

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza nestálosti rozměrů broušeného dílce

Autor: **Bc. Jaroslav Habich**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav ZETEK, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji panu Ing. Miroslav ZETEK, Ph.d. za cenné rady při zpracovávání této práce a dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiří LEXA a panu Ing. Zdeněk ŠPINAR za odborné konzultace a rady k řešenému problému. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za bezmeznou podporu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Habich	Jméno Jaroslav	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetek, Ph.D.	Jméno Miroslav	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Analýza příčin nestálosti rozměrů broušeného dílce		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	72	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje analýzu výrobního procesu dílce pro špatné výsledky Cp a Cpk. V práci je stručně popsána výroba od oboustranného broušení až ke kontrole. Analýza je provedená na základě předem určených možných příčin.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Oboustranné rovinné broušení, hodnocení způsobilosti procesů, regulační diagramy, Ishikawa diagram, karbidonitridace,

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Habich	Name Jaroslav	
FIELD OF STUDY	2303T004“ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zetek, Ph.D.	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Analysis of the causes of instability dimensional grinding parts		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	72	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis contains an analysis of process components for the poor results of C_p and C_{pk} . This paper briefly described the production of double-sided grinding up to checking. The analysis is performed using predetermined possible causes.
KEY WORDS	Double-sided surface grinding, the evaluation process capability, control charts, Ishikawa diagram, carbonitriding,

Obsah

Obsah.....	6
1 Úvod.....	9
2 Představení firmy Kern-Liebers spol. s r.o.....	10
2.1 Řešený díl „L“.....	11
3 Teoretická část.....	12
3.1 Broušení.....	12
3.1.1 Mechanismus tvorby třísky při broušení.....	13
3.1.2 Rozdělení broušení.....	14
3.1.3 Nástroje – brusné kotouče.....	14
Brusný kotouč je tvořen směsí brusiva a pojiva zformované do požadovaného tvaru.....	14
3.1.4 Oboustranné rovinné broušení.....	17
3.2 Tepelné zpracování pomocí dusíku.....	22
3.2.1 Nitridace.....	22
3.2.2 Karbonitridace:.....	22
3.3 Automatická kontrola.....	23
3.4 Zjišťování příčin problémů.....	23
3.4.1 Diagram příčin a následků-„Išikawův“diagram.....	24
3.4.2 Kontrolní tabulka-záznamník dat, kontrolní formuláře.....	25
3.4.3 Histogram-rozdělení četnosti.....	25
3.4.4 Paretův diagram (Pareto chart)-Paretova analýza.....	26
3.4.5 Korelační diagram-bodový graf(Scatter diagram),regulační a korelační analýza.....	27
3.4.6 Vývojový diagram-Flow chart.....	27
3.4.7 Regulační diagram-Control Chart.....	28
4 Způsobilost procesu.....	28
4.1 Hodnocení procesu pomocí Cp a Cpk.....	29
4.1.1 Index způsobilosti Cp.....	30
4.1.2 Index způsobilosti Cpk.....	31
4.1.3 Stanovení směrodatné odchylky a střední hodnoty.....	32
4.1.4 Kombinace indexů způsobilosti Cp a Cpk.....	33
4.1.5 Doporučený postup k určení indexů způsobilosti [13].....	34
4.2 Problémy se stanovováním indexů způsobilosti.....	34
4.3 Hodnocení výrobního procesu při nenormálním rozdělení.....	35
5 Výroba dílu – praktická část.....	40
5.1 Příjem materiálu.....	40
5.2 Lisování.....	40
5.3 Kalení.....	41
5.4 Praní.....	41
5.5 Popouštění.....	41
5.6 Broušení.....	41
5.7 Vyhrubování.....	42
5.8 Omílání.....	42
5.9 Karbonitridace.....	43
5.10 Kontrola.....	43
6 Analyzování možných příčin nestálosti rozměrů.....	44
7 Rozbor jednotlivých částí diagramu.....	45

7.1	Lidé	45
7.1.1	Kontrola dílů během broušení	45
7.1.2	Volba korekce	46
7.2	Metody	51
7.2.1	Vyhodnocování Cp a Cpk	51
7.2.2	Čistota dílu	53
7.3	Prostředí.....	54
7.3.1	Teplota okolí.....	54
7.3.2	Vibrace od okolních strojů.....	56
7.4	Materiál	57
7.4.1	Vnitřní pnutí.....	57
7.4.2	Změna rozměru po karbonitridaci.....	59
7.5	Zařízení	62
7.5.1	Měřicí zařízení	62
7.5.2	Brusný kotouč	62
8	Ekonomické zhodnocení.....	63
9	Závěr	65
	Zdroje:	68
	Seznam obrázků.....	70
	Seznam tabulek.....	70
	Seznam grafů	71
	PŘÍLOHA č. 1	72

mm.....milimetr jednotka délkového rozměru $1\text{mm} = 0,001\text{m}$
 μmmikrometr jednotka délkového rozměru $1\ \mu\text{m} = 0,001\text{mm}$
 m^2 metr čtvereční plošná jednotka
mil.zkratka milion
 $^{\circ}\text{C}$stupeň Celsia – jednotka teploty
 γ_nnormálový úhel ostří
 r_npoloměr zaoblení ostří
 h_pvrstva ovlivněná plastickou deformací při obrábění - mm
 h_evrstva ovlivněná pružnou deformací při obrábění- mm
SK.....slinutý karbid
HRC.....jednotka tvrdosti Rockwell C- diamantový kužel 120°
HV.....jednotka tvrdosti Vickers
N.....jednotka síly Newton
daN..... jednotka síly - $1\ \text{daN} = 10\ \text{N}$
LSL.....dolní stanovená mez – Lower Set Limit
USL.....horní stanovená mez – Upper Set Limit
LCL..... dolní toleranční mez – Lower Control Limit
UCL..... horní toleranční mez – Upper ControlLimit
 σ směrodatná odchylka
 \bar{x}střední hodnota – také značená jako aritmetický průměr
 \bar{x} aritmetický průměr
 X_ijmenovitá hodnota
N.....počet hodnot
i.....index jmenovité hodnoty
 C_pprvní index způsobilosti – Capability Process
 C_{pk} druhý index způsobilosti – Capability Process
 P_pprvní index výkonnosti výroby - Process Performance
 P_{pk}druhý index výkonnosti výroby - Process Performance
Me.....medián
 $U_{0,99865}$horní kvantil
 $L_{0,00135}$dolní kvantil
 πmatematická konstanta – $\pi = 3,14$
e.....matematická konstanta - Eulerovo číslo = 2,718
 R_emez kluzu [Mpa]
 R_mpevnost v tahu [Mpa]
Mpa.....megapaskal - jednotka tlaku, napětí
A.....tažnost [%]
Q.....počet zkontrolovaných dílů za hodinu
T.....čas potřebný pro kontrolu vrácených dílů
 T_kčas na kontrolu kusu
 N_vnáklady na kontrolu vrácených dílů
 $N_{\check{c}}$náklady na čištění dílů
 N_snáklady na stroj
 N_dnáklady na výrobu jednoho dílu
 N_pnáklady na praní jednoho dílu

1 Úvod

„Kdybych měl 8 hodin na pokácení stromu, 6 bych strávil broušením sekery.“ Tento citát kdysi řekl jeden z nejvýznamnějších Amerických prezidentů Abraham Lincoln (1809-1865).[1] Nadčasově tak řekl, jak je důležité být připravený a mít kvalitní vybavení, protože v dnešní době to platí stále více. Současná výroba ve strojírenství, a nejen v něm, se stala závodem, který vyhraje jen ti nejsilnější, tedy ti, kteří nečekají a snaží se svou konkurenci předejít. Firmy mají dnes spoustu možností jak své postupy a výrobu neustále zlepšovat a zdokonalovat. Možnosti zvyšují nové materiály, modernější stroje, nástroje, technologie, nepřehledná množství informací a materiálů jednoduše dostupných a vedoucích ke zkvalitnění výroby a další možnosti. K úspěchu vede jak zvolení vhodné technologie výroby a vhodných materiálů, ale tak i kvalitní a svědomití zaměstnanci, kteří budou dbát na dodržování postupů, či upozorňovat na chyby. Další cestou k úspěchu je neustálé sledování výrobního procesu a předcházení vadám a chybám výroby, které může způsobovat jak technický tak i lidský faktor. K hodnocení výrobních procesů pro jeho následné zlepšování dnes existuje široká škála navržených postupů a metod. Cílem těchto sledovacích metod a postupů je odhalit slabé místo a případně se pokusit o nápravu.

Cílem této práce je analyzovat výrobu broušeného dílu „L“, který vyrábí firma Kern-Liebers spol. s r.o. v Českých Budějovicích pro automobilový průmysl. Řešeným problémem je, že při hodnocení tloušťky, vykazují hodnoty špatné výsledky způsobilosti procesu. Jednoduše hodnota tloušťky dílu je značně kolísavá.

V práci bude posouzena výroba dílu s cílem odhalení činitelů, které mají vliv na nestálost konečné tloušťky a případný návrh na odstranění těchto nepříznivých faktorů. Otázkou tedy je, proč má broušený díl „L“ při konečné kontrole ve velkém procentu jiné rozměry tloušťky, než které byly požadovány. Zhodnocení se bude týkat vlivu broušení, kontroly, lidského faktoru a samotného postupu výroby.

2 Představení firmy Kern-Liebers spol. s r.o.

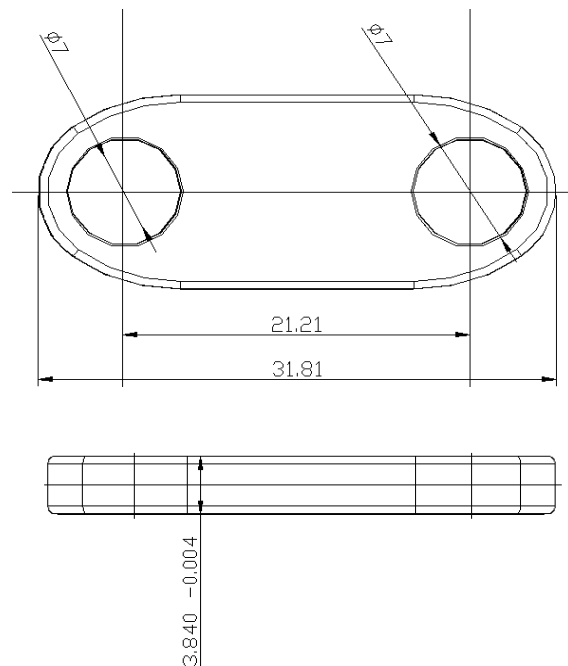
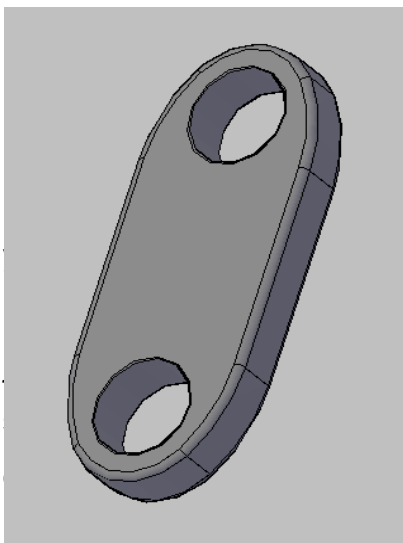
Společnost Kern-Liebers datuje své počátky již od roku 1888, kdy byla založena v Německu. V České republice začala společnost působit jako Kern-Liebers CR spol. s r.o. od roku 1994 výstavbou své pobočky v Českých Budějovicích. Zde zahájila jak výrobu, tak i montáž pružinových mechanismů, převážně mechanismů určených k bezpečnostním pásům v automobilech. Se zdokonalováním výrobních procesů a neustálým vývojem rostla poptávka a v roce 1999 pobočka díky podpoře mateřské firmy rozšířila nabídku o přesně stříhané díly. S rozšiřováním výroby vzrostly i požadavky na prostory výrobní haly. Nový objekt společnosti byl dokončen v roce 2002. S novou výrobní halou o rozloze 12 093 [m²] bylo naplno zavedeno oddělení tepelného zpracování pro vyrobené díly, ale i pro zakázkové tepelné zpracování. V roce 2003 přibylo i oddělení nástrojárny za účelem plnění náročných termínů dodání produktů. Ke konci roku 2007(tj. před příchodem tzv. „finanční krize“) měla pobočka Kern-Liebers v Českých Budějovicích 375 zaměstnanců a za období 2007/2008 činil obrat 773 mil. Kč. Svou produkci firma produkuje do celého světa. Všichni zaměstnanci mají možnosti sebevzdělávání, například v cizím jazyce. Firma má zavedené systémy jako systém řízení jakosti, systém ochrany životního prostředí či systém bezpečnosti práce. Mottem firmy je: „Vyrábět kvalitu – ne ji testovat“. [2]



Obrázek 2 1 Budova firmy Kern-Liebers spol. s r.o. v Českých Budějovicích,
[převzato z: 2]

2.1 Řešený díl „L“

Díl „L“, viz obrázek č.2-2, je vyráběn pro automobilový průmysl. Základní tvar součásti dán postupovým stříháním z pásu plechu o tloušťce 4,2 [mm] a šířce 50 [mm]. Vystříhané díly jsou dále kaleny. Rozměr tloušťky, která je řešená, je udán oboustranným broušením na svislé oboustranné čelní brusce. Po broušení jsou díly omílány a nitridovány. Po nitridaci jsou díly hotové a na kontrolním automatu roztríděné dle tloušťky. Bližší výrobní postup je popsán v části Výroba dílu.



V
Obrázek 2-2 Schematické znázornění dílu "L" se základními rozměry, [autor]

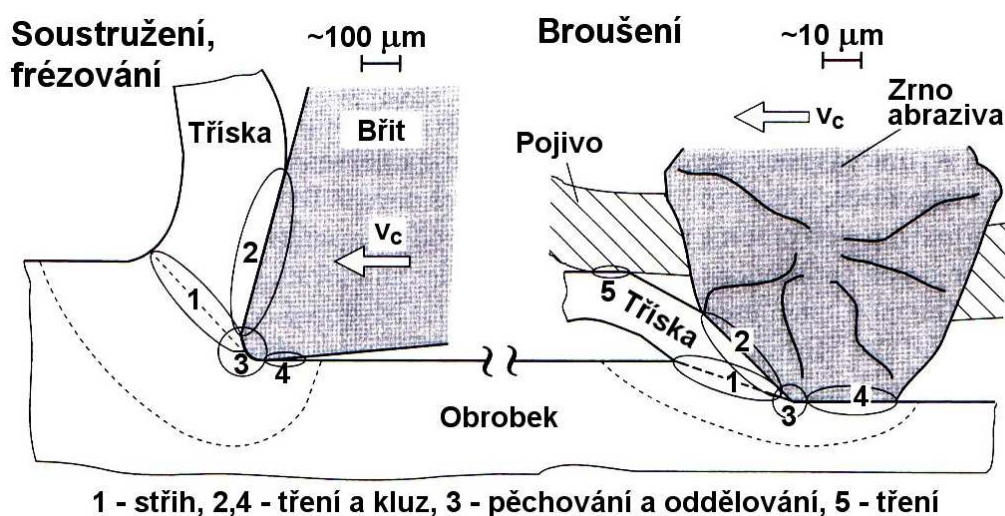
Díly jsou vyráběny v sériích, které činí 26 ranků. Jednotlivé ranky jsou rozděleny po tloušťkách od $3,840^{-0,004}$ [mm] do $3,965^{-0,004}$ [mm] odstupňovaných po 0,005 [mm]. Na obrázku č.2-2 je schematicky znázorněn díl „L“ a jeho základní rozměry hodnotou tloušťky $3,840^{-0,004}$, která odpovídá ranku č.1, což je nejmenší tloušťka. Podrobnější výrobní výkres není potřebný, jelikož se v této práci řeší pouze tloušťka, postačí obrázek č.2-5.

Základní tloušťka dílu je stanovena broušením, po kterém dále dojde k její změně vlivem karbidonitridací. Dále jsou proto rozebírány pouze tyto části a k nim stručná teorie.

3 Teoretická část

3.1 Broušení

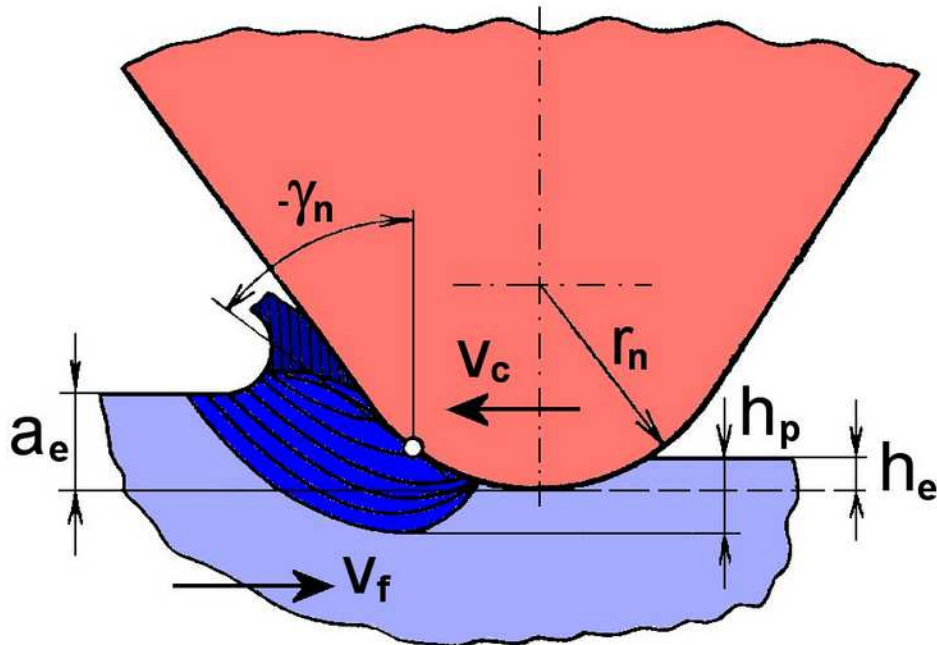
Broušení patří spolu s honováním, lapováním a superfinišováním k abrazivním metodám obrábění. Abrazivní metody jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií. Při broušení vzniká tříška viz obrázek č.3-1, jde tedy o metodu třískového obrábění. Z historického hlediska se jedná o jednu z nejstarších metod obrábění materiálu, kterou lidé využívali k ostření nástrojů a jiných pomůcek k životu. Dnes patří broušení k hlavním dokončovací metodám obrábění. Touto dokončovací metodou, lze dosáhnout přesnějších rozměrů a vysoké kvality povrchu. Broušením lze dále dělit nebo obrábět těžko obrobitelné materiály a ostřit nástroje. Brousí se rovinné, válcové, tvarové plochy jak vnější tak vnitřní. Tato metoda, při použití rotačního nástroje, je velice blízká frézování, od kterého se nejvíce liší nástrojem. Nástrojem k broušení je mnohabřitý rotační kotouč, který vykonává hlavní řezný pohyb. Je složený z jednotlivých brusných zrn spojených pojivem viz níže. Jednotlivá zrna mají různé tvary a různé řezné úhly – nedefinovaná geometrie. Při broušení je v záběru velké množství zrn-břitů a tím, že dochází ke tření mezi obráběným materiálem a brusnými zrny za vysokých řezných rychlostí, vznikají vysoké teploty, které nutí k dostatečnému chlazení. [3]



Obrázek 3-1 Schematické porovnání vzniku třísky a deformačních oblastí při soustružení, frézování a broušení, [převzato z:3]

3.1.1 Mechanismus tvorby třísky při broušení

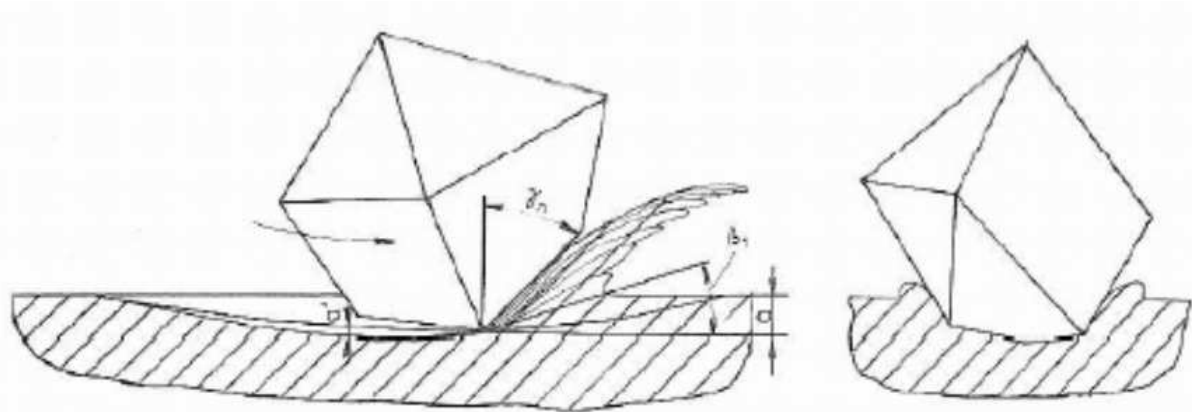
Tvoření třísky při broušení je ovlivňováno povrchem brousícího kotouče. Po celém povrchu jsou různá zrna s různou geometrií, což způsobuje proměnlivost odřezávané hloubky. Dalším činitelem je ohřev materiálu v místě obrábění.



