

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: M2301 Strojírenství
Obor: 2303 T 002 Strojírenská technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Studium vlivů procesů tepelného zpracování na deformaci

Study of the effects of heat treatment processes on the deformation

Diplomová práce

KMT - 259

Autor: Lenka Vilčínská
Vedoucí práce: Doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.
Konzultant: Ing. Josef Podkovičák

Počet stran: 65
Počet příloh: 3
Počet obrázků: 23
Počet tabulek: 11
Počet grafů: 12

Datum odevzdání: 5. 1. 2010

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

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

Datum

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. a konzultantovi Ing. Josefu Podkovičákovi za jejich odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté informace.

Dále bych ráda poděkovala Jiřímu Malecovi z firmy PCS spol. s r. o. za zapůjčení a pomoc při měření na přístroji XStress3000.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vlivem tepelného zpracování na deformaci hnaného kola rozvodovky ve firmě Škoda Auto a. s. Nejprve bylo navrženo zkušební těleso, na kterém se prostudovaly vlivy materiálů a kalícího média na deformaci. Dále byla zkoumána struktura materiálu a tvrdost vzorků. Poté bylo změřeno i zbytkové pnutí a prostudován jeho vliv na deformaci.

V práci jsou nejprve nastíněny teoretické základy týkající se řešeného problému, druhá část se zabývá experimentálním vyhodnocením a analýzou jednotlivých měření.

Klíčová slova: tepelné zpracování, deformace, kalení, vnitřní pnutí, kalící médium

Abstract

This Diploma Thesis deals with the influence of the heat treatment on deformation of the driven wheel of the final drive unit in Skoda Auto company. First it was suggested a testing wheel used to discover the material and quench media influence. It was also studied the structure and hardness of the material samples and finally it was measured the residual stress and investigated its effects on the deformation.

There are theoretical basis regarding our problem in the first part, the second part deals with the experimental evaluating and analyzing of particular measurements.

Keywords: heat treatment, deformation, hardening, residual stress, quench medium

Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek.....	9
Seznam grafů	10
Úvod.....	11
1. Teoretická část	12
1.1. Volba materiálu na ozubená kola.....	12
1.2. Tepelné zpracování.....	12
1.2.1. Kalení.....	12
1.2.2. Popouštění.....	14
1.2.3. Kalící prostředí	14
1.2.4. Kalící média ve firmě Škoda Auto	16
1.2.5. Quench test.....	16
1.3. Chemicko-tepelné zpracování.....	17
1.3.1. Cementování.....	18
1.3.2. Nitridování	18
1.3.3. Nitrocementování	18
1.3.4. Karbonitridování	19
1.3.5. Chemicko-tepelné zpracování ve firmě Škoda Auto	19
1.4. Zkoušky	19
1.4.1. Zkoušky tvrdosti	19
1.4.2. Rentgenová difrakografie – vnitřní pnutí	21
1.4.3. Metalografie	21
2. Experimentální část	22
2.1. Zkušební těleso	22
2.1.1. Návrh zkušebního tělesa.....	22
2.1.2. Příprava zkušebního tělesa.....	24
2.1.3. Umístění zkušebního tělesa na rošt.....	24
2.1.4. Nastavení pece	28
2.1.5. Měření deformací zkušebního tělesa	29
2.1.6. Měření tvrdosti	39
2.1.7. Mikrotvrdost	40
2.1.8. Metalografie	43
2.2. Vyhodnocení měření	44
2.2.1. Šířka mezery – materiál TL 4521	44
2.2.2. Zkroucení – materiál TL 4521	46
2.2.3. Vnitřní průměr – materiál TL 4521.....	48
2.2.4. Porovnání naměřených deformací – materiál TL 4521	49
2.2.5. Šířka mezery – materiál TL 4521 a TL 4227	51

2.2.6. Zkroucení – materiál TL 4521 a TL 4227	52
2.2.7. Vnitřní průměr – materiál TL 4521 a TL 4227	53
2.2.8. Tvrdost	53
2.3. Měření vnitřního pnutí	54
2.3.1. Přístroj XStress 3000	54
2.3.2. Postup měření	55
2.3.3. Vyhodnocení měření	56
2.4. Zjišťování chladicí křivky	57
3. Závěr	58
Použitá literatura	59
Přílohy	60

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Teplota kalení v rovnovážném diagramu železa a uhlíku.....	13
Obr. 1-2 Quench test.....	17
Obr. 2-1 První návrh zkušebního tělesa.....	22
Obr. 2-2 Druhé návrhy zkušebního tělesa.....	23
Obr. 2-3 Konečný návrh zkušebního tělesa	23
Obr. 2-4 Rošt.....	24
Obr. 2-5 Rozložení kol ve spodním patře na roštu - 1 materiál	25
Obr. 2-6 Rozložení kol v horním patře na roštu – 1 materiál.....	26
Obr. 2-7 Rozložení kol ve spodním patře na roštu – 2 materiály.....	27
Obr. 2-8 Rozložení kol v horním patře na roštu – 2 materiály	28
Obr. 2-9 <i>Linear Height 600</i> od firmy <i>Mitutoyo</i>	30
Obr. 2-10 Kuličkový dotek s rubínovou kuličkou.....	31
Obr. 2-11 Místa měření šířky mezery	31
Obr. 2-12 Dotek na měření hloubky	33
Obr. 2-13 Místa měření zkroucení.....	34
Obr. 2-14 Přípravek na měření ovality	36
Obr. 2-15 Místo měření průměru.....	37
Obr. 2-16 Tvrdoměr typu Rockwell <i>RT-240</i> od firmy <i>LECO</i>	39
Obr. 2-17 Střed vzorku – 500x zvětšeno	43
Obr. 2-18 Okraj vzorku – 100x zvětšeno	44
Obr. 2-19 Měření vnitřního pnutí na kole po 10. operaci	54
Obr. 2-20 Mobilní difraktometr <i>XStress3000</i>	55
Obr. 2-21 Místa měření vnitřního pnutí	56

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Nastavení proudění oleje	29
Tab. 2-2 Postup měření a přípravy zkušebního tělesa	30
Tab. 2-3 Naměřené hodnoty šířky mezery	33
Tab. 2-4 Naměřené hodnoty zkroucení	36
Tab. 2-5 Naměřené hodnoty vnitřního průměru	38
Tab. 2-6 Naměřené hodnoty tvrdosti dle Rockwella	40
Tab. 2-7 Naměřené hodnoty – vzorek č. 25	41
Tab. 2-8 Naměřené hodnoty – vzorek č. 41	41
Tab. 2-9 Vnitřní pnutí – kolo č. 1	56
Tab. 2-10 Vnitřní pnutí – kolo č. 2	57
Tab. 2-11 Vnitřní pnutí – kolo č. 3	57

Seznam grafů

Graf 2-1 Profil tvrdosti – vzorek č. 25	42
Graf 2-2 Profil tvrdosti – vzorek č. 41	42
Graf 2-3 Šířka mezery – materiál TL 4521	45
Graf 2-4 Porovnání šířky mezery ve vsázkách – materiál TL 4521	46
Graf 2-5 Zkroucení – materiál TL 4521	47
Graf 2-6 Porovnání zkroucení ve vsázkách – materiál TL 4521	47
Graf 2-7 Vnitřní průměr – materiál TL 4521.....	48
Graf 2-8 Porovnání vnitřního průměru ve vsázkách – materiál TL 4521	49
Graf 2-9 Porovnání naměřených deformací – materiál TL 4521	50
Graf 2-10 Šířka mezery – materiál TL 4521 a TL 4227	51
Graf 2-11 Zkroucení – materiál TL 4521 a TL 4227	52
Graf 2-12 Vnitřní průměr – materiál TL 4521 a TL 4227	53

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá řešením příčiny vzniku deformací při tepelném zpracování na hnaném kole rozvodovky. Práce je řešena ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s., kde se přímo v kalírně touto problematikou dlouhodobě zabývají.

Hlavním problémem je deformace vnitřního průměru hnaného kola rozvodovky, které je nasazeno na osazení klece diferenciálu. Při nynějším způsobu výroby dochází k velké zmetkovitosti, což je velmi neekonomické. Úkolem této diplomové práce je tedy navrhnout takový způsob tepelného zpracování, aby se vyrábělo co nejmenší množství zmetků.

Tato diplomová práce vznikala v kooperaci s diplomovou prací Petra Bartoníčka [3], který se ve své práci věnoval Quench testu.

Práce je rozčleněna do dvou kapitol. V první kapitole jsou popsány teoretické základy týkající se řešeného problému. Druhá kapitola se věnuje experimentům, které se ve většině případů prováděly na zkušebních tělesech podobných ozubeným kolům. Nejprve je rozebrán tvar a umístění zkušebních těles a dále postup měření jednotlivých deformací a tvrdosti. V dalších částech druhé kapitoly je vyhodnocení jednotlivých měření, vlivu materiálu a měření vnitřního pnutí.

1. Teoretická část

1.1. Volba materiálu na ozubená kola

Nejčastěji se na výrobu ozubených kol používají strojní oceli, konstrukční ušlechtilé oceli, oceli na odlitky, bronz, litina, plasty a další. Materiál na ozubená kola se volí s ohledem na stroj nebo zařízení, ve kterém budou kola pracovat, velikost přenášených sil a obvodových rychlostí, požadovanou trvanlivost a bezpečnost, cenu, váhu, počet vyráběných kusů, vliv pracovního prostředí, přípustnou hlučnost a další.

Ozubená soukolí lze rozdělit podle kinematických poměrů na soukolí valivá a šroubová. V každém z těchto případů se kladou jiné požadavky na materiál. Pro valivá soukolí je vhodnější materiál s velkou povrchovou tvrdostí a pro šroubová soukolí se více hodí kombinovat materiál poměrně měkký na jednom kole a materiál tvrdší na druhém kole.

1.2. Tepelné zpracování

Tepelným zpracováním (TZ) se rozumí ohřátí materiálu na určitou teplotu s následným ochlazením. Při tomto procesu se nemění tvar výrobku, ale pouze vnitřní struktura materiálu. Účelem tepelného zpracování je získání lepších mechanických i jiných vlastností. Různým způsobem tepelného zpracování můžeme získat z oceli stejného složení ocel s rozdílnými vlastnostmi. Tepelné zpracování se dělí na žihání, kalení, popouštění a na chemicko-tepelné zpracování.

Při výrobě hnaného kola rozvodovky v kalírně se používá chemicko-tepelné zpracování a kalení, po kterém následuje popouštění.

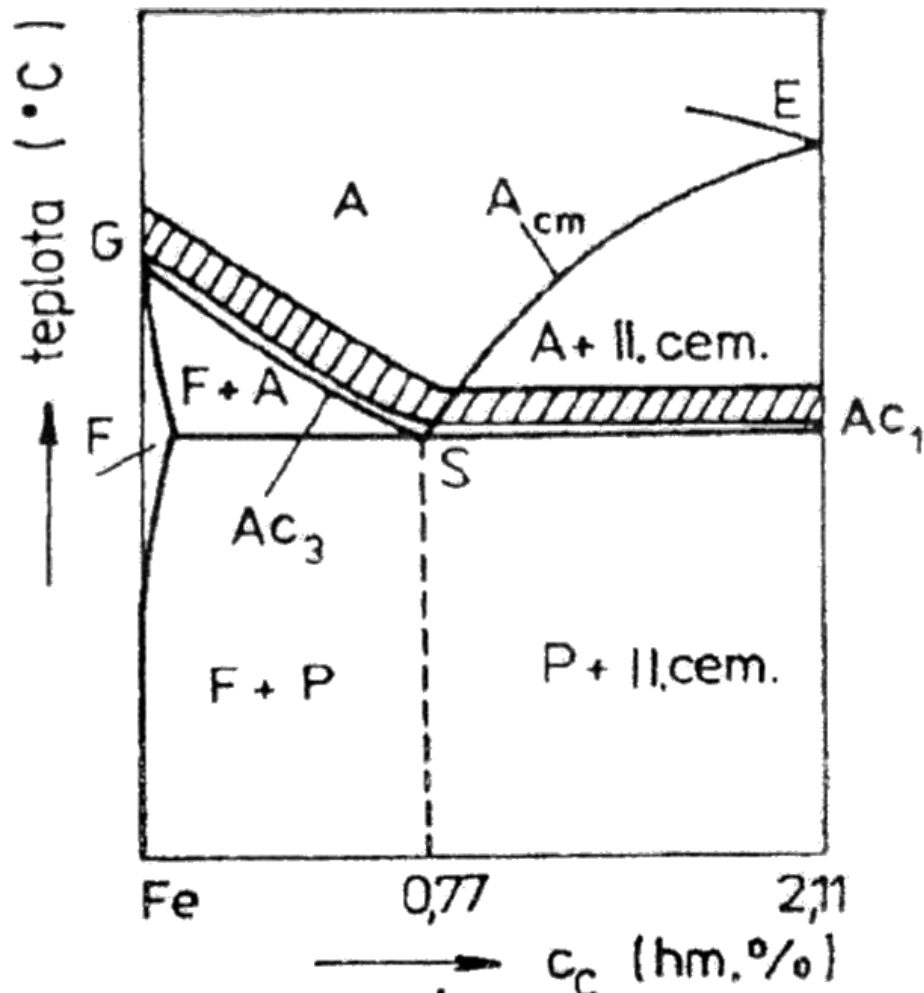
1.2.1. Kalení

Kalení ocelí zvyšuje tvrdost a odolnost proti opotřebení součástí. Kalí se nástroje a většina konstrukčních součástí vyrobených z ušlechtilé oceli. Aby bylo možné ocel zakalit, musí být kalitelná. Kalitelnost je závislá hlavně na obsahu uhlíku. Čím vyšší je obsah uhlíku, tím je ocel po zakalení tvrdší. Tvrdost

po kalení je také závislá na kalící teplotě. Vyšší tvrdosti se dosahuje po kalení z teploty těsně nad A_{c_1} .

Při kalení je součást nejprve dokonale austenitizována a poté se nadkritickou rychlostí ochladí. Při ochlazování se austenit přemění na martenzit. Teplota kalení je 30 až 80°C nad teplotou A_{c_3} . Výdrž na teplotě bývá několik minut, maximálně však 1 hodinu.

U většiny součástí je důležitá nejen tvrdost po kalení, ale také hloubka zakalení, resp. možnost zakalení součásti v celém průřezu, tzv. prokalitelnost. Prokalitelnost je závislá na množství přísad. Dostatečné prokalení zaručuje, že součást bude mít požadované mechanické vlastnosti v celém průřezu.



Obr. 1-1 Teplota kalení v rovnovážném diagramu železa a uhlíku

1.2.2. Popouštění

Popouštění je tepelné zpracování, které následuje po zakalení a jehož cílem je dosáhnout stavu bližšího rovnovážnému stavu oceli. Skládá se z ohřevu na teploty nižší než A_1 , výdrže na teplotě a následujícího ochlazování vhodnou rychlostí. Protože vnitřní pnutí mohou být příčinou vzniku trhlin i po vyjmutí předmětu z kalící lázně, má popouštění následovat ihned po zakalení. Rozsah změn struktury, a tím i mechanických vlastností závisí na teplotě a době popouštění. Téhož účinku lze do jisté míry dosáhnout prodloužením doby za nižší teploty nebo kratší prodlevou za vyšší teploty. Podle výšky popouštěcí teploty, která má na výsledné vlastnosti největší vliv, rozlišuje ČSN 42 0004-69 popouštění při nízkých a vyšších teplotách.

Popouštění při nízkých teplotách se uskutečňuje obvykle v rozmezí teplot 100 až 300°C. Jeho účelem je snížit úroveň vnitřních pnutí, zmenšit podíl zbytkového austenitu, zlepšit houževnatost, popř. stabilizovat rozměry, při zachování vysoké tvrdosti. Zpravidla se užívá u cementovaných a u povrchově kalených součástí nebo u nástrojů.

Popouštění při vyšších teplotách, obvykle v rozmezí 400 až 650°C, se používá, jsou-li požadovány vysoké pevnostní vlastnosti a současně značná plasticita a houževnatost oceli. Takovou kombinaci vlastností poskytuje sorbitická struktura, která se získá kalením a následujícím popouštěním při vyšších teplotách. Celý tento postup tepelného zpracování se nazývá zušlechťování. Zušlechťují se silně namáhané součásti z konstrukčních ocelí.

1.2.3. Kalící prostředí

Kalící prostředí se volí podle typu oceli, velikosti a tvaru součásti. Jako chladící média se používají voda, olej, solné lázně, vzduch a polymerní lázně. Při kalení do kapalných médií se po ponoření do lázně vytvoří na povrchu tzv. parní polštář, který zpomaluje ochlazování. Z tohoto důvodu je lepší součástí při kalení pohybovat.

