

Hur kan vi styra ytfinheten?

Ett projektarbete med fokus på sfärsslipning vid SKF AB Sverige i Göteborg

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik 180HP

NGHIEP TUAN LUU

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020 www.chalmers.se

Förord

Detta projekt genomfördes som ett kandidatarbete under vårterminen 2020. Projektet är utfärdat vid Chalmers Tekniska Högskola på programmet maskinteknik. Programmet omfattar 180 högskolepoäng varav arbetet består av 15 högskolepoäng. Studien utfördes hos SKF Göteborg inom institutionen för industri och materialvetenskap på Chalmers.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Chalmers, Peter Hammersberg för sin kunskap inom området slipning och för sitt stöd under projektets gång. Ett tack till min handledare på SKF, Håkan B Persson som bidragit med sin tid och kunskap under arbetets gång. Jag vill även visa min uppskattning till Senad Razanica för sitt stöd och för att ha ökat min förståelse för detta område.

Ett extra tack till maskinoperatörerna Daniel Törnros, Daniel Biberdzic, Fahri Zymberi och Darko Bogovic på SKF som har tagit sin tid för att bli intervjuade samt besvara på de frågor jag behövde hjälp med.

Sammanfattning

Slipningstekniken är en av de äldsta tillverkningsteknikerna som används och är en avgörande del för att få bort det sista materialet på en produkt som ska bearbetas för att gå från en grov yta till en fin yta. Vid slipningsprocessen uppkommer problematik kring ytfinheten eftersom den är svår att styra. Ytfinheten (R_a) och vad som påverkar den har undersökts i många decennier för att lösa grundläggande problem så som kontaktdeformation och värme som kan uppstå. Det finns många parametrar som påverkar ytfinheten vid slipning, bland annat kylvätska och vibrationer. Trots den kunskap som finns har många företag problem med att styra ytfinheten. SKF AB Sverige i Göteborg strävar efter att kunna styra ytfinheten och samtidigt ha rätt dimension, rätt ytprofil och säkerställa att utseendet är enligt de angivna specifikationerna. Examensarbetet är utfört vid SKF AB Sverige i Göteborg och undersöker hur ovannämnda parametrar påverkar ytfinheten genom inledande intervjuer och expertkonsultation, vilka mynnar ut i tester för att undersöka hur parametrarna kan utnyttjas i syfte att styra R_a -värdet med befintliga produktionsrutiner. Genomförda tester visar att inverkan från de givna parametrarna på R_a -värdet är betydligt mer komplext än förväntat och att ytfinheten inte kan styras med de metoder och utrustningar som finns tillgängliga i normal produktion i dagsläget. Undersökningen är begränsad till tester utförda vid SKF:s E-fabrik på en typ av sfäriska ytteringar med de resurser som finns på plats. Examensarbetet har utökat kunskapsbasen inom området och resultaten leder ett steg närmare målet att aktivt kunna styra ytfinheten vid slipning av sfäriska lagerringar.

Abstract

Grinding technique is one of the oldest manufacture techniques used and is a determining factor for reducing the last material on a product that will be processed to go from a rough surface to a smooth surface. During the grinding process the problem of surface roughness arises as it is hard to control. The surface roughness and what is affecting it has been examined for decades to understand essential issues such as contact deformation and heat that emerges at Ra-values outside of the desired tolerances. Research has concluded that there are many parameters that affect the surface roughness during grinding, such as cooling and vibrations. Despite the existing knowledge in the field several companies have issues trying to control the surface roughness. SKF AB Sweden in Gothenburg strives to control the surface roughness while having constraints on dimensions, surface profile and making sure that the characteristics confirm with the given specifications. This thesis conducted at SKF examines how the above-mentioned parameters affect the surface roughness. Initial interviews and expert consultations led to a series of test to uncover the relationship with the surface roughness (Ra). It is shown that the influence on the Ra-value is complex and could not be controlled by the given parameters. The project is limited to tests conducted at SKF's E factory on the outer ring inner spherical inner surface on a selected series of bearing. The results of the project have extended the knowledge base within the field and put us one step closer to being able to control the surface roughness of sphere rings.