Obrázek 3-2 Schematické znázornění vzniku třísky s označenými základními parametry, [převzato z:3]

Obrázek č.3-2 - γ_n -normální úhel ostří, r_n -poloměr zaoblení ostří, h_p – vrstva ovlivněná plastickou deformací, h_e -vrstva ovlivněná pružnou deformací [3]

Při tvorbě třísky probíhají tři procesy. Pružná a plastická deformace a samotné oddělení třísky. Tyto procesy probíhají s každým brusným zrnem, které odebírá



Obrázek 3 3 Schematické znázornění brusného zrna v záběru z bočního a předního pohledu, [převzato z: 3]

materiál. Přesné informace o tvorbě třísky při broušení lze stejně jako u jiného třískového obrábění zkoumat pomocí experimentálních metod. [3]

Brousící zrna, která jsou všeobecně orientovaná, tvoří v záběru plynulou třísku. Mez plastické deformace, která je ohraničená úhlem β , viz obrázek č.3-3, odděluje nedeformovanou část od třísky. U třísky dochází ke značné plastické deformaci. Velikost deformace ovlivňují jednotlivá zrna, jejich tvar, poloha a tření mezi obráběným materiálem a brusným kotoučem. Při tvorbě třísky ve směru obrábění, dochází i k deformaci materiálu v příčném směru. Povrch broušené plochy je pokryt soustavou rýh po brousících zrnech a stopami po plastické deformaci v příčném směru. Velké plastické deformace a tření způsobují vznik vysokých teplot. Třísky se pak často ohřejí k tavicí teplotě a vytvoří kapky nebo shoří. Hoření třísek je viditelné ve formě jisker, z kterých jde odhadnout přítomnost některých prvků v obráběném materiálu na základě tvaru a barvě jisker. [3]

3.1.2 Rozdělení broušení

Broušení se dělí dle typu broušení (rovinné, rotační a tvarové), dále se může dělit dle broušených ploch daným typem broušení (rotační-vnější, vnitřní, rovinné-obvodem, čelem, tvarové-speciální, závity, ozubená kola). Dalším rozdělením může být podle typu brusky, které mohou být hotové bezhroté, brusky na díry, rovinné, nástrojové, či speciální. [3]

3.1.3 Nástroje – brusné kotouče

Brusný kotouč je tvořen směsí brusiva a pojiva zformované do požadovaného tvaru.

3.1.3.1 Brusiva

Brusivo je řeznou složkou kotouče, která se skládá z jednotlivých brusných zrn. Zrna mohou být volně rozptýlena např. v oleji, tak vznikají lapovací nebo leštící pasty a prášky. Dále mohou být zrna nalepená na papírech – smirkové papíry, nebo smirková plátna. V případě brusných kotoučů jsou zrna spojena pojivem. Tvrdost kotouče je dána pojivem. V případě např. řezných kotoučů se užívají skelná vlákna k vyztužení. [3]

Příklady brusiv[3]:

- **Al₂O₃ – umělí korund**
použití – broušení ocelí, ocelí na odlitky, temperované litiny a bronzů
- **B₄C – karbid boru**
použití – broušení průvleků, výroba lapovacích past, broušení drahokamů
- **N₂B₃ – kubický nitrid boru**
použití – broušení materiálu s vysokou tvrdostí
- **SiC – karbid křemíku**
použití – broušení šedé a bílé litiny, mědi, hliníku a měkkého bronzu
- **Umělý Diamant**
použití – broušení slinutých karbidů – SK, skla, keramiky, titanových slitin či výroba lapovacích past

3.1.3.2 Pojivo

Jednotlivá brusná zrna jsou mezi sebou spojena pojivem, které mezi zrny vytváří tzv. můstky. Pojivo má vliv na tvrdost kotouče a zároveň ovlivňuje tzv. samo ostřicí schopnost kotouče. Výběr pojiva je důležitý, aby se můstek mezi otupeným zrnem a zrny ostatními přerušil a otupené zrno odpadlo. Tím vzniká nový povrch s ostrým zrnem. Výběr pojiva je tedy na tvrdosti zrna a jeho rychlosti otupení. [3]

Základní rozdělení [3]:

- **organická** - pryž
použití – řezné a leštící kotouče
 - umělé pryskyřicepoužití – vysoce výkonné řezné kotouče – řezná rychlost 80 – 100 [m/s]
- **anorganická** – keramická
použití – nejvíce využívaná, různé stupně tvrdosti kotoučů
 - magnezitová
použití – ostření nástrojů
 - silikátová

použití – broušení nástrojů s tenkým ostřím (dřevo obráběcí nože), broušení obrobků s velkou stykovou plochou obrobek-nástroj

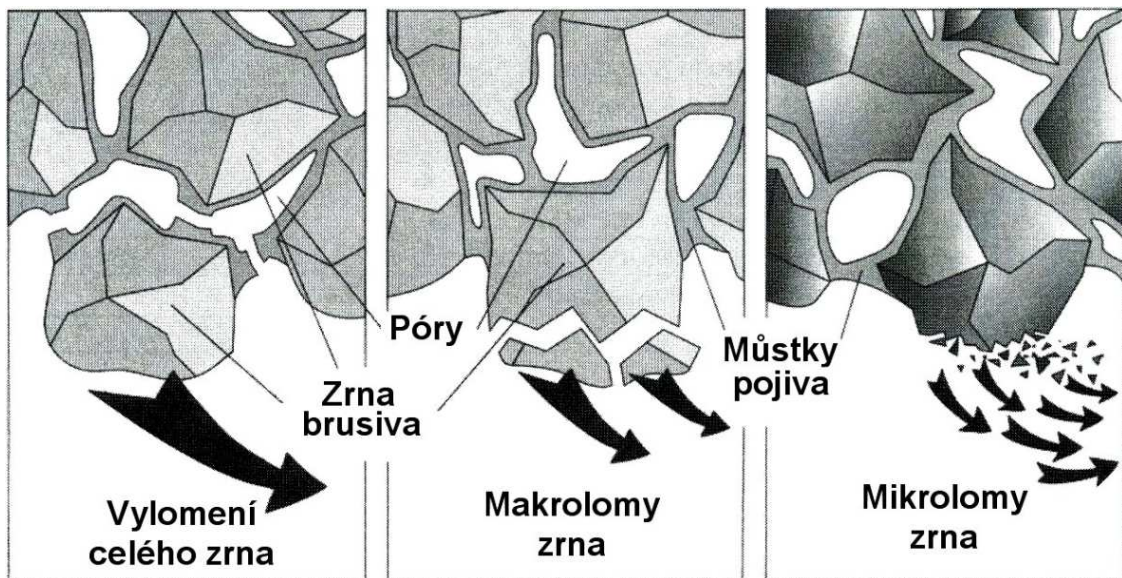
3.1.3.3 Zrnitost

Volí se dle předepsané drsnosti povrchu. Je určena měrným rozměrem zrna [3]:

- 1) Velké úběry materiálu – hrubé zrna
- 2) Velké vztyčné plochy mezi obrobkem a nástrojem a velké řezné rychlosti – hrubé zrna
- 3) Malé drsnosti – jemné zrna

3.1.3.4 Tvrdost

Tvrdost je dána pojivem. Měkké pojivo se snadněji drolí a kotouč se tak sám ostří. Naopak tvrdé pojivo drží jednotlivá zrna velice pevně. Pro tvrdé materiály se volí měkkí kotouče. Pro měkké materiály se volí tvrdší kotouče. Tvrdost kotoučů se značí písmeny E – Z. [3]



Obrázek 3-4 Schematické znázornění vzniku ostrých hran-samoostření,
[převzato z:3]

3.1.3.5 Struktura

Je dána poměrem objemu brusiva, pojiva a pórů v kotouči. Značí se čísly 1 – 12. (1= velmi hutná struktura, 12= velmi pórovitá struktura)

Pro tvrdý a křehký materiál je vhodná hutná struktura. Pro houževnatý materiál je vhodná pórovitá struktura.

Brusné kotouče se tedy dělí dle použitých brusných zrn, použitého pojiva, zrnitosti, tvrdosti a struktury. Kotouče jsou označovány podle všech těchto kritérií

např. A98 50J 8V A98 – brusivo (umělý korund 98% - bílá barva)

50 - velikost zrna (střední)

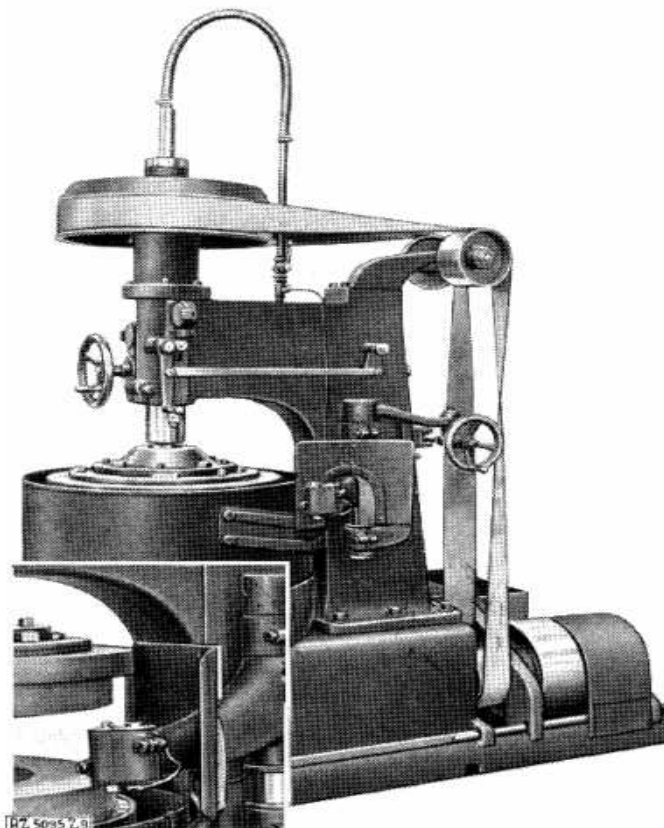
J - tvrdost kotouče

9 - pórovitost

V - druh pojiva (keramika)

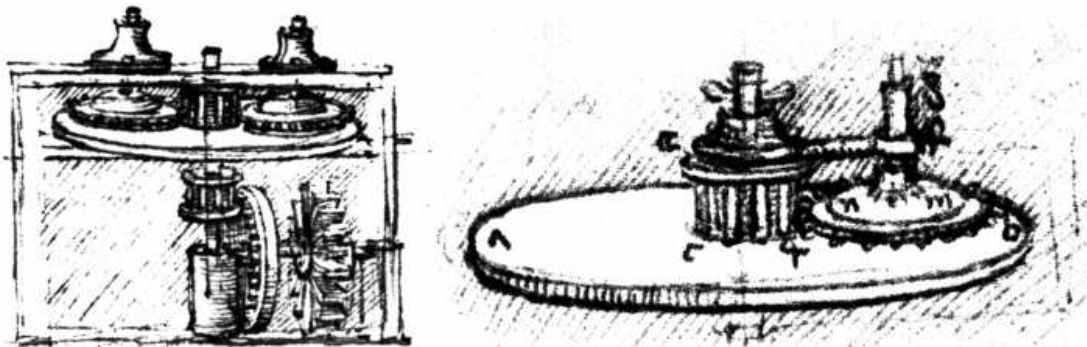
Dalším důležitým faktorem je tvar kotouče (např. plochý, jednostranně a oboustranně kuželový, nebo zkosený, prstencový, brousící tělíska) a jeho rozměry (např. průměry a šířky). [3]

3.1.4 Oboustranné rovinné broušení



Obrázek 3-5 Historická fotografie jednoho z prvních lapovacích a brousících strojů,
[převzato z:4]

Historie oboustranného rovinného broušení je úzce spjata s technologií lapován-superfinašování. V 30. letech minulého století začínají vznikat dvoukotoučové lapovací stroje se svislou osou lapovacích kotoučů. Na obrázku č.3-5 je zobrazen jeden z prvních strojů vedoucích k vývoji dnešních dvoukotoučových strojů se svislou osou viz obrázek.3-7. Již v roce 1932 byly místo původních lapovacích kotoučů na základě požadavků spojených se zvýšením produktivity a kvality z hlediska rovinnosti, použity na stejném stroji brusné kotouče. Povrch obrobků však tehdy nebyl tak kvalitní. Díky tomu se začínala řešit kinematika broušených dílů a vzniká planetové broušení, kterým



Obrázek 3-6 Skica Leonarda Da Vinciho-planetové broušení
[převzato z:4]

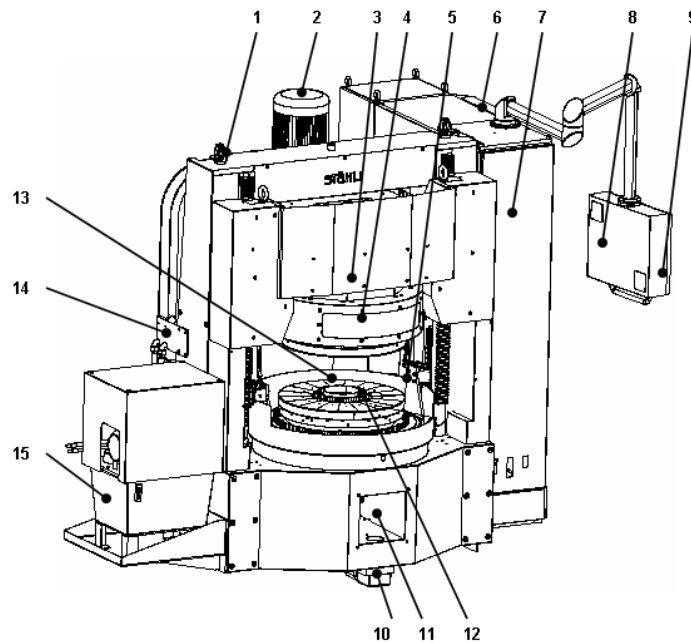
se zabýval již v 15. Století Leonard Da Vinci[4] viz obrázek č.3-6. Planetové broušení vytváří na povrchu obrobku nespočet rýh, které se však překrývají a vzniká tak kvalitnější povrch. Planetové broušení rovinných dílů nenahrazuje metodu lapování, planetový pohyb ale vytváří kvalitní povrch z hlediska drsnosti a navíc oboustranným broušením se dosahuje vysokých přesností z hlediska rovinnosti. [4]

Velkou výhodou oboustranného broušení na dvoukotoučových bruskách je možnost výroby dílů s vysokou přesností na rovinnost a rovnoběžnost. Výroba rovinných dílů oboustranným broušením na moderních strojích přináší i možnosti výroby rozměrů v tolerancích tloušťky až 1 [μm]. Kromě výhod spojených s rozměrovou přesností, je nesporná výhoda v možnosti obrábění více dílů při jednom procesu, jehož doba trvání se výrazně zkracuje automatickým vkládáním dílů a automatickým řízením brousícího cyklu.

Vzhledem k tomu, že nastavení stroje a programu na daný broušený díl je časově náročné, jsou dvoukotoučové brusky vhodné pouze do sériové a velkosériové výroby.

3.1.4.1 Dvoukotoučová bruska pro rovinné broušení ve firmě KL

Použitým strojem pro obrábění dílu „L“ je bruska DLM 705 od firmy Stahli viz obrázek č.3-7. Bruska je určena k rovinnému broušení, popřípadě lapování. Ve firmě KL je používána pouze k broušení. Na brusce se brousí kromě dílů „L“ i jiné díly. Dle broušených dílů se mění i brousící kotouče. Výměna závisí na tvaru a materiálu respektive tvrdosti obráběných dílů. Veškeré díly broušené na brusce jsou velkosériovou produkcí. Každý díl má již uložený program, který se pouze vyvolá. Jednotlivé programy jsou vytvořeny na základě testů a následné

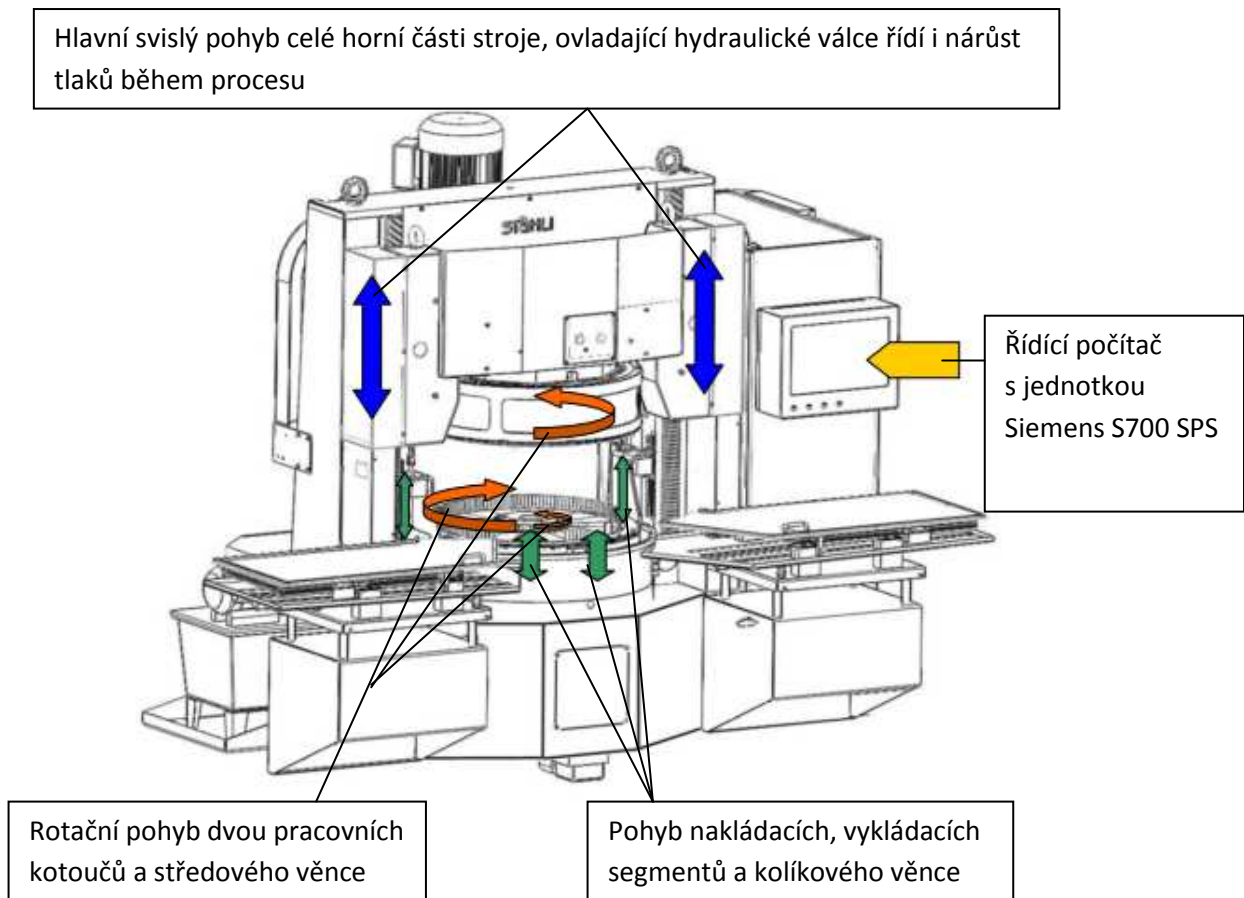


**Obrázek 3-7 Dvoukotoučová bruska pro rovinné broušení DLM 705,
[převzato z:5]**

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 transportní závěsný šroub | 9 obslužný PC |
| 2 motor horního kotouče | 10 nivelační noha |
| 3 traverza nebo osa Z | 11 servisní otvor pro indexaci |
| 4 ochranný kryt horního kotouče | 12 střední kolíkový věnec |
| 5 vodítko přestavení kolíkového věnce | 13 vnější kolíkový věnec |
| 6 klimatizace spínací skříň | 14 přípoj chladicího a mazacího prostředku |
| 7 spínací skříň | 15 hydraulický agregát |
| 8 tlačítka | |

optimalizaci. Při nastavování programu se hledí zejména na stálost procesu a opotřebení kotoučů. Stálost procesu se hodnotí z hlediska rozměrů obrobených kusů a z hlediska změn přítláčných sil a časů procesu. Z hlediska opotřebení kotoučů je vhodný minimální úbytek brousící vrstvy, která má tloušťku pouhé 3[mm]. [5]

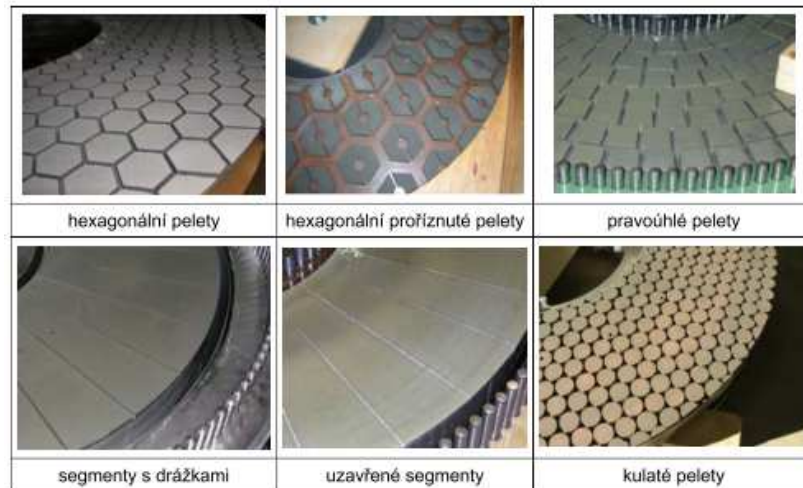
Pohyby částí brusky DLM 705:



Obrázek 3-8 Dvoukotoučová bruska pro rovinné broušení DLM 705- pracovní pohyby, [převzato z:5]

Použitý kotouč:

Kotouče k brusce DLM 705 jsou nabízené v několika variantách, které se liší tvarem jednotlivých brusných segmentů, mezi kterými tak vzniká labyrint pro přívod chladicího média a odvod třísek a odlamovaných zrn. Pro broušení dílu



Obrázek 3-9 Typy osazení kotoučů, [převzato z:5]

„L“ jsou použité kotouče s hexagonálními paletami viz obrázek č.3-9. Kotouče se během procesu broušení různě otupují a tvarují (konkávně, konvexně). Kotouče se pak musejí orovnávat a nabrousit. Firma KL k tomuto účelu používá ze široké škály ostřících a orovnávacích nástrojů korundové kroužky, viz obrázek č.3-10. [5]



Obrázek 3-10 Brousící nástroj, [převzato z:5]

Další popis práce této brusky je popsán v části výroba dílu „L“.

