

Vývoj technologie výroby kontrolních kol na ozubená kola

Technology development of
control wheel production for cog
wheels

Josef Vávra

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání bakalářské práce

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří přispěli k dokončení mé bakalářské práce. Především děkuji své vedoucí Ing. Daně Shejbalové za její odborné vedení a pomoc při vypracování této práce. Mé poděkování také patří řediteli firmy Sicom spol. s r.o. Ing. Čestmíru Hufovi za zprostředkování výroby a následně měření kontrolních kol, ale také za cenné rady a informace.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 07. 06. 2005

.....

podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce uvádí do problematiky zabývající se kontrolními koly pro ozubená kola. V teoretické části je vysvětlen základní princip kontrolních kol, způsoby jejich výroby, obrábění a následně také měření jejich opotřebení po uvedení do pracovního procesu.

Experimentální část obsahuje návrh na výrobu kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 za účelem zvýšení životnosti. Nakonec následuje srovnání naměřených hodnot opotřebení a životností kontrolního kola, které bylo navrženo a kola z materiálu, který se běžně používá.

This bachelor's thesis deals with control wheels for cog wheels. The theoretical part offers an explanation of the basic principle of control wheels, their production methods, cutting and subsequently also abrasive wear measuring after the introduction into the work process.

The experimental part includes a proposal for production of control wheel made of ČSN 41 9830 - material in order to increase service life. Finally this bachelor's thesis compares measured abrasive wear values and service life of the control wheel, which has been proposed and the wheel made of material commonly used for these purposes.

OBSAH

ÚVOD	6
1 TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 Ozubené převody, jejich přesnost a kontrola	7
1.1.1 Přesnost ozubených kol.....	7
1.1.2 Měření ozubených kol.....	8
1.2 Princip kontrolních kol	14
1.3 Materiál kontrolních kol	15
1.3.1 Kontrolní kola z oceli ČSN 41 4220.....	15
1.3.2 Kontrolní kola z oceli ČSN 41 9312.....	17
1.4 Výroba a obrábění kontrolních kol.....	19
1.4.1 Frézování ozubení.....	19
1.4.2 Broušení kontrolních kol	21
1.4.3 Měření přesností kontrolních kol.....	22
1.5 Cíle bakalářské práce.....	23
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	24
2.1 Návrh kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830.....	24
2.1.1 Materiál ČSN 41 9830.....	24
2.2 Návrh na výrobu kontrolního kola z ČSN 41 9830.....	26
2.3 Základní hodnoty při měření opotřebení kontrolních kol.....	27
2.3.1 Úchylky profilu.....	27
2.3.2 Úchylky boku zubu	29
2.3.3 Úchylky rozteče	31
2.4 Vyhodnocení naměřených hodnot.....	34
2.5 Ekonomické zhodnocení výsledků.....	35
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	38
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM TABULEK	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	42

ÚVOD

Ozubené kolo, tento symbol strojírenství a ozubené převody jsou základní konstrukční prvky, bez nichž se obejde jen málo strojů nebo strojních zařízení. Ozubené převody se staly nepostradatelnou součástí většiny strojů a proto je důležité věnovat jim zvýšenou pozornost. Zejména konstrukce strojů přenášejících velké výkony při vysokých otáčkách si bezpodmínečně žádá zvýšení tvrdosti a zlepšení opracování povrchu boků zubů. Důležitým prvkem při výrobě ozubených kol je také jejich konečné měření a hodnocení jakosti výroby. Při měření ozubených kol se velká část měřených hodnot zjišťuje pomocí kontrolního kola. A problematika kontrolních kol bude obsahem této bakalářské práce. Provedeme rozbor materiálu, vlastností výroby a zpracování těchto součástí. Princip měření spočívá v odvalování daného ozubeného kola s kontrolním kolem. Při této činnosti dochází k opotřebení a kontrolních kol a také dokážeme, že míra tohoto opotřebení a také životnosti těchto součástí záleží na materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Proto v experimentální části provedeme návrh na výrobu kontrolního kola z tvrdšího materiálu než se dosud používá a to by mělo mít ta příčinu zvýšení jeho životnosti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Ozubené převody, jejich přesnost a kontrola

1.1.1 Přesnost ozubených kol

Ozubená kola patří mezi důležité dílce strojírenské výroby. Poněvadž se používá stále více rychloběžných a vysoce výkonných strojů, které musí mít velkou účinnost a tichý chod, kladou se na ozubená kola stále vyšší požadavky.

Požadavky kladené na ozubená kola jsou závislé na účelu a podmínkách použití ozubeného kola. Z hlediska správného a bezhlučného záběru a přenosu kroutícího momentu musí spoluzabírající ozubená kola splňovat podmínky :

- přesnosti a správnosti tloušťky zubů, která musí být u všech zubů stejná (rázy),
- správnosti a přesnosti tvaru zubů a kvality povrchu zubů,
- minimální házivosti jak radiální, tak čelní,
- vrtání náboje a střed roztečné kružnice musí být totožné.

Z těchto hledisek rozlišujeme osm stupňů přesnosti ozubených kol. Stupeň (třída) přesnosti je dán použitím soukolí a jeho obvodové rychlosti. Dovolené úchytky se týkají rozměrů, geometrického tvaru zubů a vzájemné polohy prvků soukolí. Tolerancí těchto prvků dosahujeme předepsané vůle mezi zuby. Lícovací soustava je založena na jednotné vzdálenosti os soukolí pro rozsah modulů $m = 0,3 \div 12,5$; průměry roztečných kružnic do 1600 mm a vzdálenost os převodu do 1600 mm.

V každém stupni přesnosti je stanoveno pět skupin bočních vůlí, označených písmeny a až e . Boční vůle je určována podle tepelných poměrů soukolí za provozu. Na výkrese se předepisuje lícování číslem stupně přesnosti a za ním písmenem skupiny bočních vůlí, např. 4d.

Výroba i kontrola ozubení je vzhledem ke složitému geometrickému tvaru náročná na vybavení měřicími prostředky i na čas, potřebný k seřízení a kontrole. Ozubení se kontroluje buď proměřením základních úchylek nebo proměřením souhrnných úchylek při protáčení s kontrolním (etalonovým) kolem.

1.1.2 Měření ozubených kol

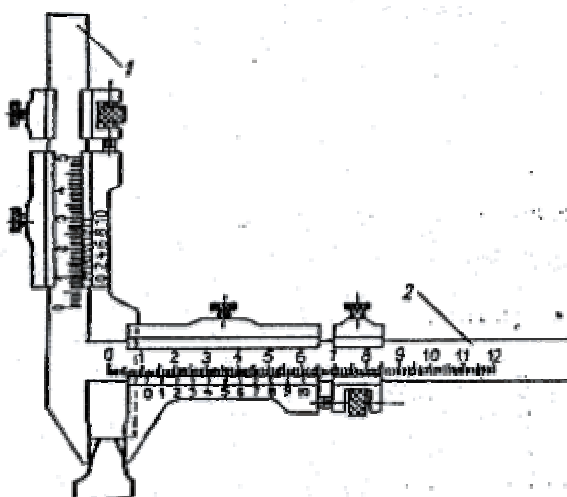
Měření ozubených soukolí můžeme rozdělit podle toho, jestli jde o měření soukolí čelních, kuželových nebo šnekových.

Měření čelních ozubených kol

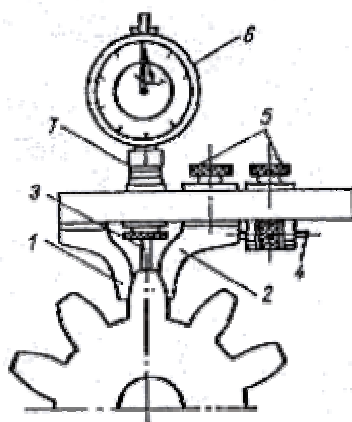
U čelních ozubených kol se kontroluje průměr hlavové kružnice a její dostřednost, tloušťka zubu, rozteč, tvar boku zubu, axiální házení kola, jakost povrchu ozubení a záběr ozubeného soukolí.

Měření tloušťky zubu

Způsob měření tloušťky zubu v konstantní tloušťce a výšce uvádí ČSN 01 4678 (1959). Zuboměr (Obr.1) tvoří dvě navzájem kolmá posuvná měřítka. Na svislém měřítku se nastavuje výška, ve které měří vodorovné posuvné měřítko tloušťku zubu. Přesněji měří tloušťku zubu tangenciální zuboměry (Obr.2), které také měří odchylky výšky hlavy zubu od teoretického rozměru při konstantní tloušťce zubu. Výhodou této měřicí metody je použití jednoduchých měřidel, snadné a rychlé měření. Nastavený rozměr zuboměru je stejný pro libovolný počet zubů kola o stejném modulu a úhlu záběru. Měření je závislé na přesnosti hlavové kružnice ozubeného kola.

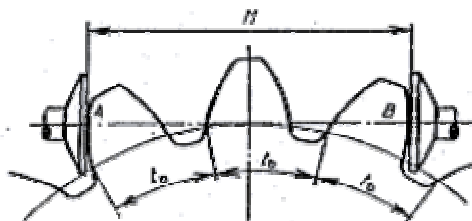


Obr. 1. Posuvné měřítko na měření tloušťky zubu

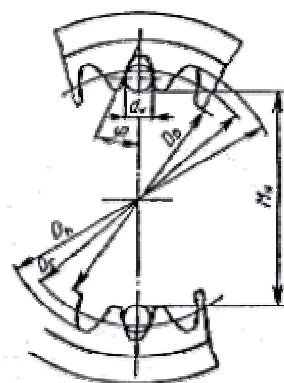


Obr. 2. Univerzální tangenciální zuboměr na měření konstantní tloušťky zubu

Tloušťka zubu se často měří a kontroluje speciálním talířovým mikrometrem (Obr.3) zjištěním tzv. rozměru přes zuby. Rozměr přes zuby se měří na tečně k základní kružnici. Velikost tohoto rozměru M a počet zubů (bývá 2, 3 nebo více), přes které se měří, jsou uvedeny v ČSN 01 4675 (1960), a ČSN 01 4676 (1965). Rozměr přes zuby lze též kontrolovat nastaveným pasametrem, zuboměrem s úchylkoměrem, nebo zvláštním mezním třmenovým měřidlem (při hromadné výrobě ozubených kol). Výhodou tohoto měření je jednoduchost a přesnost. Tloušťku zubů lze též kontrolovat pomocí válečků nebo kuliček vložených do zubní mezery. Je to zvlášť vhodný způsob kontroly vnitřního ozubení (Obr.4). Průměry válečku je nutno volit tak, aby dosedly na boky zubů na roztečné kružnici. Vypočítaný rozměr M_v (metoda měření přes válečky) se kontroluje délkovými měřidly.

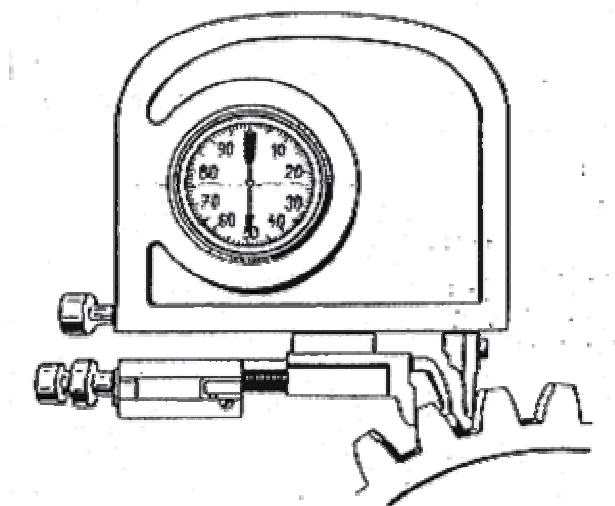


Obr. 3. Talířový mikrometr

Obr. 4. Měření tloušťky zubu
přes válečky

Kontrola zubové rozteče

Přesnost zubové rozteče má největší vliv na klidný a správný chod ozubeného kola. Úchyly v rozteči způsobují nárazový záběr zubů, a tím hlučný chod a velké opotřebení. Zubovou rozteč lze měřit na roztečné kružnici - hodnota t , nebo na záběrové přímce - hodnota t_b . Záběrová (tj. základní rozteč t_b) se měří nezávisle na ose kola, a proto ji lze snadno určit. Princip měření této rozteče je založen na vlastnosti evolventního ozubení, které má stálou vzdálenost průsečíků dvou boků zubu s tečnou k základní kružnici. Na tomto principu je založeno třídotykové měřidlo základní zubové rozteče (Obr.5), které se před měřením ozubení nastavuje na přesnou hodnotu rozteče základními měrkami nebo speciálními měrkami. Mezi základní roztečí t_b a obvodovou roztečí t (měřenou na roztečné kružnici) platí vztah: $t_b = t \cdot \cos \alpha = p \cdot m \cdot \cos \alpha$, kde m je modul ozubení a α je záběrový úhel.

