76,9	32,7	34,9	33,8
	4	107,1	113,9	110,5	71,9	78,6	75,3	35,7	36	35,9
	5	106,4	108,9	107,7	72,6	79,4	76,0	33,5	38,4	35,9
	Ø			107,54			75,38			

Tab. P110: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DATn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011681	0,009976	0,011565
0,4904	0,005688	0,005129	0,005682
0,09807	0,00119		

Tab. P111: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	84,371	97,741	85,093
MHv [MPa]	156	181	158



Obr. P37: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DATn

Tab. P112: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFTn

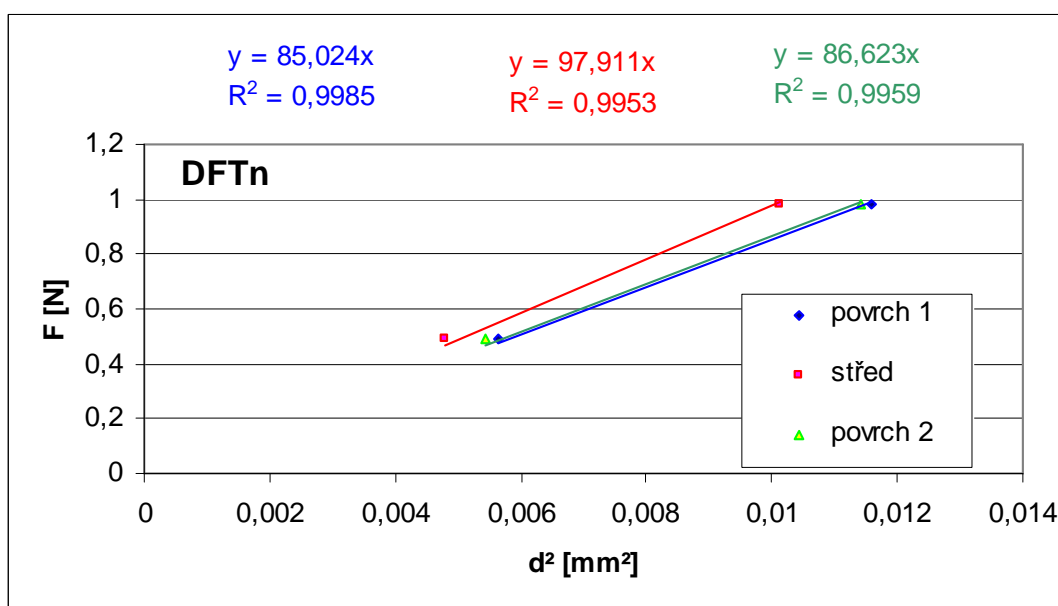
DFTn		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R	1	107,5	110,9	109,2	75,2	74,8	75,0			
	2	108,7	106,4	107,5	75,1	68,2	71,7			
	3	109,0	108,9	108,9	73,9	81,6	77,8			
	4	102,5	104,7	103,6	76,4	75,8	76,1			
	5	109,7	109,1	109,4	73,0	75,8	74,4			
	Ø			107,72			75			
střed	1	104,6	105,8	105,2	64,9	69,1	67,0			
	2	102,8	100,2	101,5	64,7	70,9	67,8			
	3	99,6	94,5	97,0	67,9	71,0	69,4			
	4	99,9	97,6	98,7	68,0	71,5	69,8			
	5	102,2	99,0	100,6	73,1	70,9	72,0			
	Ø			100,6			69,2			
povrch 2 přímá	1	106,3	107,1	106,7	77,5	67,1	72,3			
	2	108,2	102,9	105,5	76,7	76,8	76,8			
	3	109,0	108,4	108,7	72,4	75,6	74,0			
	4	105,9	105,7	105,8	73,8	74,6	74,2			
	5	108,8	107,0	107,9	71,9	70,3	71,1			
	Ø			106,92			73,68			

Tab. P113: Hodnoty potřebné k sestavení grafu

DFTn	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011604	0,01012	0,011432
0,4904	0,005625	0,004789	0,005429
0,09807			

Tab. P114: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	85,024	97,911	86,623
MHv [MPa]	158	182	161