1.2.3.1. Voda jako kalící médium

Voda je nejintenzívnější kalící médium. Používá se pro oceli, jejichž kritická rychlost je vysoká, jako jsou oceli uhlíkové. Voda má vysokou ochlazovací účinnost při teplotách v oblasti perlitické přeměny. Její nevýhodou je však i velká ochlazovací účinnost za teplot martenzitické přeměny, tím vznikají vnitřní pnutí.

1.2.3.2. Olej jako kalící médium

Olej se jako kalící médium používá pro oceli s nízkou kritickou rychlostí, jako jsou oceli legované nebo tenkostěnné součásti z uhlíkových ocelí. Rychlost ochlazování v oleji je oproti vodě pomalejší. Výhodnější je ovšem intenzita ochlazování v oblasti martenzitické přeměny, tím vznikají v součásti menší vnitřní pnutí než při kalení do vody.

1.2.3.3. Solná lázeň jako kalící médium

Solné lázně mají ochlazovací účinnost většinou ještě menší než olej, ale při vysokých teplotách je zpravidla ochlazovací rychlost větší. Při kalení do solných lázní se dosahuje nejmenšího vnitřního pnutí v součásti.

1.2.3.4. Vzduch jako kalící médium

Při kalení na vzduchu jsou vnitřní pnutí a deformace jen velmi malé, ale hrozí nebezpečí oduhlíčení povrchu součásti, z tohoto důvodu se takto kalí pouze rozměrné předměty. Oceli kalitelné na vzduchu se označují jako samokalitelné.

1.2.3.5. Kalení do polymerní lázně

Při kalení do polymerní lázně vzniká v době ponoru na povrchu součásti film polymeru, který zpomaluje ochlazovací rychlost lázně. Při kalení je velmi důležité míchání, kterým se ovlivňuje tloušťka filmu a které zajišťuje homogenní kalení celé vsázky. Rychlost míchání se pohybuje kolem 0,5 až 1 m/s. Při vyšší rychlosti mohou vznikat trhlinky a deformace, nižší rychlosti způsobují odchylky v mikrostruktuře. Mícháním se také zajišťuje to, aby nedocházelo k termickému rozkladu polymerních molekul a tím ke snížení životnosti lázně.

Při stárnutí polymerních lázní dochází zpravidla ke zvýšení ochlazovací schopnosti bez změny koncentrace lázně. Abychom udrželi správnou ochlazovací rychlost, musíme zvýšit koncentraci lázně. Toto je jev, který se stále opakuje, a tím se dostaneme k vysokým koncentracím, které jsou již neekonomické. Hlavním důvodem stárnutí lázní je termický rozklad polymerních molekul. Je zřejmé, že rozpadem několika molekul při každém kalení se snižuje průměrná délka molekulového řetězce a tím se snižuje i izolační schopnost polymeru.

Výhodou kalení do polymerních lázní oproti kalení do oleje jsou příznivější kalící křivky a také možnost vynechat proces omívání.

1.2.4. Kalící média ve firmě Škoda Auto

Hnaná kola rozvodovky o teplotě 850°C se kalí ponořením do proudícího oleje, který má teplotu 60°C. Rychlost proudění oleje je dána otáčkami dvou čerpadel. Konkrétní nastavení parametrů pece je uvedeno v kapitole 2.1.4.

1.2.5. Quench test

K určení vlivu chladícího média se používá Quench test (viz. Obr. 1-2). Pomocí Quench testu se zjišťuje ochlazovací schopnost oleje. Výstupem je ochlazovací křivka. Ke zjištění ochlazovací křivky se může použít například přístroj Ivf Smart Quench, jehož princip je založen na ohřátí měřící sondy ze standardního materiálu na počáteční teplotu testování a následného ponoření do kalícího média. Uvnitř sondy je termočlánek, spojený se zařízením, které zaznamenává teplotu v určitém časovém intervalu. Z naměřených dat je poté sestavena ochlazovací křivka daného média.

Podrobněji se Quench testu věnuje ve své diplomové práci Petr Bartoníček [3].



Obr. 1-2 Quench test

1.3. Chemicko-tepelné zpracování

Jako chemicko-tepelné zpracování se označuje proces, kdy dochází k difuznímu sycení povrchu součásti různými prvky, může se jednat o kovy i nekovy. Tím se dosahuje rozdílných mechanických nebo fyzikálně-chemických vlastností povrchu a jádra součásti. Tímto získáváme změnu chemického složení povrchu součásti. Součást se poté může dále tepelně zpracovat, většinou kalením a popouštěním při nízkých teplotách.

Účelem chemicko-tepelného zpracování je zvýšení tvrdosti a odolnosti povrchu součásti a zachování houževnatého jádra. Nejčastěji se k sycení povrchu používá uhlík, dusík a uhlík i dusík současně.

1.3.1. Cementování

Cementování je způsob chemicko-tepelného zpracování, při němž dochází k nasycení povrchu součásti uhlíkem. Na povrchu měkkých ocelí se vytvoří vrstva, která je obohacena uhlíkem do eutektoidní nebo slabě nadeutektoidní koncentrace. Zakalením nacementované součásti se získá ve vrstvě tetragonální martenzit o vysoké tvrdosti. V jádru dojde v závislosti především na hloubce cementace a velikosti průřezu jen k částečnému zakalení. Martenzit – pokud vzniká – má však vzhledem k malému obsahu uhlíku nízkou tvrdost. Proto jádro součásti zůstane měkké a houževnaté.

Cementováním většinou při teplotách 850 až 950°C se vytvářejí vrstvy obvykle o tloušťce asi do 2 mm.

1.3.2. Nitridování

Nitridování je způsob chemicko-tepelného zpracování, při němž dochází k nasycení povrchu součásti dusíkem. Požadovaných vlastností povrchu součásti se dosahuje již při nasycování dusíkem, proto se nemusí součást dále tepelně zpracovávat.

Nitridování se provádí při teplotě 500 až 550°C na koncentraci až 12% N. Tloušťka vrstvy bývá 0,2 až 0,6 mm. Doba nitridování je poměrně dlouhá z důvodu nízké teploty a může trvat až 60 hodin.

1.3.3. Nitrocementování

Nitrocementování je sycení povrchu oceli současně uhlíkem i dusíkem. Při tomto procesu převládá uhlík. Nejčastěji se nitrocementuje při teplotě 820 až 840°C v atmosféře, kterou tvoří běžná cementační atmosféra (v našem případě endoatmosféra) ve směsi s malým množstvím čpavku. Hloubka vrstvy bývá 0,3 až 0,4 mm a doba nitrocementace se pohybuje kolem 1 až 2 hodin. Nitrocementované součásti se při kalení málo deformují. Tvrdost povrchu bývá

při stejných podmínkách (C potenciál, teplota, ochlazování) vyšší než po cementování.

1.3.4. Karbonitridování

Karbonitridování je podobně jako nitrocementování sycení povrchu ocelí uhlíkem a dusíkem současně, převládá ale dusík. Rozdíl je v teplotě procesu a množství uhlíku a dusíku v povrchové vrstvě. Teplota karbonitridování se obvykle pohybuje v rozmezí teplot 600 až 630°C. Atmosféra je tvořena směsí čpavku s přísadkou uhlovodíků. Doba karbonitridování je až 4 hodiny. Tloušťka vrstvy je přibližně 0,05 mm a její tvrdost je až 1000 HV. Součásti se pak dále nekalí.

1.3.5. Chemicko-tepelné zpracování ve firmě Škoda Auto

Při výrobě hnaných kol rozvodovky se používá nitrocementování. Uhlíkový potenciál se nastavuje v první fázi na 1,05% a teplota sycení na 920°C, ve druhé fázi na 0,75% a teplotu 850°C. Program chemicko-tepelného zpracování je uveden v příloze Příloha 1.

1.4. Zkoušky

1.4.1. Zkoušky tvrdosti

Tvrdost je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Prakticky ji stanovujeme tak, že těleso vhodného tvaru – indentor, zhotovené z vhodného, dostatečně tvrdého materiálu, zatlačujeme do zkoušeného materiálu. Tvrdost posuzujeme z velikosti deformace.

1.4.1.1. Statické vnikací zkoušky tvrdosti

Statické vnikací zkoušky tvrdosti jsou nejčastěji používané zkoušky. Tyto zkoušky jsou normované. Do zkoušeného materiálu je postupně vtlačován indentor, který vytvoří vtisk, ze kterého se poté buď podle velikosti plochy, nebo podle hloubky vtisku odečítá tvrdost.

1.4.1.2. Zkouška tvrdosti podle Brinella

Zkouška tvrdosti podle Brinella je zkouška tvrdosti, která je popsána normou ČSN 42 0371. Jako indenter se používá ocelová kalená kulička, jejíž průměr D bývá nejčastěji 10 mm, ale používají se i kuličky o průměru 0,625 mm, 1,25 mm, 2,5 mm nebo 5 mm. Průměr kuličky závisí na tloušťce měřeného materiálu. Zkouška podle Brinella se označuje HB a počítá se podle vzorce

$$HB = \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

kde d je průměr vtisku a F je velikost zátěžné síly.

1.4.1.3. Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Zkouška tvrdosti podle Rockwella je popsána normou ČSN 42 0373. Zde se jako indenter používá buď diamantový kužel se zaobleným hrotem o vrcholovém úhlu 120° (označení HRC), nebo ocelová kalená kulička o průměru 1,5875 mm (označení HRB). K určení tvrdosti se měří hloubka vtisku, která se měří od určité výchozí polohy indentoru, které se dosahuje předběžným zatížením.

1.4.1.4. Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška tvrdosti podle Vickerse je popsána normou ČSN 42 0374. Indentorem je čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° . Měří se úhlopříčky, které jsou na sebe kolmé, a tvrdost se odečítá z tabulek. Tvrdost podle Vickerse se označuje HV a počítá se dle vzorce

$$HV = \frac{1,8544F}{d^2},$$

kde d je velikost úhlopříčky vtisku, která se měří ve dvou kolmých směrech, a F je velikost zátěžné síly, která se běžně používá v rozmezí 10 až 1000 N po dobu 10 až 180 s.

1.4.2. Rentgenová difraktografie – vnitřní pnutí

Rentgenová difraktografie je skupina nedestruktivních metod odhalující informace o krystalografické struktuře, chemickém složení a fyzikálních vlastnostech materiálů a tenkých vrstev.

Princip metody pro analýzu zbytkových pnutí spočívá v určení mřížkových deformací a jejich přepočtu na napětí pomocí vztahů lineární teorie elasticity. K tomuto měření se používá přístroj zvaný rentgenový difraktometr. Jsou-li v kovu vnitřní pnutí, je jeho krystalická mřížka pružně deformována a vzdálenosti atomů neodpovídají rovnovážným polohám. Na základě toho lze rentgenograficky měřit velikost vnitřního pnutí.

1.4.3. Metalografie

Metalografie je nauka, která se zabývá vnitřní stavbou kovů a slitin. Jejím cílem je zviditelnění struktury materiálu a následné studium pomocí optického či elektronového mikroskopu.

Nejprve se odebere vzorek, který se poté buď za studena zalije do pryskyřice, nebo za tepla zalisuje do plastu. Následně se vzorek brousí a leští, poté následuje leptání a pozorování.

Pozorovat se může struktura, hloubka vrstvy a další.

2. Experimentální část

2.1. Zkušební těleso

Všechny experimenty, kromě měření vnitřního pnutí, byly prováděny na zkušebních tělesech. Tato tělesa byla vyrobena ze stejných materiálů jako standardně používaná ozubená kola. Pro zjištění vlivu materiálu jsme porovnávali materiály TL 4521 a TL 4227.

2.1.1. Návrh zkušebního tělesa

Součástí zadání diplomové práce bylo navrhnout zkušební těleso, na kterém jsme měli otestovat níže uvedené vlivy na jeho deformaci.

Zkušební těleso jsme nejprve pro porovnatelnost s procesem výroby navrhli přímo z výkovku, ze kterého se vyrábějí ozubená kola. Následně jsme ho prořízli v ose kotoučem o tloušťce 1,3 mm, viz obrázek Obr. 2-1. Při umístění na rošt se vyskytl problém. Toto těleso z důvodu malého vnitřního průměru nešlo na rošt položit. Tepelné zpracování by se tedy muselo provést na sítích, ale tím by nebyly zajištěny stejné podmínky jako u ozubených kol. Toto zkušební těleso tedy našim požadavkům nevyhovovalo.



Obr. 2-1 První návrh zkušebního tělesa

Jako druhé zkušební těleso jsme navrhli kolo po 10. operaci, tzn. kolo mělo obrobené boky, vnitřní a vnější průměr a vyvrtané díry pro šrouby. Opět jsme ho prořízali v ose. Otázkou ale bylo, zda kolo proříznout skrz nebo mimo díru, viz obrázek Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Druhé návrhy zkušebního tělesa

Při prořiznutí skrz díru docházelo z důvodu menšího množství materiálu na protilehlé straně k velkým deformacím. A protože jsme původní návrh měli na těleso bez děr, které by bylo složité vyrobit, tak jsme zvolili řezání mimo díru, které se více blížilo našim požadavkům, viz obrázek Obr. 2-3.



Obr. 2-3 Konečný návrh zkušebního tělesa

Nejprve jsme kolo řezali na kotoučové pile kotoučem o tloušťce 1,3 mm. Po tepelném zpracování docházelo k deformacím, které jsme nebyli na použitém přístroji schopni měřit, proto jsme použili kotouč o tloušťce 2,5 mm a deformace po tepelném zpracování se již změřit daly.

2.1.2. Příprava zkušebního tělesa

Jak již bylo zmíněno výše, jako výchozí polotovary jsme používali kola po 10. operaci. Na tato kola jsme si vyznačili rysky, podle kterých jsme kola rozřízli dle obrázku Obr. 2-3. Kola jsme si označili vyražením čísel. Od čísla 1 do 40 byla kola z materiálu TL 4521 a od čísla 41 do 56 byla kola z materiálu TL 4227.

Před rozříznutím jsme provedli první měření vnitřního průměru. Po rozříznutí jsme opět změřili vnitřní průměr a dále navíc šířku mezery a zkroucení. Postup a celkový přehled všech měření je popsán v kapitole 2.1.5.

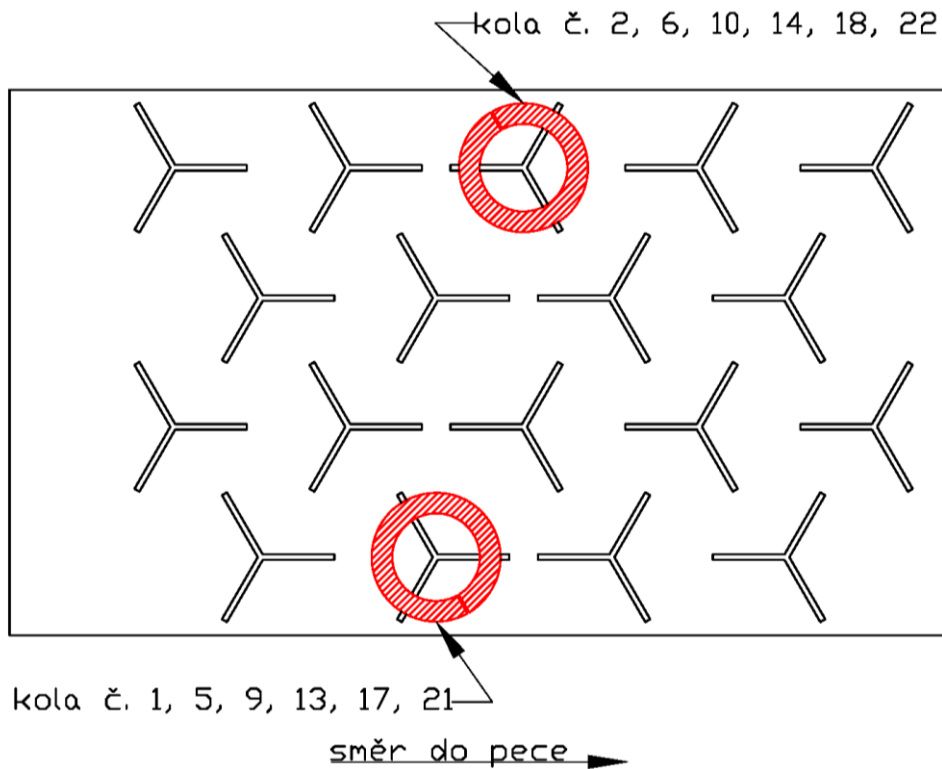
2.1.3. Umístění zkušebního tělesa na rošt

Každý rošt má 9 pater, do každého ze spodních tří pater se dává 17 ks kol a do horních šesti pater se umísťuje vždy 16 kol, některé náhodně vybrané pozice tedy zůstávají volné.