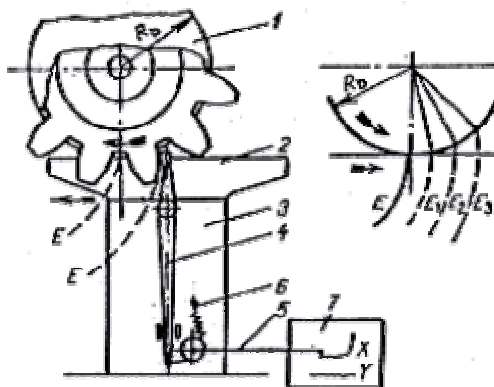


Obr. 5. Třídotykové měřidlo základní rozteče

Kontrola tvaru boku zubu (evolventy)

Na přesnosti tvaru zubu závisí výsledky měření ostatních určujících veličin ozubení, a proto je důležitá kontrola správného tvaru evolventy. Přesnost tvaru zubu je podmíněna způsobem obrábění ozubení a závisí na seřízení stroje, úchylce úhlu záběru nástroje a jeho nastavení. Tvar zubu se kontroluje na přístroji, který vytváří přesnou evolventu tím, že odvaluje měřicí pravítko po kotouči stejného průměru, jaký má základní kružnice

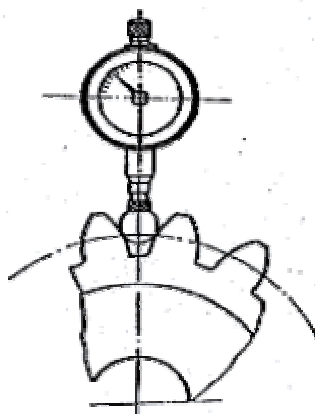
kontrolovaného profilu ve zvětšeném měřítku na milimetrový papír (Obr.6). Tvar boku zubu se kontroluje na různých místech kola, u širokých kol i na různých místech zubů.



Obr. 6. Schéma přístroje Maag na kontrolu evolventy

Kontrola soustřednosti – obvodového házení kola

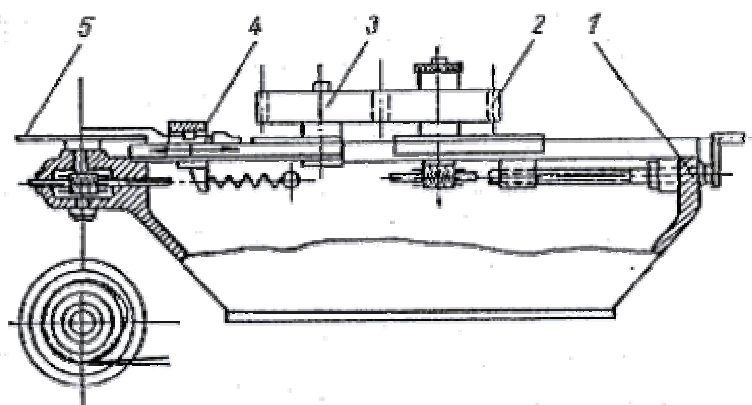
Obvodové házení způsobuje periodickou změnu velikosti osové vzdálenosti ozubeného soukolí. Házivost se kontroluje tak, že se měřené kolo nasune na kontrolní trn a upne se mezi hroty. Do zubové mezery se vloží kontrolní váleček, na který se seřídí číselníkový úchylkoměr. Průměr válečku se volí tak, aby se dotýkal boku zubu na roztečné kružnici. Tak se postupně kontrolují všechny zubové mezery. Pro tuto kontrolu se též používají úchylkoměry s výměnným dotykem ve tvaru zubu, kuličky (Obr.7) nebo kužele. Pro urychlení kontroly házivosti se kolo měří na čtyřech místech obvodu, vzájemně pootočených o 90° . Obvodové házení lze též kontrolovat na strojích, na nichž se měří osová vzdálenost odvalem kol.



Obr 7. Kontrola házivosti úchylkoměrem s kuličkovým dotykem

Zkoušky záběru ozubení

Princip kontroly záběru záleží v odvalování měřeného ozubeného kola se vzorovým kontrolním kolem nebo s protikolem, se kterým bude v provozu v záběru. Tento způsob kontroly je považován za kontrolu všech úchylek ozubení. Měří se na přístroji, jehož schéma je na (Obr.8).



Obr. 8. Přístroj na zkoušení záběru čelních ozubených kol

Záběr se kontroluje:

a) jednobokým odvalem

Při tomto způsobu jsou kola nastavena na normální provozní vzdálenost; to odpovídá skutečným pracovním podmínkám záběru ozubeného soukolí. Zaznamenávají se do diagramu, nebo se měří číselníkovým úchylkoměrem.

b) dvoubokým odvalem

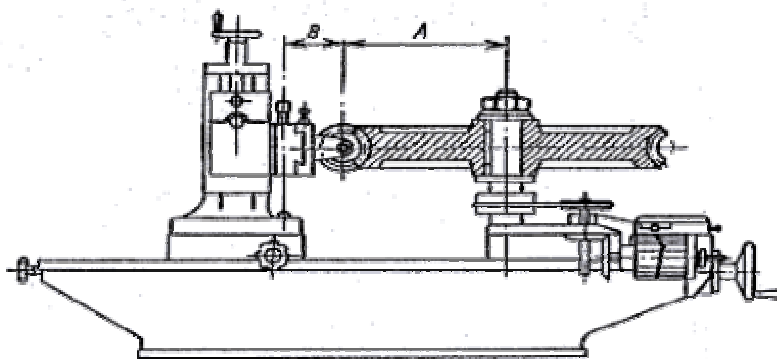
Kola jsou přitlačována do záběru bez vůle. Stýkají se oba boky ozubení, takže vliv všech úchylek se projeví změnou osové vzdálenosti, která se registruje číselníkovým úchylkoměrem. Nevýhodou tohoto způsobu kontroly je, že neodpovídá normálním podmínkám provozu. Úchylky obou boků se zaznamenávají společně do jednoho grafu a nelze určit velikost každé úchylky zvlášť a jejich vzdálenosti. Při této kontrole lze současně zjistit sklon zubů tím, že se boky zubů vzorového kola natrou tuširovací barvou. Při protočení soukolí lze sledovat otisk barvy na ploše boku zubu kontrolovaného kola. V současné době se věnuje velká pozornost kinematické přesnosti ozubených převodů, která se zjišťuje speciálními přístroji.

Měření kuželových ozubených kol

Ozubená kuželová kola se měří v nejširší části zubu zuboměrem v poloze kolmé k roztečnému kuželu. Souhrnná kontrola kuželových kol se provádí na univerzálním přístroji se vzorovým kolem a je nejspolehlivější.

Měření šnekových soukolí

Kontrola šnekového kola je velmi problematická, proto se šnekové soukolí nejčastěji kontroluje souhrnnou kontrolou na speciálním přístroji (Obr.9). Při této souborné kontrole se zjišťuje osová vzdálenost, záběr, házivost apod.

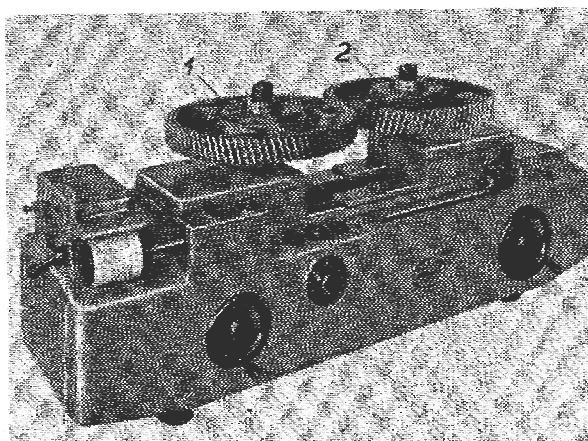


Obr. 9. Univerzální přístroj na měření šnekového soukolí

1.2 Princip kontrolních kol

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, důležitou součástí při měření ozubených kol jsou kontrolní nebo také vzorová kola. Jejich pomocí určujeme úchytky daného ozubeného kola. Ozubená kola se běžně vyrábí s přesností DIN 5 a kontrolní kola se musí vyrábět o 2 třídy přesnější, tedy s přesností DIN 3. Díky tomu můžeme porovnávat přesnost vyrobených ozubených kol, zjišťovat jejich kvalitu a tak předcházet případné poruchovosti či chybné funkci v pracovním procesu.

Princip kontroly úchytek ozubení spočívá ve vzájemném odvalování měřeného a kontrolního kola. Měřené kolo je otočně uloženo v pohyblivých saních, které jsou konstantní předepínací silou tlačeny proti pevným saní, nesoucím kontrolní kolo. Úchytky ozubení způsobují při nuceném odvalu kolísání osové vzdálenosti, které je pomocí speciálních snímačů registrováno a dále počítačově zpracováno. Přístroj na kontrolu ozubených kol odvalováním je zobrazen na (Obr.10).



Obr.10. Přístroj na kontrolu ozubených kol odvalováním (MAAG)

Kontrolní kola se vyrábí podle rozměrů, struktury kola a ozubení daného ozubeného kola, které má být kontrolním kolem testováno. Protože je tedy každé kontrolní kolo jiné, hlavním kritériem jejich rozdělení bude materiál, ze kterého je kontrolní kolo vyrobeno.

1.3 Materiál kontrolních kol

Materiály pro výrobu kontrolních kol jsou ocel ČSN 41 4220 a ocel ČSN 41 9312.

1.3.1 Kontrolní kola z oceli ČSN 41 4220

Vlastnosti materiálu

Ocel ČSN 41 4220 je ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel k cementování. Podle ČSN EN 10084 se oceli k cementování vyznačují relativně nízkým obsahem uhlíku a jsou určeny k povrchovému nauhličení nebo ke karbonizaci s následným kalením. Po takovém zpracování se tyto oceli vyznačují tvrdou povrchovou vrstvou a houževnatým jádrem. U těchto ocelí je předepsána velikost austenitického zrna od 5 do 8 podle EN 10103. Legující prvky ovlivňují obsah uhlíku v cementované vrstvě, její tloušťku a tvrdost. Prvky, které zvyšují aktivitu uhlíku v austenitu, snižují jeho rozpustnost. Austenitotvorné prvky zase zvyšují podíl zbytkového austenitu po kalení. Nikl a mangan zvyšují houževnatost jádra.

Tepelné zpracování

Způsoby tepelného zpracování cementační oceli ČSN 41 4220 jsou popsány v následující tabulce :

Tabulka I. Způsoby tepelného zpracování cementační oceli ČSN 41 4220

Způsob		Teplota [°C]	Postup
Normalizační žíhání		880 až 920	Ochlazovat na vzduchu
Cementování	v plynu	900 až 930	Ochlazovat na vzduchu nebo v ochlazovací jednotce
	v prášku	860 až 900	Ochlazovat v cementační krabici nebo na vzduchu
	v solné lázni	890 až 910	Ochlazovat na vzduchu
Žíhání na měkko		680 až 720	Ochlazovat v peci
Kalení		810 až 840	Ochlazovat v oleji nebo v lázni 150 - 200 °C
Popouštění		150 až 200	Ochlazovat na vzduchu

Normalizační žíhání

Spočívá v ohřevu 30 až 50°C nad A_{C3} , A_{Cm} do oblasti austenitu, dostatečně dlouhá výdrž na této teplotě a ochlazování na klidném vzduchu. Provádí se za účelem zjemnění austenitického zrna a zrovnoměnění sekundární struktury. Je vhodné zejména pro uhlíkové a nízkolegované oceli.

Cementování

Je to způsob chemicko-tepelného zpracování, při kterém se povrch oceli sytí uhlíkem na eutektoidní, popř. těsně nadeutektoidní koncentraci (obvykle 0,8 - 1,0 hm.% uhlíku). Vysoké povrchové tvrdosti cementovaných součástí se dosahuje jejich následným kalením a nízkoteplotním popouštěním, zatímco jádro zůstává relativně houževnaté, neboť k cementování se převážně používají oceli s obsahem uhlíku 0,10 – 0,25 hm %.

Sycení povrchu předmětu uhlíkem se provádí při teplotách nad A_{C3} , kdy struktura cementační oceli je austenitická, ve které je v podstatě vyšší rozpustnost uhlíku než ve feritu. Překročení mezní rozpustnosti uhlíku v austenitu by vedlo k precipitaci sekundárního cementitu v povrchové vrstvě, což by mělo za následek její nežádoucí zkřehnutí. Teploty cementování se obvykle pohybují v rozmezí 850 až 950°C.

Technologie cementování se dělí podle použitého prostředí, které bývá sytké, kapalné nebo plynné.

Žíhání na měkko

Žíhání na měkko spočívá v ohřevu oceli na teplotu kolem A_{C1} , výdrž na této teplotě (3 až 4 hodiny, u legovaných ocelí i více) a pomalém ochlazování v peci. Tento postup má za následek přeměnu lamelárního perlitu na perlit zrnitý.

Kalení a popouštění

Jak již bylo uvedeno, vysoké tvrdosti cementované vrstvy se dosahuje jejím kalením a následným nízkoteplotním popouštěním. Volba způsobu kalení by měla respektovat typ cementační oceli, použitou technologii nauhličování a úroveň provozního namáhání

cementované součásti. Přímé kalení z cementační teploty lze použít při cementování v plynném nebo kapalném prostředí. Uhlíkové oceli se kalí do vody, legované do oleje. Během relativně dlouhého setrvání na cementační teplotě dochází ke zhrubnutí austenitických zrn, což při přímém kalení vede ke hrubé martenzitické struktuře v cementované vrstvě i v jádře součásti a současně k vysoké úrovni vnitřních pnutí a odpovídajících deformací součásti. Částečného omezení deformací lze dosáhnout kalením s přechlazením.