Obr. P38: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFTn

Tab. P115: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DATD

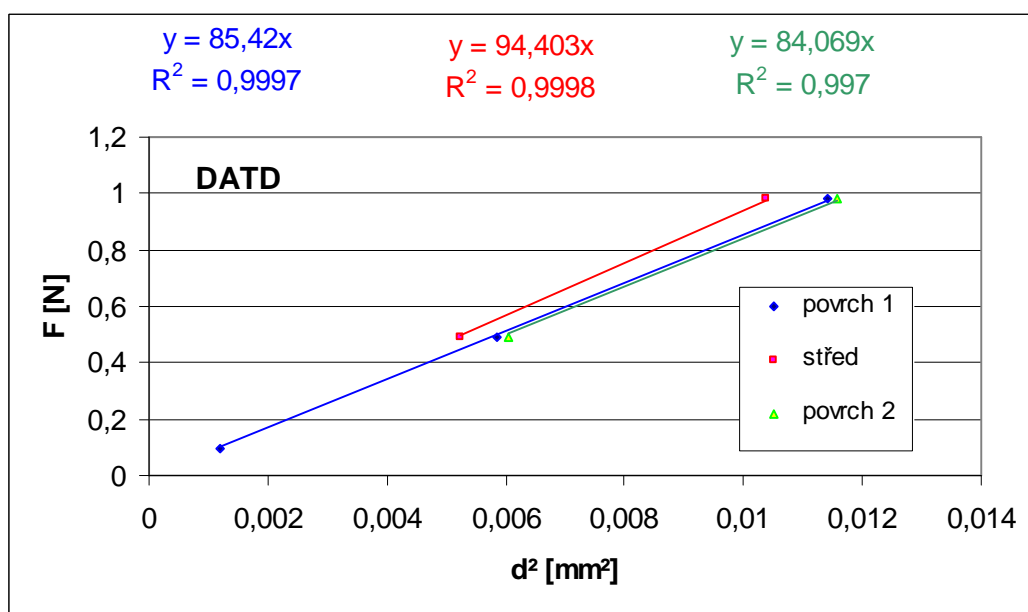
DATD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R malý	1	103,9	108,6	106,3	75,4	76,8	76,1	33,1	37,4	35,3
	2	107,7	106,3	107	77,6	77,3	77,4	36,5	33,5	35,0
	3	108,4	106,1	107,2	77,2	75,8	76,5	34,9	34,1	34,5
	4	108,7	105,5	107,1	76,4	76,0	76,2	37,0	35,6	36,3
	5	104,8	108,8	106,8	77,2	74,8	76,0	30,5	33,8	32,1
	∅			106,88			76,44			34,64
střed	1	104,6	100,4	102,5	73,0	70,5	71,8			
	2	95,9	104,9	100,4	73,4	75,2	74,3			
	3	103,2	101,3	102,2	72,9	73,0	73,0			
	4	99,2	107,0	103,1	73,5	71,5	72,5			
	5	101,9	99,7	100,8	71,5	69,5	70,5			
	∅			101,8			72,42			
povrch 2 přímá	1	107,5	110,4	108,9	79,0	79,3	79,1			
	2	110,0	106,9	108,5	81,9	78,8	80,4			
	3	110,5	104,0	107,3	78,8	76,1	77,5			
	4	107,5	104,5	106,0	77,0	76,4	76,7			
	5	107,7	106,1	106,9	74,1	75,3	74,7			
	∅			107,52			77,68			

Tab. P116: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DATD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011423	0,010363	0,011561
0,4904	0,005843	0,005245	0,006034
0,09807	0,0012		

Tab. P117: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	85,42	94,403	84,069
MHv [MPa]	158	175	156