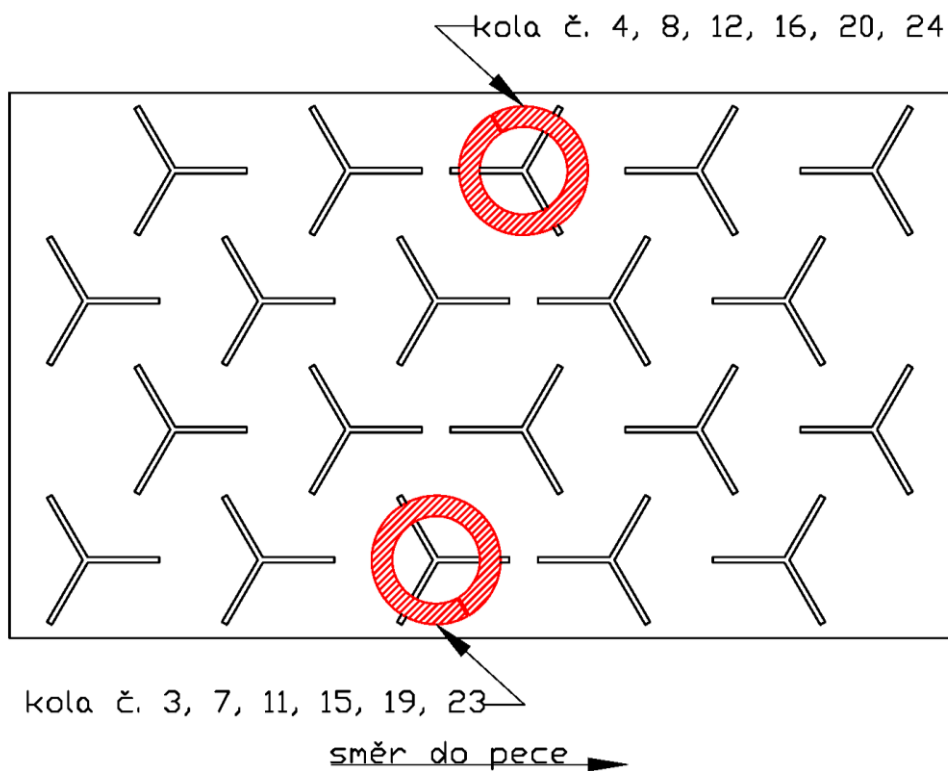
Obr. 2-4 Rošt

Při prvních šesti zkouškách jsme použili jen zkušební tělesa z materiálu TL 4521 a vždy dvě tělesa byla umístěna do spodního a dvě do horního patra roštu. Přesné rozmístění je vidět na obrázcích Obr. 2-5 a Obr. 2-6.



Obr. 2-5 Rozložení kol ve spodním patře na roštu - 1 materiál

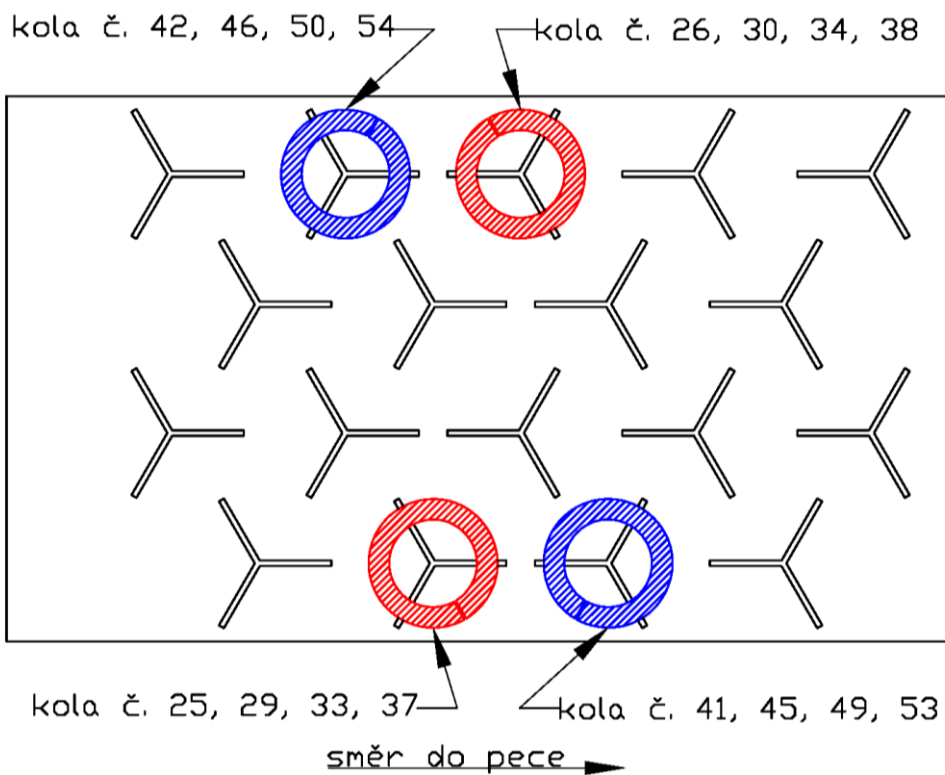
(červeně – kola z materiálu TL 4521)



Obr. 2-6 Rozložení kol v horním patře na roštu – 1 materiál

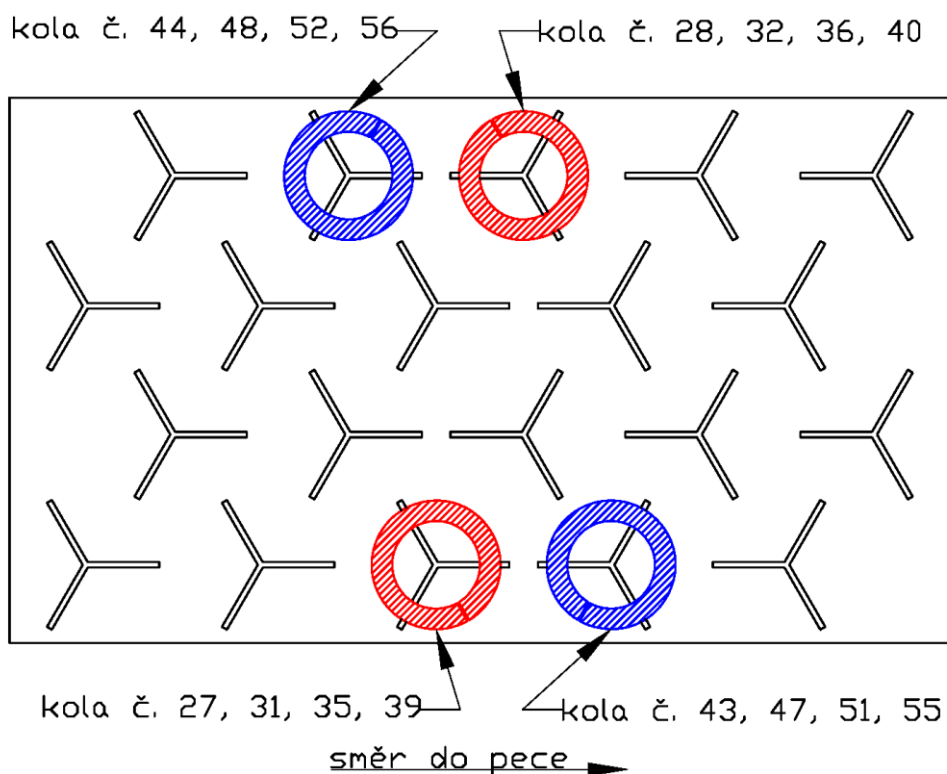
(červeně – kola z materiálu TL 4521)

Při zbývajících čtyřech zkouškách, tedy při zkouškách číslo 7 až 10, jsme z důvodu porovnání vlivu materiálu testovali kola z materiálu TL 4521 i TL 4227. Od každého z materiálu byla umístěna dvě kola ve spodním a dvě v horním patře roštu. Toto rozmístění je vidět na obrázcích Obr. 2-7 a Obr. 2-8.



Obr. 2-7 Rozložení kol ve spodním patře na roštu – 2 materiály

(červeně – kola z materiálu TL 4521, modře – kola z materiálu TL 4227)



Obr. 2-8 Rozložení kol v horním patře na roštu – 2 materiály

(červeně – kola z materiálu TL 4521, modře – kola z materiálu TL 4227)

2.1.4. Nastavení pece

Standardně nastavované podmínky v peci *AICHELIN* při chemicko-tepelném zpracování jsou:

- Teplota v peci při sycení 920°C
- Uhlíkový potenciál 1,05% a 0,75%
- Kalící teplota 850°C
- Teplota oleje 60°C
- Rychlost proudění oleje
 1. krok bez cirkulace 0 s – bez otáček
 2. krok pomalá cirkulace 60 s – 750 ot/min
 3. krok rychlá cirkulace 300 s – 1400 ot/min
 4. krok pomalá cirkulace po zbytek času – otáčky stejné jako v 2. kroku

Přesné nastavení chemicko-tepelného zpracování je v příloze Příloha 1.

Upravené nastavení pece pro naše jednotlivé zkoušky je uvedeno v tabulce Tab. 2-1.

Číslo zkoušky	2. krok – čas [s]	2. krok – rychlost [ot/min]	3. krok – rychlost [ot/min]	čísla kol
1.	60	0	700	1-4
2.	60	900	1400	5-8
3.	30	0	700	9-12
4.	30	0	1400	13-16
5.	30	900	1400	17-20
6.	60	0	1400	21-24
7.	60	600	700	25-28, 41-44
8.	60	600	1400	29-32, 45-48
9.	30	600	700	33-36, 49-52
10.	30	600	1400	37-40, 53-56

Tab. 2-1 Nastavení proudění oleje

2.1.5. Měření deformací zkušebního tělesa

Na zkušebním tělese jsme měřili vnitřní průměr před rozříznutím, po rozříznutí před tepelným zpracováním a po tepelném zpracování.

Dále jsme měřili šířku mezery a zkroucení před tepelným zpracováním a po tepelném zpracování.

Přehled všech měřených deformací a přípravy zkušebního tělesa je uveden v tabulce Tab. 2-2.

1.	měření vnitřního průměru
2.	rozříznutí kotoučem o tloušťce 2,5 mm
3.	měření vnitřního průměru
4.	měření šířky mezery
5.	měření zkroucení

6.	umístění na rošt
7.	chemicko-tepelné a tepelné zpracování
8.	měření vnitřního průměru
9.	měření šířky mezery
10.	měření zkroucení
11.	měření tvrdosti
12.	příprava metalografických výbrusů
13.	určení struktury
14.	měření mikrotvrdosti

Tab. 2-2 Postup měření a přípravy zkušebního tělesa

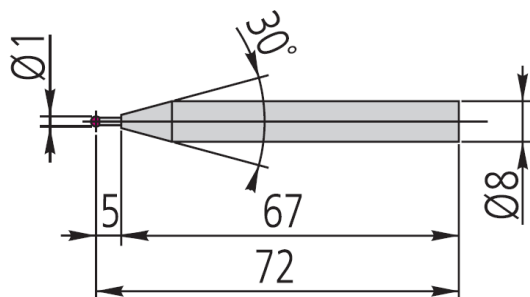
2.1.5.1. Šířka mezery

Šířku mezery jsme měřili na lineárním výškoměru *Linear Height 600* od firmy *Mitutoyo*, který je zobrazen na obrázku Obr. 2-9. Přesnost tohoto přístroje výrobce udává tímto vztahem: $(1,1 + 0,6L/600)$ μm , kde L je délka měření v mm. V našem případě je nejhorší přesnost 1,14 μm .



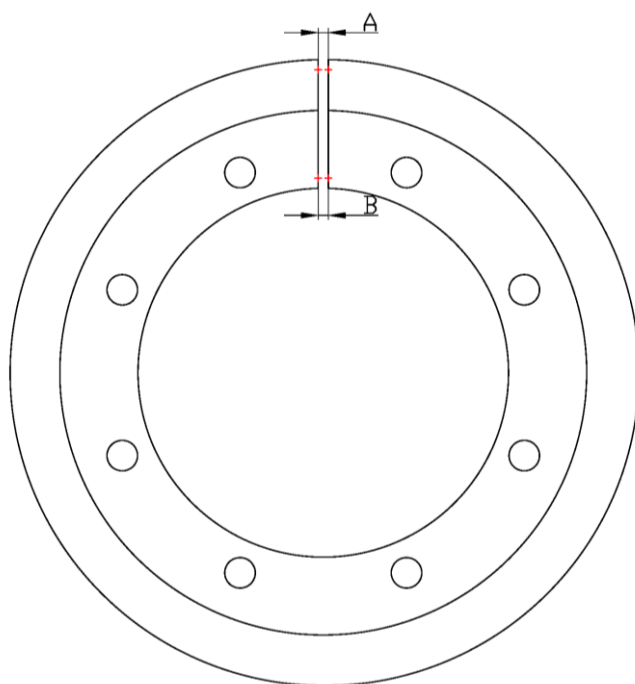
Obr. 2-9 *Linear Height 600* od firmy *Mitutoyo*

K měření jsme používali kuličkový dotek s rubínovou kuličkou o průměru 1 mm, viz obrázek Obr. 2-10.



Obr. 2-10 Kuličkový dotek s rubínovou kuličkou

Šířku mezery jsme měřili v hloubce 3 mm ve středu tloušťky mezery na vnějším (ozn. A) i vnitřním (ozn. B) průměru. Místa měření jsou zobrazena na obrázku Obr. 2-11. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce Tab. 2-3.



Obr. 2-11 Místa měření šířky mezery

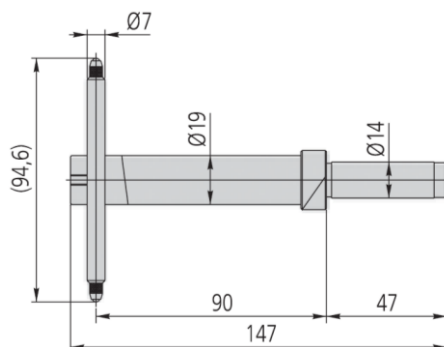
č. kola	šířka mezery na vnějším průměru A [mm]			šířka mezery na vnitřním průměru B [mm]		
	před TZ	po TZ	rozdíl	před TZ	po TZ	rozdíl
1.	2,536	3,601	1,065	2,524	3,350	0,826
2.	2,560	3,404	0,844	2,545	3,228	0,683
3.	2,554	3,451	0,897	2,560	3,284	0,724
4.	2,590	3,548	0,958	2,599	3,325	0,726
5.	2,676	1,663	-1,013	2,606	1,924	-0,682
6.	2,548	1,437	-1,111	2,547	1,810	-0,737
7.	2,600	3,475	0,875	2,555	3,310	0,755
8.	2,481	3,156	0,675	2,519	3,051	0,532
9.	2,541	3,803	1,262	2,553	3,520	0,967
10.	2,621	3,538	0,917	2,561	3,321	0,759
11.	2,608	3,970	1,363	2,589	3,669	1,080
12.	2,564	4,024	1,460	2,581	3,675	1,095
13.	2,678	3,998	1,321	2,642	3,665	1,023
14.	2,519	4,050	1,531	2,418	3,706	1,288
15.	2,545	3,969	1,425	2,514	3,647	1,133
16.	2,535	3,843	1,308	2,517	3,523	1,006
17.	2,554	1,660	-0,894	2,525	1,965	-0,560
18.	2,569	1,682	-0,887	2,536	2,007	-0,529
19.	2,580	3,625	1,045	2,563	3,428	0,864
20.	2,493	3,459	0,966	2,515	3,286	0,771
21.	2,507	4,108	1,601	2,521	3,759	1,238
22.	2,543	3,859	1,316	2,538	3,674	1,137
23.	2,593	4,151	1,558	2,579	3,811	1,233
24.	2,518	4,035	1,517	2,503	3,674	1,171
25.	2,564	2,377	-0,186	2,578	2,476	-0,103
26.	2,492	3,739	1,248	2,565	3,461	0,896
27.	2,415	3,977	1,562	2,553	3,608	1,055
28.	2,555	4,085	1,530	2,565	3,711	1,147
29.	2,498	3,579	1,081	2,519	3,289	0,770
30.	2,548	3,873	1,324	2,569	3,552	0,982
31.	2,636	3,774	1,138	2,585	3,559	0,974
32.	2,600	4,007	1,407	2,528	3,726	1,198
33.	2,497	3,201	0,704	2,510	3,051	0,541
34.	2,666	3,146	0,480	2,653	3,027	0,374
35.	2,660	3,907	1,247	2,626	3,637	1,012
36.	2,448	4,109	1,661	2,470	3,677	1,207
37.	2,570	2,569	-0,001	2,510	2,612	0,102
38.	2,420	2,779	0,359	2,430	2,740	0,309
39.	2,460	3,788	1,328	2,478	3,503	1,025