Závěrečnou operací tepelného zpracování cementovaných součástí je nízkoteplotní popouštění při teplotách 150 až 200°C po dobu 1 až 2 hodin, které vede ke snížení vnitřních pnutí a ke stabilizaci struktury.

1.3.2 Kontrolní kola z oceli ČSN 41 9312

Kontrolní kola z materiálu ČSN 41 4220 se postupně začala nahrazovat koly z materiálu ČSN 41 9312. Důvod byl ten, že po určitém opotřebením tvrdá cementovaná vrstva začala slábnout a výrobek ztrácel svou pevnost, čímž klesala jeho životnost.

Vlastnosti materiálu

Ocel ČSN 41 9312 patří mezi nástrojové legované oceli pro práci za studena. Je to mangan - vanadová ocel se střední prokalitelností ke kalení v oleji, zvláště dobrá stálost rozměrů při tepelném zpracování, dobrá odolnost proti opotřebením a řezivosti. Značná citlivost na ochlazování vodou při kalení a popouštění, dobrá leštitelnost, dobrá tvárnost za tepla a dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu.

Legované oceli se používají k podobným účelům jako nelegované. Mají však vyšší tvrdost a nižší pokles tvrdosti s teplotou. Legované nástrojové oceli se obvykle kalí do oleje. Kalicí teploty se volí podle legování oceli (stability karbidů) a jsou obvykle vyšší než u nelegovaných ocelí. Výsledná tvrdost závisí na teplotě popouštění. Teploty popouštění se volí nejčastěji 180°C.

Tepelné zpracování

Způsoby tepelného zpracování nástrojové oceli ČSN 41 9312 jsou popsány v následující tabulce:

Tabulka II. Způsoby tepelného zpracování nástrojové oceli ČSN 41 9312

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Žíhání na měkko	680 až 710	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	740 až 800	Malé předměty
	780 až 800	Velké předměty
Popouštění	100 až 300	Ochlazovat na vzduchu (nesmí přijít do vody!), stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

Žíhání na měkko – princip tohoto tepelného zpracování je již uveden v kapitole 3.1.2

Žíhání ke snížení pnutí

Provádí se za cílem snížit nebo odstranit vnitřní pnutí, která vznikla ve výrobcích při jejich předchozím zpracování. Žíhání se provádí při teplotách 500 až 650°C, kdy ke snížení vnitřních pnutí, která korespondují s pružnou deformací mřížky, dochází lokální plastickou deformací v důsledku dostatečného snížení meze kluzu při uvedených teplotách. Obecně pro všechny způsoby žíhání platí, že prodleva na žíhací teplotě je závislá na její hodnotě, v daném případě při teplotách 600 až 650°C postačuje doba 1 až 2 hodiny. Nemá-li při ochlazování vzniknout nové vnitřní pnutí, pak je nutné ochlazovat předměty z žíhací teploty pomalu až do teploty 150 - 400°C, a to podle tvárnosti ocele.

Kalení a popouštění

Kalící teplota podeutektoidních ocelí se obvykle pohybuje 30 až 50°C nad A_{C1} . Takto zvolená teplota odpovídá kompromisu mezi požadavkem dosažení homogenního austenitu v co nejkratším čase a zachování jemného austenitického zrna.

U jemnozrnných ocelí lze použít vyšší teplotu austenitizace bez nebezpečí zhrubnutí původních austenitických zrn. Hrubé původní austenitické zrno má za následek hrubou strukturu martenzitu po zakalení, četnější výskyt kalících mikrotrhlin a vzrůst úrovně vnitřních pnutí.

Nástrojové legované oceli pro práci za studena jsou obvykle legovány do 1,6% manganem. Při popouštění na teploty 150 až 250°C se dosahuje tvrdosti až 61 HRC. Oceli se popouští také na vyšší houževnatost při 330 až 550°C.

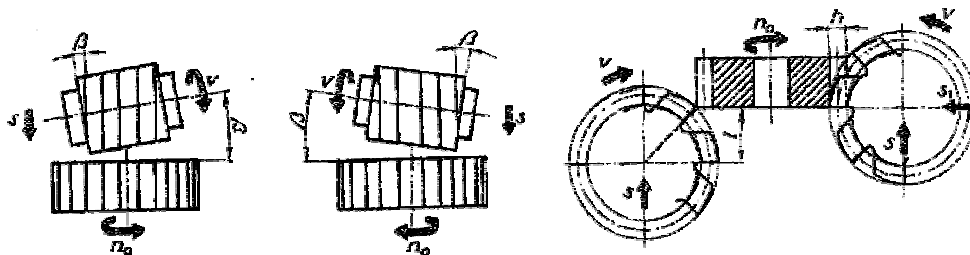
1.4 Výroba a obrábění kontrolních kol

Kontrolní kola prochází při své výrobě dvěma hlavními druhy obrábění. Před tepelným zpracováním je to výroba ozubení frézováním a po tepelném zpracování se tyto vzorové kola dokončují broušením.

1.4.1 Frézování ozubení**Frézování odvalovacím způsobem**

Je to nejrozšířenější způsob výroby ozubení, který se vyznačuje vysokou produktivitou a přesností. Nástrojem je modulová odvalovací fréza, která má tvar evolventního šneku. Závit bývá obvykle jednochodý (u hrubovacích fréz dvou až tříchodý). Princip metody je odvozen ze záběru šneku a šnekového kola = jednou modulovou frézou můžeme vyrábět kolo s libovolným počtem zubů. Ozubení se vyrábí na odvalovacích frézách, kde obráběné ozubené kolo je upnuté pomocí trnu na otočném stole, odvalovací fréza je upnuta pomocí trnu ve vřeteníku stroje. Odvalovací fréza se při práci otáčí kolem své osy a koná řezný pohyb. Obráběné ozubené kolo se přisune k fréze na hloubku zubové mezery a koná otáčivý odvalovací pohyb. Fréza koná navíc posuvný pohyb ve směru zubů

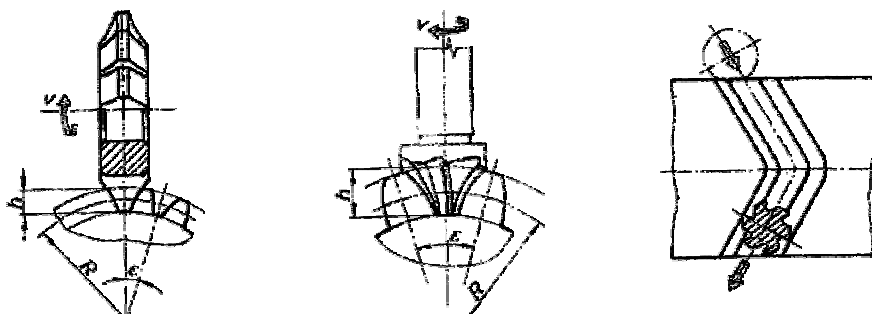
ozubeného kola. Při frézování přímých zubů musí být osa frézy skloněna vzhledem k obrobku o úhel, což je úhel stoupání šroubovice frézy, která může být levá nebo pravá. Princip frézování ozubení odvalovacím způsobem můžeme vidět na (Obr.11).



Obr. 11. Princip frézování ozubení odvalováním

Frézování dělicím způsobem

Frézování se provádí tvarovými frézami kotoučovými nebo čepovými, jejichž tvar řezné části odpovídá tvaru zubové mezery kola. Po vyfrézování jedné zubové mezery se kolo otočí o jednu rozteč a frézuje se další mezera. Frézování se provádí na běžných univerzálních frézkách, vybavených dělicím přístrojem. Tento způsob se používá pro menší série, kusovou výrobu a v opravárenství. Frézy se vyrábějí v sadách obsahujících 8, 15 nebo 26 členů téhož modulu a úhlu záběru. Každá fréza slouží k výrobě ozubených kol v určitém rozsahu počtu zubů. Při volbě frézy musíme určit modul a číslo v sadě (podle počtu zubů). Přesnost ozubení odpovídá 7. a 8. stupni přesnosti. Při výrobě vznikají nepřesnosti vlivem tvaru frézy (teoreticky bychom museli mít pro každý modul a každý počet zubů frézu), nepřesnost upnutí a vůle v dělicím přístroji. Grafické znázornění frézování dělicím způsobem je zobrazeno na (Obr. 12).



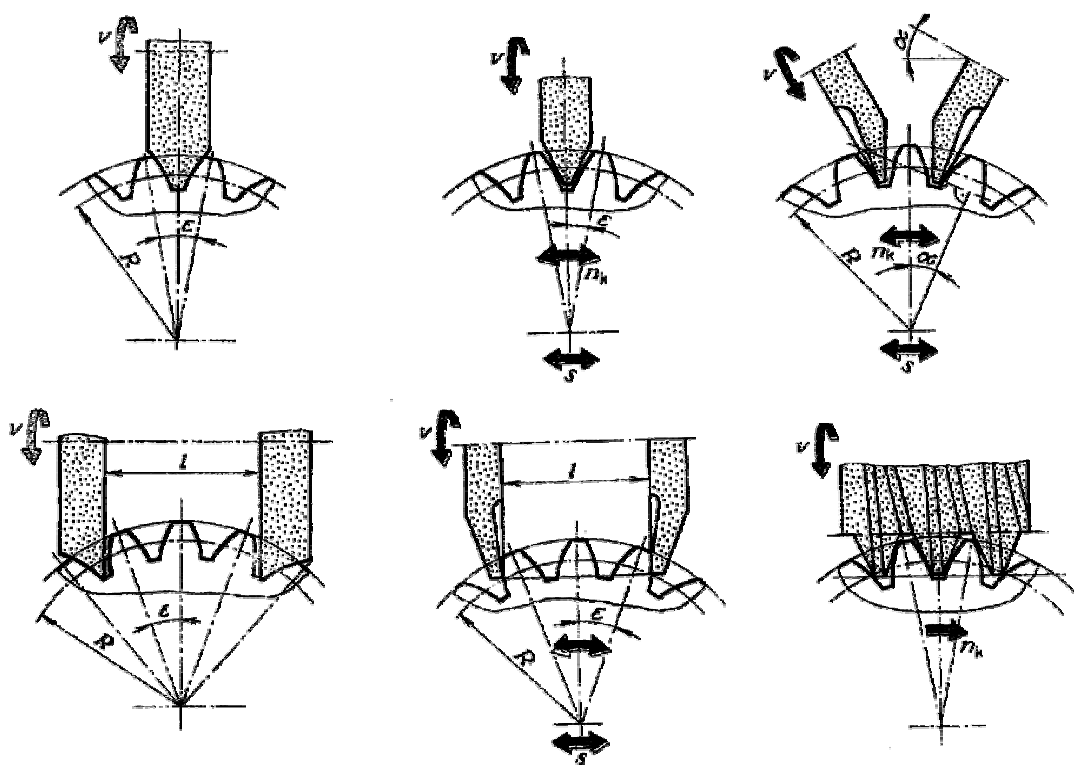
Obr. 12. Princip frézování ozubení dělicím způsobem

1.4.2 Broušení kontrolních kol

Pro dokončování ozubení se používá broušení. Zde známe také více druhů broušení, ale při dokončování ozubení kontrolních kol se používá nejčastěji broušení dělicím způsobem.

Broušení dělicím způsobem

Princip broušení dělicím způsobem je zobrazen na (Obr. 13) a spočívá v tom, že brousící kotouč má tvar zubové mezery. Můžeme brousit jedním nebo dvěma kotouči. Při broušení zubů kola konají brusné kotouče, které představují jeden zub hřebene, jen kruhový (otáčivý) pohyb. Příčné saně konají pomocí výstředníku přímočarý vratný pohyb. Pomocí páky a odvalovacího bubnu k se odvaluje obrobek v brusných kotoučích. Aby se zuby kola brousily po celé šířce věnce, pohybují se též podélné saně. Při každé úvratí se obrobek otočí o další zub.



Obr. 13. Princip broušení dělicím způsobem

1.4.3 Měření přesností kontrolních kol

I u kontrolních kol je důležité měření kvality a přesnosti, ať už je to měření po vyrobení samotného kontrolního kola, či jeho následné měření po uvedení do pracovního procesu. U všech kontrolních kol se měří míra opotřebení po určitém množství zkontrolovaných kusů. K tomu se většinou používají třísouřadnicová měřicí centra. Na těchto centrech se přesnost ozubení měří pomocí dotykové sondy. Tato sonda přejíždí při odvalování měřeného kontrolního kola po boku zubu a tak měří přesnost evolventy. Přístroj je vybaven také zaznamenávacím zařízením, které naměřený tvar evolventy vykresluje a srovnává s ideálním tvarem. Jako příklad můžeme použít přístroj od německé firmy Klingelnberg, který budeme používat v experimentální části a to Klingelnberg P26. Je to plně automatické číslicově řízené centrum s více jak 50 speciálními prvky používanými pro měření ozubení.