3.2 Tepelné zpracování pomocí dusíku

Tepelné zpracování pomocí dusíku je jednou z možností jak zvýšit odolnost součásti proti korozi, tvrdost a otěru vzdornost. Základní metodou je nitridace a dále se metoda rozděluje podle použitého nitridačního prostředí (nitridace v plynném prostředí, v kapalném prostředí, iontová nitridace, nitrocementace, karbidonitridace). Jednotlivé typy se volí například podle potřebných vlastností, nebo typu a tvaru součásti. Vzhledem k rozsáhlosti této problematiky bude dále představena pouze základní metoda tj. nitridace a použitá metoda pro díl „L“ tj. karbidonitridace. [6]

3.2.1 Nitridace

Nitridace je jednou z technologií chemicko-tepelného zpracování. Při nitridaci dochází k sycení povrchu materiálu z oceli dusíkem. Při tomto sycení vznikají v tenké vrstvě povrchu velmi tvrdé nitridy slitinových prvků. Po nitridaci se získá požadovaná tvrdost bez dalšího tepelného zpracování. Tvrdost nitridované vrstvy je tepelně odolná až do 600°C. K nitridování jsou nejvhodnější ocelové slitiny, které obsahují hliník, molybden, vanad a chrom. Vysoké tvrdosti nitridované vrstvy dosahují slitiny obsahující hliník. Hliník s dusíkem vytváří velice tvrdé nitridy. Před nitridací se součásti zušlechťují. Například obrobene součásti je vhodné žíhat k odstranění vnitřního pnutí. Nitridace může probíhat třemi způsoby podle použitého prostředí. Nitridace v plynném prostředí, nitridace v kapalném prostředí a iontová nitridace. [6]

3.2.2 Karbonitridace:

Jedná se nitridační proces, při kterém je v probíhající prostředí spolu s částečně disociovaným čpavkem i malý přídavek 5-10% uhlovodíků (např. acetylen). Jedná se tedy o sycení povrchu dusíkem a uhlíkem. U ocelí s vyšším procentem uhlíku tj. nad 0,4%, se v podstatě může jednat o karbonitridaci i při pouhé nitridaci v čisté atmosféře, jelikož uhlík do povrchu difunduje z jádra materiálu a vytváří tak s dusíkem karbonitridovanou vrstvu. Tloušťka vrstvy bývá opět maximálně do 0,3mm, z důvodů ekonomičnosti procesu. Proces karbonitridace se provádí při teplotách okolo 570 – 620 °C. Tedy při teplotách jako pouhá nitridace, proces je ale rychlejší než u nitridace. Vytváří se vrstvy o

tvrdosti až 1000HV, které mají tloušťku 0,02 až 0,05 mm. Tato vrstva zvyšuje odolnost proti opotřebení a korozi. [6]

3.3 Automatická kontrola

K úspěšné konkurenceschopnosti patří mimo jiné také schopnost dodávat bezchybné výrobky dle požadavků zákazníka. Dodávky bezchybných výrobků by měly být dlouhodobé, aby se zákazník mohl spolehnout, že vždy dostane to, co chce. Z tohoto hlediska musí výrobce zajistit kvalitní komplexní kontrolu a dokumentaci celé výroby. Vzhledem k tomu, že větší počet kontrolních pracovišť je velice neekonomický, z hlediska počtu pracovní síly a mzdových nákladů a také vysoké pravděpodobnosti chyb, způsobených lidským faktorem, je nutné řešit kontrolu určitou automatizací. Dalším důvodem je, že požadavky na rozsah kontrol stále rostou. Dnes je téměř nutností provádět u mnoha dílů 100% výstupní kontrolu parametrů. Pomocí vhodné automatické manipulace, vhodných elektrických přístrojů připojených a řízených počítačem, lze sestavit plně automatickou kontrolní linku, z které se budou zároveň ukládat veškeré informace o kontrolovaných dílech.

Příklad parametrů, které lze automaticky kontrolovat [7]:

- vady materiálu – ultrazvuková, magnetická a RTG defektoskopie
- elektrické parametry a elektrická odolnost
- rozměr s přesností až 0,001 mm – kontaktní a bezkontaktní metody
- váha a množství
- označení výrobku
- kompletnost montážních celků

3.4 Zjišťování příčin problémů

Problémy s kvalitou výroby, je nutné co nejdříve odhalit a pokud možno odstranit. K jejich rychlé a spolehlivé identifikaci mohou sloužit různé analýzy.

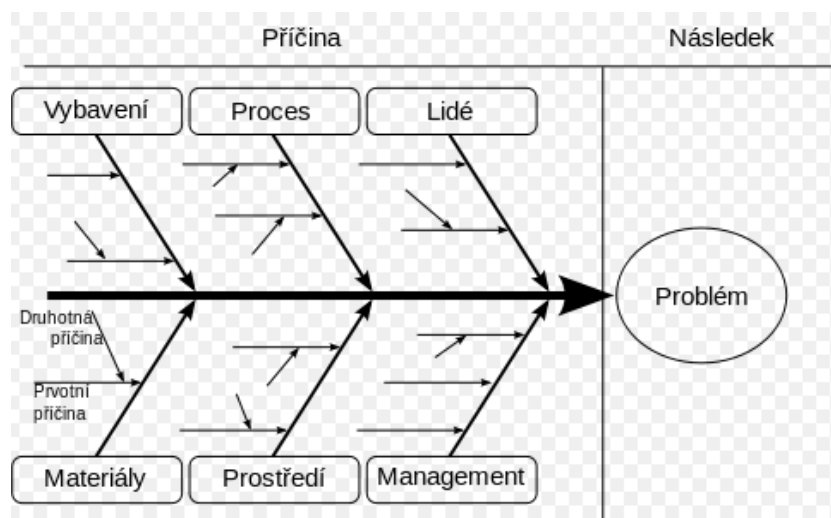
SQL(Statistical Quality Control) je označení souborů nástrojů, které pomáhají k rozhodnutí jak řešit identifikované problémy. Pod označení SQL spadají

klasické statistické nástroje popisující charakteristiky a vztahy (např. průměry, rozpětí, směrodatné odchylky apod.), statistické přejímky rozhodující o přijetí nebo odmítnutí dodavky a statistické řízení výrobních procesů, které má za cíl odpovědět na otázku způsobilosti a nezpůsobilosti výrobního procesu. [8]

„Seven Basic Tools of Quality“ neboli sedm základních nástrojů na zvyšování kvality je soubor jednoduchých převážně grafických technik k řešení problémů s kvalitou. Těchto sedm nástrojů je nejvíce využíváno v linkové výrobě. Linková výroba umožňuje získání většího množství dat, které vedou k vyvození závěrů. Dále u linkové výroby mohou vést k určení stroje či pracovníka, který je jakkoliv příčinou problému. Sedmi základními nástroji jsou diagram příčin a následků, histogram, Paretův diagram, kontrolní tabulka, vývojový diagram, korelační diagram a regulační diagram. Největší výhodou těchto metod je jejich jednoduchost. [8]

3.4.1 Diagram příčin a následků-„Išikawův“diagram

„Išikawův“diagram, nebo diagram rybí kosti-fishbone diagram je navrhnutý panem „Kaoro Išikawa“. Nástroj názorně identifikuje možné příčiny konkrétních problémů. Jako výchozí bod je dán řešený problém, na který navazují větve, které se mohou dále dělit. Tvar diagramu připomíná tvar rybí kosti, proto diagram rybí kosti. Nejvhodnější je veškeré možné příčiny definovat ve skupině formou brainstormingu. [8]



Obrázek 3-11 Diagram příčin a následků-„Išikawův“diagram, [převzato z:8]

3.4.2 Kontrolní tabulka-záznamník dat, kontrolní formuláře

Nástroj tvořen shromažďováním dat o četnosti výskytu určitých faktorů ovlivňujících jakost výrobku např. počet výskytu vady během časových úseků. Tvoření tabulek dle dvou principů [8]:

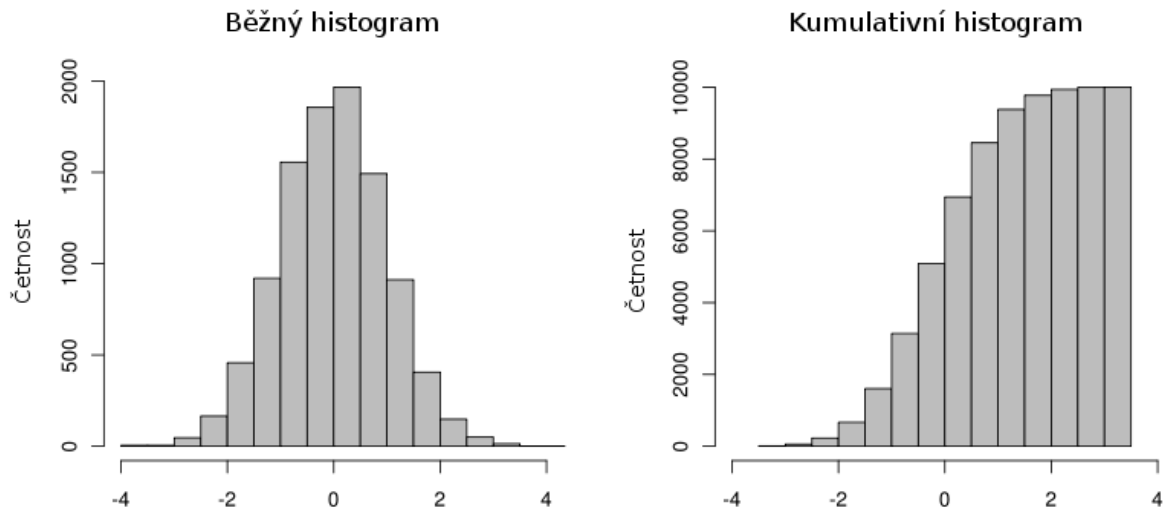
- princip stratifikace-třídění dat, oddělení dat z různých zdrojů k snadnému a rychlému odhalení původu každé položky a případně problému
- princip jednoduchosti-standardizace a vizuální interpretace-důraz na jednoduchost zápisu, aby mohl zapisovat data každý, záznam je tvořen značkami nebo čárkami

Typy defektů \ Výskyt	Datum							CELKEM
	Pondělí 17.1.	Úterý 18.1.	Středa 19.1.	Čtvrtek 20.1.	Pátek 21.1.	Sobota 22.1.	Neděle 23.1.	
Rez na dodaných dílech								20
Vychýlený svár								5
Nesprávný zkušební postup								0
Nesprávná součástka								3
Špinavé součásti								0
Dutiny v odlitku								6
Nesprávné rozměry								2
Selhání lepidla								0
Nedostatečné krytí								1
Porucha rozprašovače								5
CELKEM	10	13	10	5	4			42

Obrázek 3-12 Kontrolní tabulka-záznamník dat, kontrolní formuláře, [převzato z:8]

3.4.3 Histogram-rozdělení četnosti

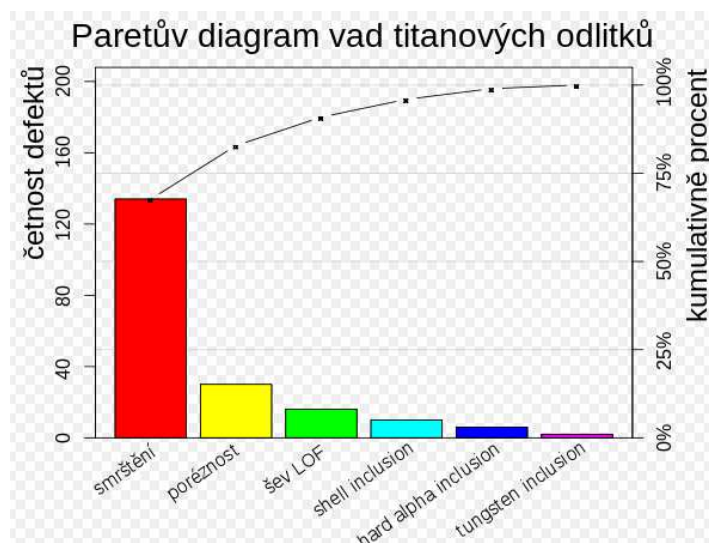
Graf, který představují četnosti výskytu sledovaných faktorů. Z grafu pak lze dle průběhu a symetrického zobrazení určit typ rozdělení. Graf je tvořen sloupci o stejné šířce, která vyjadřuje šířku intervalů a výška vyjadřuje četnost sledované veličiny. Histogram je vhodný v procesech, kde je možné sbírat číselné údaje. [8]



Obrázek 3-13 Histogram-rozdělení četnosti, [převzato z:8]

3.4.4 Paretův diagram (Pareto chart)-Paretova analýza

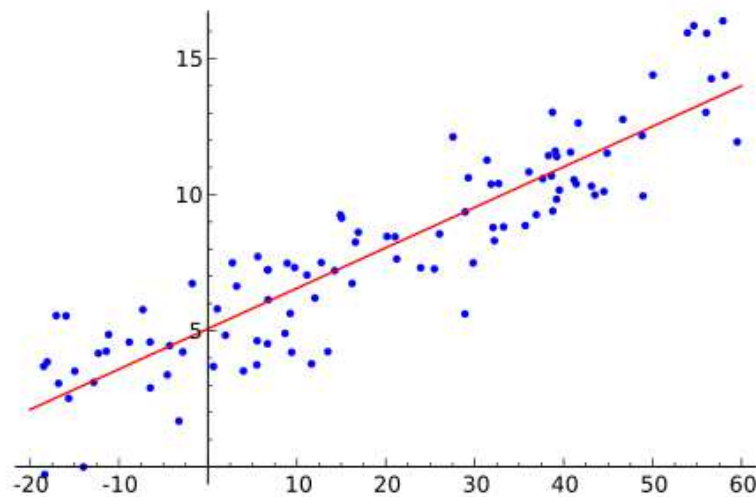
Nástroj pojmenovaný podle Vilfreda Pareta. Jedná se o graf, který je tvořen kombinací sloupcového a čárového. Sloupce vyjadřují četnost jednotlivých faktorů. Sloupce jsou seřazeny z leva od nejvyššího po nejnižší. Linie pak představuje kumulativní četnost v procentech. Diagram znázorňuje důležitost jednotlivých kategorií. Podstatou Paretovi analýzy je skutečnost, že málo problémů je v celkovém pohledu kritických a naopak velký počet problémů je nepodstatný. [8]



Obrázek 3-14 Paretův diagram, [převzato z:8]

3.4.5 Korelační diagram-bodový graf(Scatter diagram),regulační a korelační analýza

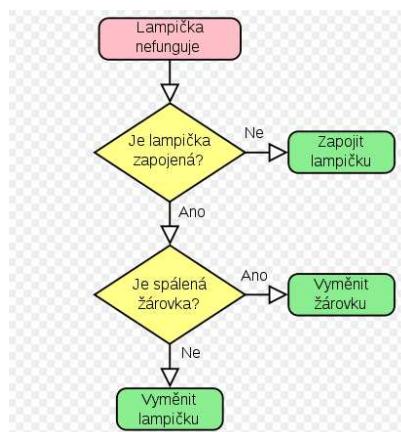
Graf tvořený jednotlivými body o dvou proměnných v kartézském systému. Z grafu pak lze vyčíst závislost mezi oběma proměnnými, nebo lze tuto závislost proložit křivkou, přímkou, nebo jiným typem závislosti. Výsledkem může být i zjištění, že hodnoty nejsou závislé. [8]



Obrázek 3-15 Korelační diagram-bodový graf(Scatter diagram),regulační a korelační analýza, [převzato z:8]

3.4.6 Vývojový diagram-Flow chart

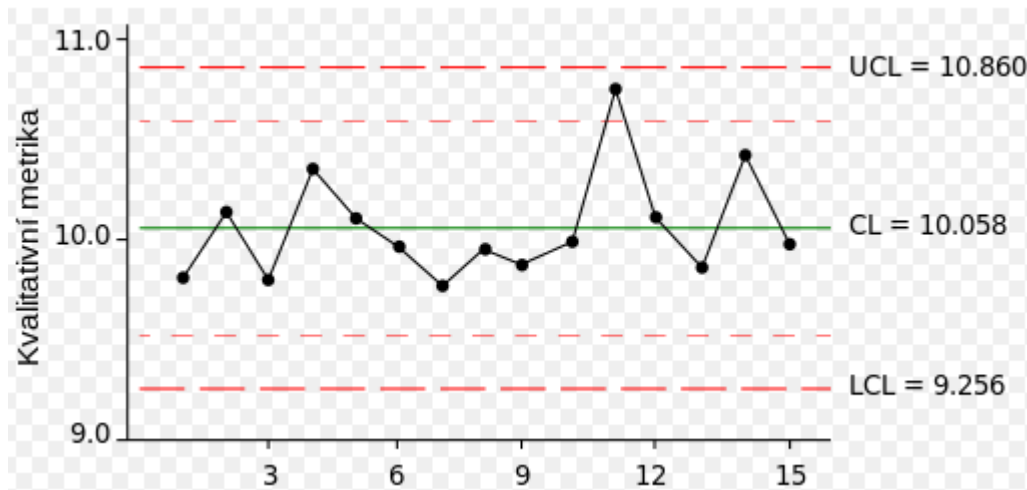
Jedná se o algoritmus znázorněný grafickými značkami propojenými šipkami. Diagram stručně popisuje procesy a umožňuje jejich snadnější pochopení. [8]



Obrázek 3-16 Vývojový diagram-Flow chart, [převzato z:8]

3.4.7 Regulační diagram-Control Chart

Graf znázorňující změny v procesu. Regulační diagram má vždy vyznačenou střední (CL) a krajní-regulační (UCL,LCL) hodnoty tzv. akční meze. Z časového hlediska jde z diagramu určit, zda je proces stabilní, regulovatelný či nepředvídatelný. Regulační diagramy tak mohou být použity například ke kontrole procesu. Diagram je jednoduchý, srozumitelný a jednoduše čitelný. [8]



Obrázek 3-17 Regulační diagram, [převzato z:8]

Regulační diagramy hrají velkou roli při zajišťování způsobilosti procesu. Na základě stanoveného regulačního diagramu, se totiž obsluha stroje snaží držet hodnoty výrobku v regulačních mezích.