č. kola	šířka mezery na vnějším průměru A [mm]			šířka mezery na vnitřním průměru B [mm]		
	před TZ	po TZ	rozdíl	před TZ	po TZ	rozdíl
40.	2,565	3,648	1,083	2,538	3,396	0,858
41.	2,500	3,317	0,817	2,496	3,135	0,640
42.	2,614	3,104	0,491	2,560	2,977	0,417
43.	2,577	4,031	1,455	2,587	3,725	1,138
44.	2,611	3,790	1,179	2,552	3,438	0,886
45.	2,643	3,456	0,813	2,629	3,259	0,631
46.	2,432	3,387	0,955	2,530	3,077	0,547
47.	2,473	4,023	1,550	2,484	3,659	1,175
48.	2,509	4,033	1,524	2,537	3,681	1,144
49.	2,434	3,472	1,037	2,586	3,232	0,647
50.	2,546	3,251	0,705	2,592	3,092	0,500
51.	2,551	4,077	1,526	2,393	3,699	1,306
52.	2,519	3,890	1,372	2,524	3,594	1,070
53.	2,533	3,498	0,965	2,495	3,267	0,773
54.	2,542	3,490	0,947	2,496	3,267	0,770
55.	2,476	4,006	1,530	2,567	3,644	1,077
56.	2,582	4,129	1,546	2,596	3,741	1,146

Tab. 2-3 Naměřené hodnoty šířky mezery

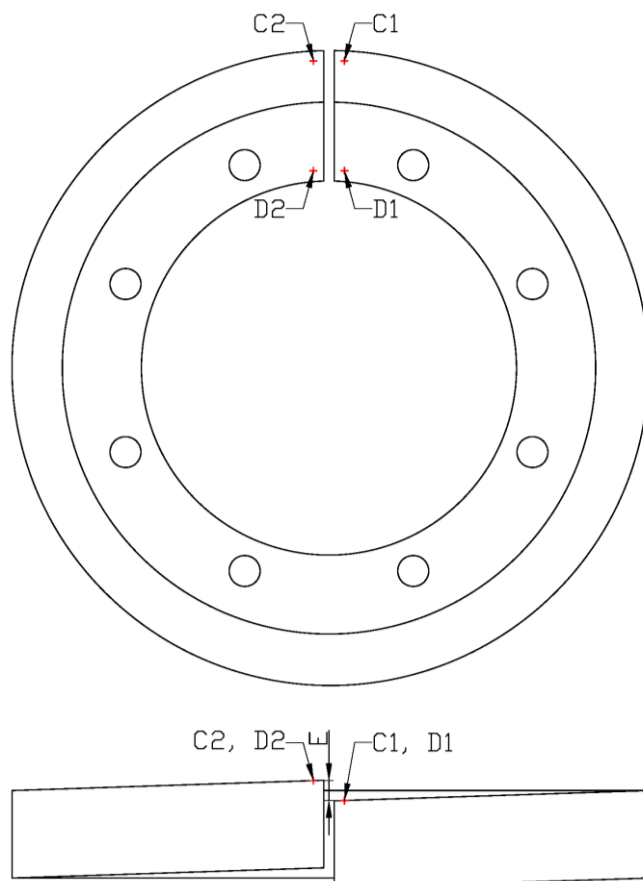
2.1.5.2. Zkroucení

Podobně jako šířku mezery, tak i zkroucení jsme měřili na lineárním výškoměru *Linear Height 600* od firmy *Mitutoyo*. K tomuto měření jsme používali dotek na měření hloubky, viz obrázek Obr. 2-12.



Obr. 2-12 Dotek na měření hloubky

K určení velikosti zkroucení kol jsme měřili rozdíl výšek na vnějším průměru v místech C1 a C2 a na vnitřním průměru v místech D1 a D2 schematicky znázorněných na obrázku Obr. 2-13. Naměřené hodnoty jsou zaznamenané v tabulce Tab. 2-4.



Obr. 2-13 Místa měření zkroucení

č. kola	zkroucení na vnějším průměru (C1-C2) [mm]			zkroucení na vnitřním průměru (D1-D2) [mm]		
	před TZ	po TZ	rozdíl	před TZ	po TZ	rozdíl
1.	0,049	-0,007	-0,055	0,013	-0,006	-0,018
2.	0,023	-0,551	-0,574	0,020	-0,452	-0,472
3.	-0,027	0,349	0,376	-0,009	0,328	0,338
4.	0,007	0,154	0,148	0,005	0,163	0,158
5.	0,037	0,340	0,303	0,016	0,240	0,224
6.	0,003	-0,468	-0,471	0,003	-0,368	-0,371
7.	0,028	0,083	0,055	0,026	0,023	-0,003

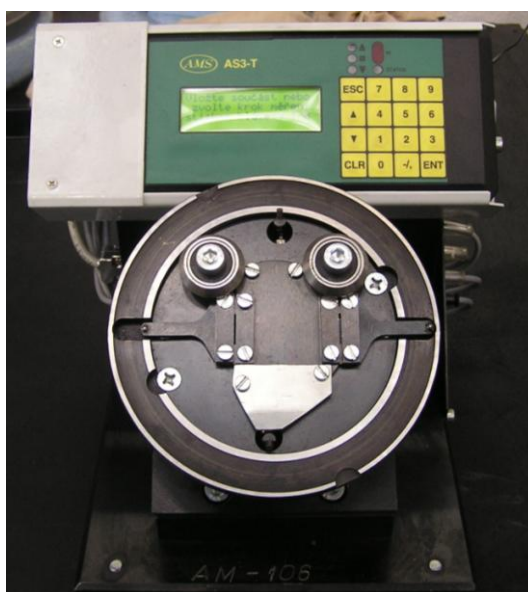
č. kola	zkroucení na vnějším průměru (C1-C2) [mm]			zkroucení na vnitřním průměru (D1-D2) [mm]		
	před TZ	po TZ	rozdíl	před TZ	po TZ	rozdíl
8.	0,006	0,349	0,343	0,004	0,308	0,305
9.	0,024	0,063	0,038	0,022	0,071	0,049
10.	-0,011	-0,357	-0,346	-0,002	-0,248	-0,246
11.	0,016	0,502	0,486	0,011	0,464	0,453
12.	0,034	-0,064	-0,098	0,021	0,003	-0,018
13.	-0,008	-0,395	-0,388	-0,006	-0,275	-0,269
14.	0,039	-0,057	-0,096	0,034	-0,071	-0,105
15.	-0,002	0,053	0,054	0,002	0,084	0,082
16.	0,017	0,198	0,181	0,016	0,144	0,128
17.	0,018	-0,074	-0,092	0,015	-0,102	-0,117
18.	0,024	-0,121	-0,145	0,021	-0,102	-0,123
19.	0,027	0,044	0,017	0,020	0,047	0,027
20.	0,007	0,108	0,101	0,005	0,121	0,115
21.	0,020	-0,241	-0,261	0,009	-0,192	-0,202
22.	0,006	-0,171	-0,177	0,005	-0,174	-0,179
23.	0,018	0,601	0,583	0,015	0,523	0,508
24.	-0,007	0,609	0,616	-0,005	0,471	0,476
25.	0,015	0,026	0,012	0,014	-0,033	-0,047
26.	0,007	-0,349	-0,357	0,012	-0,281	-0,293
27.	-0,019	0,655	0,674	-0,006	0,526	0,532
28.	-0,015	0,536	0,551	-0,012	0,481	0,493
29.	-0,019	-0,142	-0,123	-0,015	-0,133	-0,118
30.	0,015	-0,315	-0,330	0,013	-0,269	-0,282
31.	0,013	0,246	0,233	0,019	0,234	0,215
32.	0,005	0,464	0,459	0,006	0,425	0,418
33.	0,003	-0,219	-0,222	0,006	-0,175	-0,181
34.	0,025	-0,234	-0,259	0,018	-0,245	-0,263
35.	0,014	0,313	0,300	0,016	0,244	0,228
36.	0,002	0,036	0,034	0,004	0,026	0,022
37.	0,020	-0,208	-0,228	0,018	-0,192	-0,210
38.	-0,006	0,045	0,051	-0,002	-0,017	-0,014
39.	0,015	0,521	0,506	0,014	0,425	0,411
40.	0,006	0,250	0,244	0,005	0,216	0,212
41.	-0,012	0,111	0,123	-0,018	0,075	0,093
42.	-0,047	0,360	0,407	-0,051	0,279	0,330
43.	-0,022	0,032	0,053	-0,024	0,045	0,069
44.	-0,028	-0,095	-0,067	-0,032	-0,069	-0,037
45.	-0,010	0,361	0,370	-0,007	0,331	0,338
46.	-0,045	0,093	0,139	-0,045	0,046	0,091

č. kola	zkroucení na vnějším průměru (C1-C2) [mm]			zkroucení na vnitřním průměru (D1-D2) [mm]		
	před TZ	po TZ	rozdíl	před TZ	po TZ	rozdíl
47.	-0,090	-0,445	-0,355	-0,078	-0,356	-0,278
48.	-0,031	-0,208	-0,177	-0,036	-0,166	-0,130
49.	-0,007	0,244	0,250	-0,019	0,218	0,237
50.	-0,014	0,382	0,395	-0,020	0,301	0,321
51.	-0,054	-0,209	-0,155	-0,040	-0,142	-0,102
52.	-0,018	-0,354	-0,337	-0,026	-0,296	-0,270
53.	-0,086	0,052	0,138	-0,069	0,071	0,140
54.	-0,017	0,211	0,227	-0,021	0,145	0,166
55.	-0,028	-0,368	-0,340	-0,033	-0,295	-0,262
56.	0,013	-0,175	-0,188	-0,005	-0,152	-0,147

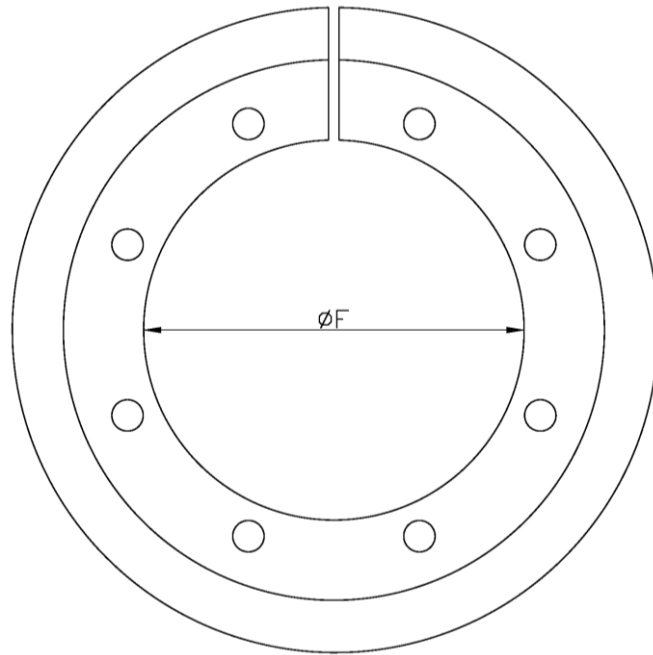
Tab. 2-4 Naměřené hodnoty zkroucení

2.1.5.3. Vnitřní průměr

K měření vnitřního průměru jsme používali digitální přípravek *AS3-T* od firmy *AMS*, viz obrázek Obr. 2-14. Průměr jsme měřili kolmo na mezeru, tento rozměr, označený jako *F*, je znázorněný na obrázku Obr. 2-15 a naměřené hodnoty v tabulce Tab. 2-5. Přesnost měření na tomto přístroji je 0,001 mm.



Obr. 2-14 Přípravek na měření ovality



Obr. 2-15 Místo měření průměru

č. kola	před řezáním [mm]	před TZ [mm]	po TZ [mm]	rozdíl po a před TZ [mm]
1.	109,040	109,011	109,403	0,392
2.	109,048	109,041	109,382	0,341
3.	109,044	109,033	109,426	0,393
4.	109,040	109,037	109,393	0,356
5.	109,032	109,050	108,749	-0,301
6.	109,046	109,026	108,722	-0,304
7.	109,045	109,018	109,402	0,384
8.	109,043	109,003	109,264	0,261
9.	109,038	109,016	109,481	0,465
10.	109,042	109,040	109,426	0,386
11.	109,039	109,026	109,462	0,436
12.	109,039	109,026	109,455	0,429
13.	109,035	109,055	109,483	0,428
14.	109,042	109,004	109,429	0,425
15.	109,046	109,004	109,458	0,454
16.	109,043	109,032	109,449	0,417
17.	109,037	109,024	108,820	-0,204
18.	109,040	109,021	108,830	-0,191
19.	109,030	109,029	109,488	0,459
20.	109,048	109,017	109,396	0,379
21.	109,048	109,019	109,465	0,446

č. kola	před řezáním [mm]	před TZ [mm]	po TZ [mm]	rozdíl po a před TZ [mm]
22.	109,034	109,017	109,438	0,421
23.	109,045	109,025	109,456	0,431
24.	109,037	108,998	109,456	0,458
25.	109,056	109,039	109,007	-0,032
26.	109,035	108,968	109,280	0,312
27.	109,031	109,023	109,422	0,399
28.	109,044	109,021	109,462	0,441
29.	109,033	108,998	109,248	0,250
30.	109,042	109,005	109,373	0,368
31.	109,033	109,047	109,447	0,400
32.	109,044	109,042	109,468	0,426
33.	109,036	108,979	109,155	0,176
34.	109,036	109,036	109,226	0,190
35.	109,039	109,039	109,464	0,425
36.	109,046	109,019	109,455	0,436
37.	109,036	109,049	109,104	0,055
38.	109,033	108,993	109,153	0,160
39.	109,038	109,017	109,436	0,419
40.	109,027	109,026	109,449	0,423
41.	109,042	108,978	109,198	0,220
42.	109,043	109,035	109,151	0,116
43.	109,034	109,031	109,437	0,406
44.	109,041	109,019	109,335	0,316
45.	109,046	109,033	109,279	0,246
46.	109,042	109,023	109,208	0,185
47.	109,043	108,996	109,423	0,427
48.	109,035	108,983	109,441	0,458
49.	109,037	109,035	109,276	0,241
50.	109,036	109,036	109,214	0,178
51.	109,044	108,960	109,408	0,448
52.	109,037	109,010	109,426	0,416
53.	109,037	108,960	109,262	0,302
54.	109,046	109,020	109,297	0,277
55.	109,036	109,018	109,447	0,429
56.	109,041	109,019	109,412	0,393

Tab. 2-5 Naměřené hodnoty vnitřního průměru

2.1.6. Měření tvrdosti

Tvrdot jsme měřili vždy na jednom kole ze vsázky, které bylo umístěno v dolním patře vpravo ve směru do pece (čísla kol jsou uvedena níže v tabulce Tab. 2-6). Pouze v případě 2. a 5. zkoušky jsme ji měřili na dvou kolech, z důvodu velkých rozdílů deformací mezi dolním a horním patrem. V těchto výjimečných případech se jednalo o zkoušku, kdy byly otáčky v druhém kroku nastavené na 900 ot/min.

Na obrázku Obr. 2-16 je zobrazen tvrdoměr, s jehož pomocí jsme tvrdost měřili. Je to tvrdoměr typu Rockwell *RT-240* od firmy *LECO*. V tabulce Tab. 2-6 jsou vidět naměřené hodnoty tvrdosti. Zatížení bylo hmotností 150 kg.



Obr. 2-16 Tvrdoměr typu Rockwell *RT-240* od firmy *LECO*

č. kola	1. měření [HRC]	2. měření [HRC]	3. měření [HRC]	průměr [HRC]
1.	64,1	65,7	62,3	64,0
5.	61,7	59,6	60,2	60,5
7.	64,3	61,4	63,6	63,1
9.	64,7	61,1	62,0	62,6

č. kola	1. měření [HRC]	2. měření [HRC]	3. měření [HRC]	průměr [HRC]
13.	65,0	64,8	63,9	64,6
17.	61,4	60,9	63,2	61,8
19.	62,7	64,8	64,5	64,0
21.	63,2	62,4	59,8	61,8
25.	64,3	64,9	63,3	64,2
29.	66,4	65,5	65,9	65,9
33.	63,1	63,0	63,5	63,2
37.	63,5	62,9	63,1	63,2
41.	63,8	63,2	62,8	63,3
45.	62,1	62,0	61,3	61,8
49.	64,5	64,9	64,9	64,8
53.	65,7	65,3	65,3	65,4

Tab. 2-6 Naměřené hodnoty tvrdosti dle Rockwella

2.1.7. Mikrotvrdomost

Průběh mikrotvrdomosti podle Vickerse jsme měřili na vzorcích číslo 25 a 41. Použité zatížení bylo 0,3 kg. Naměřené hodnoty jsou zaznamenané v tabulkách Tab. 2-7 a Tab. 2-8 a grafech Graf 2-1 a Graf 2-2. Podle předpokladů tvrdost s rostoucí vzdáleností od povrchu klesá.