Obr. 14. Příklady měření tvaru evolventy sondou na měřícím centru

1.5 Cíle bakalářské práce

Ve studijní části byla uvedena problematika a princip kontrolních kol. Bylo zjištěno, že při použití materiálu s větší pevností a prokalitelností stoupá životnost kontrolního kola. Proto v experimentální části se bude řešen návrh kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830, včetně jeho tepelného zpracování a obrábění. Pak bude provedeno jeho srovnání s vlastnostmi materiálu ČSN 41 9312. Nakonec budou srovnány naměřené hodnoty opotřebení po stejném počtu zkontrolovaných kusů u materiálů ČSN 41 9830 a ČSN 41 9312 a bude proveden důkaz o tvrzení, že použitím materiálu ČSN 41 9830 pro výrobu kontrolního kola se dosáhne vyšší životnosti.

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Návrh kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830

2.1.1 Materiál ČSN 41 9830

Vlastnosti materiálu

Ocel ČSN 41 9830 patří mezi oceli rychlořezné. Rychlořezné oceli se vyznačují odolností proti poklesu tvrdosti až do teplot okolo 550°C. Jedná se o oceli vysoce legované s obsahem uhlíku nad 0,7 %. Základním legujícím prvkem v rychlořezných ocelích je wolfram, který bývá částečně nahrazen polovičním množstvím molybdenu. Materiál ČSN 41 9830 je výkonná rychlořezná ocel se zvýšenou houževnatostí a snadnější obrobiteľností při broušení.

Tepelné zpracování

Způsoby tepelného zpracování rychlořezné oceli ČSN 41 9830 jsou popsány v následující tabulce :

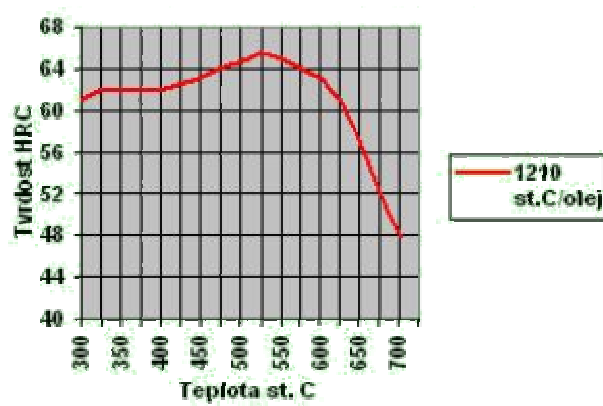
Tabulka III. Způsoby tepelného zpracování rychlořezné oceli ČSN 41 9830

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1100 až 900	Pomalu ochlazovat na vzduchu, nebo lépe v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	780 až 860	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), asi 4 až 8 hodin a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	700 až 750	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	1220 až 1250	Tvarově jednoduché nástroje pro hrubování
	1190 až 1230	Tvarově složité nástroje, nástroje s jemnými břity a nástroje dokončovací
Popouštění	550 až 560	Popouštět nejméně dvakrát po dobu 1/2 až 2 hod.
	540 až 550	Teplota posledního popouštění se volí asi o 10 °C nižší než při prvním popouštění. Chladit na vzduchu

Všechny způsoby a technologické postupy u tepelných zpracování uvedených v tabulce III., byly popsány v předcházejících kapitolách (viz kapitoly 3.1.2 a 3.2.2). Změna je pouze u popouštění.

Popouštění

Popouštění probíhá při teplotě okolo 560°C. Při teplotách nad 150°C dochází k mírnému poklesu tvrdosti částečným vylučováním karbidů z martenzitu. Tím klesá tvrdost martenzitu. Při teplotách 450 až 550°C poklesne obsah uhlíku ve zbytkovém austenitu a austenit se transformuje na martenzit a tvrdost vzroste. Popouštění na takovou teplotu se říká popouštění na sekundární tvrdost. Při transformaci se přemění jen část austenitu a popouštění se opakuje. Pro dosažení tvrdosti 60 až 66 HRC se popouštění opakuje 3x. Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě ukazuje (Obr. 15).



Obr. 15. Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě

2.2 Návrh na výrobu kontrolního kola z ČSN 41 9830

Vycházíme z předpokladu, že materiál ČSN 41 9830 má po tepelném zpracování větší pevnost a tvrdost, než doposud používaný materiál ČSN 41 9312. Zatímco kontrolní kolo vyrobené z nástrojové oceli může dosáhnout maximální tvrdosti 61 HRC, kolo z rychlořezné oceli může dosáhnout tvrdosti až 66 HRC. Z toho vyplývá, že při používání kola z materiálu ČSN 41 9830 by se měla snížit míra opotřebení, a tím i zvýšit životnost kontrolního kola.

Pro náš experiment bylo vyrobeno kolo z materiálu ČSN 41 9830 s následujícími hodnotami:

$m = 2,25 \text{ mm}$ $z = 74$ $b = 29,6 \text{ mm}$ $D = 178,863 \text{ mm}$ $\alpha = 21^{\circ}00'00''$ $\beta = 32^{\circ}00'00''$

Postup výroby:

Nejprve po nařezání materiálu následuje soustružení na požadovaný kruhový polotovar. Na tomto polotovaru se pak vytvoří ozubení pomocí odvalovací frézky. Při frézování se musí nechávat přídavek pro další obrábění. Následuje změření rozměrů a případné jehlení ostrých hran a otřepu. Pak se kontrolní kolo tepelně zpracovává. Proběhne kalení a následné popouštění na sekundární teplotu podle postupu, jenž je uveden v předešlé kapitole (viz kapitola 7.1.2). Po tepelném zpracování je na řadě broušení otvorů a čel, následuje hrubování ozubení na brusce ozubení a nakonec dokončování ozubení.

2.3 Základní hodnoty při měření opotřebení kontrolních kol

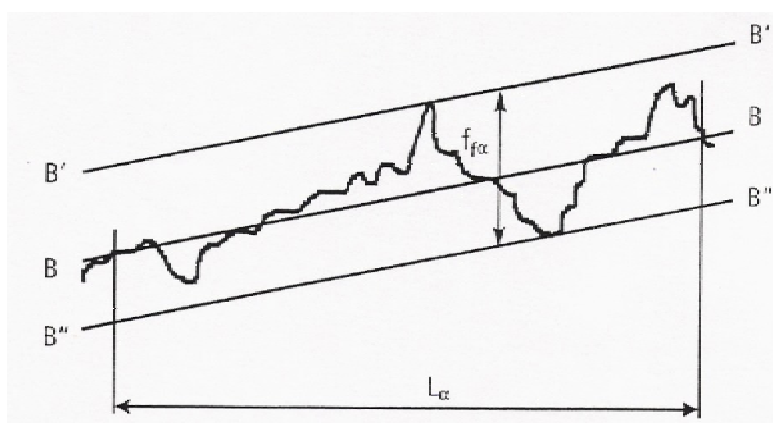
Po uvedení do provozu se u kontrolního kola musí měřit míra opotřebení. Tyto měření opotřebení se provádí na již zmíněných měřících centrech po určitých hodinách odvalování v plném pracovním provozu. K definování velikosti opotřebení slouží základní hodnoty, které měříme na profilu a boku zubu. Hodnoty s indexem α jsou měřeny a jsou závislé na profilu zubu a hodnoty s indexem β jsou měřeny po boku zubu a jsou závislé na úhlu sklonu zubu. Zbylé měřené hodnoty vyjadřují úchylku rozteče kola.

2.3.1 Úchylky profilu

Úchylka tvaru profilu - $f_{f\alpha}$

Úchylka tvaru profilu zubu, je rozdíl mezi dvěma evolventami základní kružnice, která (při zohlednění cílených odchylek od tvaru evolventy) v rámci celkové oblasti vyhodnocování profilu konkrétní profil uzavírá.

Úchylka tvaru profilu zahrnuje také hloubku vlny profilového zvlnění. Grafické znázornění úchylky tvaru profilu ukazuje (Obr.16).



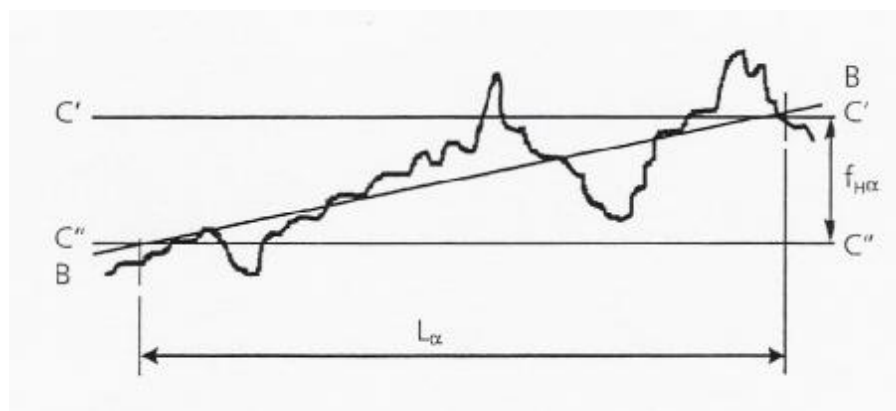
Obr. 16. Úchylka tvaru profilu

$f_{f\alpha}$	úchylka tvaru profilu
L_{α}	oblast vyhodnocování
BB	zprostředkující přímka konkrétní evolventy
B'B', B''B''	uzavírající rovnoběžky ke zprostředkující přímce

Úchylka úhlu profilu – $f_{H\alpha}$

Úchylka úhlu profilu je rozdíl mezi dvěma jmenovitými profily $C'C'$ a $C''C''$, které v bodě počátku a bodě konce celkové oblasti vyhodnocování řežou vyhodnocovaný profil. Úchylka úhlu profilu bývá zpravidla uvedena jako délková míra v μm pro oblast vyhodnocování profilu L_α .

Úchylka úhlu profilu je kladná, když evolventy základní kružnice ve směru stoupajících délek válce oproti jmenovitému profilu na straně bez materiálu stoupají. O zápornou úchylku se jedná, když naopak klesají. Grafické znázornění úchylky úhlu profilu ukazuje (Obr.17).



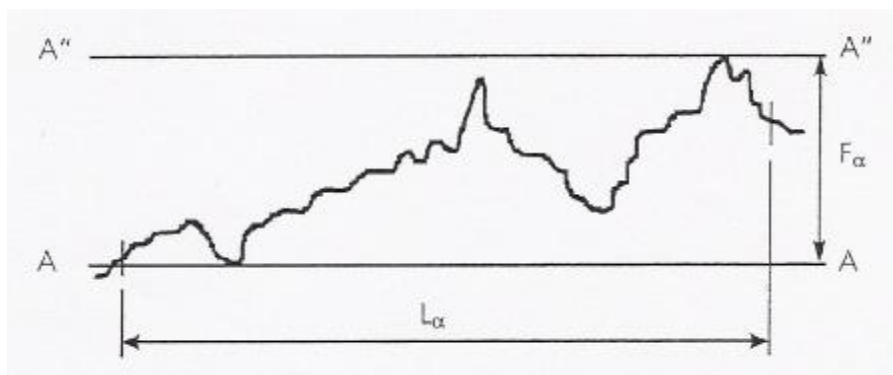
Obr. 17. Úchylka úhlu profilu

$f_{H\alpha}$	úchylka úhlu profilu
L_α	oblast vyhodnocování
BB	zprostředkující přímka konkrétní evolventy
$C'C'$, $C''C''$	jmenovité profily, které bok zubu řežou v bodech počátku a konce

Celková úchylka profilu - F_α

Celková úchylka profilu zubu je rozdíl mezi dvěma jmenovitými profily AA a A"A", které v rámci celkové oblasti vyhodnocování tento zub dotekem uzavírají.

Cílené úchylky od tvaru evolventy jsou zohledněny odpovídajícími odchylkami přímek AA a A"A" od rovnoběžek. Grafické znázornění celkové úchylky profilu ukazuje (Obr.18).



Obr. 18. Celková úchylka profilu

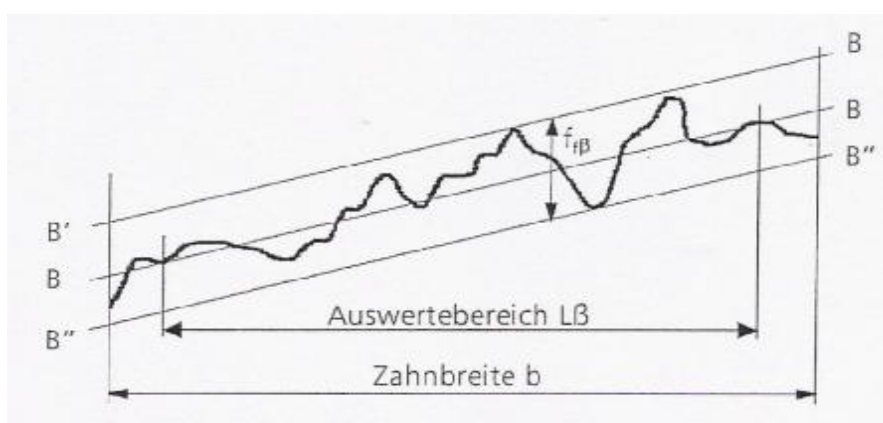
F_α	celková úchylka profilu
L_α	oblast vyhodnocování
AA, A''A''	jmenovité profily, které zub dotykem uzavírají

2.3.2 Úchylky boku zubu

Úchylka tvaru boční linie – $f_{f\beta}$

Úchylka tvaru boční linie zubu je rozdíl mezi dvěma šroubovicemi s konkrétní hodnotou stoupání, které (při zohlednění cílených úchylek od tvaru šroubovice) v rámci celkové oblasti vyhodnocování boční linie konkrétní boční linii dotekem uzavírají.