4 Způsobilost procesu

O tom, zda je proces schopný produkovat výrobky v dané kvalitě, mohou napovědět různé postupy hodnotící způsobilost procesu. Způsobilost procesu je vlastně schopnost procesu, dlouhodobě produkovat výrobky ve stanovené kvalitě. Hodnocení způsobilosti procesu vychází z měření kontrolovaných rozměrů a jejich zaznamenávání. Tyto hodnoty se dále zpracovávají pomocí grafů a vzorců k vypočtení indexů způsobilosti, které porovnávají výsledné hodnoty s předepsanými minimálními hodnotami tolerančních mezí. Z široké škály ukazatelů sloužících k hodnocení způsobilosti procesu se vybere ten, pro který jsou splněny stanovené podmínky. Způsobilost procesu je tedy

hodnocena číselným ukazatelem. Ve strojírenství se nejčastěji používají indexy způsobilosti C_p a C_{pk} . [9,10,11]

Pro hodnocení způsobilosti procesu pomocí indexů způsobilosti C_p a C_{pk} musejí být splněny následující podmínky [11]:

- statistické zvládnutí procesu – pomocí regulačních diagramů
- sledované hodnoty (znaky jakosti) musejí odpovídat normálnímu-Gaussovu rozdělení – normalita může být posouzena pomocí histogramu na základě znalostí a zkušeností, exaktně je možné normalitu posoudit například pomocí testů dobré shody (např. Shapiro-Wilkův test, test chí-kvadrát, Kolmogorov-Smirnův test), nebo pomocí vhodného statistického softwaru

V dnešní době, hlavně v oblasti automobilového procesu se proces považuje za způsobilý tehdy, když je hodnota indexů způsobilosti nejméně 1,33, tedy $C_p \geq 1,33$ a $C_{pk} \geq 1,33$. Tyto hodnoty budou objasněny po bližším přiblížení obou indexů způsobilosti C_p a C_{pk} .

4.1 Hodnocení procesu pomocí C_p a C_{pk}

Ukazatele C_p a C_{pk} byli zavedeny do praxe asi před 25-30 lety. Zavedené ukazatele vyjadřují pomocí bezrozměrného čísla průběh sledované charakteristiky. Pokud jsou tedy tyto čísla zadána, je vlastně stanoven požadavek, který udává možný počet očekávaných neshodných výrobků a dále aby byl proces ve stabilizovaném stavu – ideálně stav neměnicí se v průběhu času. [12]

Teorie indexů způsobilosti pro C_p a C_{pk} předpokládá statisticky stabilní stav procesu, a že použitá data splňují požadavek normálního rozdělení kde je známa střední hodnota μ a směrodatná odchylka σ popřípadě se tyto dvě hodnoty dají odhadnout či vypočítat. Při splnění těchto předpokladů jsou dány rovnice pro výpočet C_p a C_{pk} , uvedené níže. [11]

4.1.1 Index způsobilosti C_p :

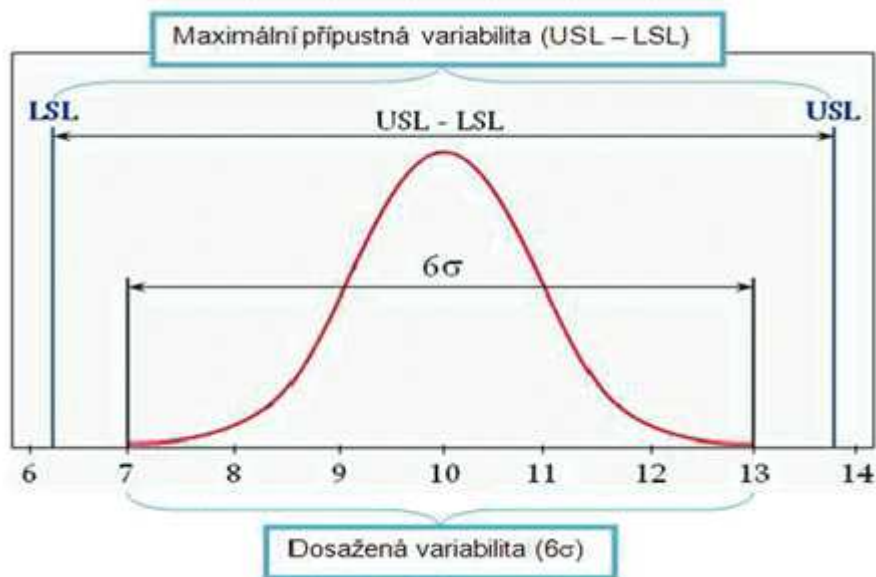
Index C_p charakterizuje potenciální schopnost procesu držet sledovaný znak-hodnotu mezi stanovenými tolerančními mezemi. Výpočet hodnoty indexu způsobilosti C_p je definován vztahem č.4-1. [13]

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad 4-1$$

LSL - dolní stanovená mez

USL - horní stanovená mez

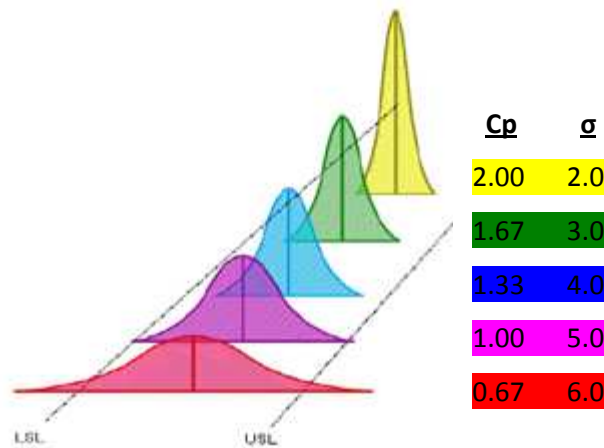
σ - směrodatná odchylka



Obrázek 4-1 Znázornění hodnot pro C_p v grafu, [převzato z:13]

Jedná se o poměr mezi maximální stanovenou variabilitou (USL-LSL) a skutečnou dosaženou variabilitou (6σ) sledované hodnoty bez vlivu jejich vzájemného umístění, viz obrázek č.4-1. Zjednodušeně se tedy jedná o podíl mezi tolerančním polem a výrobním rozmezím, jehož poloha vůči toleranci neovlivňuje výsledek, to znamená, že výsledná hodnota C_p může být dle požadavků, ale výsledné hodnoty mohou být zcela mimo toleranci. [13]

Pro představu jak se může index Cp měnit slouží obrázek č.4-2, kde jsou znázorněny příklady křivek, k nim příslušné hodnoty Cp a hodnoty odchylky σ .



Obrázek 4-2 Znárodnění změn grafu se změnami Cp a σ ,
[převzato z:13 – upraveno autorem]

4.1.2 Index způsobilosti Cpk

Index Cpk charakterizuje skutečnou schopnost procesu držet sledovaný znak-hodnotu mezi stanovenými tolerančními mezemi. Index Cpk od indexu Cp odlišuje to, že nezohledňuje pouze variabilitu sledované hodnoty, ale i její polohu vůči stanoveným tolerancím. Výpočet hodnoty indexu způsobilosti Cpk je definován vztahem č.4-2. [13]

$$C_{pk} = \min \{ C_{pkU}; C_{pkL} \} \qquad C_{pk} = \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \qquad 4-2$$

$$C_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma},$$

$$C_{pkL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma},$$

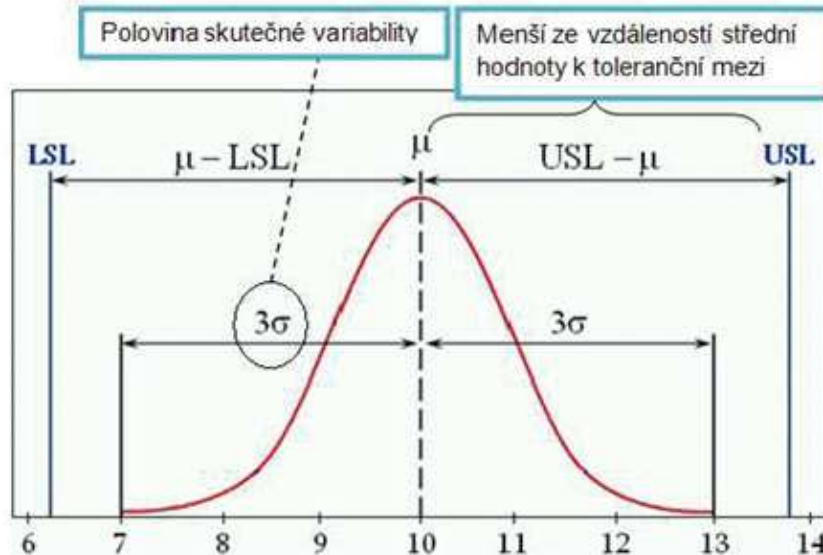
LSL - dolní toleranční mez

USL - horní toleranční mez

σ - směrodatná odchylka

μ - střední hodnota – také značená jako aritmetický průměr \bar{x}

Jedná se o poměr mezi vzdáleností střední hodnoty sledovaného znaku od



Obrázek 4-3 Znáznornění hodnot pro Cpk v grafu, [převzato z: 13]

blíží z obou tolerančních mezí a polovinou skutečné variability hodnot. Grafické znázornění hodnot k výpočtu Cpk viz obrázek č.4-3. [13]

4.1.3 Stanovení směrodatné odchylky a střední hodnoty

Směrodatná odchylka a střední hodnota jsou hodnoty, které se ve většině případů musejí vhodně odhadnout, jelikož nejsou zadané. K odhadu je možné použít více metod, je však doporučeno používat vztahy, které jsou založeny na průměrné variabilitě, viz následující vztahy: [10,11,12]

Směrodatná odchylka [10]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \bar{x}^2} \quad 4-3$$

Střední hodnota [10]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad 4-4$$

σ - směrodatná odchylka

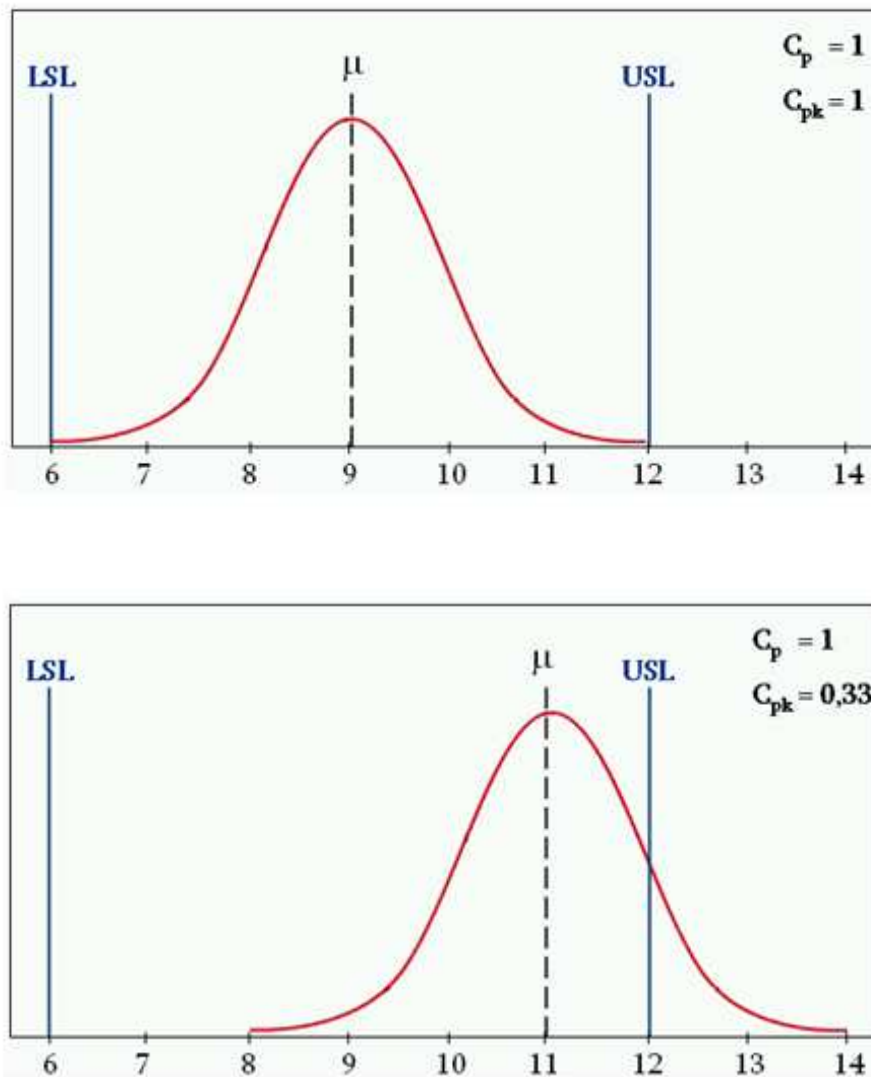
\bar{x} - aritmetický průměr - střední hodnota

X_i - jmenovitá hodnota

N – počet hodnot

i - index jmenovité hodnoty

4.1.4 Kombinace indexů způsobilosti C_p a C_{pk}



Obrázek 4-4 Porovnání grafů při změně C_{pk} a zachování C_p , [převzato z: 13]

Jak již bylo výše uvedeno, index způsobilosti C_p charakterizuje pouze maximální stanovenou variabilitu procesu-toleranční mez a skutečnou variabilitu procesu bez ledu na polohu střední hodnoty. Na obrázku č.4-4. jsou

znázorněny dva grafy s výsledky C_p a C_{pk} spolu se zakreslenými křivkami a tolerančními mezemi. Na horním grafu se obě hodnoty C_p a $C_{pk} = 1$. Střední hodnota leží očividně uprostřed tolerančního pole a skutečná variabilita pokrývá dle obrázku celý rozsah tolerančního pole. Na spodním grafu je znázorněna stejná křivka jako na předchozím obrázku, ale její střední hodnota je posunutá k horní mezní toleranci. Vzhledem k tomu, že se křivka nezměnila, hodnota $C_p = 1$. Naopak hodnota C_{pk} se snížila na 0,33. Snížení hodnoty C_{pk} je dáno zmenšením vzdálenosti střední hodnoty o krajní tolerance. [13]

Obrázek č.4-4 demonstruje nutnost kombinace obou indexů, kdy jedna hodnota může vyhovovat našemu požadavku, ale druhá může být zcela odlišná. Dle uvedeného příkladu by při použití pouze hodnoty C_p byl proces v obou případech způsobilý. Naopak při nižší výsledné hodnotě indexu C_{pk} , hodnota indexu C_p ukáže, zda je proces alespoň potenciálně způsobilý. [13]

Dále je k jednoznačnějšímu zhodnocení indexů způsobilosti vhodné použít jak jejich kombinaci, tak i grafické zobrazení (například histogramy) sledované hodnoty spolu s tolerančním polem. [11]

4.1.5 Doporučený postup k určení indexů způsobilosti [13]

- 1) Zvolení sledovaného znaku jakosti-hodnoty
- 2) Analyzování měření zvoleného znaku
- 3) Sbírání měřených údajů
- 4) Sestrojení histogramu s nashromážděných dat
- 5) Zhodnocení regulačních diagramů
- 6) Ověření normality sledované hodnoty
- 7) Samotný výpočet indexů způsobilosti a porovnání výsledných hodnot se zadanými
- 8) Navržení a realizace řešení vedoucí k zlepšení nevyhovujících výsledků

4.2 Problémy se stanovováním indexů způsobilosti

Indexy způsobilosti se pro někoho staly jasným ukazatelem toho, jak kvalitně je v dané toleranci výrobek vyráběn. Tento postoj však může vést ke zcela

zkresleným představám o procesu a v žádném případě nemusí hodnoty způsobilosti odpovídat skutečnosti. Při stanovování indexů způsobilosti dochází často k chybám vlivem nesprávného postupu, nerespektování daných kritérií a zásad, či nedostatečnou kvalifikací a zkušenostmi apod. Problém se stanovením indexů způsobilosti však nastává již na samotném začátku. [14,15]

Hned prvním problémem, který bývá ve strojírenství poměrně častý, je neuvážený požadavek na daný znak jakosti. Často bývají od konstruktérů či zákazníků stanoveny tak přísné hodnoty, které buď nelze danou technologií splnit, nebo jsou jednoduše v současnosti nereálné. [14,15]

Druhým problémem, který často nastává, je, jak získat přesné hodnoty daného znaku jakosti který se má sledovat. S tímto problémem je spojen jednak problém s měřením určitých tvarově složitých ploch, ale také problém s dodržováním určitých metrologických zásad k zachování stálých podmínek měření. [14,15]

Další problém nastává s použitím nástrojů statistiky. Zde je kromě potřeby maximálního počtu sesbíraných dat nutné dodržovat určité předpoklady k tomu, aby byly tyto nástroje správně využity. Jedním z hlavních předpokladů při určování způsobilosti je splnění normality získaných dat. Normalita lze ověřit, jak již bylo výše uvedeno různými testy například test chi-kvadrát test dobré shody, nebo pomocí vhodného softwaru. Věrohodnost výsledků se snižuje také tím, že například směrodatná odchylka je pouhým odhadem pomocí empirických vztahů, a proto je pak konečný výsledek C_p a C_{pk} také pouze odhad. Dokonalost nepřináší ani použití statistického softwaru, jelikož i ten vrátí pouze odhady na základě vložených dat. Je potřeba spolu s výsledky hodnotit spolu s použitými daty. [14,15]

4.3 Hodnocení výrobního procesu při nenormálním rozdělení

Jak již bylo výše napsáno, hodnocení procesu pomocí C_p a C_{pk} vyžaduje data, která lze popsat normálním rozdělením, které lze ověřit například pomocí vhodného softwaru, nebo chí-kvadrát testem dobré shody a testováním hypotéz. Běžně jsou v literatuře věnující se statistice veškeré testy popsány.

Nevýhodou je jejich časová náročnost rostoucí s počtem dat, či věrohodnost výsledků. [16]

Často v praxi nelze soubor dat popsat normálním rozdělením, které je vyloučeno testy dobré shody. Je mylné ignorovat tuto případnou skutečnost a pouze formálně vypočítat odhady indexů způsobilosti CP a Cpk bez ohledu zda jsou nebo nejsou data normálně rozložena. Pokud se tedy jedná o tzv. nenormální rozdělení, musí se najít a aplikovat jiná rozdělení jako například logaritmicke-normální rozdělení, Weibullovo rozdělení, překlopené normální rozdělení. [16]

Pokud se jedná o data nenormálně rozdělená, pak indexi způsobilosti Cp a Cpk ztrácejí svůj smysl, neboť jejich směrodatné odchylky posuzují symetrické rozdělení dat vůči střední hodnotě. Směrodatná odchylka u nenormálně rozdělených dat nemá tu vlastnost, že interval $\langle \mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma \rangle$, tedy délka 6σ pokrývá 99,73% sledovaných hodnot. Z tohoto důvodu musí být interval nahrazen tzv. kvantilovým rozpětím: [16]

$$U_{0,99865} - L_{0,00135} \quad \mathbf{4-4}$$

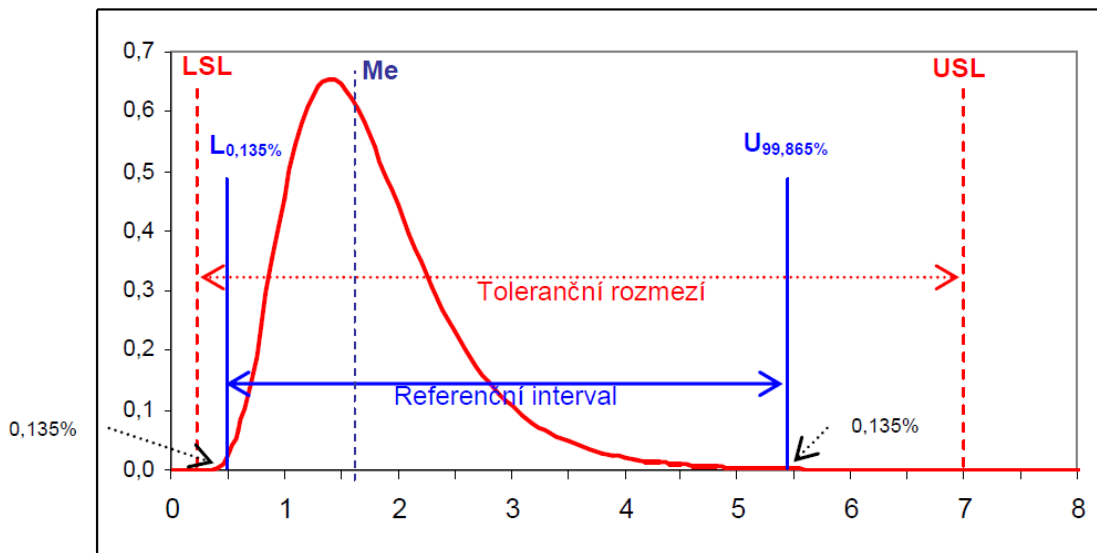
kde $U_{0,99865}$ je horní kvantil a $L_{0,00135}$ je dolní kvantil. Tyto kvantily jsou odvozeny tak, že jejich rozpětí pokrývá 99,73% sledovaných hodnot znaku jakosti stejně jako 6σ u normálního rozdělení. Na místo indexů Cp a Cpk pak přicházejí koeficienty nazývané koeficienty výkonnosti procesu Pp a Ppk, pro které platí následující vztahy: [16]

$$P_p = \frac{USL - LSL}{U_{0,99865} - L_{0,00135}} \quad \mathbf{4-5}$$

$$P_{pk} = \min \left(\frac{USL - Me}{U_{0,99865} - Me}, \frac{Me - LSL}{Me - L_{0,00135}} \right) \quad \mathbf{4-6}$$

Kde USL je horní stanovená mez, LSL dolní stanovená mez, $U_{0,99865}$ je horní kvantil a $L_{0,00135}$ je dolní kvantil a Me medián.