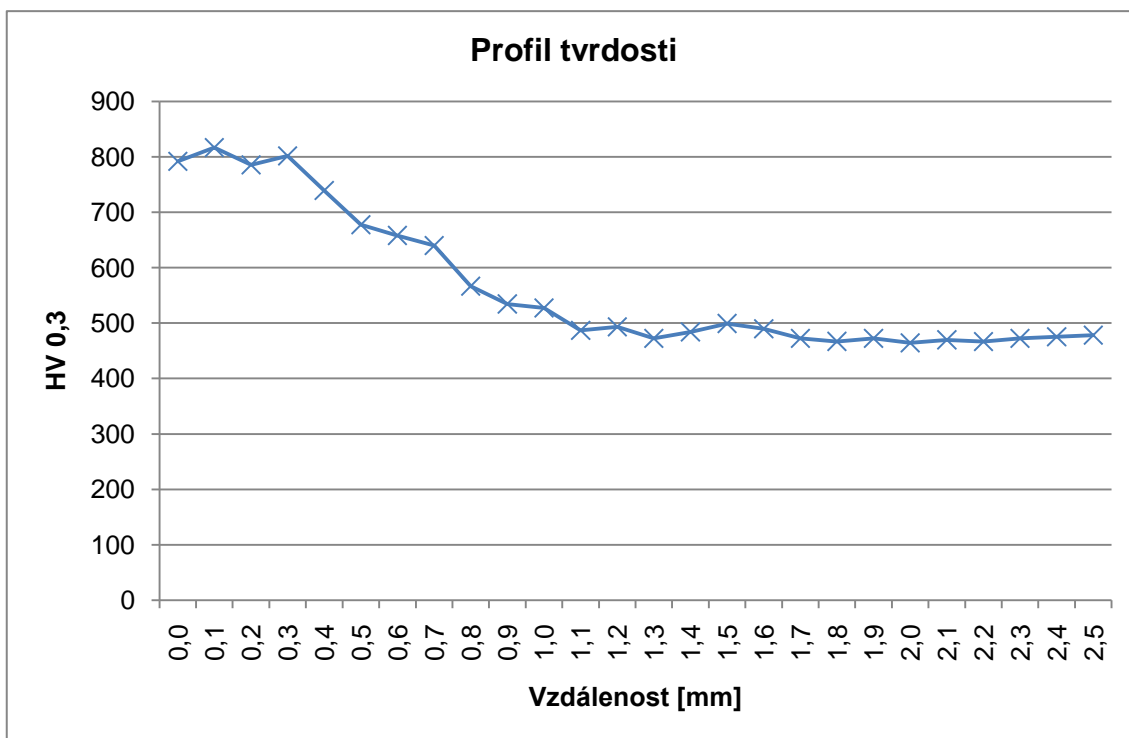
č. měření	Vzdálenost [μm]	HV 0,3	d_1 [μm]	d_2 [μm]	d [μm]
1	29,7	792,0	26,3	26,7	26,5
2	133,6	816,8	26,5	25,7	26,1
3	231,6	785,6	27,1	26,1	26,6
4	333,3	801,7	26,6	26,1	26,3
5	431,5	739,1	26,9	27,9	27,4
6	531,3	677,3	28,8	28,5	28,7
7	632,2	658,1	28,8	29,4	29,1
8	731,8	639,8	29,8	29,2	29,5
9	830,7	566,7	31,4	31,2	31,3
10	930,7	534,5	31,9	32,7	32,3
11	1031,5	527,5	32,5	32,5	32,5
12	1130,9	487,0	34,3	33,3	33,8
13	1231,3	493,1	33,3	33,9	33,6
14	1332,3	472,5	34,5	34,1	34,3
15	1431,7	484,1	33,9	33,9	33,9
16	1530,8	499,3	33,9	32,9	33,4
17	1637,1	489,8	33,7	33,7	33,7

č. měření	Vzdálenost [μm]	HV 0,3	d_1 [μm]	d_2 [μm]	d [μm]
18	1730,6	472,4	34,5	34,1	34,3
19	1830,8	466,9	34,1	34,9	34,5
20	1931,4	472,5	34,5	34,1	34,3
21	2032,1	464,2	34,1	35,1	34,6
22	2130,3	469,8	34,3	34,5	34,4
23	2230,9	466,8	35,3	33,7	34,5
24	2332,3	472,6	34,3	34,3	34,3
25	2430,8	475,5	34,7	33,7	34,2
26	2530,6	478,4	33,9	34,3	34,1

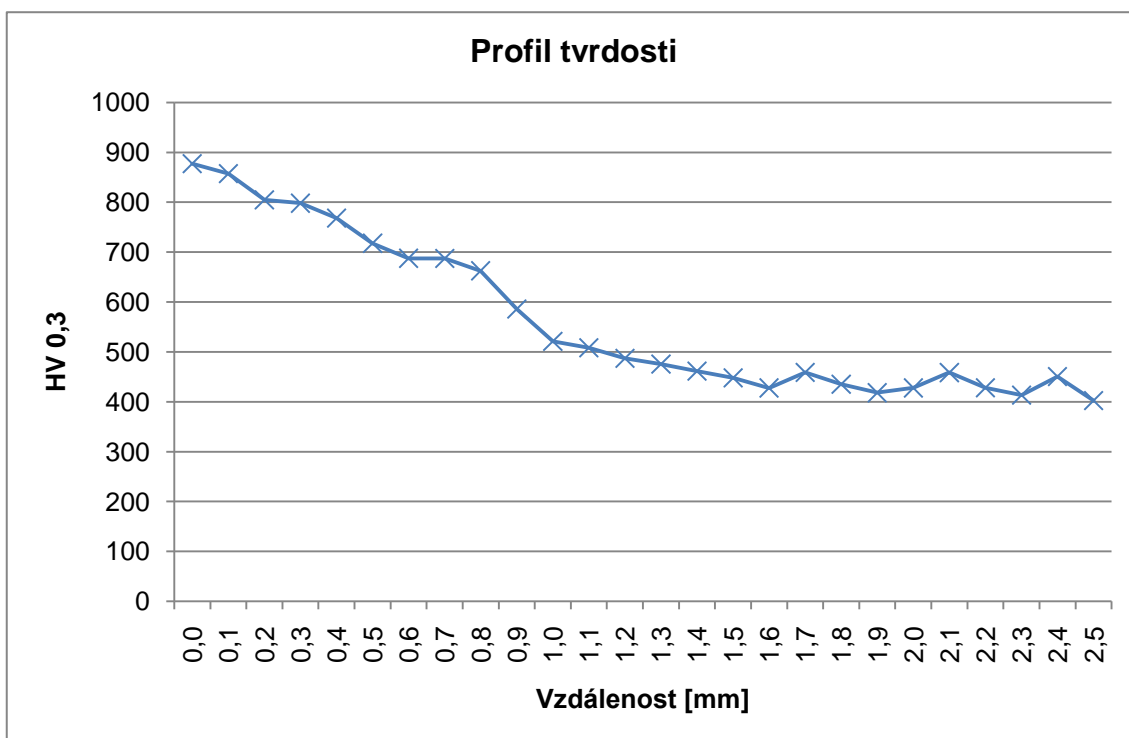
Tab. 2-7 Naměřené hodnoty – vzorek č. 25

č. měření	Vzdálenost [μm]	HV 0,3	d_1 [μm]	d_2 [μm]	d [μm]
1	10,1	877,1	25,5	24,9	25,2
2	112,5	857,4	25,9	25,1	25,5
3	213,3	804,8	26,3	26,3	26,3
4	312,5	798,1	26,9	25,9	26,4
5	411,7	768,0	26,5	27,3	26,9
6	512,7	717,7	27,9	27,7	27,8
7	612,5	687,6	29,0	27,9	28,4
8	712,9	687,3	28,1	28,8	28,5
9	812,3	662,5	28,8	29,2	29,0
10	911,7	585,8	30,4	31,2	30,8
11	1012,0	521,2	32,5	32,9	32,7
12	1112,5	508,1	33,1	33,1	33,1
13	1212,0	487,1	33,5	34,1	33,8
14	1312,6	475,5	34,5	33,9	34,2
15	1411,5	461,3	34,7	34,7	34,7
16	1511,2	447,9	35,6	34,9	35,2
17	1611,9	427,7	36,2	36,0	36,1
18	1712,8	458,9	34,7	34,9	34,8
19	1812,1	435,3	35,5	36,0	35,7
20	1910,9	418,2	36,4	36,6	36,5
21	2011,6	427,8	36,6	35,6	36,1
22	2123,1	458,6	34,9	34,7	34,8
23	2211,4	427,9	36,0	36,2	36,1
24	2312,5	413,3	36,6	36,8	36,7
25	2413,2	450,6	34,7	35,6	35,1
26	2511,1	402,2	37,0	37,4	37,2

Tab. 2-8 Naměřené hodnoty – vzorek č. 41



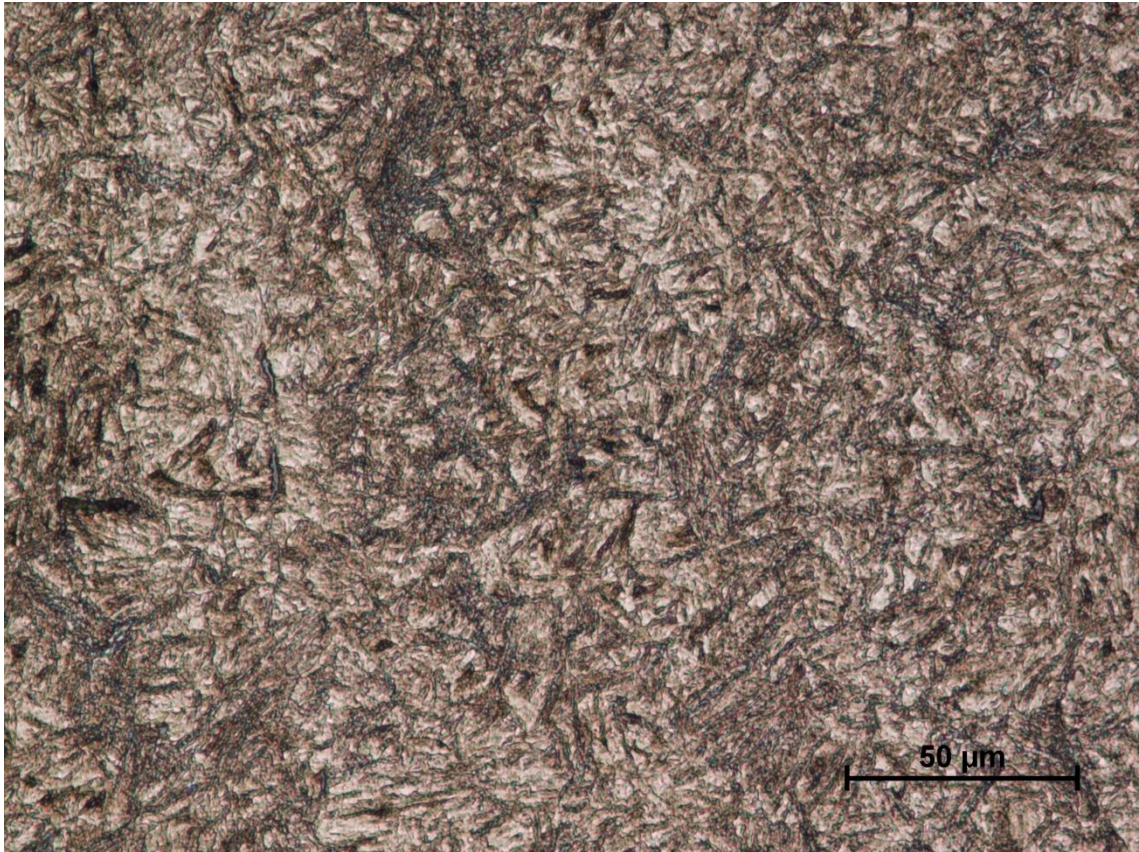
Graf 2-1 Profil tvrdosti – vzorek č. 25



Graf 2-2 Profil tvrdosti – vzorek č. 41

2.1.8. Metalografie

Metalografii jsme provedli na vzorcích odebraných v místě proti mezeře. Hloubku vrstvy jsme pozorovali na vnitřním průměru kola.



Obr. 2-17 Střed vzorku – 500x zvětšeno

Střed vzorku má feriticko-bainitickou strukturu, jádro je podkalené.



Obr. 2-18 Okraj vzorku – 100x zvětšeno

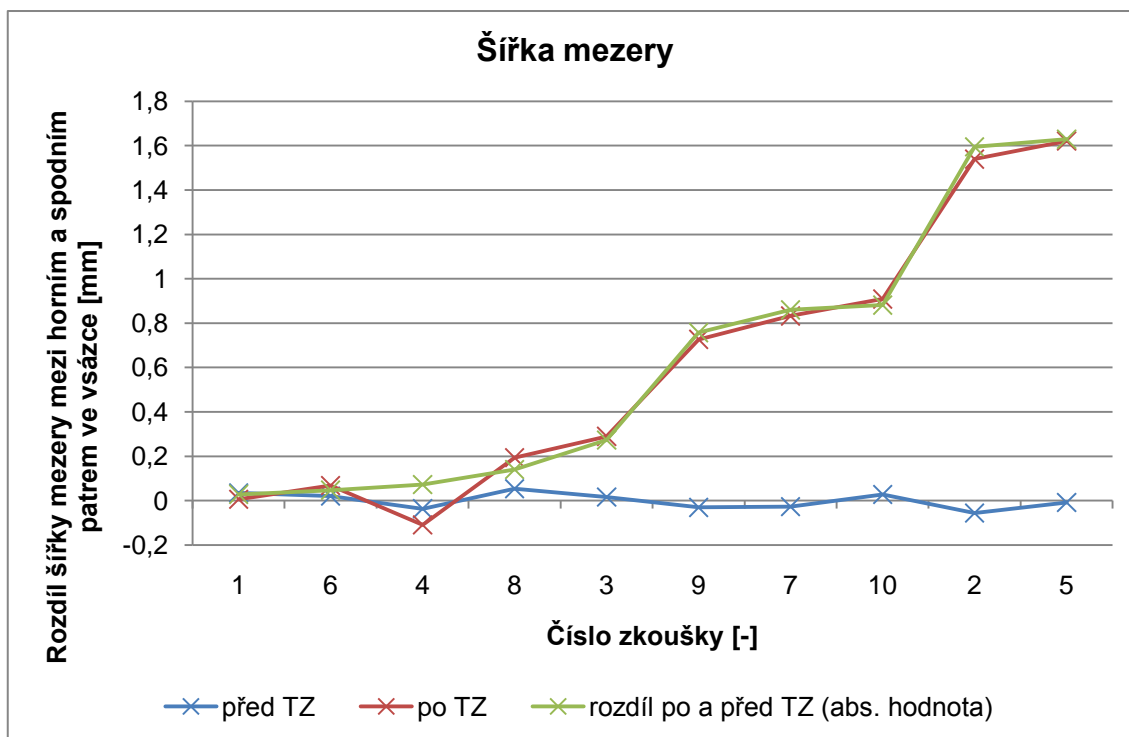
Okraj vzorku má martenzitickou strukturu se zbytkovým austenitem. Hloubka nacementované vrstvy má být od 0,6 mm do 0,9 mm. Podle struktury je hloubka 0,8 mm. Při srovnání s mikrotvrdostí vychází stejný výsledek, který splňuje požadavky.

