

**EXPERIMENTÁLNÍ VYŠETŘOVÁNÍ MECHANICKÝCH CHARAKTERISTIK
NETRADIČNÍCH TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ****EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF NON-
TRADITIONAL TECHNICAL MATERIALS**

Přemysl Janíček, Jiří Burša, Vladimír Fuis, Vladimír Kotek,
Františka Pešlová, Ivan Letko,
Michal Reinisch, Bohumil Vlach, Miloš Vlk¹

Abstract

The paper deals with determining „stress-strain“ curves under tensional, compressional and torsional load for large strain of rubbers used in production of tyres. The same curves under tensional load are investigated for materials used in Rapid Prototyping equipments, namely in "Laser Sintering" and "Fused Deposition Modelling" technologic processes. Residual stress state is investigated at the natural basalt and at the high temperature treated basalt of the mark Eucor, after the casting process of plates.

1. Závislosti „napětí - přetvoření“ u pryže**Proč se vyšetřovalo chování pryže ?**

Současná technologie výroby pneumatik používá jako materiál různé druhy pryže vyztužené ocelovým a textilní kordem. Z těchto komponent pak technologickým zpracováním za tepla vzniká specifický typ vláknového kompozitu. Na obr.1 je pro ilustraci znázorněna struktura jednoho z možných variantních řešení spodní části pneumatiky. Čtyři spletené ocelové drátky vytvářejí jedno vlákno. Vlákna jsou uložena ve dvou vrstvách, odkloněných od obvodového směru o stejný úhel v opačném smyslu. Takové uspořádání vláken výrazně zvyšuje tuhost kompozitního materiálu při tahovém namáhání ve směru orientace vláken, což je důležité při zatížení pneumatiky vnitřním přetlakem. Podstatně méně však ovlivňuje ohybovou tuhost, která je důležitá při jízdě, zejména při brždění a zdolávání nerovností vozovky. Při cyklickém namáhání kompozitu ohybem, pak tento vykazuje velké posuvy i velká přetvoření, které mohou být doprovázeny uvolňováním ocelových vláken z pryžové matrice, což znamená dosažení mezního stavu u pneumatiky. Bezpečnost pneumatiky pro její

¹ Prof. Ing. Přemysl Janíček, DrSc, Ing. Jiří Burša, Ph.D., Ing. Vladimír Kotek, Doc. Ing. Miloš Vlk, CSc. – Ústav mechaniky těles FSI VUT Brno, Technická 2, 616 69 Brno

Ing. Vladimír Fuis, Ph.D. – Sdružené pracoviště ÚT AV ČR a ÚMT FSI VUT Brno, Technická 2 616 69, Brno, e-mail: fuis@cis.vutbr.cz