Na obrázku č.4-5 je grafické znázornění pro lepší představu rozdílu od hodnocení Cp a Cpk u normálního rozdělení.



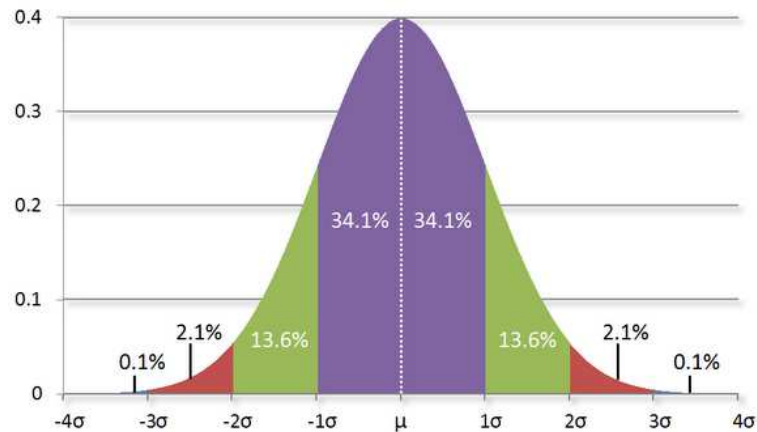
Obrázek 4-5 Znáznornění hodnot v grafu při nenormálním rozdělení, [převzato z:16]

Na obrázku č.4-5 je znázorněno nenormální rozdělení, u kterého jsou stanoveny horní a dolní kvantily tak, aby referenční interval pokrýval 99,73% hodnot sledovaného znaku. Odhady jsou vytvářeny z dat a podle přiřazeného rozdělení. Odhad mediánu je poměrně snad, jedná se o střední hodnotu, problém však nastává při odhadu příslušných kvantilů. Jedná se o problém, který není v literatuře popsán. Problematice hodnocení procesů při nenormálním rozdělení se v České republice věnuje například pan RNDr. Jiří Michálek, CSc., který na toto téma sepsal již řady rozsáhlých publikací, ve kterých vysvětluje nutnost zabývání se tímto problémem. Bohužel však zatím nejsou stanoveny žádné postupy a hodnocení dat s nenormálním rozdělením požaduje zkušenosti a individuálního řešení každého případu. [15]

Níže bude stručně popsáno normální a nenormální rozdělení s dalším odkazem na literaturu a webové stránky věnující se této problematice.

Normální rozdělení

Normální, nebo také Gaussovo rozdělení je základním rozdělením spojitého rozdělení. Označení „normální“ není ve smyslu „běžný“ či „základní“, ale vztahuje se k významu "řídící se zákonem nebo modelem". Označení „Gaussovo“ je podle svého objevitele Gausse. Normální rozdělení se vyznačuje



Obrázek 4-6 Procentové rozložení při normálním rozdělení, [převzato z:17]

symetrickou křivkou se střední hodnotou značenou písmenem μ a směrodatnou odchylkou značenou σ . Výpočty, neboli odhady těchto dvou hodnot byly popsány výše v části „Stanovení směrodatné odchylky a střední hodnoty“. Plocha pod křivkou je rovna 1 a popisuje procentuální výskyt jevu daných oblastí, viz obrázek č.. V intervalu $\langle \mu - 1\sigma; \mu + 1\sigma \rangle$ leží 68,26 % všech pozorování, v intervalu $\langle \mu - 2\sigma; \mu + 2\sigma \rangle$ leží 95,44 %, v intervalu $\langle \mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma \rangle$ leží 99,73% a dále s rozšiřujícím se intervalem roste výskyt k 100%. Teoreticky se křivka vodorovné osy nikdy nedotkne. Popis funkce je dán následujícím vztahem: [18]

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad 4-7$$

π a e – matematické konstanty

Nenormální rozdělení

Nenormálním rozdělením nazýváme každé, které neodpovídá rozdělení normálnímu. Nejčastěji se vyskytujícími rozděleními jsou rozdělení log-

normální, Weibullovo, či exponenciální. V literatuře je popsán nespočet možností jak odhadnout typ rozdělení a jeho parametry. Zjišťování parametrů a typů rozdělení požaduje zkušenosti a je velice časově náročné. Použití vhodného softwaru je tedy zcela na místě. [19]

5 Výroba dílu – praktická část

5.1 Příjem materiálu

Díl je vyráběn z nízkoalokované ušlechtilé chrom-molybdenové oceli k zušlechťování. Označení oceli dle ČSN 42002 - 15 131, dle EN 10027 - 34CrMo4 (1.7220). V tabulkách č.5-1 a č.5-2 jsou uvedeny hodnoty složení a některé mechanické vlastnosti materiálu. [20].

prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Předepsaný obsah [%]	0,350	0,280	0,650	0,0085	0,0020	0,920	0,180
Zjištěný obsah [%]	0,358	0,277	0,641	0,0087	0,0029	0,924	0,176

Tabulka 5-1 Chemické složení oceli 34CrMo4, [autor, zdroj: 20]

	Předepsaná hodnota	Zjištěná hodnota
Mez kluzu Re [Mpa]	272	270
Pevnost v tahu Rm [Mpa]	457	456
Tažnost A [%]	34,5	36,9

Tabulka 5-1 Mechanické vlastnosti oceli 34CrMo4, [autor, zdroj: 20]

Materiál je dodáván německou firmou a testován českou akreditovanou laboratoří. Do firmy KL je materiál dodáván již s kompletním protokolem o zkouškách. Materiál je dodán ve formě pásu plechu smotaného ve svitku. Rozměr pásu je 4,2 x 50 mm. Kontrola, která v KL materiál přebírá, zkontroluje veškeré dokumenty a výsledky testů. Dále je kontrolována šířka a tloušťka pásu a její tvar, zda není pás v průřezu prohnutý.

5.2 Lisování

Pás plechu je upevněn na kotouči podavače a dále přes rovnací válečky pracovním prostorem lisu. Díl je na lisu stříhán ve dvou krocích.

5.3 Kalení

Lisované díly jsou kaleny. Kalení, stejně jako veškeré tepelné zpracování, probíhá ve firmě KL. Díly jsou do pece vkládány v koších. Ohřev na teplotu okolo 880°C trvá přibližně 2 hodiny. Po ohřevu jsou díly prudce ochlazeny na 80°C v olejové lázni. Dále probíhá postupné zchladnutí na vzduchu až na teplotu okolí.

5.4 Praní

Díly po kalení jsou mastné od oleje a před popouštěním se perou po dobu 60 minut.

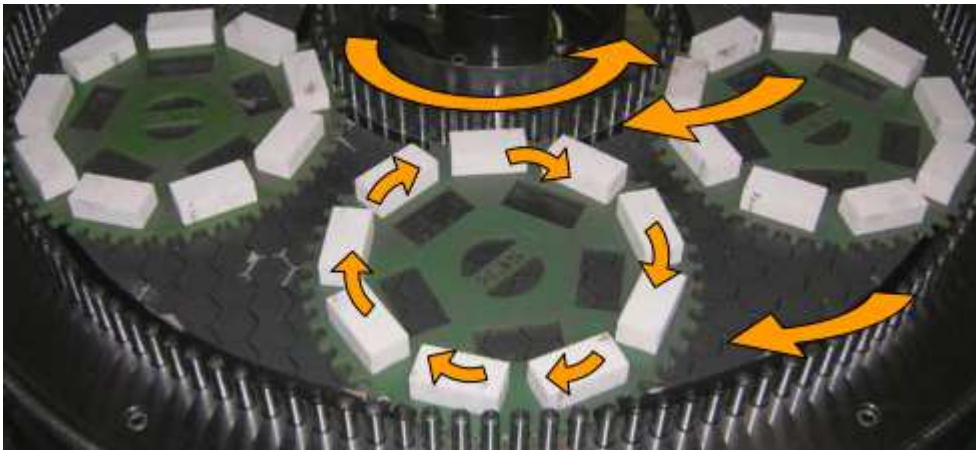
5.5 Popouštění

Čisté díly jsou opět v koších vloženy do pece a po dobu 1,5 hodiny při teplotě 210°C popouštěny. Tvrdost dílů po popouštění je 47-53 HRC.

5.6 Broušení

Kalené díly jsou broušeny na oboustranné kotoučové brusce Stahli. Používané brusné kotouče nesou základní označení 1A2 720/200/3 B39. Jedná se o typ kotouče 1A2 s vnějším průměrem 720 [mm] a vnitřním 200 [mm]. Výška brusné části-pelety je 3 [mm] s brusivem CBN o velikosti zrna 0,039 [mm]. Broušení probíhá po jednotlivých založeních. Jedno založení skýtá šest unášecích kotoučů, viz obrázek č.7-1, ve kterých je založeno 29 kusů dílu „L“. Na jeden brousící cyklus tedy připadá 174 kusů. Před samotným broušením jsou kotouče orovnány a naostřeny pomocí orovnávacích kotoučů. Kotouče jsou vloženy do pracovního prostoru brusky a následně je spuštěn program ostření/orovnávání. Po proběhnutí celého cyklu jsou orovnávací kotouče vyjmuty a stroj je připraven k broušení daného dílu. Jednotlivé díly jsou vkládány do unášecích kotoučů tak, že pracovník otáčí kotoučem pod zásobníkem z kterého díly padají do jednotlivých míst v kotouči. Do zásobníku jsou díly přiváděny dopravníkem od vibračního bubnu. Vibrační buben má za úkol dodávat díly po jednom, za sebou a v dané poloze na pás. Jednotlivé naplněné unášecí kotouče vkládá obsluha do automatického otočného podavače, který dále kotouče posílá do pracovního prostoru brusky. Kotouče jsou automaticky založeny. Po založení je spuštěn

program na daný díl. Program se ukončí po dosažení požadovaného rozměru. Při prvním založení po ostření a orovnávaní, je nastaven pouze malý úběr. Po ukončení programu jsou kotouče automaticky posílány po pásu k obsluze. Obsluha přeměří vzorky z prvního, třetího a pátého kotouče, vždy jeden kus z každého. Při prvním broušení se podle naměřeného rozměru nastaví další úběr a kusy jsou posílány zpět k broušení již na dobrý rozměr. Tím je nastaven základní rozměr a dále broušení pokračuje vkládáním jednotlivých založení. Po každém broušení pracovník zkontroluje tři kusy z prvního, třetího a pátého kotouče. Podle naměřených rozměrů rozhodne o nastavení korekce.



Obrázek 5-1 Znáznornění možného pohybu unášecích kotoučů, [převzato z:5]

5.7 Vyhrubování

Broušené díly jsou dále zpracovány na automatickém stroji, který zpřesní vystřížené otvory vyhrubováním. Díly jsou ze zásobníku podavačem vloženy do přípravku, který zajišťuje jejich upnutí. Na jedno upnutí je obrobena. Výhrubník poté vyhrubuje jednu stranu a pak druhou. Díly jsou po procesu uvolněny a padají na pás, který je dopraví do sběrného koše. Celý proces je doprovázen intenzivním mazáním olejem.

5.8 Omílání

Dalším procesem je proces omílání. Díly jsou po dobu dvaceti minut omílány v omílacích bubnech obsahujících drcenou kukuřici. Účelem omílání je zbavit díly veškerých otřepů, ostrostí a nerovností.

5.9 Karbonitridace

Ke karbonitridaci musejí být díly bez jakýchkoliv nečistot a mastnot. Čisté díly jsou rozprostřeny po dnech košů, které se vkládají do pece. Proces probíhá přibližně 7 hodin. Nejvyšší teplota procesu je 570 °C. Během celého procesu se mění teploty a medium vháněné do ohřívacího prostoru pece. Tvrdost po karbonitridaci se na povrchu pohybuje okolo 800 HV_{0,05}. V jádře se tvrdost pohybuje okolo 300 HV_{0,1}. Tloušťka vrstvy se pohybuje mezi 12 až 15 μm.

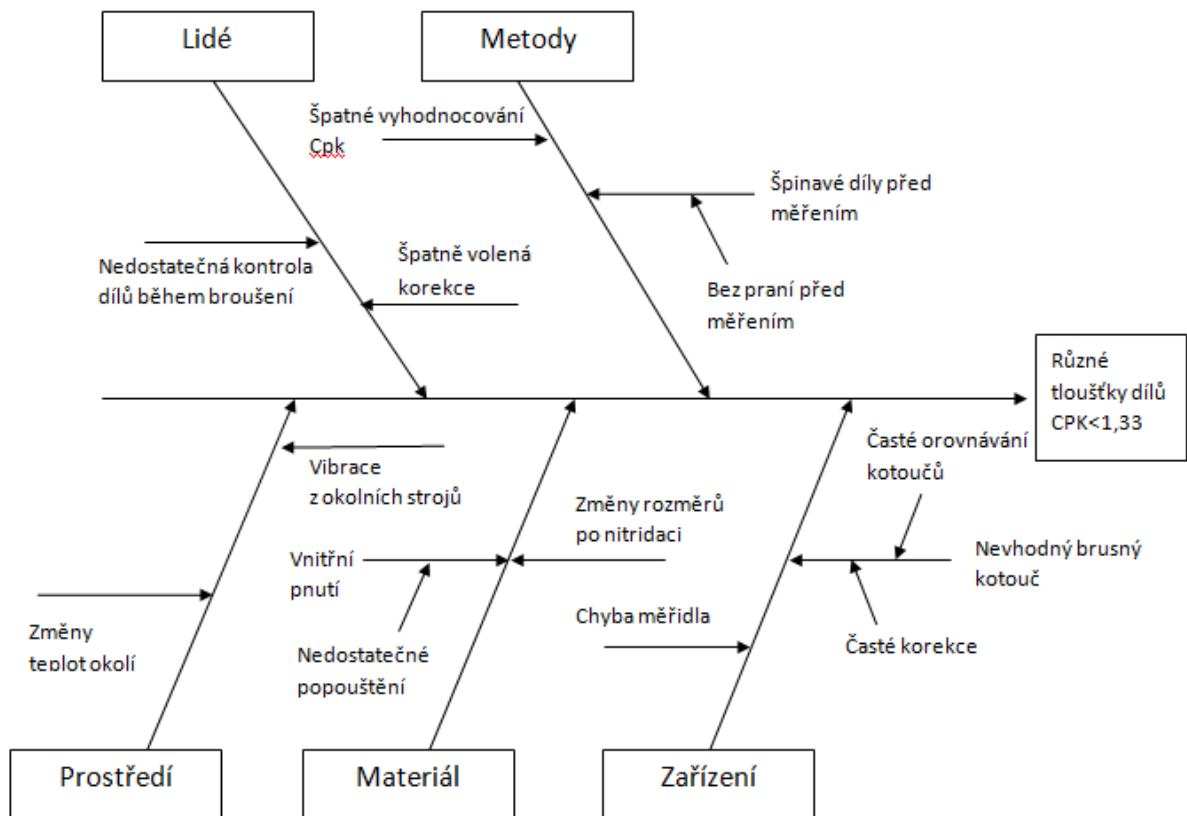
5.10 Kontrola

V kontrolní laboratoři je kontrolováno několik náhodně vybraných dílů. Kontroluje se zde tvrdost na povrchu a tvrdost jádra dle požadovaných hodnot a příslušných návodů.

Zcela hotové díly jsou dále kontrolovány na kontrolním automatu. Základem tohoto automatu je otočný pracovní stůl. Na tento stůl jsou vkládány jednotlivé díly a krokovým otáčením jsou kontrolovány jednotlivé rozměry v následujícím pořadí. Neshodné díly jsou vyřazeny dle druhu neshody. Díly, které splnily veškeré stanovené rozměry, jsou obsluhou baleny do sáčků a vkládány do krabic jako hotové kusy připraveny k prodeji.

6 Analyzování možných příčin nestálosti rozměrů

Pomocí metody diagramu příčin a následků, viz výše, byl sestrojen na základě rozboru, graf č.6-1. Veškeré údaje do grafu byly voleny na základě pozorování procesu s ohledem na skutečnost, že tloušťku určuje proces broušení a od tohoto procesu se možné příčiny volily.



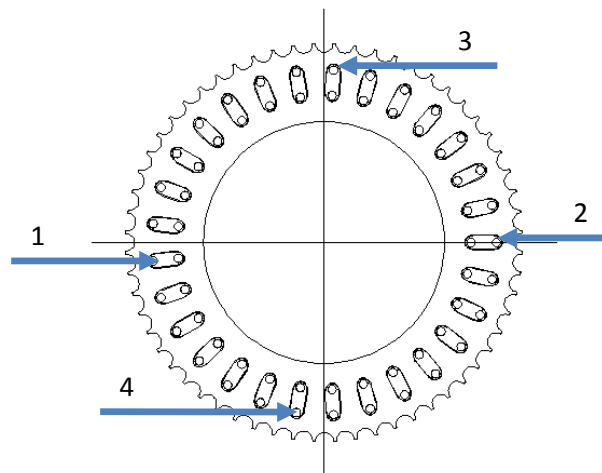
Graf 6-1 Rozbor možných příčin špatného CpK podle diagramu příčin a následků, [autor]

7 Rozbor jednotlivých částí diagramu

7.1 Lidé

7.1.1 Kontrola dílů během broušení

Tato možnost byla zvolena na základě domněnky, že jednotlivé kusy v jednom založení nemusejí mít stejnou tloušťku. Po každém procesu broušení kdy k obsluze brusky dorazí unášecí kotouče spolu s obrobenými díly, jsou vždy kontrolovány tři kusy. Tyto tři kusy pocházejí z kotoučů č. 1, 3 a 5 dle pořadí, ve kterém jsou automaticky dopraveny k obsluze. Při pokusném měření u 10 založení bylo zjištěno, že rozdíly mezi jednotlivými díly ze založení nepřesahují rozměr 0,5 [μm]. Měření probíhalo bezprostředně po obrobení na přístroji (Millitron 1240). Neměřily se pouze 3 kusy z celého založení, ale 4 kusy z každého unášecího kotouče. Vybírány byly vždy přibližně protilehlé kusy, viz obrázek č.7-1 Mezi každou měřenou sérií čtyř kusů, byla přeměřena keramická koncová měrka s hodnotou 3,900 [mm]. Hodnota vždy souhlasila, proto bylo měření považováno za přijatelné.



Obrázek 7-1 Schematické znázornění základacího kotouče s díly „L“ s vyznačením vybraných vzorků k měření, [autor]

Zhodnocení

Hodnoty, které byly naměřeny, se ve všech případech lišily v založení pouze o hodnoty nižší než 0,5 [μm]. Tato rozdílná hodnota je velmi malá a

v nelaboratorních podmínkách pro stanovení přesného rozměru těžko měřitelná. Posloužila však k porovnání jednotlivých dílů. Díly ze stejného založení měli tedy vždy téměř totožný rozměr, jak je vidět v uvedeném příkladu z jednoho založení viz tabulka č.7-1.