Úchylka tvaru boční linie zahrnuje také hloubku vlny bočního zvlnění. Grafické znázornění úchylky tvaru boční linie ukazuje (Obr.19).



Obr. 19. Úchylka tvaru boční linie

$f_{f\beta}$	úchylka tvaru boční linie
L_β	oblast vyhodnocování
b	šířka zubu
BB	zprostředkující přímka konkrétní boční linie
$B'B', B''B''$	uzavírající rovnoběžky se zprostředkující přímkou boční linie

Úchylka úhlu boční linie – $f_{H\beta}$

Úchylka úhlu boční linie je rozdíl mezi dvěma jmenovitými bočními liniemi, které v bodě počátku a konce celkové oblasti vyhodnocování řežou šroubovici s konkrétní výškou stoupání. Úchylka úhlu boční linie bývá zpravidla uvedena jako délková míra v μm pro oblast vyhodnocování L_β . Grafické znázornění úchylky tvaru boční linie ukazuje (Obr.20).



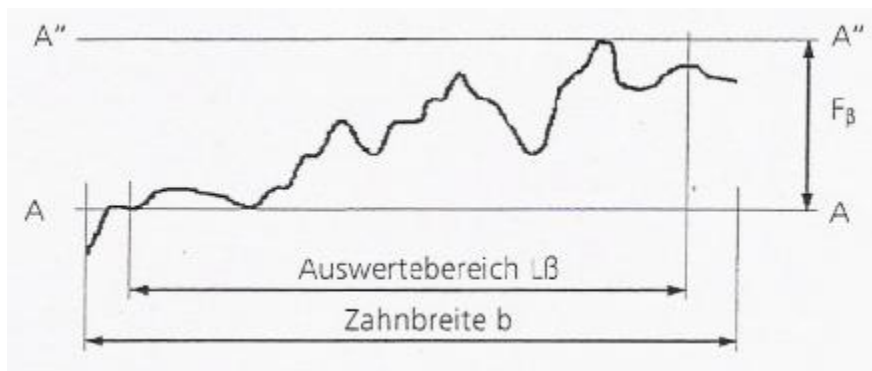
Obr. 20. Úchylka úhlu boční linie

$F_{H\beta}$	úchylka úhlu boční linie
L_β	oblast vyhodnocování
b	šířka zubu
BB	zprostředkující přímka konkrétní boční linie
$C'C', C''C''$	jmenovité profily, které zprostředkující přímku řežou v bodech počátku a konce

Celková úchylka boční linie - F_β

Celková úchylka boční linie je rozdíl mezi dvěma jmenovitými bočními liniemi, které v rámci celé vyhodnocovací oblasti bok zubu dotekem uzavírají.

Cílené úchytky od tvaru šroubovice jsou zohledněny odpovídajícími odchylkami přímkou AA a A“A“ od rovnoběžek. Grafické znázornění úchytky tvaru boční linie ukazuje (Obr.21).



Obr. 21. Celková úchytky boční linie

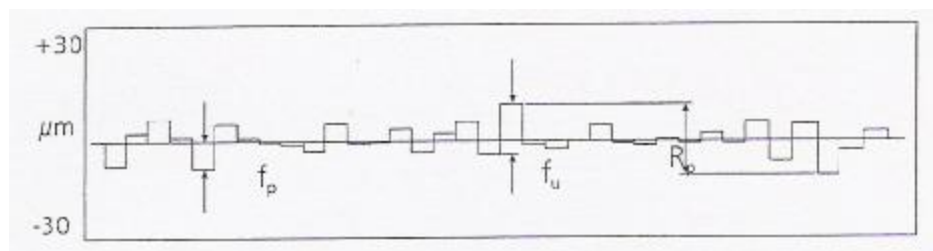
F_{β}	celková úchytky boční linie
L_{β}	oblast vyhodnocování
b	šířka zubu
AA, A“A“	jmenovité profily, které uzavírají dotekem konkrétní bok zubu

2.3.3 Úchytky rozteče

Jednotková úchytky rozteče – f_p

Jednotková úchytky rozteče je rozdíl mezi jmenovitou hodnotou rozteče ozubeného kola a největší naměřenou hodnotou.

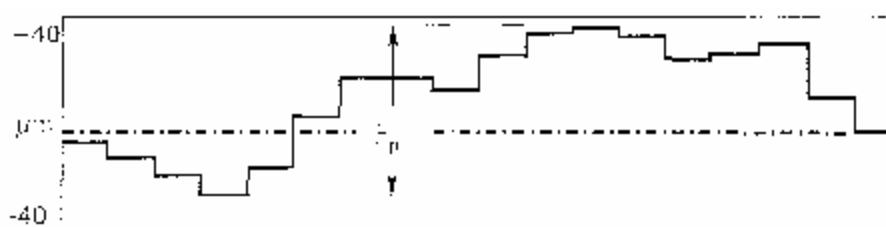
Na jednom ozubeném kole s n zuby existuje n jednotlivých úchytek rozteče pravých a levých boků. Úchytky f_p jsou dány jako rozdíly mezi jednotlivými naměřenými hodnotami a střední hodnotou všech n naměřených hodnot. Grafické znázornění jednotkové úchytky rozteče ukazuje (Obr.22).



Obr. 22. Jednotková úchylka rozteče

Součtová úchylka roztečí - F_p

Součtová úchylka roztečí je difference mezi největší a nejmenší hodnotou součtových úchylek roztečí daného ozubeného kola. Grafické znázornění součtové úchylky roztečí ukazuje (Obr.23).



Obr. 23. Součtová úchylka roztečí

Úchylka roztečí přes 8 zubů - $F_{pz/8}$

Úchylka roztečí přes 8 zubů je největší rozdíl (v míře přes 8 zubů ozubeného kola) mezi jmenovitou (vypočtenou) hodnotou a skutečně naměřenou hodnotou.

Kolísání rozteče - R_p

Kolísání rozteče je rozdíl mezi největší a nejmenší naměřenou hodnotou rozteče pravých nebo levých boků zubů ozubeného kola.

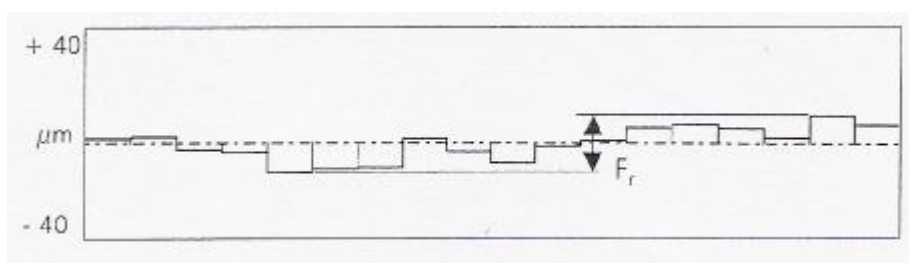
Maximální úchylka sousedních roztečí – f_u

Maximální úchylka sousedních roztečí je rozdíl mezi dvěma konkrétními mírami dvou na ozubeném kole po sobě jdoucích roztečí pravých nebo levých boků zubů ozubeného kola. Maximální úchylky sousedních roztečí jsou dány při měřeních dělení kruhu bezprostředně jako rozdíl naměřených hodnot každých dvou sousedních skoků.

Radiální úchylka házení ozubení - F_r

Radiální úchylka házení ozubení je rozdíl poloh jednoho postupně do všech zubových mezer vkládaného měřicího zkušebního tělíska (koule, válec, kolík), přičemž je ozubené kolo v jeho ose otáčivě uloženo. Úchylka F_r vyjadřuje největší rozdíl mezi naměřenými hodnotami vyskytujícími se na obvodu kola.

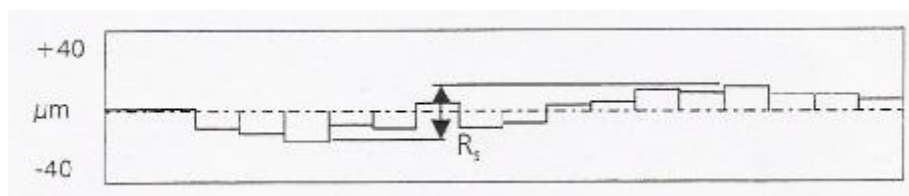
Radiální úchylka házení ozubení je převážně způsobena excentricitou ozubení na svislé úrovni měření k ose kola a nerovnoměrností odchylek roztečí pravých a levých boků zubů. Grafické znázornění úchylky tvaru boční linie ukazuje (Obr.24).



Obr. 24. Jednotková úchylka rozteče

Úchylka tloušťky zubu - R_s

Úchylka tloušťky zubu je rozdíl mezi největší a nejmenší tloušťkou zubu z jednoho ozubeného kola. Grafické znázornění úchylky tvaru boční linie ukazuje (Obr.25).



Obr. 25. Jednotková úchylka rozteče

2.4 Vyhodnocení naměřených hodnot

Po výrobě byla kontrolní kola z materiálů ČSN 41 9830 a ČSN 41 9312 změřena a zařazena do pracovního procesu. Následně byla změřena míra jejich opotřebení po 30 000 zkontrolovaných kusech a u kola z materiálu ČSN 41 9830 ještě po 40 000 zkontrolovaných kusech.

Hodnoty, které byly naměřeny na novém kole z materiálu ČSN 41 9312 můžeme vidět v přílohách (P I) a (P II). Překročené hodnoty, které neodpovídají daným tolerancím, jsou v protokolu zvýrazněny tučným písmem. V protokolech měřených na novém kole neodpovídá předepsaným tolerancím pouze hodnota $F_{H\alpha}$ u 19. zubu, která je překročena o 0,5 μm . Tato nepřesnost se dá ovšem zdůvodnit mikroskopickou nečistotou nebo jinou chybou měření a na celkovou přesnost kontrolního kola to nemá žádný vliv. Následují přílohy, na kterých jsou zobrazeny protokoly vztahující se k novému stavu kola z materiálu ČSN 41 9830. I na těchto protokolech jsou 2 hodnoty překročeny. Jsou to hodnoty $F_{H\alpha}$ a f_{β} u 56. zubu. Ale stejně jako v předchozím případě, ani tato skutečnost nemá na celkovou přesnost kontrolního kola žádný vliv.

Stav po 30 000 zkontrolovaných kusech na kole z materiálu ČSN 41 9312 ukazují přílohy (P V) a (P VI). Je patrné, že kolo je již silně opotřebováno, proto před vrácením do pracovního procesu musí dojít k přebroušení. Všechny měřené úchyly jsou překročeny téměř na všech měřených zubech a také úchyly roztečí neodpovídají požadovaným tolerancím. Naopak u kola z materiálu ČSN 41 9830, jehož stav po 30 000 zkontrolovaných kusech ukazují přílohy (P VII) a (P VIII) vidíme, že jsou pouze mírně překročeny hodnoty úchylek profilu. Všechny zbylé hodnoty odpovídají požadovaným tolerancím, proto není žádný důvod k přebroušení kola. Stav kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 40 000 zkontrolovaných kusech je zobrazen v přílohách (P IX) a (P X). I zde nacházíme již známky velkého opotřebení a překročení všech měřených úchylek. Takto opotřebované kolo se již musí přebrousit.

Výsledky těchto měření tedy dokazují, že kontrolní kolo z materiálu ČSN 41 9830 zkontroluje bez přebroušení 40 000 kusů ozubených kol, kdežto kontrolní kolo z materiálu ČSN 41 9312 se musí přebrousit už po 30 000 zkontrolovaných kusech. Z toho plyne, že kolo z materiálu ČSN 41 9830 má o 1/3 vyšší životnost než kontrolní kolo z materiálu ČSN 41 9312.