2.2. Vyhodnocení měření

2.2.1. Šířka mezery – materiál TL 4521

Vyhodnocení vlivu tepelného zpracování na šířku mezery jsme provedli takovým způsobem, že jsme si nejprve vypočítali průměrnou hodnotu šířky mezery ve spodním a v horním patře roštu, poté jsme od sebe tyto dvě hodnoty odečetli a tím jsme získali rozdíl šířky mezery mezi horním a spodním patrem před a po tepelném zpracování. Nakonec jsme odečtením těchto hodnot získali

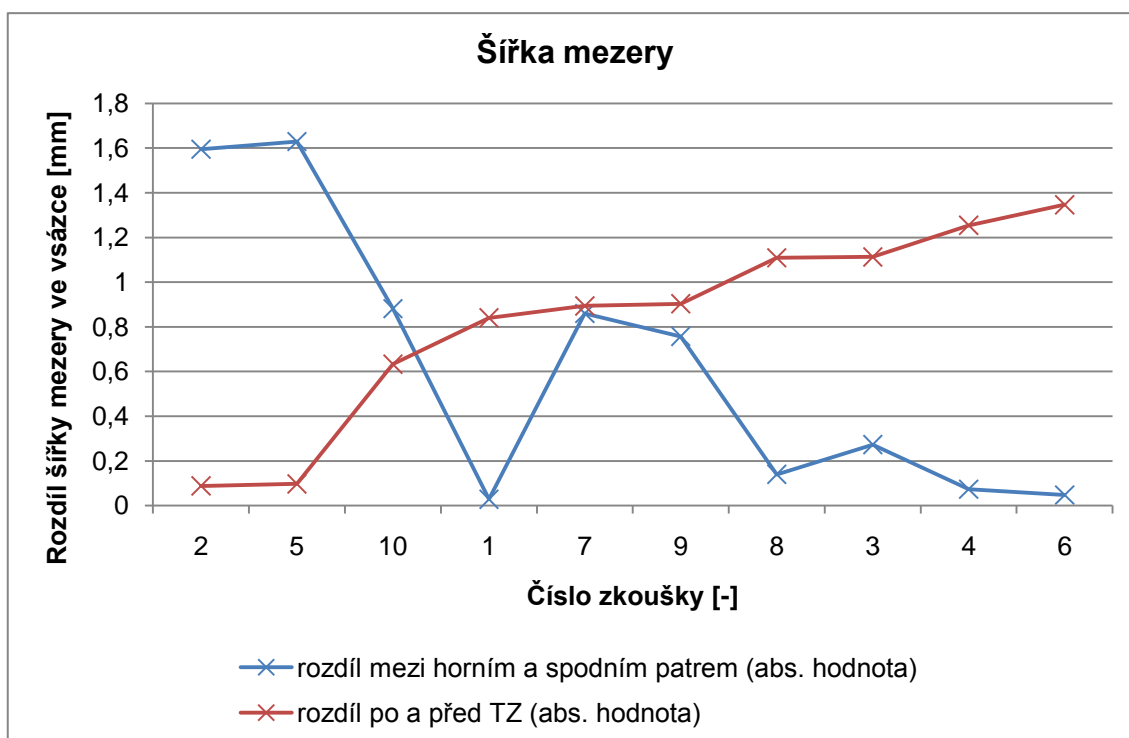
rozdíl po a před tepelným zpracováním. Vypočítané hodnoty jsme nanесли do grafu Graf 2-3 a seřadili podle velikosti od nejmenší hodnoty rozdílu po a před tepelným zpracováním.



Graf 2-3 Šířka mezery – materiál TL 4521

Z grafu Graf 2-3 vyplývá, že z hlediska deformace šířky mezery, je nevhodnější používat nastavení pece podle zkoušky číslo 1 a 6, kdy dochází k nejmenším rozdílům deformací mezi horním a spodním patrem ve vsázce. Jako nejhorší se jeví nastavení při zkouškách číslo 2 a 5. Při tomto nastavení pece došlo k největším rozdílům deformací mezi horním a spodním patrem ve vsázce.

Pro úplnost jsme ještě porovnali průměrné hodnoty šířky mezery pro jednu vsázku před a po tepelném zpracování. Toto porovnání však nebere ohled na rozdíl šířky mezery v rámci jedné vsázky, tzn. mezi horním a spodním patrem.

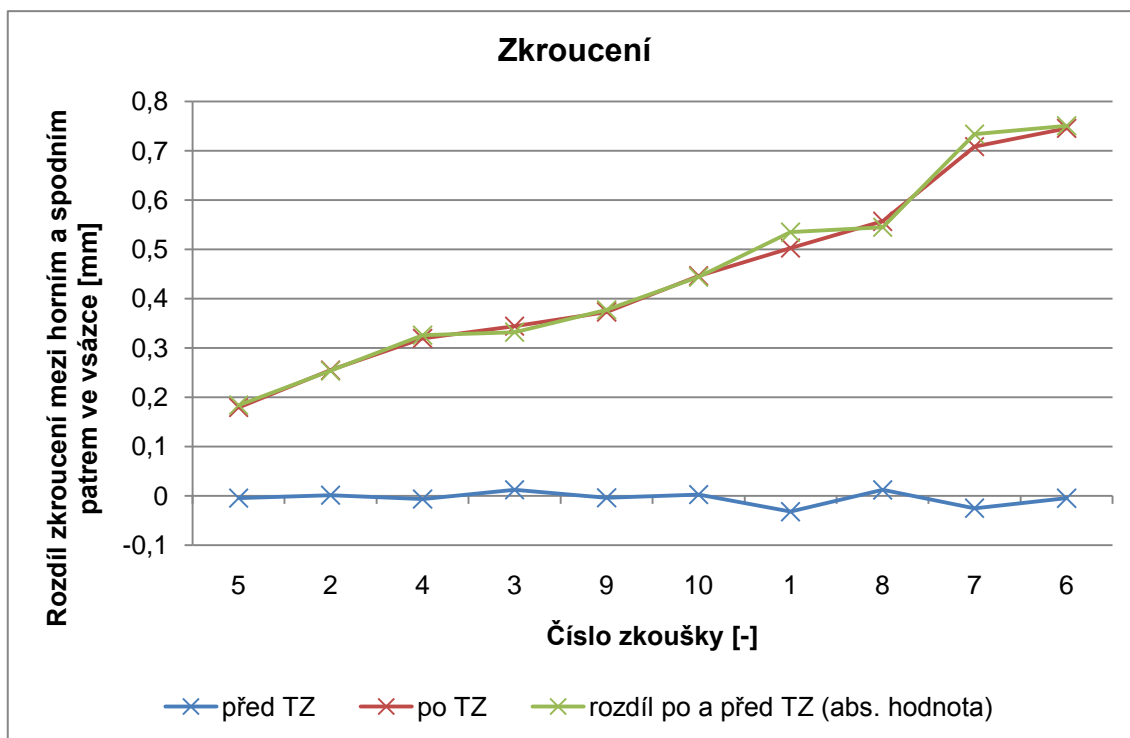


Graf 2-4 Porovnání šířky mezery ve vsázkách – materiál TL 4521

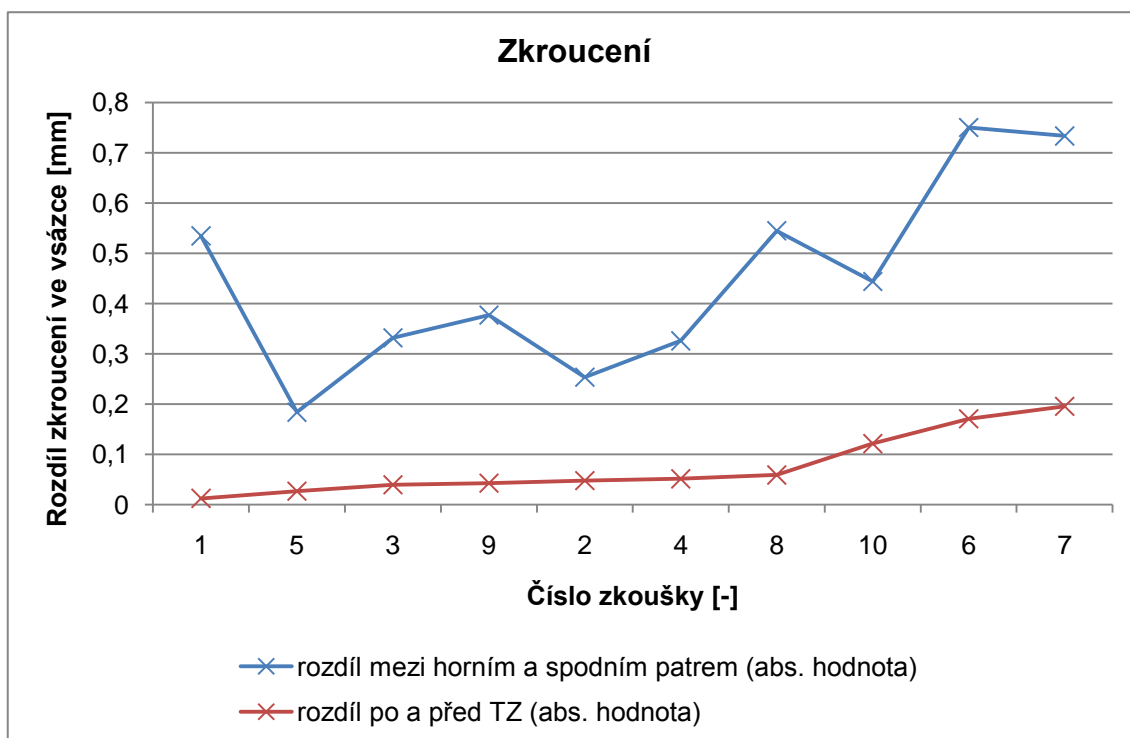
V grafu Graf 2-4 je porovnání průměrného rozdílu šířek mezer celé vsázky před a po tepelném zpracování (červená barva) a rozdíly šířek mezer mezi horním a spodním patrem (modrá barva, v grafu Graf 2-3 je toto znázorněno zelenou barvou). Hodnoty jsou seřazeny podle rozdílu po a před tepelným zpracováním od nejmenšího. Podle tohoto grafu, by se zdálo, že z rozdílu hodnot šířky mezery po a před tepelným zpracováním by bylo nejvhodnější používat nastavení podle zkoušek číslo 2 nebo 5, avšak z hlediska porovnávání horního a spodního patra došlo k největším rozdílům, což je nepřijatelné. Nejlépe tedy opět vychází nastavení pece podle zkoušky číslo 1.

2.2.2. Zkroucení – materiál TL 4521

Stejným způsobem jako šířka mezery je vyhodnoceno i zkroucení kol. Výsledky jsme nanesli do grafů Graf 2-5 a Graf 2-6.



Graf 2-5 Zkroucení – materiál TL 4521

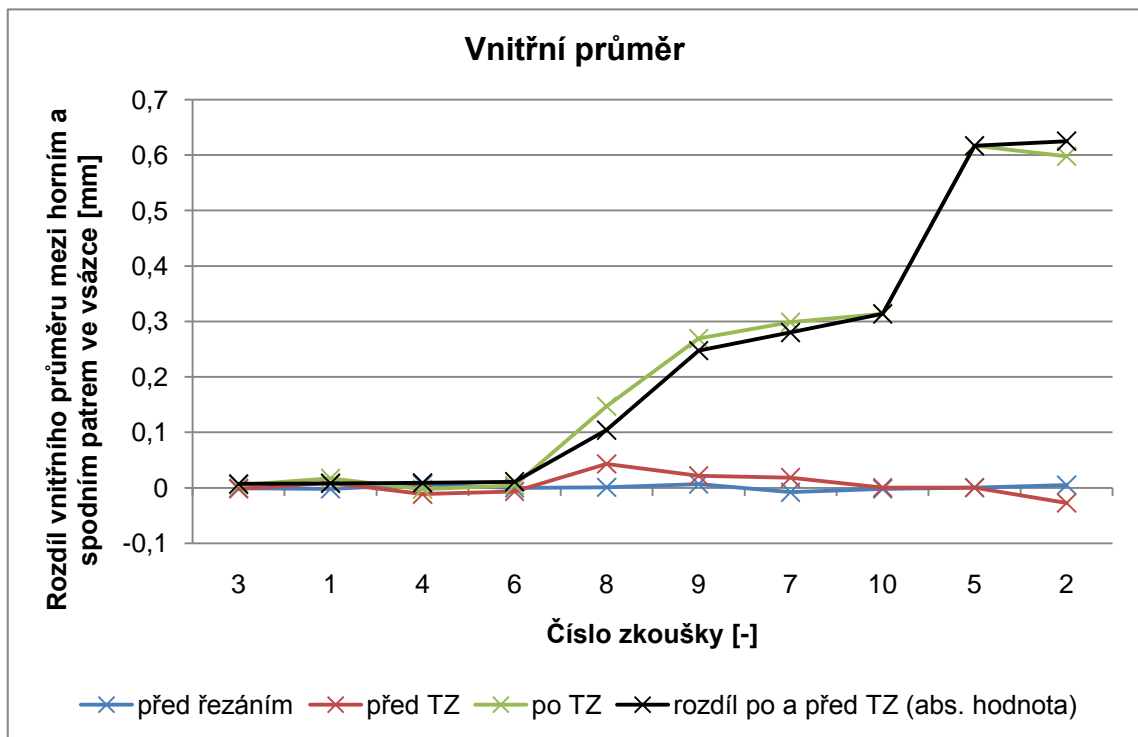


Graf 2-6 Porovnání zkroucení ve vsázkách – materiál TL 4521

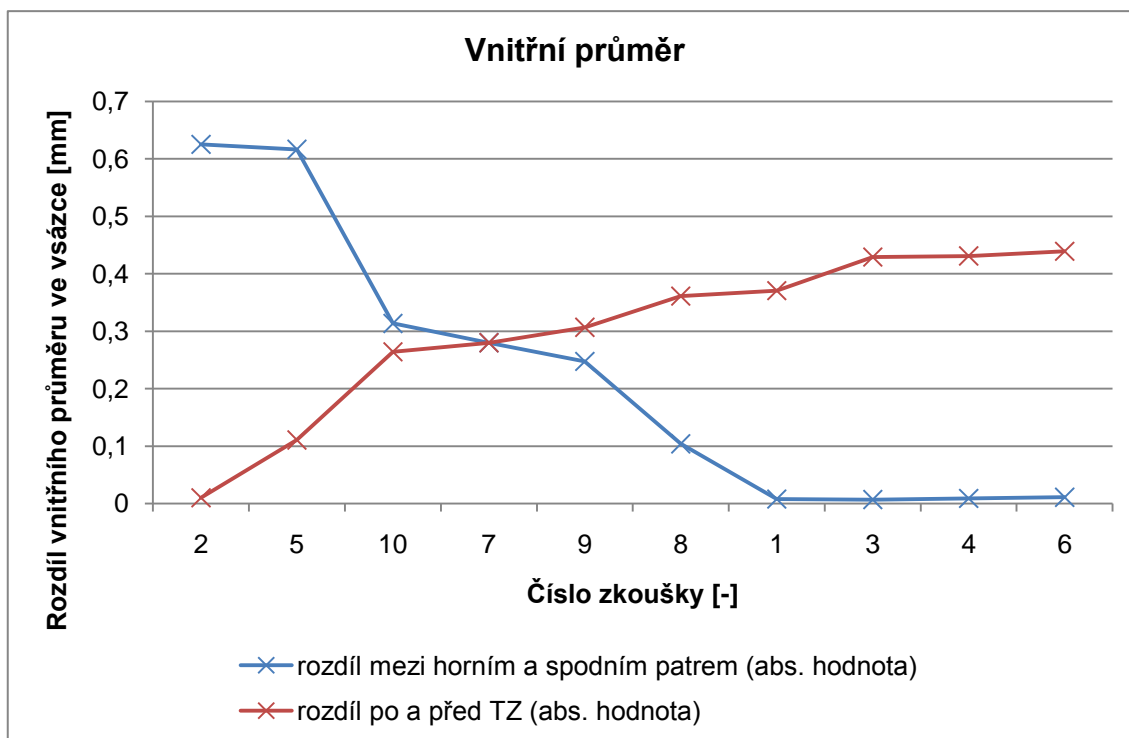
Nejlepších hodnot zkroucení jsme dosáhli při zkoušce číslo 5. Ozubená kola však nejsou proříznutá jako zkušební tělesa a z tohoto důvodu se budou chovat jinak, nebude docházet ke zkroucení, ale pouze k rozdílnému vnitřnímu pnutí v tloušťce kola. Zkroucení není tedy tak důležité jako šířka mezery a vnitřní průměr.

2.2.3. Vnitřní průměr – materiál TL 4521

Stejným způsobem jako šířku mezery a zkroucení jsme i u vnitřního průměru spočítali průměr naměřených hodnot ve spodním a horním patře před i po tepelném zpracování. Poté jsme spočítali rozdíl těchto hodnot mezi horním a spodním patrem a rozdíl před a po tepelném zpracování. Tyto hodnoty jsme nanesli do grafů Graf 2-7 a Graf 2-8.