Kotouč Vzorek	1	2	3	4	5	6
1	3,9175	3,9176	3,9175	3,9174	3,9175	3,9176
2	3,9175	3,9175	3,9176	3,9174	3,9175	3,9175
3	3,9174	3,9175	3,9175	3,9175	3,9176	3,9174
4	3,9175	3,9175	3,9176	3,9175	3,9175	3,9176

Tabulka 7-1 Hodnoty dílů z jednotlivých unášecích kotoučů z jednoho broušení, [autor]

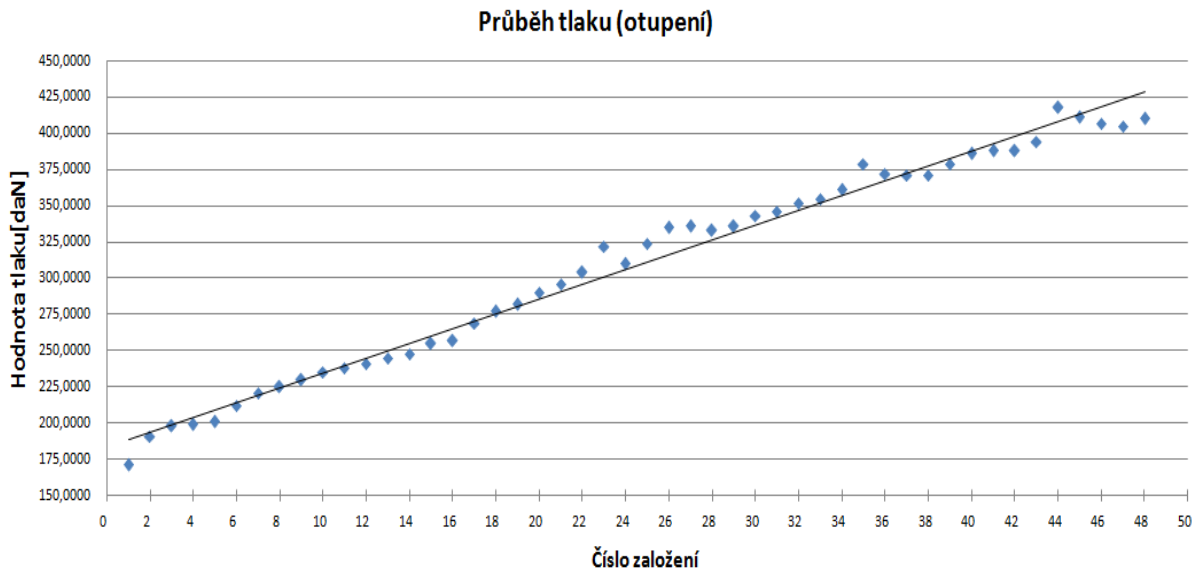
7.1.2 Volba korekce

Jak již bylo zmíněno, z každého hotového založení jsou kontrolovány tři díly. Na základě naměřených rozměrů obsluha volí hodnotu korekce. Respektive určí stroji, zda při dalším broušení bude větší, menší nebo stejný úběr. Bylo provedeno pozorování vkládání korekcí během výroby, které jsou zaznamenány dále v grafu č.7-2.

Velkým problémem je, že samotné rozměry v mikrometrech jsou velice „citlivé“ a držení se v daných rozměrech je v tomto případě skutečně náročné. Během pozorování bylo zjištěno, že největší korekce zadává obsluha na začátku směny, kdy je stroj studený a dostává se do pracovních teplot. Hodnoty korekcí se značně liší s výstupním rozměrem a hodnoty hodně kolísají. Tato skutečnost je dána tepelnou roztažností jednotlivých částí brusky. Když se stroj dostává na svou pracovní teplotu, začnou se snižovat jak hodnoty rozdílů korekcí a hodnot úběrů, tak i velikost kolísání rozměrů. Do této chvíle je výstupní rozměr velice nepředvídatelný. Po zaběhnutí stroje získává obsluha mnohem větší kontrolu nad výstupním rozměrem.

Další ovlivnění korekcí nastává při postupném otupování nástroje, viz graf č.7-1. Výroba je nastavena tak, že jednotlivé ranky se brousí na jedno orovnění a broušení brusných kotoučů. Celá várka jednoho ranku je přibližně 50 založení, tedy 50 krát 174 kusů (8700). Po skončení broušení ranku přichází na řadu orovnění a nabroušení kotoučů. Po tomto kroku jsou korekce rovněž těžko

předvídatelné. Po zaběhnutí „čerstvých“ kotoučů se rozdíly mezi zadanými a obrobenými rozměry vyrovnávají až po již zmíněné otupování.



Graf 7-1 Průběh tlaku během broušení, [autor]

Popis grafu: V grafu č. 7-1 (hodnoty v příloze) je znázorněn průběh tlaku v [daN]*. V těchto jednotkách jsou hodnoty uváděny na pracovním panelu brusky. Hodnoty vyvozené síly při broušení dílu se dle obsluhy pohybují v hodnotách od 150[daN] do 500[daN] (1500 až 5000[N]). V daném případě, který je znázorněn v grafu, je minimální hodnota 171[daN] a maximální hodnota 418[daN]. Hodnoty byly sbírány během kompletního obrábění jednoho ranku, který tvořilo 48 založení. Z grafu je patrné, že stoupání síly má lineární charakter. Tento graf také znázorňuje vzrůstající otupení brusných kotoučů. Velikost zatížení zvyšuje automaticky počítač řídicí proces broušení.

Další velký vliv na nepředvídatelné změny rozměrů má teplota chladicí kapaliny. Příklad hodnot změn teplot kapaliny během dne je uveden v tabulce č. 7-2.

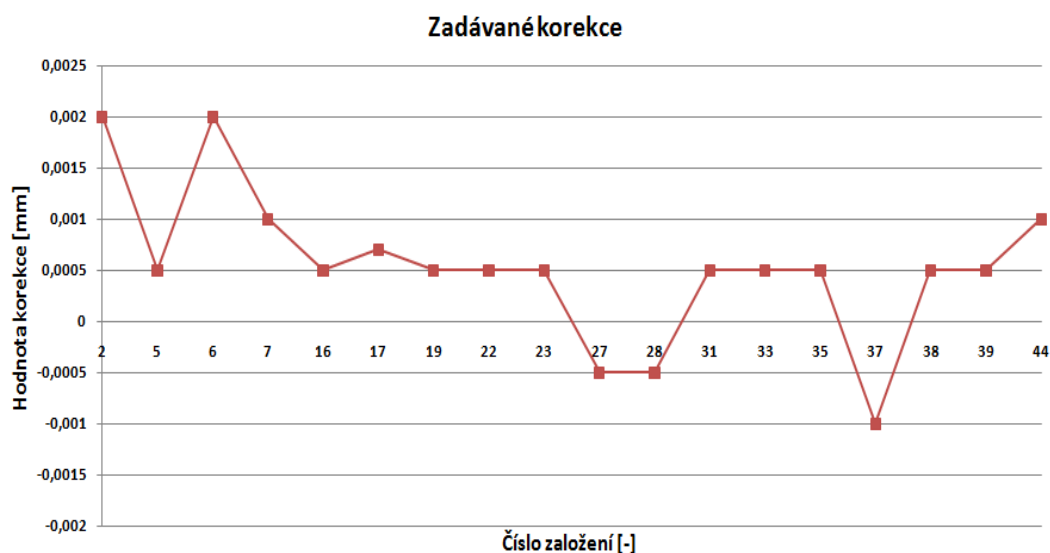
*Méně obvyklá jednotka síly dekanewton (**daN**); převodní vztah **1 daN = 10 N**, tj. **1 kp**. V praxi se lze s dekanewtonem setkat například při stanovení přitlaku elektrod odporového svařování, nebo při uvádění rázové síly v lanech při pádu tělesa. [21]

Dle hodnot v tabulce č. je vidět, že teplota kapaliny, která do řezného procesu vstupuje, kolísavě vzrůstá spolu s teplotou okolí. Teplota kapaliny, která vystupuje z procesu broušení, tedy kapaliny, která převzala část tepla způsobeného broušením, vrůstá přibližně o 5[°C].

Čas	Teplota okolí [°C]	Vstupní teplota kapaliny [°C]	Výstupní teplota kapaliny [°C]
8:37	24	20,8	25,3
9:17	24,5	22,6	27
10:00	25,2	21,3	25,5
10:16	25,5	22,6	27,9
10:28	25,2	23,1	28
11:03	25,2	23,9	28,9
12:00	25,9	23,1	27,8
12:29	26,5	23,2	28
12:48	26,6	22,4	25,9
12:57	26,9	23,5	26,5
14:06	26,7	22,7	26

Tabulka 7-2 Tabulka změn okolní teploty a teplot chladícího média během dne, [autor]

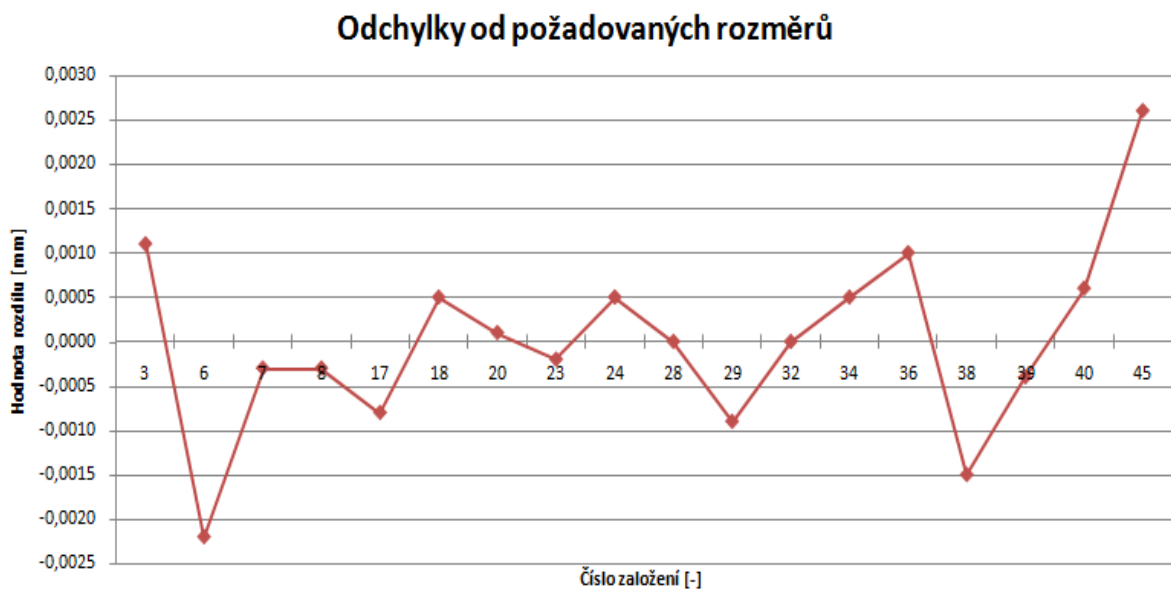
Popis grafu: V grafu č. 7-2 jsou znázorněny hodnoty korekcí během broušení



Graf 7-2 Zadávané korekce během jednotlivých založeních, [autor]

jednoho ranku. Z grafu je vyřazena extrémní hodnota po prvním založení, kdy dochází k nastavení základního rozměru. Na svislé ose jsou vyneseny hodnoty

v [mm] představující zadané kladné a záporné korekce. Hodnoty jsou v rozmezí od $-0,002$ [mm] do $+0,0025$ [mm]. Na vodorovné ose, protínající svislou osu v bodě 0, jsou vynesena čísla založení od 2 do 44, po kterých byly korekce zadané. Z počátku jsou voleny rozdílné hodnoty korekcí. Skoky hodnot se po sedmém založení ustalují a následuje řada korekcí v rozsahu $\pm 0,0005$ mm. Okolo čtyřicátého založení se začínají hodnoty korekcí opět zvětšovat. Převážná většina hodnot korekcí má kladnou hodnotu. Kladná korekce zvětšuje hodnotu přísuvu brusného kotouče, tedy zvětšuje hodnotu úběru. Lze předpokládat, že to je způsobeno úbytkem brusných kotoučů.



Graf 7-3 Odchylky rozměrů od rozměrů zadaných korekcí, [autor]

Popis grafu: V grafu č. 7-3 jsou vyneseny hodnoty rozdílů od předpokládaných rozměrů, které byly stanoveny zadáním jednotlivých korekcí. Na svislé ose jsou vyneseny hodnoty v [mm], které představují kladné a záporné hodnoty rozdílů. Hodnoty jsou v rozmezí od $-0,0025$ [mm] do $+0,0030$ [mm]. Na vodorovné ose, protínající svislou osu v bodě 0, jsou vynesena čísla založení od 3 do 45. Tyto založení byly ovlivněny zadanými korekcemi, viz graf č. 7-2. Vodorovná osa představuje požadovaný rozměr stanovený předešlou korekcí, tedy nulová odchylka. Z grafu je patrné, že opět z počátku a ke konci procesu jsou odchylky od požadovaného rozměru vyšší než ve střední části celého procesu, kde ačkoliv jsou odchylky kolísavé, pohybují se v hodnotách do $0,0005$ [mm].

Zhodnocení

Změny rozměrů o dané korekce jsou ovlivňovány mnoha vlivy, jako jsou například teplota a otupení nástroje. Obsluha se dostává do situace, kdy musí volbu korekcí „odhadovat“. Tento odhad je velice závislý na zkušenosti daného pracovníka. Obsluha se tedy rozhoduje jak na základě naměřeného rozměru a porovnání s požadovaným rozměrem, tak na základě svých vlastních zkušeností, podle kterých hodnotí určitý stupeň otupení brusných kotoučů, vliv teplot a dobu zaběhnutí stroje.

Velkým vlivem je teplota. Ať teplota okolí či teplota stroje. Teplota okolí ovlivňuje teplotu stroje, součásti a kapaliny. Stroj se chodem zahřívá do určité pracovní teploty, kterou ovlivňuje i teplota okolí. Kapalina je zahřívána při procesu broušení teplem stroje, okolí a teplem vzniklém při samotném broušení. Poté je chlazená v chladičích vedle stroje. Chlazení kapaliny je opět ovlivněno okolní teplotou, hlavně v letních měsících, kdy teplota okolí v hale od rána často stoupá k vyšším hodnotám. Výše teplot kapaliny vstupující do procesu pak stoupá také. Dále okolní teplota ovlivňuje teplotu dílů, které mají určitou tepelnou roztažnost a obrábí se vlastně při různých teplotách. Tyto vlivy by se dostaly více pod kontrolu lepším klimatizačním systémem v hale, který by však byl velkou investicí. Další alternativou by bylo umístit brusku s veškerým příslušenstvím do oddělené klimatizované místnosti. V místnosti by pak byla udržována určitá stálá pracovní teplota, což by mohlo mít za výsledek zlepšení odhadu vkládaných korekcí.

Velikost otupení, které je dalším z vlivů, může pracovník sledovat na displeji brusky. Toto otupení je znázorněno velikostí tlaku, který se postupně s otupením zvyšuje, viz graf č. 7-1. Zde je důležitá pozornost obsluhy, která na displeji hodnoty pozoruje a posuzuje. Jak je patrné z grafu, není zde závislost mezi zvyšováním se tlaku a změnou rozdílu korekcí. Pouze v krajních hodnotách, kdy je tlak nízký nebo naopak vysoký, je vysoká hodnota rozdílu korekcí. Vysoký tlak svědčí o otupení kotoučů a naopak nízký tlak je charakteristický pro nabroušené kotouče.

7.2 Metody

7.2.1 Vyhodnocování Cp a Cpk

Pro díly „L“, stejně jako pro jiné a stejně jako v jiných firmách, se hodnotí hodnoty Cp a Cpk popsané výše v teoretické části. Dle této teorie jsou díly link hodnoceny. Teorie pro tyto indexy byla stanovena přibližně před 30 lety. Od té doby se již strojírenství posunulo o velký kus vpřed. Tento krok vpřed je myšlen hlavně v oblasti kvality a kvantity. O nevhodnosti používání indexů způsobilosti Cp a Cpk pro většinu dnešních procesů se ve svých publikacích zmiňuje pan RNDr. Jiří Michálek, CSc.

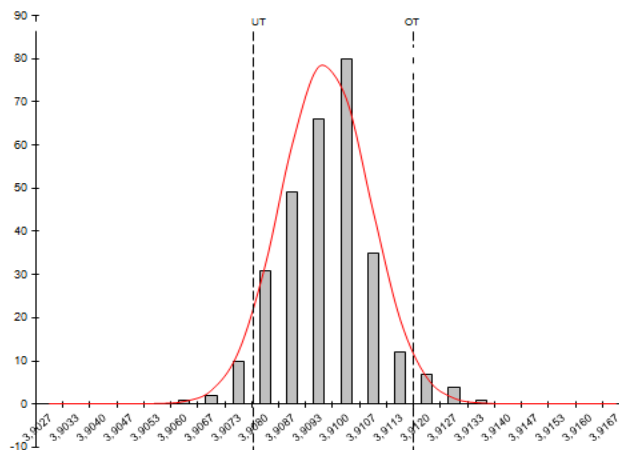
Ve firmě KL jsou indexy vyhodnoceny z dat vložených do programu Excel. Není hodnoceno, zda data odpovídají normálnímu rozdělení, což je základní předpoklad pro Cp a Cpk. Data, z kterých jsou indexy stanovovány, jsou měřena bez zajištění laboratorních podmínek, proto jsou málo věrohodná. Výsledky indexů z programu použitého ve firmě KL neodpovídají výsledkům vypočítaných podle stanoveného postupu.

Výsledky Cp a Cpk pomocí Excelu ve firmě KL:

$$Cp = 0,441$$

$$Cpk = 0,154$$

Hodnoty, z kterých byly indexy stanoveny a s kterými bylo pracováno i pro indexy níže, jsou uvedeny v příloze č. 1.



Graf 7-4 Histogram naměřených hodnot [autor]

Dle histogramu, graf č. 7-4, lze předpokládat normální rozdělení, proto mohou být počítány indexy C_p a C_{pk} . Svislá osa představuje četnost a vodorovná hodnotu dat. UT a OT dolní a horní toleranci.

Provedený výpočet:

Použité vztahy z kapitoly č. 4:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad 4-1$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\} \quad C_{pk} = \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad 4-2$$

$$C_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma},$$

$$C_{pkL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \bar{x}^2} \quad 4-3$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad 4-4$$

Dle vztahů 4-1, 4-2, 4-3 a 4-4 byly vypočteny následující hodnoty:

Střední hodnota $\bar{x} = 3,9098$

Směrodatná odchylka $\sigma = 0,000714985$

Index $\underline{C_p = 0,9324} > C_p = 0,441$

Index $C_{pkU} = 1,0178$

Index $\underline{C_{pkL} = 0,8470} \Rightarrow C_{pk} > C_{pk} = 0,154$

Vypočtené odhady hodnot se od hodnot stanovených ve firmě KL naprosto liší. Je proto potřeba používaný postup přehodnotit a případně opravit.

7.2.2 Čistota dílu

Díly jsou kontrolovány na třídícím automatu, kde je tloušťka kontrolována dvěma po sobě jdoucími kulovými dotyky. Díly jsou ke kontrole dopravovány po procesu nitridace. Kontrola neprobíhá bezprostředně po vychladnutí, ale určitou dobu leží díly v bednách, než přijdou na řadu a jsou vloženy ke kontrole. K nitridaci postupují pouze čisté díly. Po nitridaci jsou díly uloženy do děrovaných beden. Od této chvíle se již čistota dílů nikterak nehlídá. Díly jsou před kontrolou vystaveny například prachu a jiným nečistotám, které na nich mohou ulpět.

Zhodnocení

Kontrola rozměrů má probíhat s určitými pravidly. O to více by se na tyto pravidla mělo pohlížet při měření v mikrometrech. Čistota je jedním z faktorů, který může měření zásadně ovlivnit. Díly jsou kontrolovány oboustranným kulovým dotykem. Měření probíhá dvakrát. Jednou na jednom a podruhé na druhém dotyku. Toto dvojí měření může vyloučit díl, na kterém by byla případná místní nečistota a při jednom z měření by tak byl rozměr měřen s chybou. Zde pak počítač vyhodnotí oba naměřené rozměry, a pokud je rozdíl větší než 2 μ m, je díl vyřazen pro špatnou tloušťku. Zde je však určitá pravděpodobnost, že by oba dotyky mohli změřit rozměr se stejnou chybou a tím by byl zaznamenán rozměr větší než skutečný. Vyřazené díly podstupují znovu kontrole. V tabulce č.8-1 (kapitola 8) je uvedeno několik případů počtů vyřazených dílů, které byly znovu zkontrolovány, spolu s počtem vyřazených dílů po druhé kontrole. Tyto hodnoty a případné špatné náměry by mohlo snížit zajištění čistoty dílů vypráním před samotnou kontrolou.