2.5 Ekonomické zhodnocení výsledků

Prokázalo se, že kontrolní kola z materiálu ČSN 41 9830 má o 1/3 vyšší životnost než kontrolní kolo z materiálu ČSN 41 9312. Co to však znamená pro ekonomickou stránku dané problematiky se prokáže na praktickém příkladu:

Cena na výrobu kontrolního kola z materiálu ČSN 41 931212 830 Kč

Cena na výrobu kontrolního kola z materiálu ČSN 41 983014 160 Kč

Náklady na přebroušení činí zhruba 75% původní ceny:

Cena na přebroušení kontrolního kola z materiálu ČSN 41 93129 623 Kč

Cena na přebroušení kontrolního kola z materiálu ČSN 41 983010 620 Kč

Každé kontrolní kolo se před vyřazením z provozu smí přebrousit 2x. Celkové náklady na výrobu a přebroušení tedy jsou:

Pro materiál ČSN 41 9312: $12830 + 2 \cdot 9623 = 32076$ Kč

Pro materiál ČSN 41 9830: $14160 + 2 \cdot 10620 = 35400$ Kč

Například firma ŠKODA Auto a.s. nakoupí za rok 4 stejná kontrolní kola z materiálu ČSN 41 9312 o určitém modulu. Cena za tyto kola bude:

$$4 \cdot 32076 = 128304 \text{ Kč}$$

Pokud si však koupí kontrolní kola o stejném modulu z materiálu ČSN 41 9830, budou firmě ŠKODA Auto a.s. díky větší životnosti tohoto materiálu stačit pouze 3 kola a cena tedy bude:

$$3 \cdot 35400 = 106200 \text{ Kč}$$

Úspora bude činit: $106200 - 128304 = 22104$ Kč

Firma ŠKODA Auto a.s. za rok koupí 20 kontrolních kol z materiálu ČSN 41 9312 s různým druhem modulu. Každé z nich kupuje za rok 4x. Pokud nakoupí kontrolní kola z materiálu ČSN 41 9830, celková úspora na zakoupených kontrolních kolech za celý rok bude činit:

$$22104 \cdot 20 = \underline{\underline{442080 \text{ Kč}}}$$

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížení problematiky výroby, zpracování a měření kontrolních kol pro ozubená kola. Součástí této práce je také návrh kontrolního kola, které dosahuje vyšší životnosti než kola z materiálu doposud používaného k jejich výrobě. Práce byla rozdělena do dvou částí. První část byla teoretická a čerpala z dostupné literatury k danému tématu. Zejména je kladen důraz na materiály, ze kterých se kontrolní kola vyrábí, jejich vlastnosti a tepelné zpracování. Nedílnou součástí je také popis způsobů, kterými se tyto materiály obrábí a technologických metod, kterými se kontrolní kola dokončují. Druhá, experimentální část se skládá z návrhu kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830, popisu základních hodnot používaných při měření opotřebení kontrolních kol. Poslední pasáž experimentální části obsahuje srovnání naměřených hodnot opotřebení kontrolních kol z materiálu ČSN 41 9312, ČSN 41 9830 a jejich ekonomické zhodnocení. Z dosažených výsledků vyplývá, že navržený materiál ČSN 41 9830 má po uvedení do pracovního procesu o 1/3 vyšší životnost než materiál ČSN 41 9312, který je k výrobě kontrolních kol běžně používán. Můžeme tedy konstatovat, že nahrazení kontrolních kol vyráběných doposud z nástrojové oceli kontrolními koly z oceli rychlořezné by vedlo k úsporám nákladů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Ptáček, L. a kol.: Nauka o materiálu II. CERM, Brno, 2002. ISBN 80-7204-130-4
- (2) Mikovec, M. a kol.: Obrábění těžkoobrobitelných materiálů. SNTL, Praha, 1963. DT 621.9.014.2/.4
- (3) Černý, F., Trmal, J., Maršálek, J.: Brusky a broušení. SNTL, Praha, 1970. DT 621.924
- (4) Békes, J., Čelko, R., Červený, L., Hauser, J., Herbanský, L., Kissóczy, Š., Lipták, O., Nebeský, J.: Obrábanie kovov. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Bratislava, 1962. DT 621.91.05
- (5) Pernikář, J.: Technická měření. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2002.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>Symbol</i>	<i>Název</i>	<i>Jednotky</i>
m	modul ozubeného kola	[mm]
z	počet zubů ozubeného kola	
D	průměr roztečné kružnice	[mm]
b	šířka ozubeného kola	[mm]
α	úhel záběru ozubeného kola	[°]
β	úhel sklonu zubu ozubeného kola	[°]
$f_{f\alpha}$	úchylka tvaru profilu	[μm]
$F_{H\alpha}$	úchylka úhlu profilu	[μm]
F_{α}	celková úchylka profilu	[μm]
$f_{f\beta}$	úchylka tvaru boční linie	[μm]
$F_{H\beta}$	úchylka úhlu boční linie	[μm]
F_{β}	celková úchylka boční linie	[μm]
L_{α}	oblast vyhodnocování profilu zubu	[mm]
L_{β}	oblast vyhodnocování boční linie zubu	[mm]
BB	zprostředkující přímka	
B'B', B"B"	uzavírající rovnoběžky ke zprostředkující přímce	
C'C', C"C", AA, A"A"	jmenovité profily, které jsou využívány k ohraničení měřených oblastí	
f_p	jednotková úchylka rozteče	[μm]
F_p	součtová úchylka roztečí	[μm]

$F_{pz/8}$	úchylka roztečí přes 8 zubů	[μm]
R_p	kolísání rozteče	[μm]
f_u	maximální úchylka sousedních roztečí	[μm]
F_r	radiální úchylka házení ozubení	[μm]
R_s	úchylka tloušťky zubu	[μm]
t_b	základní rozteč	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Posuvné měřítko na měření tloušťky zubu.....	8
Obr. 2. Univerzální tangenciální zuboměr na měření konstantní tloušťky zubu.....	9
Obr. 3. Talířový mikrometr.....	9
Obr. 4. Měření tloušťky zubu přes válečky.....	9
Obr. 5. Třídítkové měřidlo základní rozteče	10
Obr. 6. Schéma přístroje Maag na kontrolu evolventy.....	11
Obr. 7. Kontrola házivosti úchylkoměrem s kuličkovým dotykem	12
Obr. 8. Přístroj na zkoušení záběru čelních ozubených kol	12
Obr. 9. Univerzální přístroj na měření šnekového soukolí.....	13
Obr. 10. Přístroj na kontrolu ozubených kol odvalováním (MAAG).....	14
Obr. 11. Princip frézování ozubení odvalováním	20
Obr. 12. Princip frézování ozubení dělicím způsobem.....	20
Obr. 13. Princip broušení dělicím způsobem.....	21
Obr. 14. Příklady měření tvaru evolventy sondou na měřícím centru.....	22
Obr. 15. Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě	25
Obr. 16. Úchylka tvaru profilu	27
Obr. 17. Úchylka úhlu profilu	28
Obr. 18. Celková úchylka profilu	29
Obr. 19. Úchylka tvaru boční linie.....	29
Obr. 20. Úchylka úhlu boční linie.....	30
Obr. 21. Celková úchylka boční linie.....	31
Obr. 22. Jednotková úchylka rozteče	32
Obr. 23. Součtová úchylka roztečí.....	32
Obr. 24. Jednotková úchylka rozteče	33
Obr. 25. Jednotková úchylka rozteče	33

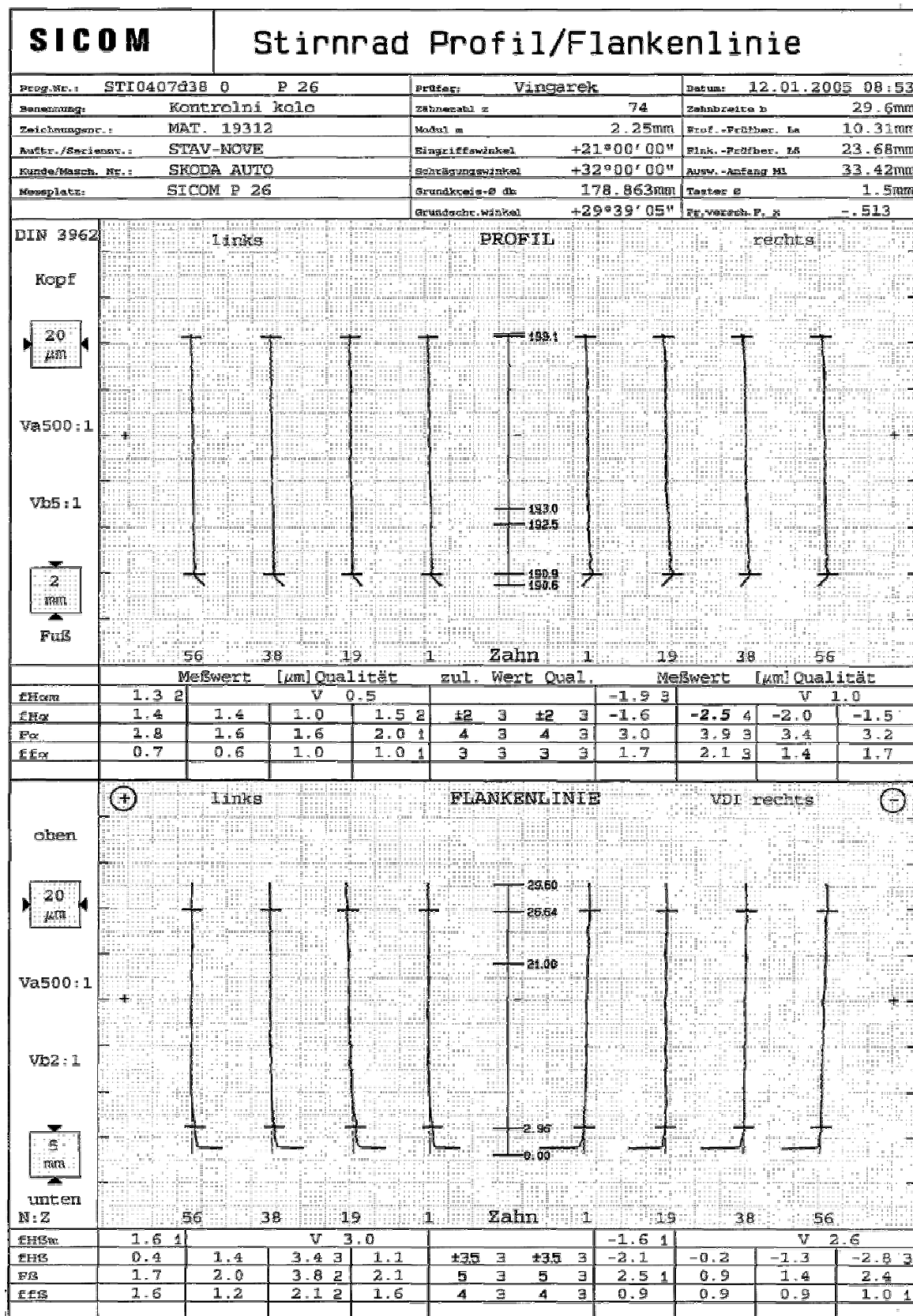
SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Způsoby tepelného zpracování cementační oceli ČSN 41 4220.....	15
Tabulka II. Způsoby tepelného zpracování nástrojové oceli ČSN 41 9312.....	18
Tabulka III. Způsoby tepelného zpracování rychlořezné oceli ČSN 41 9830.....	24

SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312.
- P 2 Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 – rozteče.
- P 3 Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830.
- P 4 Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 – rozteče.
- P 5 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 po 30000 kusů.
- P 6 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 po 30000 kusů – rozteče.
- P 7 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 30000 kusů.
- P 8 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 30000 kusů – rozteče.
- P 9 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 40000 kusů.
- P 10 Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 40000 kusů – rozteče.

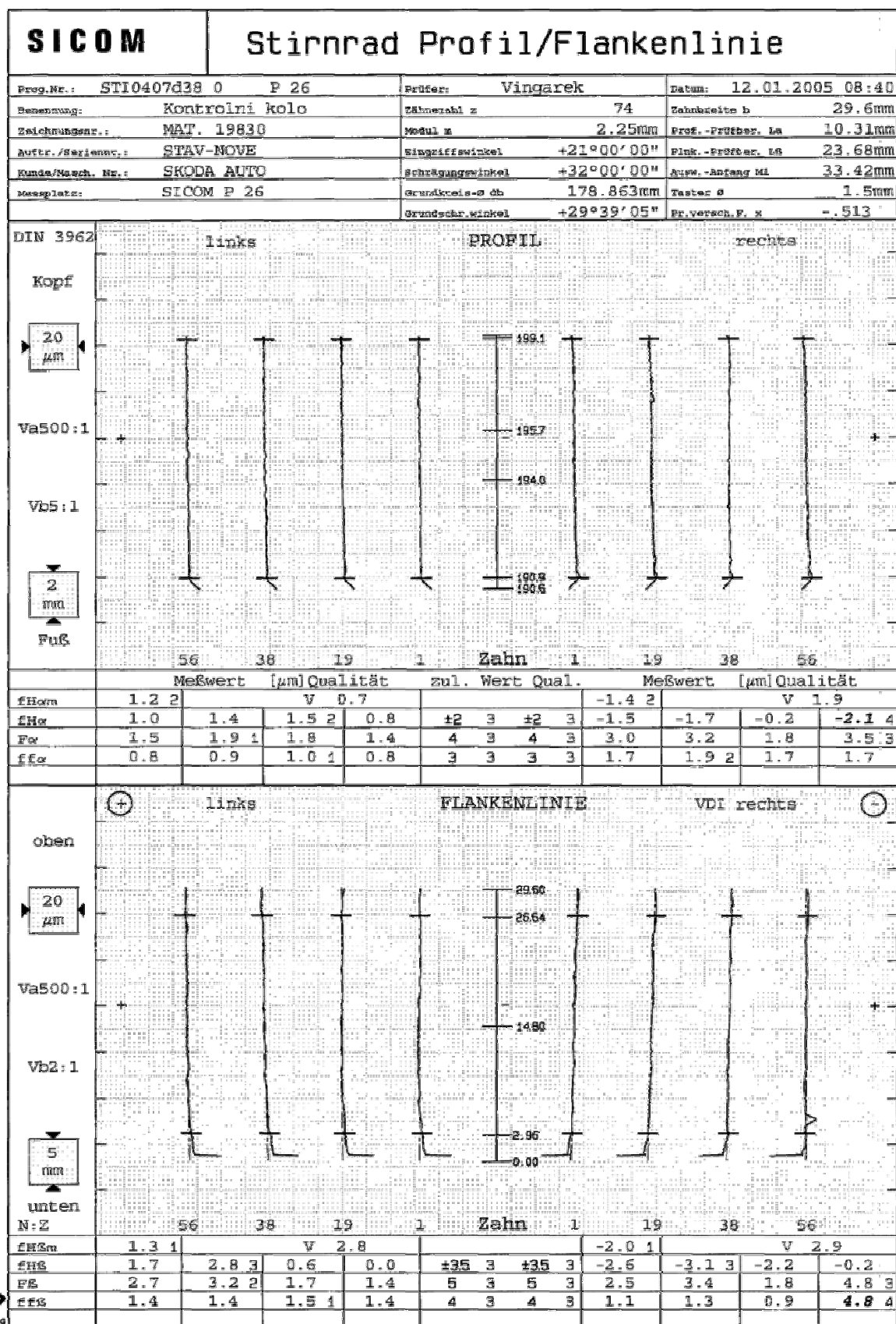
P 1 : Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312