Graf 2-7 Vnitřní průměr – materiál TL 4521

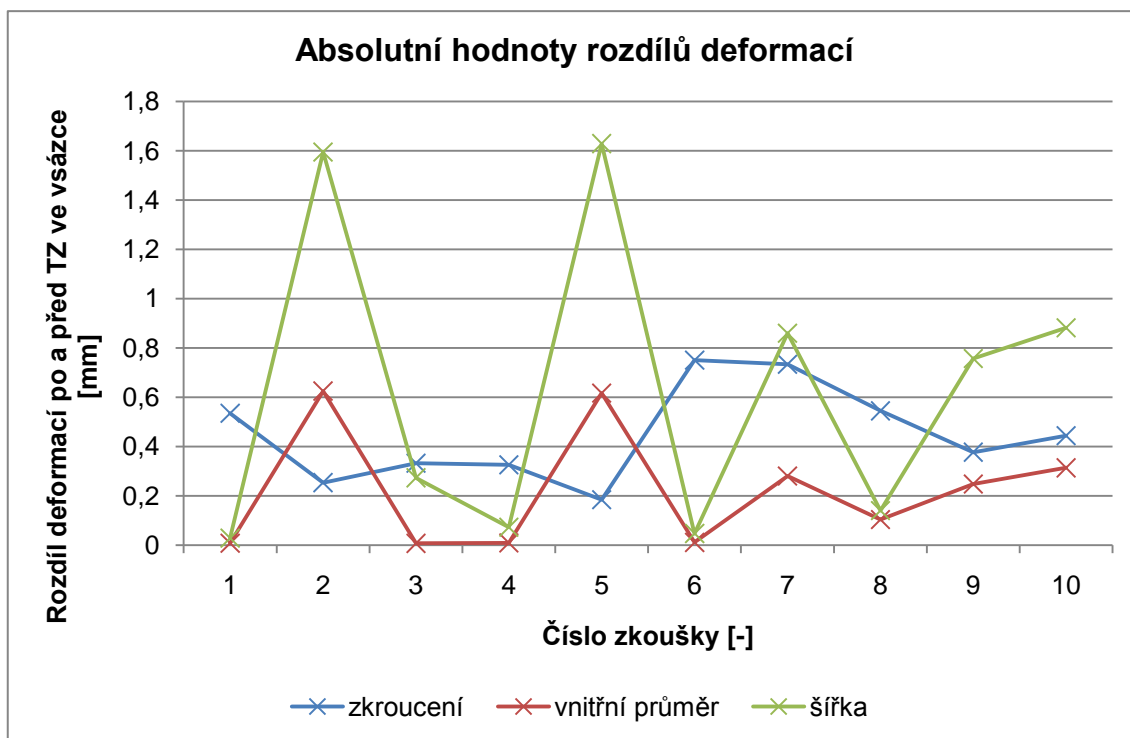


Graf 2-8 Porovnání vnitřního průměru ve vsázkách – materiál TL 4521

Z naměřených hodnot vnitřního průměru vyplývá, že nejvhodnější nastavení pece je podle zkoušek číslo 3, 1, 4 a 6. Při těchto zkouškách bylo nastavení 2. kroku vždy na 0 ot/min, měnila se pouze doba 2. kroku a otáčky ve 3. kroku. Rozdíl mezi horním a spodním patrem před a po tepelném zpracování byl při těchto zkouškách minimální.

2.2.4. Porovnání naměřených deformací – materiál TL 4521

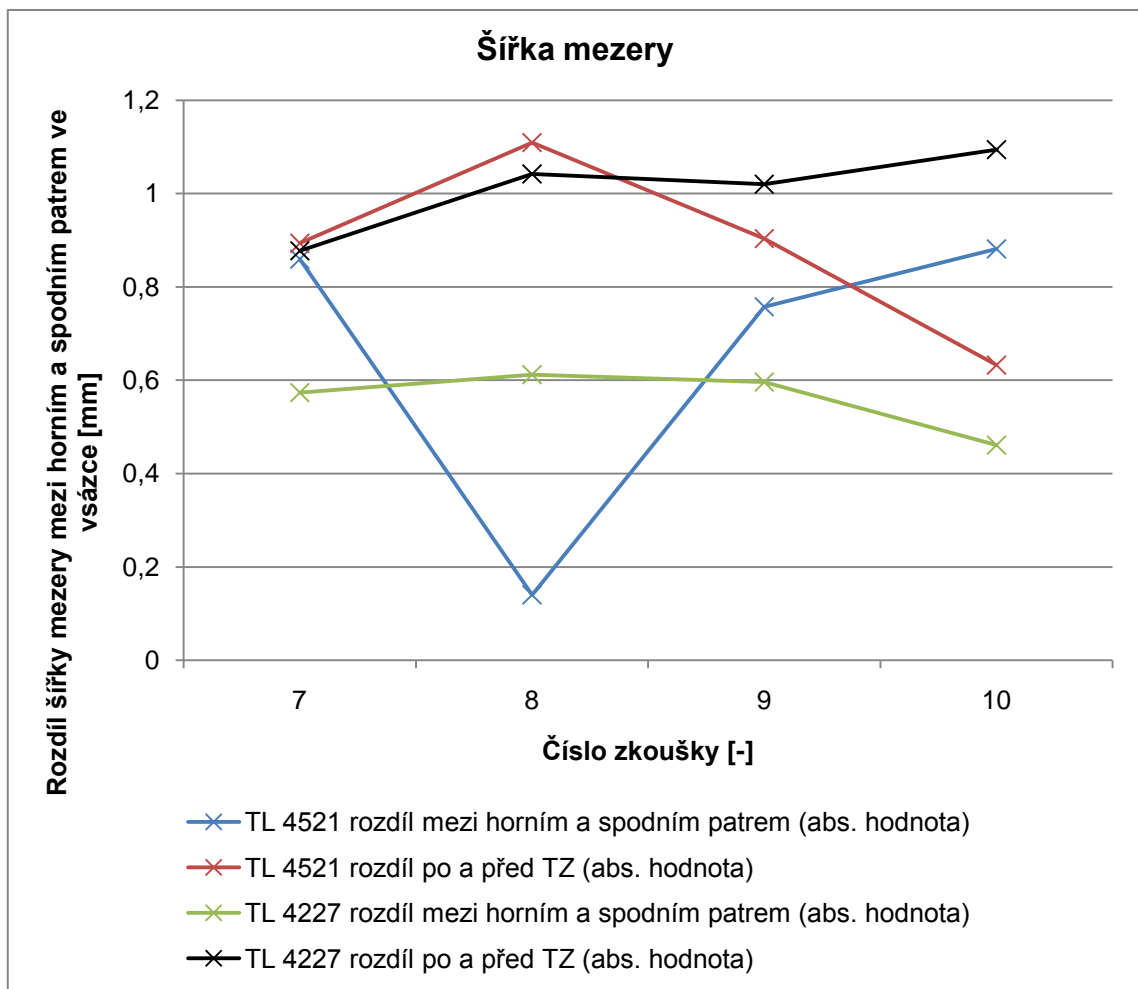
Do grafu Graf 2-9 jsou pro porovnání naneseny hodnoty všech deformací, tedy šířky mezery, zkroucení a vnitřního průměru.



Graf 2-9 Porovnání naměřených deformací – materiál TL 4521

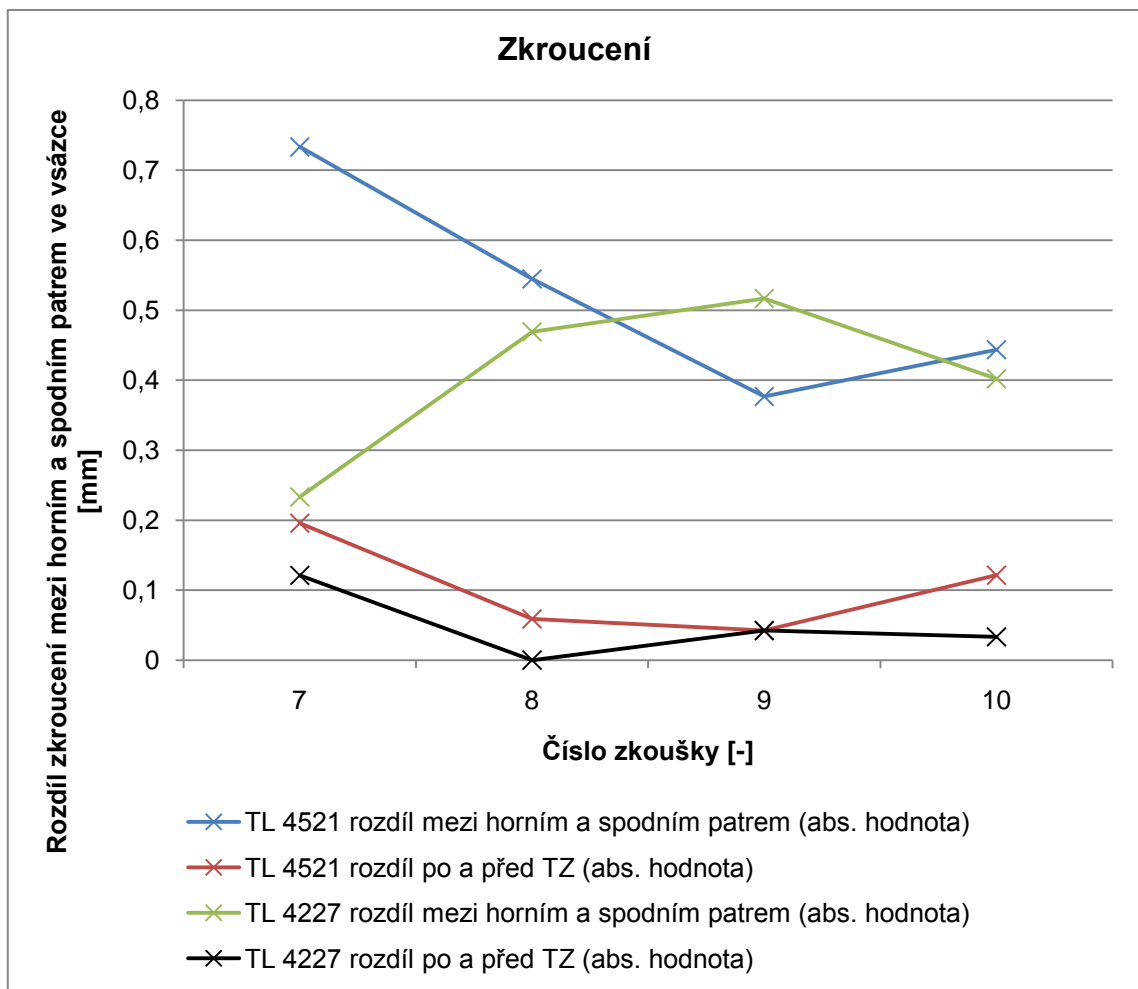
Z grafu Graf 2-9 vyplývá, že nejvhodnější nastavení pro tepelné zpracování bylo při zkouškách číslo 1, 4 a 6.

2.2.5. Šířka mezery – materiál TL 4521 a TL 4227



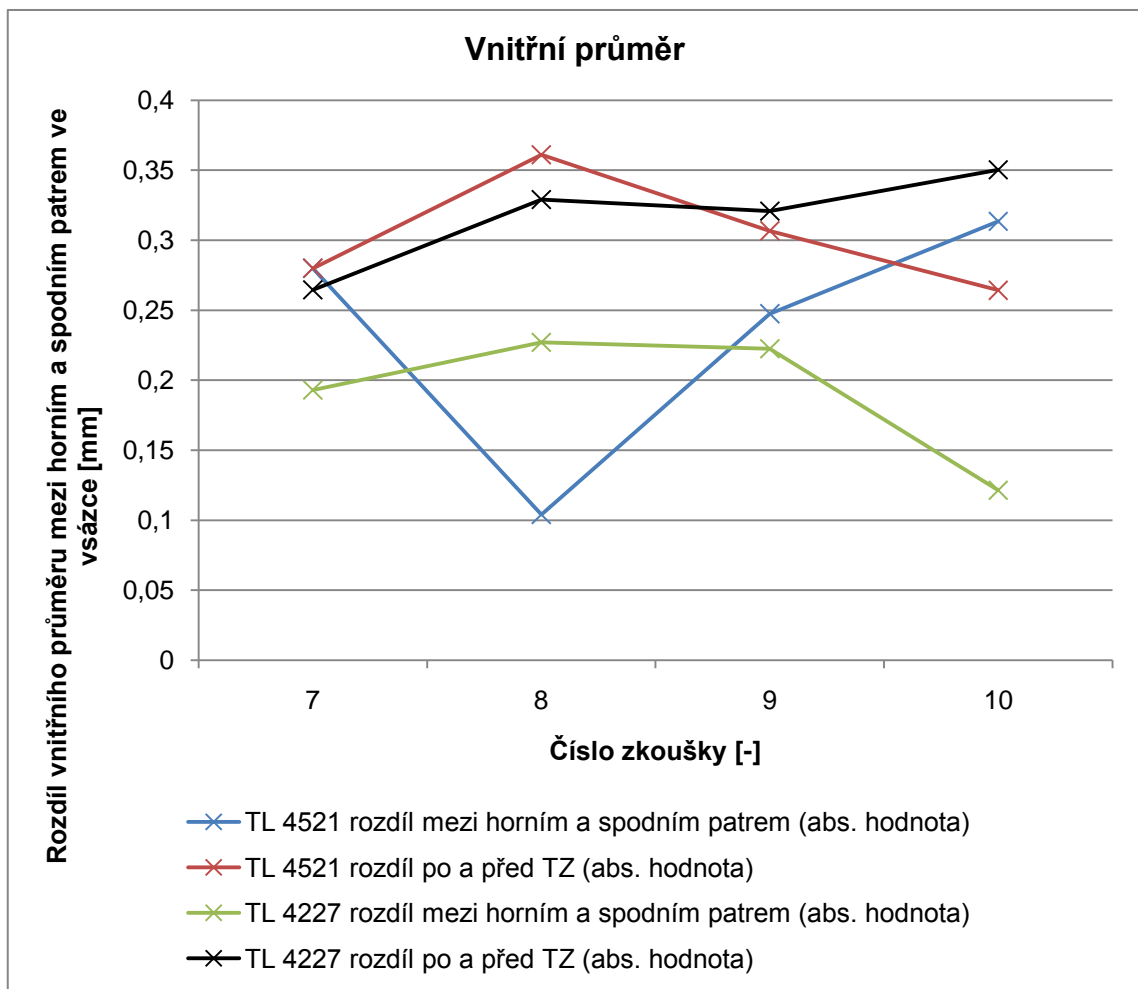
Graf 2-10 Šířka mezery – materiál TL 4521 a TL 4227

2.2.6. Zkroucení – materiál TL 4521 a TL 4227



Graf 2-11 Zkroucení – materiál TL 4521 a TL 4227

2.2.7. Vnitřní průměr – materiál TL 4521 a TL 4227



Graf 2-12 Vnitřní průměr – materiál TL 4521 a TL 4227

Z grafů Graf 2-10, Graf 2-11 a Graf 2-12 vyplývá, že deformace a chování materiálů TL 4521 a TL 4227 jsou rozdílné. Pokud bychom měli vybrat nejlepší volbu z těchto variant, volili bychom materiál TL 4521 při nastavení podle zkoušky číslo 8, protože vykazuje nejmenší rozdíly šířky mezery a vnitřního průměru mezi patry ve vsázce.

2.2.8. Tvrdost

Lze předpokládat, že zkušební tělesa z hlediska tvrdosti plnohodnotně zastupují ozubená kola.

Z naměřených hodnot pro materiál TL 4521 (Tab. 2-6) je vidět, že tvrdost zkušebních vzorků se pohybuje v rozmezí 60,5 až 65,9 HRC. Požadavky na tvrdost ve Škoda Auto jsou pro hnaná kola rozvodovky v rozmezí 58 až 61 HRC. Tvrdost zkušebních vzorků se tedy ve většině případů pohybuje nad horní hranicí požadované tolerance. Tyto hodnoty tvrdosti by mohly mít vliv na křehkost zubů a způsobovat jejich praskání.

2.3. Měření vnitřního pnutí

Měření vnitřního pnutí proběhlo ve spolupráci s firmou *PCS spol. s r. o.*, která zapůjčila přístroj *XStress 3000*. Měření vnitřního pnutí je nutné provádět na neprořiznutých kolech, neboť v případě prořiznutí dojde k uvolnění napětí. Měření bylo provedeno na třech vzorcích, dvě kola byla před tepelným zpracováním a po 10. operaci a jedno ozubené kolo bylo již po tepelném zpracování.

2.3.1. Přístroj XStress 3000

Zbytková pnutí byla měřena na mobilním difraktometru *XStress3000* (Obr. 2-19 a Obr. 2-20) od firmy *Stresstech Group*.