Obr. P39: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DATD

Tab. P118: Naměřené hodnoty délek úhlopříček u vzorku DFTD

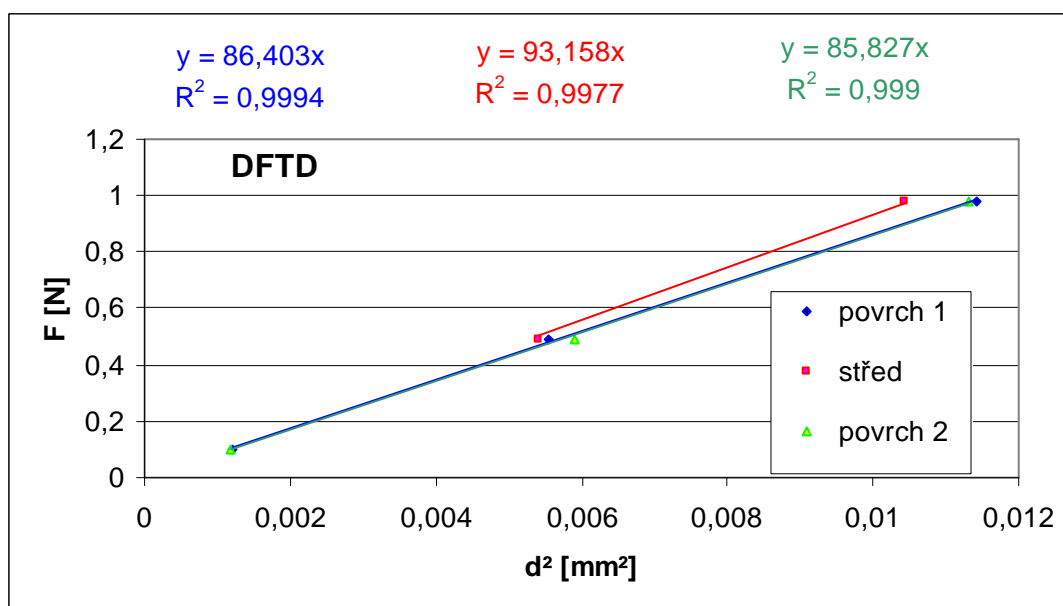
DFTD		zatížení 100g			50g			10g		
umístění	poř.	d1 [μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]	d1[μm]	d2[μm]	d[μm]
povrch 1 R	1	108,3	103	105,7	70,6	71,1	70,8	33,8	36,1	35,0
	2	108,1	110,1	109,1	71,6	72,7	72,1	37,4	36,4	36,9
	3	107,1	107,2	107,2	77,8	76,0	76,9	34,2	34,5	34,4
	4	106,2	103,8	105,0	76,7	76,7	76,7	33,5	33,3	33,4
	5	109,3	104,9	107,1	79,2	71,7	75,5	33,1	35,4	34,2
	Ø			106,82			74,4			34,78
střed	1	102,1	102,7	102,4	77,2	70,1	73,7			
	2	100,4	99,2	99,8	71,1	78,0	74,6			
	3	105,7	102,1	103,9	73,3	79,6	76,5			
	4	101,9	101,1	101,5	70	73,4	71,7			
	5	105,3	101,6	103,4	69,3	74,2	71,7			
	Ø			102,2			73,64			
povrch 2 přímá	1	108,7	101,4	105,1	78,1	74,4	76,2	30,7	34,8	32,8
	2	106,9	107,7	107,3	76,8	77,8	77,3	34,1	35,4	34,8
	3	108,5	110,0	109,2	78,3	76,4	77,4	35,4	32,5	34,0
	4	109,7	97,4	103,6	76,6	77,6	77,1	36,1	34,1	35,1
	5	106,2	107,3	106,7	78,7	74,4	76,5	37,2	34,9	36,0
	Ø			106,38			76,9			34,54

Tab. P119: Hodnoty potřebné k sestrojení grafu

DFTD	d ² [mm ²]		
F [N]	povrch 1	střed	povrch 2
0,9807	0,011411	0,010445	0,011317
0,4904	0,005535	0,005423	0,005914
0,09807	0,00121		0,001193

Tab. P120: Hodnoty směrnice a mikrotvrdosti

	povrch 1	střed	povrch 2
x	86,403	93,158	85,827
MHv [MPa]	160	173	159



Obr. P40: Grafická závislost pro určení mikrotvrdosti vzorku DFTD

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 26.5.2006

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec (TUL) is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 26.5.2006

Signature