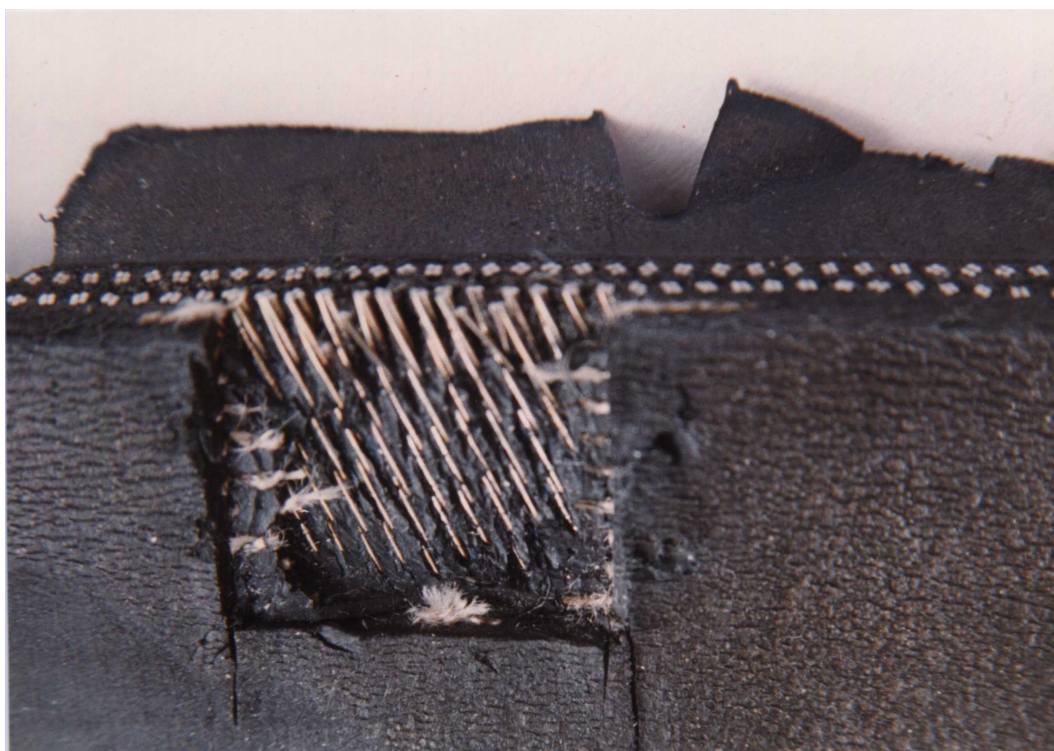
Doc.Ing. Františka Pešlová, CSc. – Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta J Pernera, Česká Třebová, Slovanská 452, 56002 Česká Třebová

Doc.Ing. Ivan Letko, Ph.D. – Fakulta priemyselných technológií, T. Vansovej 1045/45, 02032 Púchov, Slovenská republika, letko mail. matador.sk

Ing. Reinisch Michal, Doc. RNDr.Vlach Bohumil CSc. – Ústav materiálového inženýrství, FSI VUT Brno, Technická 2, 616 69 Brno

předepsanou životnost u konkrétních automobilů v konkrétních provozních podmínkách, to je problém, o jehož řešení se snaží všichni výrobci pneumatik.

Tento problém lze řešit experimentálně - daný typ pneumatiky je zatěžován daným zatížením a zjišťují se její vlastnosti, chování a mezní stavy. Jaké procesy se přitom odehrávají uvnitř pneumatiky, to zůstává utajeno. Na tyto procesy lze částečně usuzovat na základě analýz změn struktury pneumatiky po provedených zkouškách. Postupuje-li se takto u objektu z kovových materiálů (např. při vyšetřování kavitačního porušování) vyšetřování struktury se označuje jako metalografie, zde by se mohlo hovořit o kompozitografii. Velkým přínosem pro optimalizaci vlastností a chování pneumatik, a tím i pro jejich spolehlivost by bylo zvládnuté výpočtové modelování. Posoudit současnou úroveň tohoto modelování je velmi obtížné, protože všechny renomované firmy v tomto směru



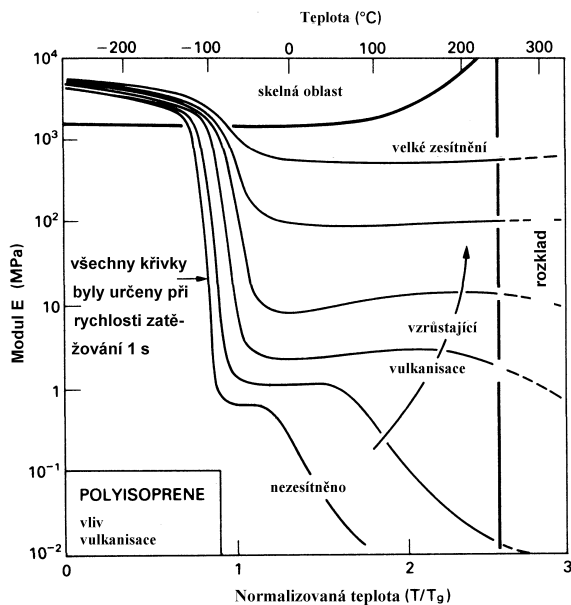
Obr.1

„mlčí“. Jedním z předpokladů věrohodnosti výsledků výpočtového modelování je věrohodnost vstupních údajů do algoritmů tohoto modelování. Mezi tyto údaje patří i závislosti „napětí - přetvoření“ u příslušného typu pryže při namáhání tahem, tlakem a krutem. Tyto závislosti budou použity ve vstupní studii [1].