7.3 Prostředí

7.3.1 Teplota okolí

Čas	Teplota [°C]	Vlhkost [%]
8:45	24,0	56,6
9:15	24,5	53,9
10:15	25,2	52,3
10:30	25,5	51,9
11:00	25,2	52,5
11:15	25,2	52,0
12:00	25,9	29,9
12:48	26,5	46,6
13:00	26,6	47,3
13:28	26,9	44,4
14:06	26,7	42,1

Tabulka 7-3 Tabulka změn teploty a vlhkosti okolí během pracovního dne, [autor]

Jak již bylo výše zmíněno (část volba korekce), teplota zásadně ovlivňuje jak proces broušení, tak i samotné měření při konečné kontrole. V tabulce č. 7-3 jsou uvedeny naměřené teploty a vlhkosti v hale během dne od 8:45 do 14:06. Pouze během této doby se teplota zvýšila téměř o 3°C a vlhkost se snížila o 14,5%. Tyto naměřené teploty jsou spíše extrémní, kdy venku byly teploty okolo 30°C. V letních dnech jsou změny teplot nejradikálnější.

Dále bylo provedeno měření stejných dílů, při různých teplotách. Naměřené hodnoty teplot a rozměrů jsou uvedeny v tabulce č. 7-4 a č. 7-5. Náměry byly provedeny na 18 dílech po broušení (tab. č. 7-4) a 18 dílech po nitridaci (tab. č. 7-5). Dle těchto náměrů se v naměřeném rozsahu teplot rozměry v [μm] nezměnily. Uvedená teplota prvního měření u broušeného dílu je teplota okolí naměřená při odebrání a změření vzorku. Druhé měření broušených vzorků probíhalo při stejné teplotě 22,5[°C]. Nitridované vzorky byly měřeny za teploty 22,3[°C] při prvním měření a při druhém za teploty 24,3[°C]. V obou případech byl rozestup mezi prvním a druhým měřením čtyři dny. Možnost vzniku chyby byla snížena opakováním měření a opakovaným proměřením keramické koncové měrky. Měření probíhalo pomocí oboustranného kulového dotyku, stejného jako je použito při konečné kontrole. Výběr dílů k měření byl náhodný.

Broušený vzorek	Teplota při prvním měření [°C]	První naměřený rozměr[mm]	Rozměr naměřený po 4 dnech[mm] *
1.	24	3,8772	3,8770
2.	24	3,8766	3,8769
3.	24,5	3,8763	3,8765
4.	24,5	3,8758	3,8760
5.	25,2	3,9290	3,9287
6.	25,2	3,9139	3,9140
7.	25,5	3,9190	3,9193
8.	25,5	3,9200	3,9218
9.	25,5	3,9219	3,9221
10.	25,2	3,9201	3,9200
11.	25,2	3,9217	3,9220
12.	25,9	3,8910	3,8910
13.	25,9	3,8907	3,8910
14.	26,5	3,8903	3,8900
15.	26,5	3,8916	3,8920
16.	26,6	3,8906	3,8901
17.	26,6	3,8910	3,8906
18.	26,7	3,8904	3,8906

*Měřeno při teplotě 22,5 [°C].

Tabulka 7-4 Hodnoty broušených dílů po broušení a po 4 dnech, [autor]

Nitridovaný vzorek	První naměřený rozměr[mm] při teplotě 22,3[°C]	Rozměr naměřený po 4 dnech[mm] * při teplotě 24,3[°C]
1.	3,9057	3,9060
2.	3,9108	3,9111
3.	3,9071	3,9072
4.	3,9110	3,9109
5.	3,9148	3,9151
6.	3,9118	3,9120
7.	3,9138	3,9141
8.	3,9116	3,9120
9.	3,9075	3,9078
10.	3,9137	3,9142
11.	3,9079	3,9083
12.	3,9074	3,9078
13.	3,9127	3,9131
14.	3,9103	3,9099
15.	3,9100	3,9097
16.	3,9101	3,9098
17.	3,9056	3,9060
18.	3,9091	3,9087

Tabulka 7-5 Hodnoty nitridovaných dílů po nitridaci a po 4 dnech, [autor]

Zhodnocení

K měření tloušťky bylo náhodně vybráno 18 broušených a 18 nitridovaných dílů. Ani jeden vzorek neprojevil po 4 dnech větší změnu rozměru. Maximální hodnoty rozdílu hodnot nepřesáhly 0,0005 [mm]. Naměřené hodnoty byly ověřeny opakovaným měřením. Je možné, že se větší změny neprojeví pouze u těchto náhodně vybraných vzorků a při těchto rozdílných teplotách.

Ačkoliv výsledek může svědčit o tom, že teplota prostředí nemá při kontrole tloušťky u tohoto dílu žádný nebo zcela minimální vliv, je však nutné podotknout, že výsledné hodnoty rozměrů jsou hodnoceny právě v deseti tisícinách [mm] (tj. 0,1[μ m]). Vzhledem k tomu, že kontrola probíhá v nelaboratorních podmínkách, je téměř nemožné při nestálých podmínkách zajistit přesné měření tak malého rozměru. Jak již bylo napsáno výše, viz volba korekce, vliv teploty by se zamezil pouze udržováním stálé teploty, aby kontrola probíhala za stále stejných podmínek. Toto řešení by bylo však značně finančně nákladné.

7.3.2 Vibrace od okolních strojů

Vibrace z okolí by mohla ovlivňovat výsledky kontrolního automatu. Automat je umístěn na kraji haly poblíž kontrolní laboratoře. Lisy a zařízení způsobující vibrace jsou umístěny v opačné části haly. Tento fakt však zcela nevylučuje určité ovlivnění. Lze se však domnívat, že kontrolní laboratoř má vhodné umístění a místo v její bezprostřední blízkosti je pro kontrolní automat vhodný.

Zhodnocení

Kontrolní automat je dle výrobce přizpůsoben k práci v nepříznivých podmínkách. Od podlahy je izolován tlumením a na měření by malé vibrace neměly mít žádný vliv. Případné chyby způsobené vibrací by byly odhaleny druhým měřením tloušťky (viz výše čistota dílu), kdy by se druhý rozměr neshodoval s předchozím. Tyto možné vyřazené díly jsou posléze znovu kontrolovány a jejich počet je tak eliminován.

7.4 Materiál

Vzhledem k lisování, tepelnému zpracování a obrábění broušením, vznikají v materiálu různá pnutí či strukturní změny, které mají vliv na změnu rozměru.

7.4.1 Vnitřní pnutí

Vnitřní pnutí je v dílu vyvoláno v první řadě lisováním. Toto vnitřní pnutí se uvolní po kalení a popouštění, které následuje po lisování. Dochází ke změně rozměrů tj. i tloušťky. Tato změna však probíhá před broušením na požadovanou tloušťku. Není tedy nikterak důležitá, co se tloušťky týče. Tloušťka je udána broušením, které způsobuje také určité vnitřní pnutí v součásti. Od chvíle po broušení je jakákoliv změna tloušťky nežádoucí. Proto byly sledovány

<u>Vzorek ranku 16</u>	Rozměr po broušení [mm]	Rozměr po omílání [mm]	Rozměr po nitridaci [mm]
1.	3,910	3,905	3,909
2.	3,912	3,911	3,913
3.	3,910	3,907	3,911
4.	3,912	3,911	3,913
5.	3,913	3,914	3,916
6.	3,911	3,912	3,915
7.	3,914	3,914	3,916
8.	3,912	3,911	3,914
9.	3,908	3,907	3,910
10.	3,914	3,913	3,916
11.	3,908	3,908	3,910
12.	3,910	3,908	3,912
13.	3,915	3,913	3,915
14.	3,912	3,911	3,914
15.	3,909	3,907	3,910
16.	3,915	3,912	3,916
17.	3,914	3,911	3,914
18.	3,914	3,912	3,916
19.	3,913	3,912	3,916
20.	3,911	3,908	3,911

Tabulka 7-6 Hodnoty jednotlivých dílů po broušení, omílání a nitridaci (autor)

díly až od tohoto procesu. Zásadními kroky, při kterých by se mohlo vnitřní pnutí uvolnit a změnit rozměr, je po broušení, omílání a následné tepelné zpracování karbonitridací. V tabulkách č. 7-6 a č. 7-7 jsou hodnoty naměřených dílů po broušení, omílání a po nitridaci. Měření probíhalo na přístroji (militron 1240) s dvoubodovým kulovým dotykem. Jednotlivé díly byly vždy přeměřeny vícekrát a na různých místech dílu. Během měření byla opět použita keramická koncová měrka pro kontrolu měření. Vzhledem k velikostem změn rozměru a skutečnosti, že díly byly měřeny v nelaboratorních podmínkách, jsou rozměry v [mm] zaokrouhlena na tři desetinná místa.

Vzorek ranku 15	Rozměr po broušení [mm]	Rozměr po omílání [mm]	Rozměr po nitridaci [mm]
1.	3,908	3,908	3,910
2.	3,908	3,909	3,911
3.	3,908	3,908	3,910
4.	3,910	3,908	3,912
5.	3,909	3,909	3,910
6.	3,909	3,909	3,912
7.	3,909	3,909	3,909
8.	3,908	3,906	3,910
9.	3,909	3,909	3,910
10.	3,909	3,908	3,910
11.	3,909	3,908	3,912
12.	3,908	3,908	3,910
13.	3,908	3,905	3,909
14.	3,909	3,907	3,909
15.	3,909	3,909	3,911
16.	3,908	3,908	3,911
17.	3,908	3,908	3,910
18.	3,909	3,908	3,912
19.	3,908	3,907	3,91
20.	3,909	3,908	3,909

Tabulka 7-7 Hodnoty jednotlivých dílů po broušení, omílání a nitridaci (autor)

Zhodnocení

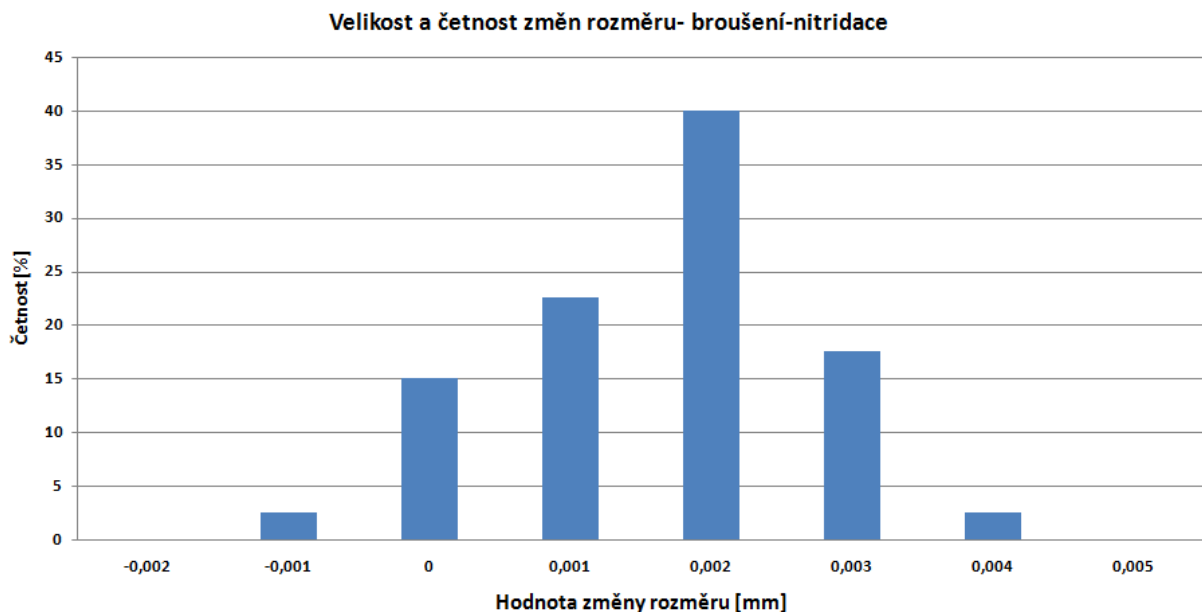
Velikost vnitřního pnutí změřena nebyla. Nelze tedy posoudit jeho velikosti. Dle provedených srovnání rozměrů se však lze domnívat, že má vliv na změnu rozměru. Změnu tloušťky nemá samozřejmě na svědomí pouze vnitřní pnutí. Po omílání byla většina ze všech 40 naměřených rozměrů menší až na tři vzorky, u kterých byla hodnota o 0,001[mm] větší než po broušení. Další změna rozměrů nastala po nitridaci. Po nitridaci mělo všech 40 naměřených vzorků větší rozměr než po omílání až na jeden vzorek, u kterého byl naměřen nulový rozdíl od rozměru po omílání.

V případě omílání stojí za nižšími hodnotami s největší pravděpodobností hlavně úprava povrchu omíláním. Zvětšení rozměru po omílání mohlo být zapříčiněno určitým uvolněním vnitřního pnutí, nebo způsobením chyby měření. Chyba měření byla minimalizována opakovaným změřením jednotlivých dílů a průběžným měřením koncové měřky.

Po nitridaci se rozměry dílů dle očekávání zvětšily. Dále k nitridování, viz změna rozměru po karbonitridaci, níže.

7.4.2 Změna rozměru po karbonitridaci

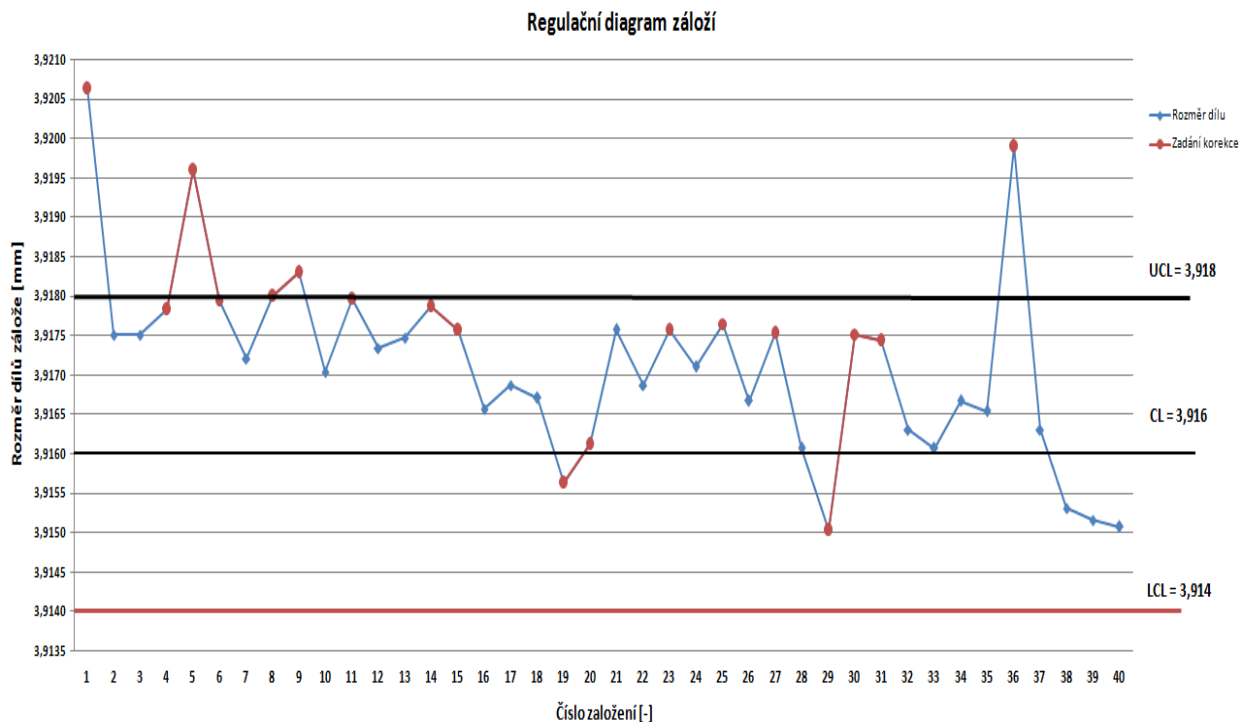
Karbonitridace není nanášení vrstvy na povrch, ale sycení povrchu dusíkem a uhlíkem. Mohlo by se zdát, že se rozměr součásti po této operaci nezmění.



Graf 7-5 Histogram změn rozměrů po karbonitridaci [autor]

S nárůstem rozměrů se však musí počítat. Jedná se o nárůst kvůli zvětšení objemu součásti o objem absorbovaných atomů dusíku a uhlíku do materiálu (vznik nitridů a změny parametrů krystalových mřížek), ale také kvůli uvolnění vnitřních napětí.

Byl proveden pokus, kdy se označené broušené díly přeměřily před a znovu po karbonitridaci. Hodnoty náměrů jsou v tabulkách č.7-4 a č.7-5. V grafu č.7-5 jsou znázorněny velikosti nárůstů rozměrů po nitridaci a jejich četnosti v [%]. Nejvíce kusů projevilo změnu rozměru o 0,002 [mm]. Z tohoto vyplývá, že broušené díly by měli být minimálně o 0,002 [mm] užší než střední hodnota požadovaného ranku.



Graf 7-6 Hodnoty po broušení s vyznačením zadání korekce [autor]

Zhodnocení

Graf č.7-6 je stanoven z náměrů mezi jednotlivými cykly broušené během výroby jedné série. Vyráběný díl měl mít po nitridaci maximální rozměr 3,9200 [mm] a minimální 3,9160 [mm]. Střední hodnota je 3,918 [mm] a střední hodnota regulačního diagramu broušení je tedy o 0,002 [mm] níže na 3,916 [mm]. V grafu jsou kosočtverci (modrá) vyznačeny naměřené hodnoty a kolečka

(červená) vyznačují hodnoty, při kterých byla zadána korekce. Hodnoty jsou v tabulce č.7-8. V grafu se opět projeví koncové extrémní hodnoty. Na základě předchozího grafu velikostí nárůstů rozměrů po karbonitridaci je zřejmé, že díly s hodnotami blízko, nebo nad horní toleranci regulačního diagramu, s velkou pravděpodobností přesáhnou po karbonitridaci maximální rozměr 3,920. Bylo by tedy vhodné zúžit toleranční rozptyl regulačního

Pořadí založení	Rozměr [mm]	Hodnota korekce [mm]
1.	3,9206	0,002
2.	3,9175	-
3.	3,9175	-
4.	3,9178	0,0005
5.	3,9196	0,002
6.	3,9179	0,001
7.	3,9172	-
8.	3,9180	0,0005
9.	3,9183	0,0007
10.	3,9170	-
11.	3,9180	0,0005
12.	3,9173	-
13.	3,9175	-
14.	3,9179	0,0005
15.	3,9176	0,0005
16.	3,9166	-
17.	3,9169	-
18.	3,9167	-
19.	3,9156	-0,0005
20.	3,9161	-0,0005
21.	3,9176	-
22.	3,9169	-
23.	3,9176	0,0005
24.	3,9171	-
25.	3,9176	0,0005
26.	3,9167	-
27.	3,9175	0,0005
28.	3,9161	-
29.	3,9150	-0,001
30.	3,9175	0,0005
31.	3,9174	0,0005
32.	3,9163	-
33.	3,9161	-
34.	3,9167	-
35.	3,9165	-
36.	3,9199	0,001
37.	3,9163	-
38.	3,9153	-
39.	3,9152	-
40.	3,9151	-

Tabulka č.7-8 naměřené hodnoty po jednotlivých cyklech porušení a zadané korekce [autor]

diagramu pro obsluhu brusky a poučít obsluhu o držení se v této mezi z důvodu pozdějšího nárůstu rozměru. Bylo by také vhodné, aby obsluha brusky rozdělovala díly, které vyhovují regulačnímu diagramu a díly, které z nějakých příčin zasahují mimo regulační mez, nebo jsou na samotném kraji.