P 2 : Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 – rozteče

SICOM		Stirnrad Teilung																																																																
Frog.Nr.: STI0407d38 0 P 26		Prüfer: Vingarek	Datum: 12.01.2005 08:53																																																															
Benennung: Kontrolni kolo		Zähnezahl z 74	Eingriffswinkel +21°00'00"																																																															
Zeichnungsart.: MAT. 19312		Modul m 2.25mm	Schraubungswinkel +32°00'00"																																																															
Auftr./SerienNr.: STAV-NOVE		Messplatz: SICOM P 26																																																																
Kunde/Masch. Nr.: SKODA AUTO																																																																		
DIN 3962 Teilungs-Einzelabweichungen fp linke Flanke																																																																		
DIN 3962 Teilungs-Summenabweichungen Fp linke Flanke																																																																		
DIN 3962 Teilungs-Einzelabweichungen fp rechte Flanke																																																																		
DIN 3962 Teilungs-Summenabweichungen Fp rechte Flanke																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">linke Flanke</th> <th colspan="4">rechte Flanke</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Meßwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> <th>Meßwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max</td> <td>1.6</td> <td>2</td> <td>3.0</td> <td>3</td> <td>1.8</td> <td>2</td> <td>3.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>gr. Teilungssprung fu max</td> <td>1.8</td> <td>1</td> <td>3.5</td> <td>3</td> <td>2.5</td> <td>2</td> <td>3.5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungsschwankung Fp</td> <td>2.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Gesamtabweichung Fp</td> <td>7.0</td> <td>2</td> <td>12.0</td> <td>3</td> <td>4.7</td> <td>1</td> <td>12.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Summenabweichung Fpz/R</td> <td>3.8</td> <td>1</td> <td>7.0</td> <td>3</td> <td>3.9</td> <td>1</td> <td>7.0</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>					linke Flanke				rechte Flanke					Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max	1.6	2	3.0	3	1.8	2	3.0	3	gr. Teilungssprung fu max	1.8	1	3.5	3	2.5	2	3.5	3	Teilungsschwankung Fp	2.6				3.1				Teilungs-Gesamtabweichung Fp	7.0	2	12.0	3	4.7	1	12.0	3	Teilungs-Summenabweichung Fpz/R	3.8	1	7.0	3	3.9	1	7.0	3
	linke Flanke				rechte Flanke																																																													
	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.																																																										
gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max	1.6	2	3.0	3	1.8	2	3.0	3																																																										
gr. Teilungssprung fu max	1.8	1	3.5	3	2.5	2	3.5	3																																																										
Teilungsschwankung Fp	2.6				3.1																																																													
Teilungs-Gesamtabweichung Fp	7.0	2	12.0	3	4.7	1	12.0	3																																																										
Teilungs-Summenabweichung Fpz/R	3.8	1	7.0	3	3.9	1	7.0	3																																																										
DIN 3962 Rundlauf Fr																																																																		
Rundlaufabweichung Fr		7.7	3	6.0	3																																																													
Zahndickenschwankung Fz																																																																		

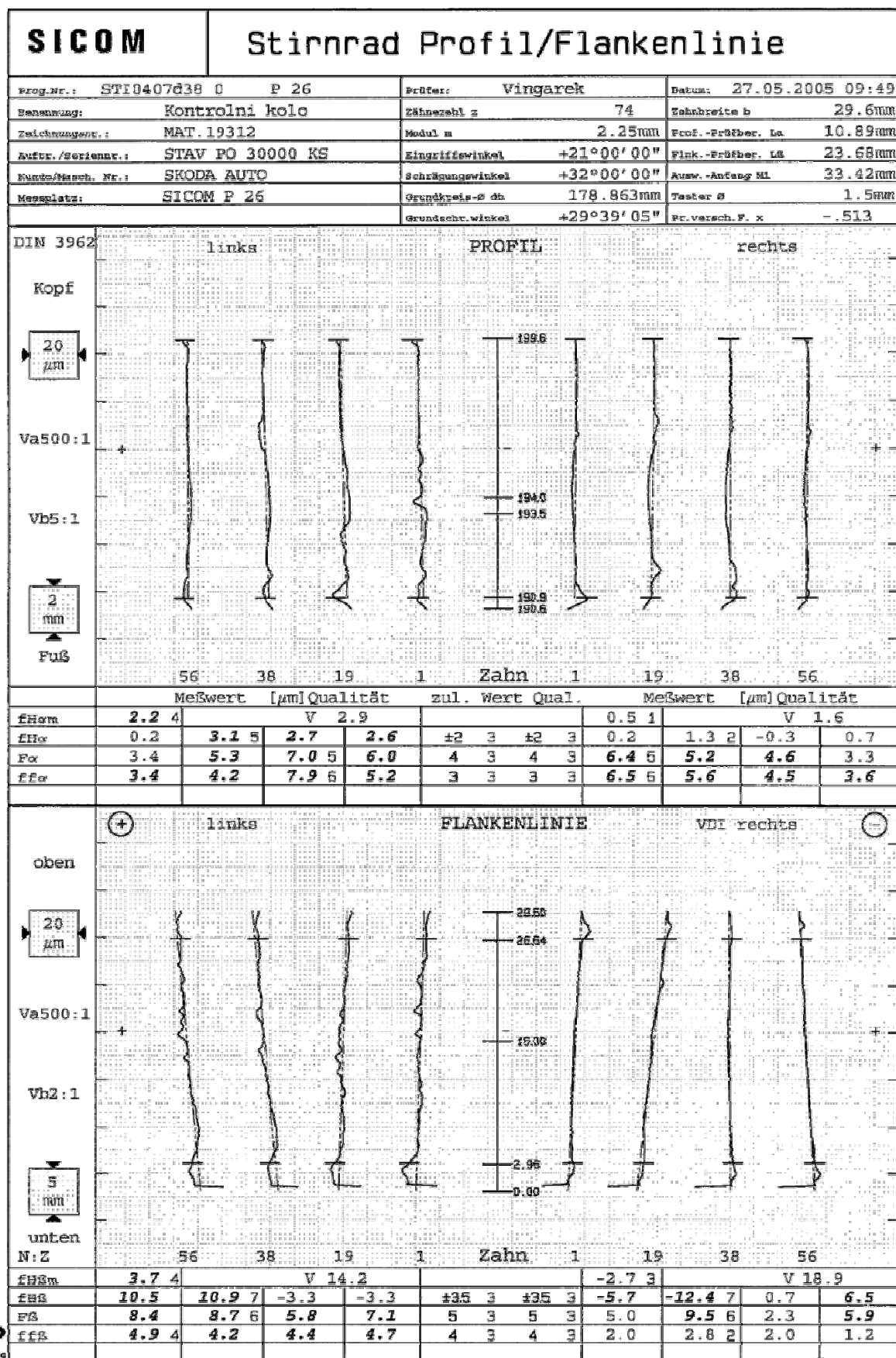
P 3 : Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830



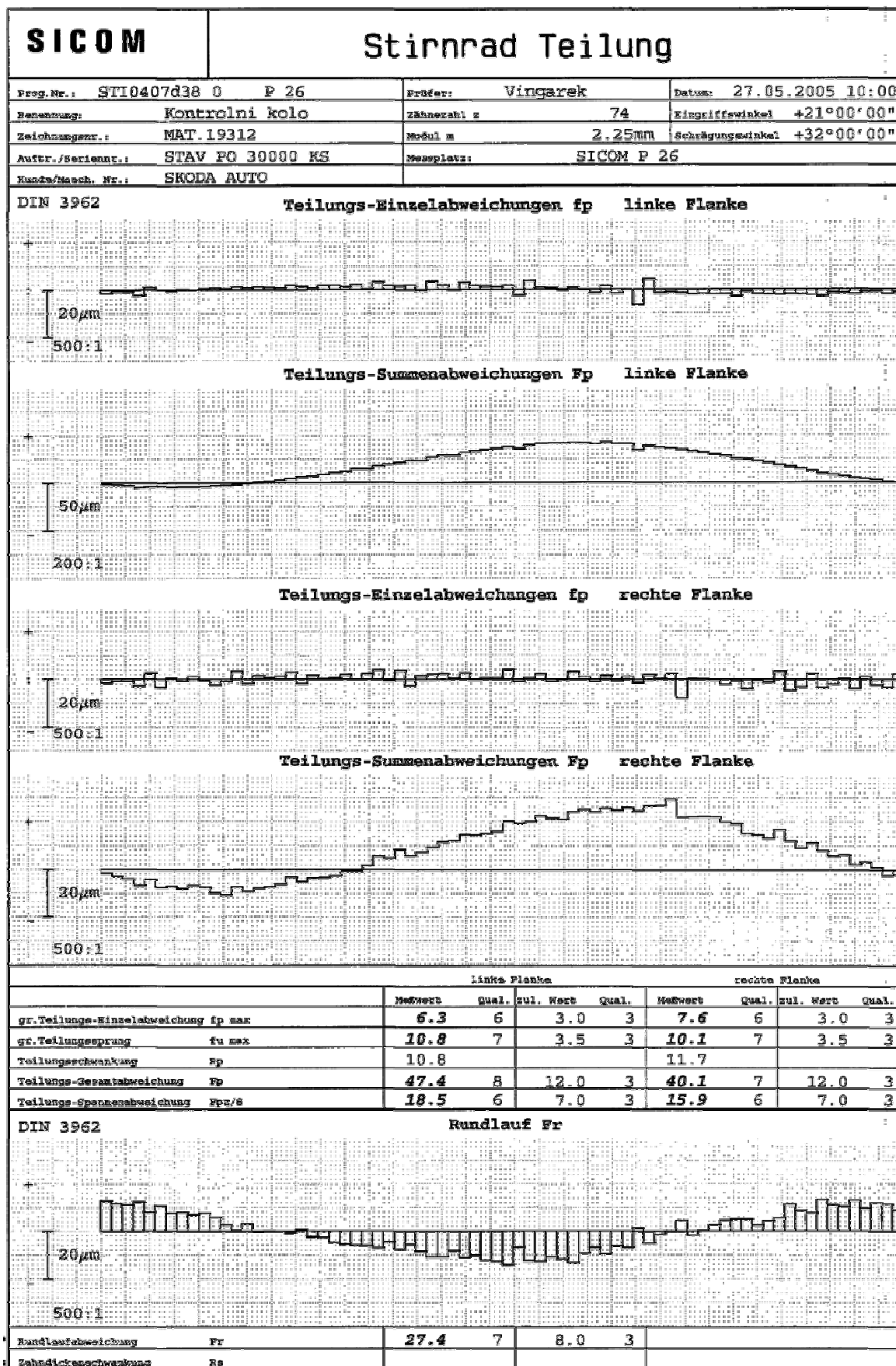
P 4 : Protokol nového kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 – rozteče