Několik poznámek o vlastnostech a chování pryže

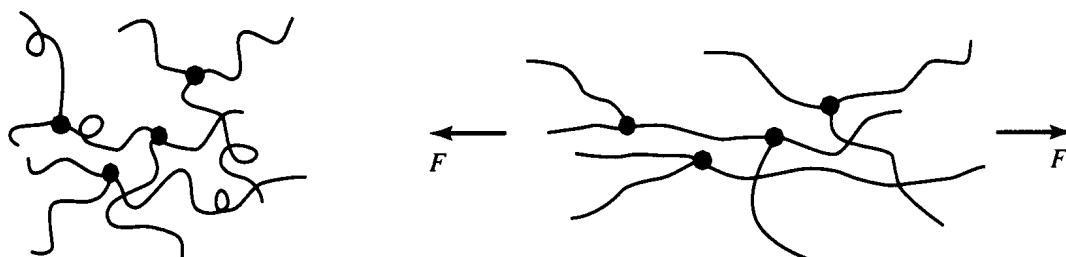
Přírodní pryž patří do skupiny polymerů označovaných pojmem „elastomery“. Do této skupiny patří i různé syntetické polymery, např. polyisopren, což je syntetická pryž se stejnou základní strukturou jako přírodní pryž s tím rozdílem, že neobsahuje některé nečistoty obsažené v přírodní pryži. Stejně jako všechny polymery jsou i pryže tvořeny dlouhými molekulami.

Základní surovinou pro výrobu pryže je kaučuk ke kterému se přidává síra a za vysokého tlaku při teplotě 160°C dochází k vytváření spojů „můstků“ mezi molekulami. Větší stupeň spojů má za následek tvrdší pryž. Tento proces – ono částečné zesítnění – se nazývá vulkanizace.



Obr. 2

skelného přechodu) a zde modul pružnosti výrazně závisí jak na teplotě, tak i rychlosti zatěžování. Vzroste-li teplota nad T_g , pak pryž přechází do tzv. kaučukovitého stavu. Protože normální teplota leží v případě pryže právě v této oblasti, jsou užité vlastnosti tohoto materiálu dány odezvou této struktury na zatížení – materiály velice pružné. Příčina kaučukovité elasticity se mnohem obtížněji vysvětluje než elasticita krystalů. „Tajemství elasticity pryže“ je ve zmíněném cíleném zesítnění. Je-li toto zesítnění velké, dochází ke zpevnění sítě dlouhých molekul, jak je tomu např. u epoxidové pryskyřice (obecně těmto polymerům říkáme reaktoplasty), která je taktéž velmi křehká. Typické pryže mají chování jiné. Důvodem je, že četnost „můstků“ spojů je velice malá – jeden spoj připadá na řádově stovky uhlíkových atomů. Tedy spoje i molekuly samotné jsou v elastomerech mnohem flexibilnější než v reaktoplastech. Příčina této flexibility je v geometrii uhlíkové vazby, která způsobuje ohyb molekuly. Toto ohýbání na molekule se hromadí a způsobí její smotání do klubíček (cíveček) v oblastech mezi spoji (obr. 3). Během zatěžování se tato klubíčka mezi spoji rozplétají a naopak při odlehčení se svinují do původního stavu. To má za následek velkou makroskopickou deformaci, která je vratná. Protože k této deformaci dochází



Obr. 3

přeskupováním hmoty a tedy nedochází ke změně objemu je v tomto případě Poissonovo číslo blízké hodnotě 0,5. Dalším, velmi zajímavým důsledkem tohoto mechanismu deformace je poměrně velký vnitřní útlum pryže, tj. schopnost během kmitavého zatěžování rozptylovat resp. pohlcovat energii.