7.5 Zařízení

7.5.1 Měřicí zařízení

Jak již bylo výše uvedeno, díly procházejí dvojitou kontrolou tloušťky na dvou stejných, ale nezávislých měřidlech. K měření je použito oboustranného kulového dotyku. Dvojitá měření za sebou probíhá pro kontrolu změřeného rozměru a k snížení vzniku možné chyby. Při změřených rozměrech jsou počítačem oba rozměry posouzeny. Pokud je rozdíl mezi naměřenými rozměry větší než 0,002[mm], je díl automaticky vyřazen.

Je nutné počítat s nejistotou měření způsobenou měřicím zařízením. K měření jsou použity přesné indukční snímače Millimar 1340. Tyto měřicí dotyky pracují s měřicím zařízením Millitron 1240. Možná chyba v celém rozsahu měření dotyku – 2 [mm], je až 0,004 [mm]. Výsledné hodnoty v desetinách mikrometru jsou tedy značně nedůvěryhodné již kvůli této nejistotě měřidla.

7.5.2 Brusný kotouč

Používané brusné kotouče nesoucí základní označení 1A2 720/200/3 B39. Jsou tvořeny zrny z kubického nitridu boru. Jsou doporučeny pro broušení materiálů s tvrdostí vyšší než 58 HRC. Tvrdost dílů „L“ se po popouštění, tedy před broušením, pohybuje okolo 60 HRC. Dle doporučení výrobce kotouč vyhovuje danému materiálu a jeho nevhodnost je tedy vyloučena. Svou kvalitou a vhodnost potvrzuje i zkušenost ve firmě KL s tímto typem kotouče.

8 Ekonomické zhodnocení

Výhodou výroby dílu „L“ je, že je vyráběn ve 26 odstupňovaných tloušťkách (rancích). Z tohoto důvodu jsou veškeré vyrobené díly, které spadají do vyššího, nebo nižšího ranku zařazeny právě do příslušného ranku jako dobré kusy. Nejde tedy o ztráty výrobou zmetků. Jediným případem, kdy se jedná o vadné díly z hlediska tloušťky, jsou díly v krajních rancích, které „spadnou“ nad hranici maximální nebo pod hranici minimální hodnoty tloušťky, nespádají tak do žádného ranku a jsou vyloučeny jako zmetky. Hodnoty z třídícího automatu pro tyto krajní ranky však nebyli při zpracovávání této práce k dispozici. Z ekonomického hlediska proto bude propočten nákladů na opakované měření vyřazených dílů pro nezařaditelnou tloušťku.

V tabulce č.8-1 jsou počty rozříděných dílů kontrolním automatem za jeden měsíc. Vyřazené díly pro nezařaditelnou tloušťku může z velké části ovlivňovat nečistota na dílech, které nejsou před kontrolou nijak očištěny. Po druhé kontrole, viz tabulka č.8-2, je z celkového počtu vyřazeno pouze 32,29 %. Necelých 70 % dílů je tedy zařazeno zpět do ranků.

	vyšší rank	požadovaný rank	nižší rank	nezařaditelná tloušťka	jiné neshody	Qc-celkový počet dílů
[ks]	8200	144200	80000	9831	15413	257644
[%]	3,18	55,97	31,05	3,82	5,98	100

Tabulka 8-1 Hodnoty rozříděných kusů za období 1 měsíc [utor]

Vyřazené díly po prvním měření – V1	Vyřazené díly po druhém měření – V2	Počet vrácených dílů= V1-V2
9831	3174	6657

Tabulka 8-2 Hodnoty vyřazený a zpět přijatých dílů za období 1 měsíc, [utor]

Jelikož lze předpokládat, že podstatnou část vyřazených dílů způsobí nečistoty, bude následující výpočet za předpokladu, že po zařazení operace praní by byl počet vyřazených dílů pro tloušťku po druhém měření stejný.

Vrácené díly představují počet dílů, které by byly díky operaci praní zařazeny již po prvním měření. Dle těchto dílů budou vypočteny náklady na jejich opětovnou kontrolu. Potřebné hodnoty k cenám viz tabulka č.8-3.

Ns-náklady na kontrolní automat [Kč/hod.]	Tk-Čas kontroly 1 kusu [s]	Nd- náklady na výrobu dílu "L" [Kč/ks]	Np- náklady na praní [kč/ks]
1000	4	10	0,1

Tabulka 8-3 Hodnoty časů a cen vybraných částí [utor]

<p>Počet zkontrolovaných kusů za hodinu: $Q=3600/Tk$ $Q=3600/4$ <u>$Q=900$</u></p>	<p>Čas potřebný pro kontrolu vrácených dílů: $T=V/Q$ $T=6657/900$ <u>$T=7,397$</u></p>
<p>Náklady na kontrolu vrácených kusů: $Nv=T*Ns$ $Nv=7,397*1000$ <u>$Nv=7397$ Kč</u></p>	<p>Náklady na čištění dílů před kontrolou: $Nč=Qc*Np$ $Nč=257644*0,1$ <u>$Nč=25764,4$ Kč</u></p>

Tabulka 8-4 výpočty [utor]

Za předpokladu, že by se vypráním dílů před kontrolou odstranila druhá kontrola kusů s dobrým rozměrem, vyřazených kvůli nečistotám, by se dle výpočtů výše, operace praní nevyplatila, jelikož náklady na kontrolu vyřazených dobrých kusů jsou o více jak jednu třetinu menší než náklady na praní všech dílů. Zde je však nutné si uvědomit, že nečistoty ovlivňují i rozměry kusů zařazených do příslušného ranku. Praním by se tak mohlo také předejít případným reklamám kvůli špatně zařazeným dílům. Další výhodou by byla větší věrohodnost naměřených rozměrů, kterou by však zvýšila další investice a to do zvláštní místnosti pro kontrolu, kvůli zajištění stálých podmínek. Tato investice by se však pohybovala v oblasti okolo 200 000,-Kč. Možností je také investice do přestavby kontrolního automatu specializující se firmou. Tato přestavba by spočívala ve vytvoření zakrytého místa v automatu, kde by docházelo k očištění dílu, jeho vysušení a zajištění stálé teploty měření. Hodnota této investice by však spočívala ve zhodnocení možností, které se liší od typů a konstrukcí kontrolních automatů.

9 Závěr

Výroba dílu „L“ je poměrně zvládnutý proces, založený na několikaleté zkušenosti a provedených zkouškách. Přesto zde však jsou slabá místa, z kterých jde některá napravit. Analýza výroby byla založena na zadání, zjistit možné příčiny rozptylu rozměrů tloušťky. Analýza se na základě toho, že tloušťka dílu je udána broušením vztahovala na výrobu od procesu broušení. Na základě metody příčin a následků byli stanoveny možné příčiny, které byly dále hodnoceny viz tabulka č.8-5.

Činitel	Vliv	Následek	Příčina	Závěr
Lidé	Kontrola dílů během broušení	Neodhalené různé rozměry jednotlivých dílů v záloži	Malý počet zkontrolovaných dílů broušených v jednom založení(3 kusy ze 174)	Vyloučeno-Není potřeba kontroly více dílů, Rozdíly mezi jednotlivými díly max. do 0,0005 mm
	Volba korekce	Různé rozměry mezi jednotlivými založeními	Vlivy: Teplota okolí, pozdní zásah obsluhy. malá zkušenost obsluhy	Klimatizovaná místnost, zúžení regulace v regulačním diagramu, počítač pro rychle stanovení vložení korekce
Metody	Vyhodnocování Cp a Cpk	Nízké hodnoty Cp a Cpk	Nevěrohodná data. edodržení pravidel stanovení indexů	Klimatizovaná místnost, přehodnocení postupu stanovování indexů, počítačové zaznamenávání dat
	Čistota dílů	Špatné rozměry	Nečistoty na kontrolovaných dílech	Zařazení procesu praní před kontrolu
Prostředí	Teplota okolí	Kolísání rozměrů při broušení Špatné rozměry	Změna teplot ovlivňující měřidla, brousící stroj a obrobek	Klimatizace, klimatizované oddělení
	Vibrace od okolních strojů	Chyby měření	Okolní stroje u kontrolního automatu	Přemístění kontrolního automatu
Materiál	Vnitřní pnutí	Změny rozměrů po omílání a karbonitridaci	Lisování, broušení	Minimální vliv
	Změna rozměru po karbonitridaci	Změna rozměru karbonitridaci	Sycení povrchu dusíkem a uhlíkem	Nutno předpokládat - Pravidelný nárůst pouze o 0,002 mm
Zařízení	Chyba měřidla	Chyby měření	Nestálé podmínky měření, nejistota měřidla Nelaboratorní podmínky	Klimatizovaná místnost
	Nevhodný brusný kotouč	Časté korekce	Špatná volba kotouče	Vyloučeno-Kotouč dle broušeného materiálu

Tabulka 8-5 Závěr [autor]

Na základě rozboru výroby a potvrzení, či vyvrácení počátečních návrhů k ověření, by konečné výsledky tloušťky dílů z kontrolního automatu mohlo vylepšit několik návrhů. Finančně nejméně náročným řešením by bylo poučení obsluhy brusky, aby díly, které z nějakých příčin zasáhnou pod nebo nad regulační mez, byly odděleny od dílů vyrobených v mezích regulace. Tím se separují případné nižší a vyšší výsledné hodnoty, které v konečném výsledku ovlivňují způsobilost procesu. Dále by výsledky hodnocení procesu zlepšila větší kontrola obsluhy, která sice zaznamenává hodnoty vyrobených dílů, ale pouze každý třetí cyklus a pokud vyjde špatný rozměr, není zaručeno, že ho skutečně zaznamená. K této kontrole by přispělo propojení kontrolního měřícího zařízení s počítačem, který by hodnoty zaznamenával a zároveň by za obsluhu spočítal následné doporučené korekce, pro které se však obsluha rozhoduje i na základě svých zkušeností. Nevýhodou je investice do počítače a programu pro připojení měřícího zařízení. Toto řešení by však přineslo větší kontrolu a snadnou regulaci procesu broušení. Zavedením stejného systému u kontrolního automatu by byly k dispozici okamžité výsledky způsobilosti procesu. Další zlepšení výsledků by přineslo zavedení procesu praní dílů před kontrolou. Tento proces by podle propočtů sice nebyl výhodný, ale přinesl by větší věrohodnost výsledků měření a snížil množství chybně vyřazených dílů. Pro samotné hodnocení indexů způsobilosti, by měl být kladen důraz na podmínky pro hodnocení. Dále by měla být data rozměrů tloušťky pro stanovení indexů způsobilosti měřena za stálých podmínek v klimatizované místnosti. Přemístění brusky a kontrolního automatu, aby nebylo teplotou ovlivněno broušení ani 100% kontrola, do klimatizované místnosti pro stálou teplotu je spíše utopický návrh řešení.

Hlavními důvody špatných výsledků C_p a C_{pk} pro díl „L“ byly tedy zjištěny:

- Nerespektování zásad k hodnocení indexů způsobilosti
- Nerespektování metrologických zásad při získávání dat k hodnocení
- Nedostatečná kontrola regulace broušení
- Neoddělování dílů vyrobených mimo toleranci od dílů vyhovujících

Pro objektivnější hodnocení a pokud by se zpřísnil požadavek zákazníka na plnění hodnot C_p a C_{pk} , bylo by minimálně nutné změnit postup hodnocení a

získávání dat. Dále poučit obsluhu brusky o zúžení regulačních mezí a o nutnosti třídění dílů s tloušťkou mimo regulační mez.

Cesta k lepším výsledkům závisí na kvalitě přípravy, „Kdybych měl 8 hodin na pokácení stromu, 6 bych strávil broušením sekyry.“ (Abraham Lincoln (1809-1865)) [1].

Seznam požitých literatury a textů:

- [1] Abraham Lincoln. In: *AZcitaty.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://azcitaty.cz/abraham-lincoln/20974/>
- [2] *KERN-LIEBERS CR* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.kern-liebers.cz>
- [3] *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část* [online]. Brno, 2005 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf. Učební text. VUT v Brně.
- [4] *Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik*. Berlín, 2000. ISBN 3-8167-59609-3. Disertační Práce.
- [5] Machine. *Stahli* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.stahli.com/index.php?id=555&L=#>
- [6] CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVŮ. Tumlikovo Metal cutting technologies [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nitridovani-oceli/>
- [7] Automatické testování výrobků. *M&M Spektrum* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/automaticke-testovani-parametru-vyrobu.html>
- [8] Sedm základních nástrojů zlepšování kvality. *Encyklopedie.divoch.info* [online]. 11.1.2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://encyklopedie.divoch.info/cs/Sedm_z%C3%A1kladn%C3%ADch_n%C3%A1stroj%C5%AF_zlep%C5%A1ov%C3%A1n%C3%AD_kvality
- [9] Statistické regulační diagramy. In: *Www.vscht.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1385/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/SRD-1.pdf
- [10] *STATISTICKÁ REGULACE VÝROBNÍHO PROCESU VE FIRMĚ* [online]. Brno, 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14785. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [11] *Process capability* [online]. Praha, 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: nb.vse.cz/~HULOVA/PM_493/PM_493_5.ppt
- [12] MICHÁLEK, Jiří. Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu. In: *Sborník příspěvků 1. konference Centra pro jakost a spolehlivost výroby*. Praha: ČVUT v Praze, 2007, s. 10. ISBN 978-80-01-03709-6. Dostupné z: <http://www.statapol.cz/request/request2006/sbornik/michalek.pdf>

[13] HUTÝRA, M.. Hodnocení způsobilosti procesů. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/>

[14] MICHÁLEK, Jiří. *Vyhodnocování způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu* [online]. Praha, 2009 [cit. 2012-05-19]. ISBN 978-80-0903834-2-5. Dostupné z: <http://library.utia.cas.cz/separaty/2009/SI/michalek-evaluation%20of%20process%20capability%20and%20performance-kniha.pdf>. Vědecká práce. Centrum pro jakost a spolehlivost ve výrobě.

[15] MICHÁLEK, Jiří. Nový pohled na Shewhartovy regulační diagramy. *Odborné časopisy* [online]. 2001, 7-8 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070110.pdf>

[16] Analýza výrobního procesu. *ISQ PRAHA s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: isq.cz/npj/2010/02%20-%20Nenormalni%20rozdeleni.ppt

[17] Computing Your Skill. *MOSERWARE* [online]. 18-3-2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.moserware.com/2010/03/computing-your-skill.html>

[18] Normální rozdělení. *VŠE v Praze* [online]. Copyright 1998-2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://iastat.vse.cz/Normalni.htm>

[19] MICHÁLEK, Jiří. Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu. In: *Sborník příspěvků 1. konference Centra pro jakost a spolehlivost výroby*. Praha: ČVUT v Praze, 2007, s. 10. ISBN 978-80-01-03709-6. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/request/request2006/sbornik/michalek.pdf>

[20] Přehled vlastností oceli 34CrMo4. *Bohdan Bolzano s.r.o.* [online]. (c) 1998 - 2004 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprir/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_34CrMo4/

[21] Značení a jednotky - síla. *Síla divoče* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://sila.divoce.cz/znaceni-a-jednotky/>

Seznam obrázků

- Obrázek 2-1 Budova firmy Kern-Liebers spol. s r.o. v Českých Budějovicích, [převzato z: 2]
Obrázek 2-2 Schematické znázornění dílu "L" se základními rozměry, [autor]
Obrázek 3-2 Schematické porovnání vzniku třísky a deformačních oblastí při soustružení, frézování a broušení, [převzato z: 3]
Obrázek 3-2 Schematické znázornění vzniku třísky s označenými základními parametry, [převzato z: 3]
Obrázek 3-3 Schematické znázornění brusného zrna v záběru z bočního a předního pohledu, [převzato z:3]
Obrázek 3-4 Schematické znázornění vzniku ostrých hran-samoostření, [převzato z:3]
Obrázek 3-5 Historická fotografie jednoho z prvních lapovacích a brousících strojů, [převzato z: 4]
Obrázek 3-6 Skica Leonarda Da Vinciho-planetové broušení, [převzato z:4]
Obrázek 3-7 Dvoukotoučová bruska pro rovinné broušení DLM 705, [převzato z: 5]
Obrázek 3-8 Dvoukotoučová bruska pro rovinné broušení DLM 705- pracovní pohyby, [převzato z: 5]
Obrázek 3-9 Typy osazení kotoučů, [převzato z:5]
Obrázek 3-10 Brousící nástroj, [převzato z: 5]
Obrázek 3-11 Diagram příčin a následků-„Išikawův“diagram, [převzato z: 8]
Obrázek 3-12 Kontrolní tabulka-záznamník dat, kontrolní formuláře, [převzato z: 8]
Obrázek 3-13 Histogram-rozdělení četnosti, [převzato z: 8]
Obrázek 3-14 Paretův diagram, [převzato z: 8]
Obrázek 3-15 Korelační diagram-bodový graf(Scatter diagram),regulační a korelační analýza, [převzato z:8]
Obrázek 3-16 Vývojový diagram-Flow chart, [převzato z:8]
Obrázek 3-17 Regulační diagram, [převzato z:8]
Obrázek 4-1 Znázornění hodnot pro C_p v grafu, [převzato z: 13]
Obrázek 4-2 Znázornění změn grafu se změnami C_p a σ , [převzato z: 13]
Obrázek 4-3 Znázornění hodnot pro C_{pk} v grafu, [převzato z:13]
Obrázek 4-4Porovnání grafů při změně C_{pk} a zachování C_p , [převzato z: 13]
Obrázek 4-5 Znázornění hodnot v grafu při nenormálním rozdělení, [převzato z:16]
Obrázek 4-6 Procentové rozložení při normálním rozdělení, [převzato z:17]
Obrázek 7-1 Schematické znázornění základního kotouče s díly „L“ s vyznačením vybraných vzorků k měření, [autor]

Seznam tabulek

- Tabulka 5-1 Chemické složení oceli 34CrMo4, [převzato z:20]
Tabulka 5-2 Mechanické vlastnosti oceli 34CrMo4, [převzato z:20]
Tabulka 7-1 Hodnoty dílů z jednotlivých unášecích kotoučů z jednoho broušení, [autor]
Tabulka 7-2 Tabulka změn okolní teploty a teplot chladícího média během dne, [autor]
Tabulka 7-3 Tabulka změn teploty a vlhkosti okolí během pracovního dne, [autor]
Tabulka 7-4 Hodnoty broušených dílů po broušení a po 4 dnech, [autor]
Tabulka 7-5 Hodnoty nitridovaných dílů po nitridaci a po 4 dnech, [autor]
Tabulka 7-6 Hodnoty jednotlivých dílů po broušení, omílání a nitridaci, [autor]
Tabulka 7-7 Hodnoty jednotlivých dílů po broušení, omílání a nitridaci, [autor]
Tabulka 7-8 naměřené hodnoty po jednotlivých cyklech porušení a zadané korekce [autor]
Tabulka 8-1 Hodnoty rozříděných kusů za období 1 měsíc [autor]
Tabulka 8-2 Hodnoty vyřazený a zpět přijatých dílů za období 1 měsíc, [autor]
Tabulka 8-3 Hodnoty časů a cen vybraných částí [autor]
Tabulka 8-4 výpočty [autor]
Tabulka 8-5 Závěr [autor]

Seznam grafů

Graf 6-1 Rozbor možných příčin špatného Cpk podle diagramu příčin a následků, [autor]

Graf 7-1 Průběh tlaku během broušení, [autor]

Graf 7-2 Zadávané korekce během jednotlivých založeních, [autor]

Graf 7-3 Odchyly rozměrů od rozměrů zadaných korekcí, [autor]

Graf 7-5 Histogram změn rozměrů po karbonitridaci (autor)

Graf 7-6 Hodnoty po broušení s vyznačením zadání korekce [autor]

PŘÍLOHA č. 1

Hodnoty náměrů pro výpočet Cp a Cpk

Hodnota	Četnost
3,9065	1
3,9068	2
3,9075	1
3,9076	4
3,9077	3
3,9078	2
3,9080	3
3,9081	2
3,9082	4
3,9083	1
3,9084	4
3,9085	6
3,9086	11
3,9087	4
3,9088	6
3,9089	6
3,9090	9
3,9091	5
3,9092	9
3,9093	10
3,9094	16
3,9095	10
3,9096	12
3,9097	12
3,9098	9
3,9099	7
3,9100	17
3,9101	12
3,9102	14
3,9103	12
3,9104	9
3,9105	8
3,9106	8
3,9107	11
3,9108	9
3,9109	4
3,9110	3
3,9111	4
3,9112	4

Hodnota	Četnost
3,9114	3
3,9115	2
3,9116	3
3,9117	3
3,9119	1
3,9120	1
3,9121	2
3,9122	3
3,9124	1
3,9129	1
3,9130	1
3,9131	2
3,9134	1