SICOM		Stirnrad Teilung																																																																	
Prog.Nr.: STI0407d38 0 P 26		Prüfer: Vingarek		Datum: 12.01.2005 08:40																																																															
Benennung: Kontrolni kolo		Zähnezahl z 74		Eingriffswinkel +21°00'00"																																																															
Zeichnungsnr.: MAT. 19830		Modul m 2.25mm		Schrägungswinkel +32°00'00"																																																															
Auftr./Serienr.: STAV-NOVE		Messplatz: SICOM P 26																																																																	
Kunde/Masch. Nr.: SKODA AUTO																																																																			
DIN 3962 Teilungs-Einzelabweichungen fp linke Flanke																																																																			
Teilungs-Summenabweichungen fp linke Flanke																																																																			
Teilungs-Einzelabweichungen fp rechte Flanke																																																																			
Teilungs-Summenabweichungen fp rechte Flanke																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">linke Flanke</th> <th colspan="4">rechte Flanke</th> </tr> <tr> <th>Meßwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> <th>Meßwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max</td> <td>1.8</td> <td>2</td> <td>3.0</td> <td>3</td> <td>1.9</td> <td>2</td> <td>3.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>gr. Teilungsprung fu max</td> <td>2.7</td> <td>3</td> <td>3.5</td> <td>3</td> <td>2.9</td> <td>3</td> <td>3.5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungsschwankung Rp</td> <td>3.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Gesamtabweichung Fp</td> <td>7.9</td> <td>2</td> <td>12.0</td> <td>3</td> <td>6.2</td> <td>2</td> <td>12.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Spannabweichung Fp/B</td> <td>4.1</td> <td>2</td> <td>7.0</td> <td>3</td> <td>3.7</td> <td>1</td> <td>7.0</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>							linke Flanke				rechte Flanke				Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max	1.8	2	3.0	3	1.9	2	3.0	3	gr. Teilungsprung fu max	2.7	3	3.5	3	2.9	3	3.5	3	Teilungsschwankung Rp	3.6				3.6				Teilungs-Gesamtabweichung Fp	7.9	2	12.0	3	6.2	2	12.0	3	Teilungs-Spannabweichung Fp/B	4.1	2	7.0	3	3.7	1	7.0	3
	linke Flanke				rechte Flanke																																																														
	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Meßwert	Qual.	zul. Wert	Qual.																																																											
gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max	1.8	2	3.0	3	1.9	2	3.0	3																																																											
gr. Teilungsprung fu max	2.7	3	3.5	3	2.9	3	3.5	3																																																											
Teilungsschwankung Rp	3.6				3.6																																																														
Teilungs-Gesamtabweichung Fp	7.9	2	12.0	3	6.2	2	12.0	3																																																											
Teilungs-Spannabweichung Fp/B	4.1	2	7.0	3	3.7	1	7.0	3																																																											
DIN 3962 Rundlauf Fr																																																																			
Rundlaufabweichung Fr		7.2	3	8.0	3																																																														
Zahndickenabweichung Ra																																																																			

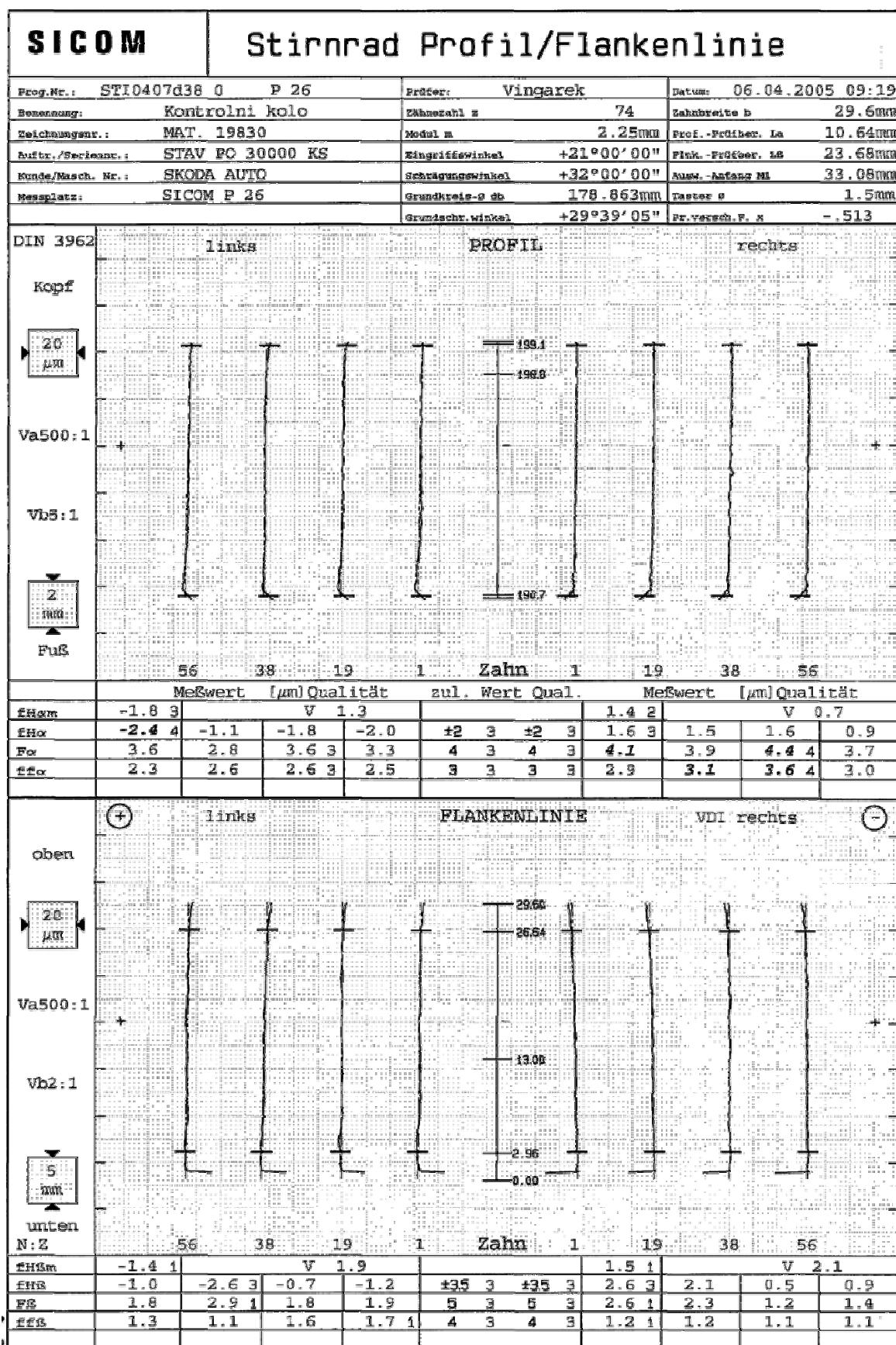
P 5 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 po 30000 kusů



P 6 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9312 po 30000 kusů – rozteče



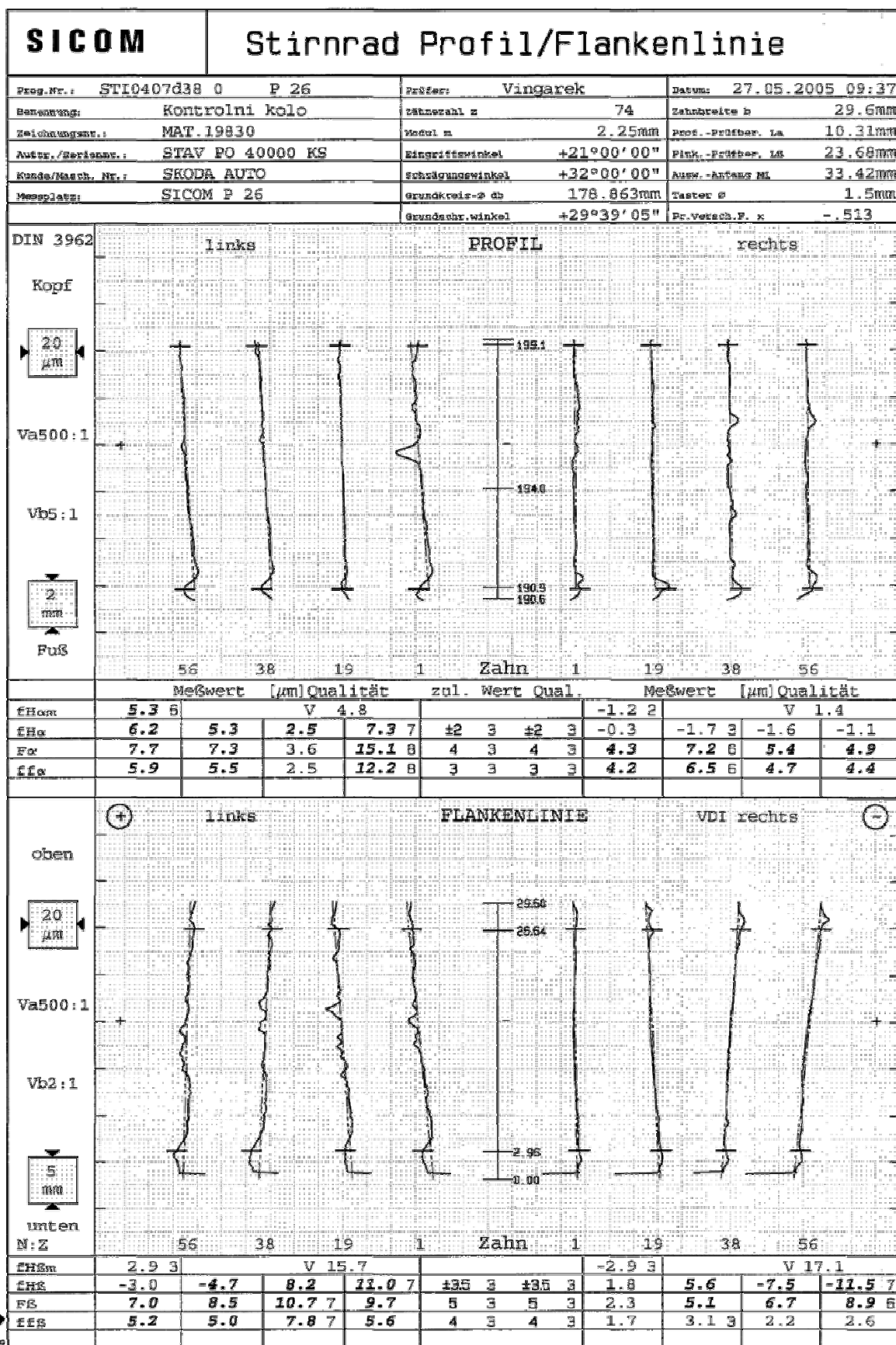
P 7 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 30000 kusů



P 8 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 30000 kusů - rozteče

SICOM		Stirnrad Teilung																																																																									
Prog. Nr.: STI0407d38 0 P 26		Prüfer: Vingarek		Datum: 06.04.2005 09:19																																																																							
Benennung: Kontrolni kolo		Zählzahl: 74		Eingriffswinkel +21°00'00"																																																																							
Zeichnungsnr.: MAT. 19830		Modul m: 2.25mm		Schrägungswinkel +32°00'00"																																																																							
Auftr./Serienr.: STAV PO 30000 KS		Messplatz: SICOM P 26																																																																									
Kunde/Masch. Nr.: SKODA AUTO																																																																											
DIN 3962 Teilungs-Einzelabweichungen fp linke Flanke																																																																											
Teilungs-Summenabweichungen fp linke Flanke																																																																											
Teilungs-Einzelabweichungen fp rechte Flanke																																																																											
Teilungs-Summenabweichungen fp rechte Flanke																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">linke Flanke</th> <th colspan="4">rechte Flanke</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Messwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> <th>Messwert</th> <th>Qual.</th> <th>zul. Wert</th> <th>Qual.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max</td> <td></td> <td>1.2</td> <td>1</td> <td>3.0</td> <td>3</td> <td>1.8</td> <td>2</td> <td>3.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>gr. Teilungsprung</td> <td>fu max</td> <td>2.1</td> <td>2</td> <td>3.5</td> <td>3</td> <td>2.3</td> <td>2</td> <td>3.5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungsschwankung</td> <td>fp</td> <td>2.3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Gesamtabweichung</td> <td>fp</td> <td>3.3</td> <td>1</td> <td>12.0</td> <td>3</td> <td>7.3</td> <td>2</td> <td>12.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Teilungs-Spannenabweichung</td> <td>fpz/s</td> <td>2.2</td> <td>1</td> <td>7.0</td> <td>3</td> <td>3.8</td> <td>1</td> <td>7.0</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>								linke Flanke				rechte Flanke						Messwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Messwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max		1.2	1	3.0	3	1.8	2	3.0	3	gr. Teilungsprung	fu max	2.1	2	3.5	3	2.3	2	3.5	3	Teilungsschwankung	fp	2.3				3.0				Teilungs-Gesamtabweichung	fp	3.3	1	12.0	3	7.3	2	12.0	3	Teilungs-Spannenabweichung	fpz/s	2.2	1	7.0	3	3.8	1	7.0	3
		linke Flanke				rechte Flanke																																																																					
		Messwert	Qual.	zul. Wert	Qual.	Messwert	Qual.	zul. Wert	Qual.																																																																		
gr. Teilungs-Einzelabweichung fp max		1.2	1	3.0	3	1.8	2	3.0	3																																																																		
gr. Teilungsprung	fu max	2.1	2	3.5	3	2.3	2	3.5	3																																																																		
Teilungsschwankung	fp	2.3				3.0																																																																					
Teilungs-Gesamtabweichung	fp	3.3	1	12.0	3	7.3	2	12.0	3																																																																		
Teilungs-Spannenabweichung	fpz/s	2.2	1	7.0	3	3.8	1	7.0	3																																																																		
DIN 3962 Rundlauf Fr																																																																											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Rundlaufabweichung</td> <td>Fr</td> <td>7.5</td> <td>3</td> <td>8.0</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schadikenschwankung</td> <td>Fs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Rundlaufabweichung	Fr	7.5	3	8.0	3					Schadikenschwankung	Fs																																																										
Rundlaufabweichung	Fr	7.5	3	8.0	3																																																																						
Schadikenschwankung	Fs																																																																										

P 9 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 40000 kusů



P 10 : Protokol kontrolního kola z materiálu ČSN 41 9830 po 40000 kusů – rozteče