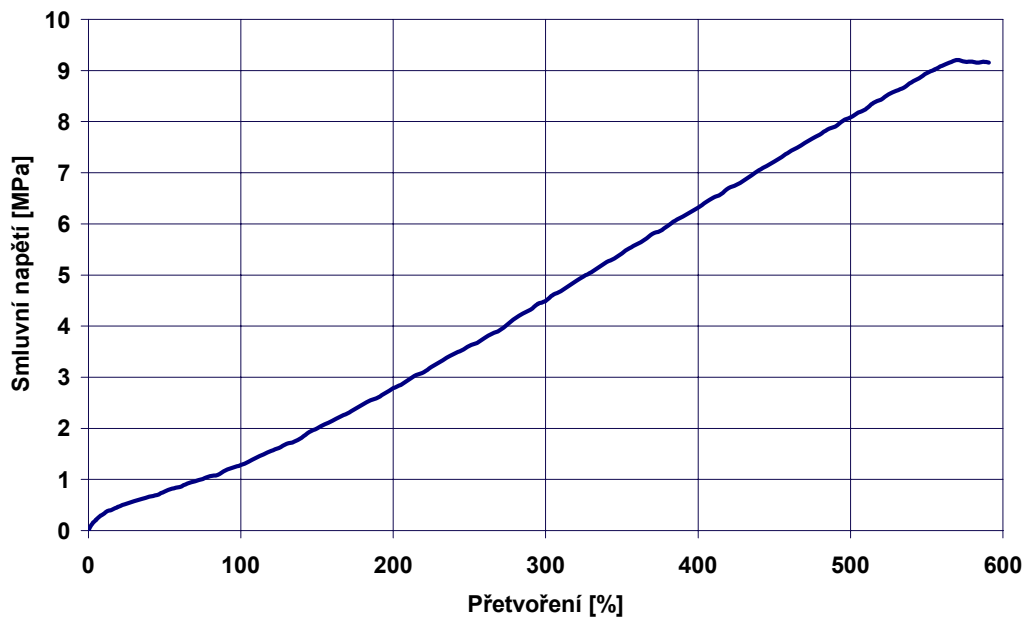
Měření chování pryže při namáhání tahem a tlakem

Zkouška tahem a tlakem se realizovala na stroji Zwick Z020. Zkušební vzorky pro zkoušku tahem byly zhotoveny v souladu s příslušnou normou (příčný průřez cca 3x6 mm), vzorky pro zkoušku tlakem měly tvar hranolu (příčný průřez 27.5x27.5 mm, výška 70 mm).

Výsledky zkoušek pryže při namáhání tahem a tlakem jsou na těchto obrázcích:

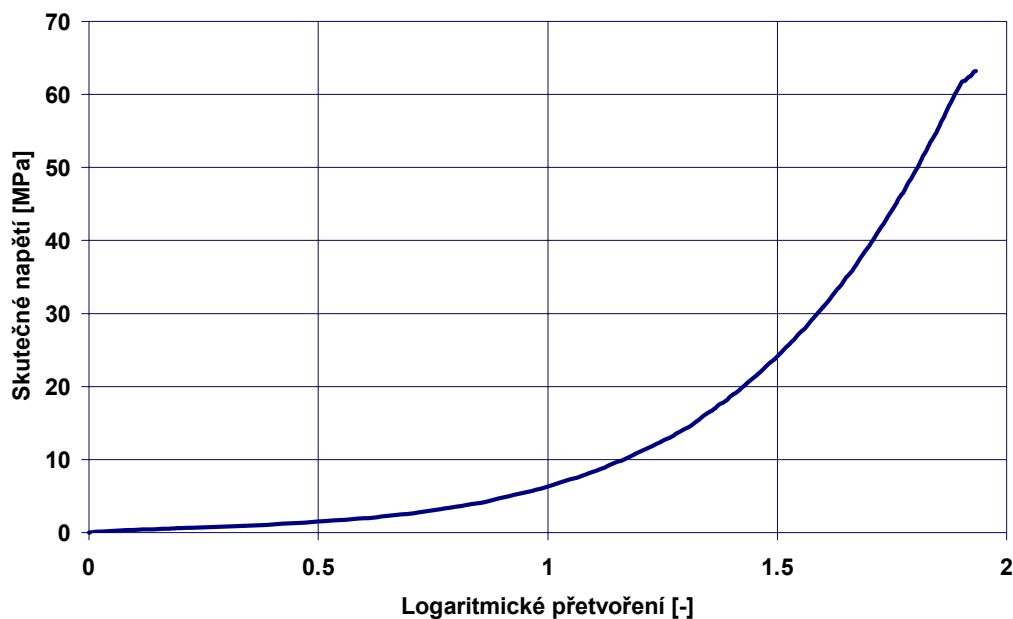
Obr.4: závislost „smluvní napětí – přetvoření“ při namáhání tahem. Smluvní napětí je definováno jako podíl zatěžující síly k hodnotě plochy příčného průřezu nedeformovaného vzorku. Přetvoření je podíl změny měřené délky vzorku k její původní velikosti.

Obr.5: tatáž závislost jako v obr.4, přepočtená na „skutečné napětí – logaritmické přetvoření“.

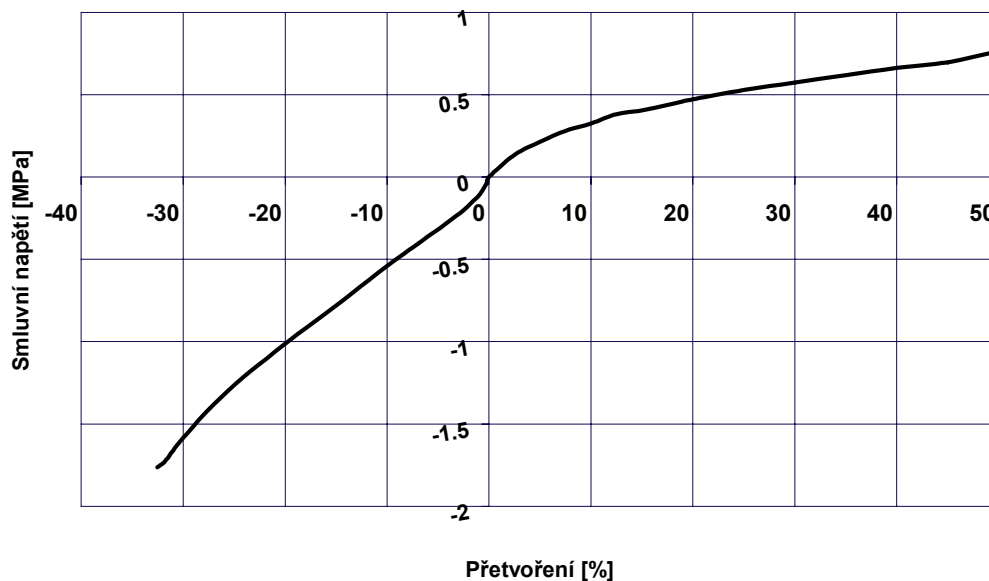


Obr.4

Obr.6: souhrnná závislost „smluvní napětí – přetvoření“ při namáhání tahem a tlakem.