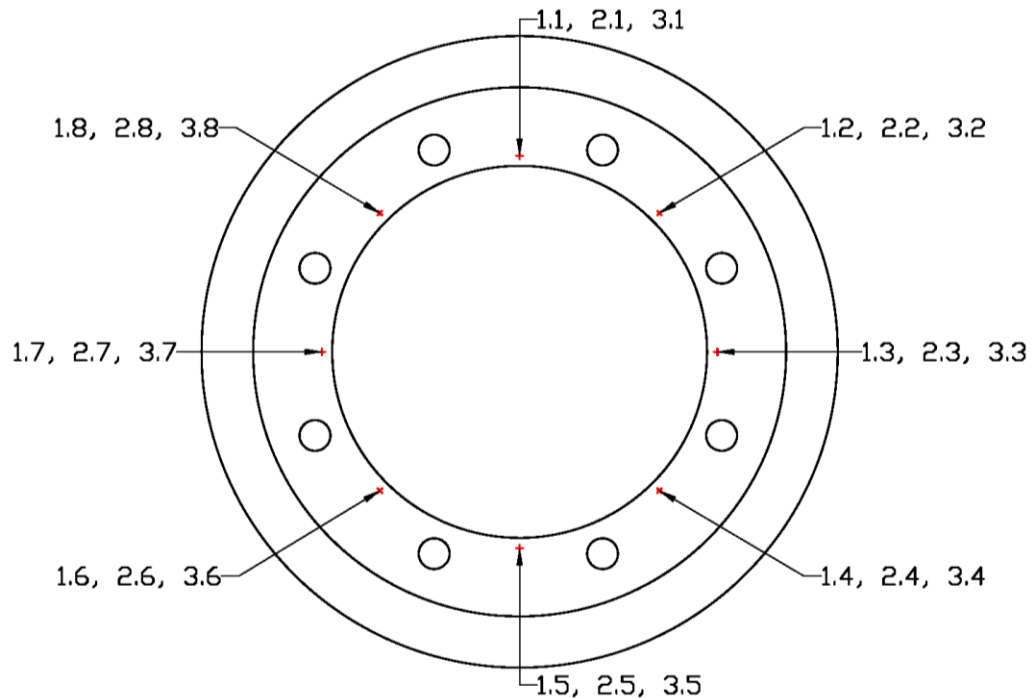
Obr. 2-19 Měření vnitřního pnutí na kole po 10. operaci



Obr. 2-20 Mobilní difraktometr *XStress3000*

2.3.2. Postup měření

Nejprve jsme přístroj *XStress3000* zkalibrovali tím, že jsme změřili vnitřní pnutí na feritickém prášku. Poté jsme pod měřící sondu umístili kolo a spustili měření. Vnitřní pnutí jsme měřili v radiálním a axiálním směru na osmi místech každého kola. Místa měření jsou zobrazena na obrázku Obr. 2-21.



Obr. 2-21 Místa měření vnitřního pnutí

2.3.3. Vyhodnocení měření

Před TZ	Axiální		Radiální	
	σ [MPa]	FWHM [deg]	σ [MPa]	FWHM [deg]
kolo č.1				
1.1	626,8 ± 23,3	3,091 ± 0,054	525,0 ± 27,6	3,148 ± 0,040
1.2	581,7 ± 28,0	3,077 ± 0,053	529,3 ± 24,9	3,146 ± 0,029
1.3	591,2 ± 28,6	3,094 ± 0,065	510,4 ± 34,6	3,163 ± 0,044
1.4	620,5 ± 29,1	3,074 ± 0,049	543,7 ± 21,0	3,103 ± 0,033
1.5	577,4 ± 23,8	3,114 ± 0,053	524,1 ± 21,7	3,166 ± 0,029
1.6	588,4 ± 22,8	3,074 ± 0,054	516,3 ± 41,4	3,123 ± 0,045
1.7	566,5 ± 23,6	3,074 ± 0,056	554,1 ± 23,7	3,134 ± 0,034
1.8	609,4 ± 22,0	3,065 ± 0,060	531,4 ± 17,2	3,114 ± 0,034
∅	595,2 ± 20,1	3,083 ± 0,015	529,3 ± 13,2	3,137 ± 0,021

Tab. 2-9 Vnitřní pnutí – kolo č. 1

Před TZ	Axiální		Radiální	
	σ [MPa]	FWHM [deg]	σ [MPa]	FWHM [deg]
kolo č.2				
2.1	615,6 ± 25,2	3,085 ± 0,045	527,7 ± 24,8	3,146 ± 0,035
2.2	601,0 ± 30,3	3,111 ± 0,059	530,8 ± 23,0	3,191 ± 0,051
2.3	592,6 ± 27,1	3,120 ± 0,053	527,3 ± 23,5	3,166 ± 0,036
2.4	581,3 ± 30,8	3,094 ± 0,048	527,1 ± 32,2	3,148 ± 0,028

2.5	585,0 ± 23,7	3,103 ± 0,052	502,3 ± 25,1	3,148 ± 0,031
2.6	608,0 ± 26,6	3,100 ± 0,048	507,9 ± 20,2	3,151 ± 0,037
2.7	575,2 ± 25,8	3,103 ± 0,045	507,8 ± 17,2	3,146 ± 0,023
2.8	597,3 ± 23,7	3,114 ± 0,056	502,0 ± 46,8	3,186 ± 0,026
∅	594,5 ± 12,8	3,104 ± 0,011	516,6 ± 11,8	3,160 ± 0,017

Tab. 2-10 Vnitřní pnutí – kolo č. 2

Po TZ	Axiální		Radiální	
kolo č.3	σ [MPa]	FWHM [deg]	σ [MPa]	FWHM [deg]
3.1	-50,6 ± 12,0	3,337 ± 0,036	-13,5 ± 12,3	3,366 ± 0,050
3.2	-95,7 ± 21,3	3,484 ± 0,034	-51,9 ± 8,0	3,464 ± 0,039
3.3	-97,9 ± 22,6	3,590 ± 0,060	-41,7 ± 15,1	3,598 ± 0,054
3.4	-87,9 ± 8,7	3,518 ± 0,036	-32,5 ± 10,5	3,515 ± 0,044
3.5	-135,8 ± 8,3	4,051 ± 0,069	-88,8 ± 8,4	4,114 ± 0,057
3.6	-96,2 ± 14,6	3,524 ± 0,019	-60,5 ± 4,7	3,564 ± 0,056
3.7	-114,9 ± 9,6	3,701 ± 0,042	-77,4 ± 7,7	3,676 ± 0,024
3.8	-105,5 ± 24,7	3,761 ± 0,045	-89,7 ± 13,9	3,839 ± 0,046
∅	-98,1 ± 22,7	3,621 ± 0,204	-57,0 ± 25,6	3,642 ± 0,222

Tab. 2-11 Vnitřní pnutí – kolo č. 3

Vysoké hodnoty vnitřního pnutí u prvních dvou kol (Tab. 2-9 a Tab. 2-10) jsou důsledkem obrábění. Z naměřených hodnot a jejich odchylek můžeme konstatovat, že vnitřní pnutí je na kolech za měkka konstantní. I axiální a radiální hodnoty jsou přibližně stejné.

Po tepelném zpracování se změnilo vnitřní pnutí z tahového na tlakové. Toto je způsobeno tím, že se objem povrchu při cementování zvětší. I rozptyl mezi jednotlivými místy na kole je velký. Velikost relativní odchylky před a po tepelném zpracování vzrostla z přibližně 3% na 35%.

2.4. Zjišťování chladicí křivky

Podrobněji se ochlazovací křivkám věnuje ve své diplomové práci Petr Bartoniček [3].

3. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout zkušební těleso rozměrově podobné hnanému kolu rozvodovky, na kterém bychom mohli prostudovat vlivy procesů tepelného zpracování na jeho deformaci. Deformace zkušebního tělesa jsme vyhodnocovali na šířce mezery, zkroucení kola a na vnitřním průměru.

Z naměřených hodnot deformací zkušebních kol z materiálu TL 4521 a jejich zpracování vyplývá, že jako nejvhodnější se na deformaci šířky mezery jeví nastavení při zkouškách číslo 1, 6, 4 a 8. Nastavení je uvedeno v tabulce Tab. 2-1. Podobných výsledků jsme dosáhli i u deformací vnitřního průměru, v tomto případě vyšly nejlépe výsledky při zkouškách číslo 3,1,4 a 6. Rozdílné výsledky jsme získali při vyhodnocování zkroucení. Zde nejlepší výsledky vyšly při zkouškách číslo 5 a 2. Výsledkům zkroucení však ve srovnání s předešlými nepřikládáme takovou důležitost, a to z toho důvodu, že u ozubených kol se tato deformace projeví pouze rozdílným pnutím ve směru osy kola, což nemá vliv na vnitřní průměr.

Z výše uvedených výsledků nám tedy nejlépe vyšla zkouška číslo 1, kdy bylo *nastavení pece v 2. kroku na 0 ot/min po dobu 60 s a ve 3. kroku 700 ot/min*. Toto nastavení shledáváme jako optimální s ohledem na minimální rozdíly deformací kol v rámci vsázky.

Vnitřní pnutí na povrchu u kol za měkka po 10. operaci dosahuje vysokých hodnot, průměrná hodnota je v axiálním směru kolem 593 MPa a v radiálním směru kolem 522 MPa. Toto pnutí vzniklo v důsledku obrábění, neliší se v různých místech na kolech ani mezi jednotlivými koly. Po tepelném zpracování se vnitřní pnutí změnilo z tahového na tlakové, průměrná hodnota je v axiálním směru kolem -98 MPa a v radiálním směru kolem -57 MPa. Mezi jednotlivými místy na kole je poměrně veliký rozptyl. Velikost relativní odchylky se před a po tepelném zpracování změnila ze 3% na 35%.

Měření vnitřního pnutí je poměrně drahé a zdlouhavé, a protože jsme ho prováděli na zapůjčeném přístroji, nebylo možné provést měření na více kolech. Bylo by tedy vhodné se touto problematikou dále zabývat.

Použitá literatura

- [1] **Pluhař J., Koritta J.:** *Strojírenské materiály*. Praha, SNTL/SVTL, 1966.
- [2] **Pluhař J. a kol.:** *Nauka o materiálech*. Praha, SNTL/ALFA, 1989.
- [3] **Bartoniček P.:** *Deformace dílu převodovky MQ 200 po chemicko tepelném zpracování*. Diplomová práce, TU Liberec, 2010.
- [4] **AZ Prokal:** *Provozní podmínky polymerů*, URL: http://www.azprokal.cz/documents/23_prirucka_polymery.pdf
- [5] **Betka Č.:** *Materiál a tepelné zpracování ozubených kol*. Praha, SNTL, 1965.
- [6] **Černoch S.:** *Strojně technická příručka*. Praha, SNTL, 1959.
- [7] **Niku-Lari A.:** *Advances in surface treatments, Volume 4 – International Guidebook on Residual Stresses*, Oxford, Pergamon Press, 1987.

Přílohy

Příloha 1 – Chemicko-tepelné zpracování

Příloha 2 – Inspekční certifikát materiálu TL 4521

Příloha 3 – Chemické složení tavby z materiálu TL 4521

Cementace - do hloubky 0,60 - 0,90 mm

hnané kolo rozvodovky

program č.27

AICHELIN

pec 1

Program č.	27	nový		starý	typ ošetření				s mezichlazením						
Startovací teplota	880	C-pot	0,5	%C tol. T	5				°C tol.Cp	0,2				%C	
ús. č.	doba trvání		teplot. °C	C-pot %C	řídící stopy								tol. teplota	tol. C-pot	
	hod	min			1	2	3	4	5	6	7	8			
1	0	1	920	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,2
2	0	1	920	1,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,2
3	3	30	920	1,05	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0,2
4	0	45	920	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,2
5	0	10	870	0,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0,2
6	0	1	850	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,2
7	0	45	850	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,2
8															
9															
10															
doba chlazení		15	min. bez cirkulace				0		sek.				ot/min		
odkapávání		10	min. pomalá cirkulace				60		sek. pomalá cirkulace				750		
				rychlá cirkulace				300		sek. rychlá cirkulace				1400	

TEPLOTA OLEJE: 60°C

Příloha 2

1 / 1



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY

Č. : 2009/07/001593-MRO

Inspekční certifikát 3.1, EN 10204:2004

TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s. / Průmyslová 1000 / 739 70 Třinec - Staré Město / Czech republic

Objednávka: 55037616/3E		DOPORUČENÉ															
Zakázka: 3300100374/000010		ŠKODA AUTO a. s., pí. Krajníková VAH/2 - P.O.BOX 8., Tř. V. Klementa 869 293 60 Mladá Boleslav Česká republika															
Popis materiálu		Hmotnost (kg)	Jakost-Dod. stav		Norma												
Tyče kruhové 68 mm + 0,500 - 0,500 5,000 m +200 -200		2430	TL4521 .30-Žíhaný na měkko 0506		TL 4521 ČSN 420220.69 ČSN 42 5510/1-A.21												
Dopr. prostředek č.	LL	Tavba	Kruhy/Kusy	Svazky	Hmotnost (kg)												
2S90084 2S03796	3309006937	T50344	17	1	2430												
Tavba		Chemická analýza [%]															
T50344	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	AL_sol	AL							
BO-ZP02	0.19	0.78	0.12	0.012	0.026	0.03	0.73	1.55	0.019	0.022							
	O	N	MO	TI	SN												
	0.0022	0.0056	0.320	0.0013	0.002												
Mechanické hodnoty																	
Tavba	Péčovací zkoušky (EN 10263-1)		Oduhličení (max. / mm)	Mikročistota (DIN 50602)			Velikost zrna (ASTM E 112)	Tvrdość HB	Vakuování								
T50344				K4: 0,00 0,00 0,00			8	174 - 179	ano								
Tavba	100% kontrola totožnosti			UZ kontrola			Povrchové vady										
T50344	provedena			EN 10308 tř.4			DIN EN 10221/C										
Tavba	Prokalitelnost																
T50344	mm	1,5	3	5	7	9	10	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
	HRC	44	44	43	42	41	38	36	34	32	30	28	27	26	25	25	24
Tavba	Mikročistota (ASTM E45)		Typ B		Typ C		Typ D										
	Typ A		tenký	hrubý	tenký	hrubý	tenký	hrubý	tenký	hrubý							
T50344	1,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8									
Dodržena radioizotopická aktivita tavebního vzorku - max. 100 Bq/kg.																	

Dodaný materiál odpovídá předpisu objednávky.

Potvrdil : Karczmarczyk David, referent TJU

Třinec: 08.07.2009

DIA2000SE

Date: 2.10.2009

Time: 9:10:30

List of Analyses

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 13:41:43

SampleNo 1-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0110	0,0320	0,710	1,57	0,330	0,00400	<0,0010	0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00300	0,00050	<0,0010	0,00330	0,00500	<0,0010	0,00390	<0,0010

Fe	
%	
Hodnot	96,1

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 13:45:41

SampleNo 2-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0110	0,0320	0,720	1,58	0,330	0,00400	<0,0010	0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0190	0,00300	<0,0010	0,00330	0,00050	<0,0010	0,00290	0,00470	<0,0010	0,00340	<0,0010

Fe	
%	
Hodnot	96,2

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 13:50:04

SampleNo 3-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0110	0,0310	0,720	1,58	0,330	0,00400	<0,0010	0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00340	0,00050	<0,0010	0,00310	0,00500	<0,0010	0,00390	<0,0010

Fe	
%	
Hodnot	96,1

DIA2000SE

Date: 2.10.2009
Time: 9:10:30

List of Analyses

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 13:54:46

SampleNo 4-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,190	0,790	0,100	0,0100	0,0300	0,720	1,57	0,330	0,00300	<0,0010	0,0280
Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00340	0,00050	<0,0010	0,00360	0,00480	<0,0010	0,00460	<0,0010
Fe											
%											
Hodnot	96,2										

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 14:00:01

SampleNo 5-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0100	0,0320	0,720	1,58	0,320	0,00300	<0,0010	0,0290
Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0210	0,00300	<0,0010	0,00330	0,00040	<0,0010	0,00240	0,00510	0,00106	0,00570	<0,0010
Fe											
%											
Hodnot	96,1										

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 14:10:00

SampleNo 6-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,200	0,800	0,110	0,0110	0,0330	0,730	1,58	0,330	0,00400	<0,0010	0,0290
Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00350	0,00040	<0,0010	0,00350	0,00520	<0,0010	0,00350	<0,0010
Fe											
%											
Hodnot	96,0										

DIA2000SE

Date: 2.10.2009
Time: 9:10:30

List of Analyses

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 14:14:30

SampleNo 7-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0100	0,0310	0,720	1,57	0,330	0,00400	<0,0010 0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00350	0,00030	<0,0010	0,00290	0,00480	<0,0010	0,00490 <0,0010

Fe
%
Hodnot 96,1

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 14:19:02

SampleNo 8-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0110	0,0310	0,720	1,57	0,330	0,00300	<0,0010 0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,0200	0,00300	<0,0010	0,00340	0,00050	<0,0010	0,00360	0,00490	0,00104	0,00430 <0,0010

Fe
%
Hodnot 96,1

Date: 1.10.2009

Time of Analysis: 14:25:57

SampleNo 9-tavba A-dipl.práce

Program Fe110_N

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,200	0,790	0,110	0,0100	0,0320	0,710	1,57	0,320	0,00400	<0,0010 0,0280

Al	Sn	W	Co	B	Pb	Sb	Nb	Zr	Ca	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hodnot	0,0210	0,00300	<0,0010	0,00340	0,00040	<0,0010	0,00370	0,00520	0,00100	0,00500 <0,0010

Fe
%
Hodnot 96,1

Quantron Advanced Analytical Systems