Obr.5



Obr.6

Diskuse k dosaženým výsledkům měření

- Zkouška tahem byla realizována na třech vzorcích, z nichž dva se přetrhly při přetvoření téměř 600 % (obr.4). Po vyjmutí přetržených částí vzorku se tyto po dobu několika minut zpětně zkracovaly, původní délky však nedosáhly. Trvalá deformace činila cca 20 %, stejně tomu bylo i u nepřetrženého vzorku.
- Z porovnání obr.4 a obr.5 je zřejmá výrazná odlišnost ve funkčních závislostech „napětí - přetvoření“. Zatímco závislost hodnot smluvních veličin je s výjimkou počáteční části diagramu téměř lineární, závislost skutečných hodnot veličin má charakter exponenciální. Z diagramu skutečných hodnot pak vyplývá, že při velkých přetvořeních dochází u pryže k efektu zpevňování. Z tohoto pohledu má pryž zcela odlišné chování než kovové materiály.
- Počáteční modul pružnosti jak v tahu, tak i tlaku je přibližně stejný a má hodnotu cca 10 MPa, obr.6.

2. Závislosti „napětí - přetvoření“ u materiálů pro technologie Rapid Prototyping

Technologie Rapid Prototyping umožňují vytvořit prostorový fyzický model na základě SW produktu prostorového tělesa. Tento model je složen z tenkých vrstev řádově v desetinách milimetru vytvořených různým způsobem. U laserového spékání (laser sintering, např. „DTM's Sinterstation systems“) laser spéká po zmíněných vrstvách práškový materiál (kovy, keramika, plasty). U technologie „Fused Deposition Modelling“ se jednotlivé vrstvy vytvářejí nanášením.

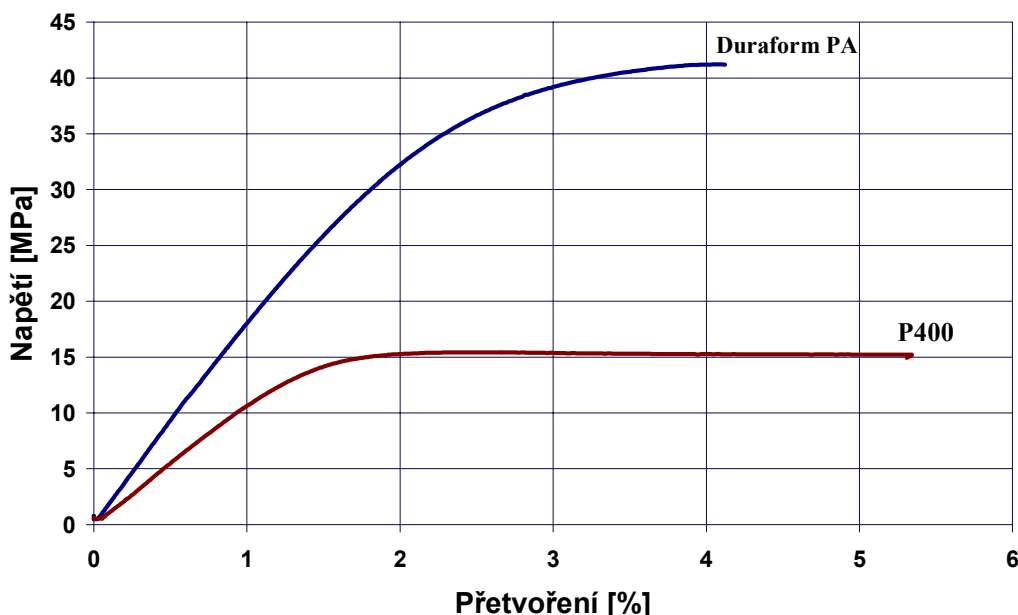
Jedním z možných použití uvedené technologie je vytváření fyzických modelů pro účely experimentálního modelování, při němž by se na površích modelů vyšetřovala přetvoření od známého zatížení, a to s využitím různých měřících metod (tenzometrie, reflexní fotoelasticimetrie, interferenční metody). K tomuto účelu je nutné znát vlastnosti těchto materiálů (teplotní součinitel délkové roztažnosti, konstitutivní vlastnosti, tj. moduly pružnosti a součinitele příčné kontrakce) a taktéž závislosti „napětí - přetvoření“.

Testovány byly druhy materiálů:

- a) materiál P400 (ABS) – dodaný firmou MCAE,
- b) materiál Duraform PA – dodaný firmou DTM.

V tomto příspěvku uvádíme pro uvedené druhy materiálů pouze výsledky tahové zkoušky (obr.7), realizované na trhacím stroji Zwick Z020. Aktivní měřicí délka příložného průtahoměru zn. Multisens byla 50 mm, rychlost zatěžování vzorku 50 mm/min. Hodnoty počátečních modulů pružnosti v tahu byly: materiál P400 – 1064 MPa, materiál Duraform – 1860 MPa. Meze kluzu $R_{p0.2}$ byly: materiál P400 – 14 MPa, materiál Duraform – 30 MPa.

Dále budou vyšetřovány moduly pružnosti a součinitele příčné kontrakce uvedených materiálů v lokálních místech zkušebních vzorků, a to s použitím tenzometrů se základnami 1,5 mm. Cílem je ověřit vliv nehomogenity struktury u uvedených materiálů na elastické materiálové charakteristiky, jejichž hodnoty výrazně ovlivňují výsledky experimentálního i výpočtového modelování. U materiálu Duraform budou zjišťovány i moduly pružnosti v tlaku.



Obr.7

3. Vyšetřování zbytkových napětí v tělesech z taveného čediče

Ve vzestupném žlabu zařízení na těžení štěrku z kolejního lože se po určité době jeho provozu vyskytlo výrazné opotřebení některých výstelek žlabu. Překročil-li toto opotřebení určitou funkčně přípustnou mez je nutné zařízení odstavit a provést výměnu výstelek, což je spojeno s negativními časovými, provozními i ekonomickými důsledky.

Jednou z možností, jak odstranit tento negativní jev, je změna materiálu výstelek [3]. Variantním řešením je použití odlitků z taveného čediče. Konkrétně by se jednalo o materiál EUCOR, který vznikne tavením a následnou krystalizací nekovových komponent tak, že výsledkem je třífázová struktura složená z minerálů korundu a baddeleyitu a ze skelné fáze, s tímto chemickým složením: Al_2O_3 (50%), ZrO_2 (32%), SiO_2 (16%). Materiál vykazuje velkou tvrdost a vyhovuje i při extrémním abrazivním působení na povrch tělesa.

Pro aplikaci EUCOR je však žádoucí mít i informace o zbytkových napětích v tělesech výstelek, protože bylo zaznamenán výskyt primárních trhlin na jejich površích. Na přání výrobce (fa. EUTIT – Stará Voda) byla zbytková napětí vyšetřována i u taveného čediče EUTIT, který vedle SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 obsahuje i kysličníky Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO .

Zbytková napětí se vyšetřovala odvrtávací metodou. Byly použity tenzometry 1,5/120 RY 61. Průměr odvrtávaného válečku byl 20 mm, obr.8. Odvrtávání se realizovalo v podmínkách chlazení transformátorovým olejem, protože materiál Eucor vykazoval určitou nasákavost. Po 24 hodinovém ponoření tělesa o rozměrech 200x200x30 do vody toto těleso „vstřebalo“ 8 gramů vody, čemuž odpovídá objemová nasákavost 0,66 %. Po 154 hodinách (5-ti dnech) nasáкло těleso 10,7 gramů vody – odpovídající nasákavost je 0,97 % .

Hodnoty zbytkových napětí u materiálu Eucor vyrobeného dvěma různými teplotními režimy chlazení budou prezentovány na konferenci.



Obr.8

Práce byla provedena v rámci Výzkumného záměru MŠMT č. CEZ:322/98:262100001

Literatura:

- [1] Burša,J., Pešlová,F., Janíček,P.: Evaluation of fatigue tests of fiber composites undergoing large deformations. Sborník konference Inženýrská mechanika. Svatka 2000.
- [2] Janíček, P., Ondráček,E.: Řešení problémů modelováním. Skriptum FSI VUT v Brně 1998.
- [3] Pešlová, F. a kol.: Řešení problému povrchového opotřebení žlabu těžcího stroje. Výzkumná zpráva pro fa. EUTIT Stará voda.