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte och mål	6
1.3 Avgränsningar.....	6
1.4 Frågeställning	6
1.5 Begreppsförklaringar.....	7
2. Teoretisk referensram.....	8
2.1 Slipning	8
2.2 Vad är Ra?	11
2.3 Kylningens påverkan på Ra-värde	12
2.4 Vibrationens och segmentens påverkan på Ra-värde	13
2.5 Skärhastighetens påverkan på Ra-värde	15
2.6 Hypotes.....	15
3. Metod	17
3.1 Kartläggning.....	17
3.2 Utformning av tester	18
3.3 Metod för datainsamling.....	18
3.4 Avgränsningar.....	21
4. Resultat.....	22
4.1 Resultat från enkätundersökningar och intervjuer	22
4.2 Resultat från intervjuer och expertkonsultation	22
4.3 Resultat av test 1	23
4.4 Resultat av Test 2.....	34
5. Sammanfattning och diskussion	36
5.1 Felkällor.....	37
5.2 Förbättringar och idéer	37
Referenslista.....	39
Bilaga 1. Enkätundersökning	42
Bilaga 2. Resultat av enkätundersökning.....	43
Bilaga 3. Sammanställning av test 1.....	44

1. Inledning

1.1 Bakgrund

SKF har sedan företagets uppstart, år 1907 i Göteborg, varit världsledande för högkvalitativ tillverkning av innovativa och banbrytande lagerlösningar. Idag finns det runt 100 fabriker runt om i världen i 30 olika länder.¹ Vad som gjort SKF till ett framgångsrikt företag är den ständiga utvecklingen av ny teknik för att kunna skapa nya produkter och erbjudanden.² I dagsläget ligger det största fokuset på att minska på produkternas miljöpåverkan under hela livscykeln.³ Målet för den egna produktionen är att minska de egna utsläppen av koldioxid med 40%, eliminera alla organiska lösningsmedel och kunna återanvända minst 80% av metallspån till år 2025.⁴ SKF arbetar med både kullager och rullager. I kullager består rullkropparna utav kulor medan i rullager består de av rullar som kan fördela lasten över en större kontaktyta.⁵

Examensarbetet har utförts i en fabrik på SKF Sverige AB i Göteborg som heter E-fabriken. E-fabriken huvudsakliga arbetsuppgifter är att färdigställa lagerkomponenter som har mjukbearbetats samt härdats i en av de andra fabrikerna. Processflödet i E-fabriken är: planing, hårdsvärning, slipning slutligen montering. Dessa fyra steg görs på lagrets båda ringar: ytterringen (A) och inneringen (B), se bild 1 på sidan 5. Ringarna sätts sedan ihop med antingen rullar eller kulor.

Vid den slutgiltiga slipningen av den sfäriska rullbanan som bär lasten, är det av största vikt för lagrets funktion att säkerställa rätt ytprofil, ytfinitet (Ra-värde), yttre dimensioner och utseende är enligt de givna specifikationerna. Ra innebär medelytavvikelse och mäts i mikrometer och skall ligga inom en tolerans uppåt och neråt, som benämns T.⁶ Efter slipning av A-ringen mäts i dagsläget Ra-värdet med ett av instrumenten från flera olika leverantörer, så som exempelvis: Taylor Hobson, Perthen och Mahr. I dagsläget har SKF svårt att styra Ra-värdet innanför de specifikationer som tagits fram för företagets befintliga tillverkningsprocesser med befintliga standardiserade rutiner. Detta innebär att de oftast får slipa om ringen tills de får önskad Ra-värde. Det förekommer även att man inte lyckas få ett godkänt Ra-värde med hjälp av justerande slipning och ringen måste kasseras, vilket kostar företaget väldigt mycket pengar.

Befintlig arbetsprocess för omarbete är att slipa om tills godkänt Ra-värde nås, utan att understiga kravet på minimalt sliptillägg, då den måste kasseras. Det innebär att fabriken behöver vänta in en ny ring som de beställer. Eftersom ledtiden är ganska lång på dessa material kan kunden få vänta på sitt lager.

¹ SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/group/our-company/organization/skfcare/environmental-care/manufacturing-processes/index.html>

² SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/career/vad-vi-gor/index.html>

³ SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/our-company/index.html>

⁴ SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/organisation/sustainability/environmentand-climate#cid-477810>

⁵ Internordic (u.å) Kullager och rullager. Hämtad 2020-05-15 från <https://www.internordic.com/produkter/lager/kullager-och-rullager>

⁶ Materials By Michael Ashby, Hugh Shercliff and David Cebon Third edition

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka vad som kan vara de bakomliggande orsakerna till att Ra-värdet är svårt att styra med nuvarande processrutiner. Detta i syfte att minska ekonomiska förluster, öka tidsbesparingar och få nöjdare kunder.

Målet med arbetet är att öka kunskapen om underliggande orsaker och ta fram rekommendationer för hur man kan styra Ra-värdet på A-ringens innersida. Med hjälp av projektarbetet kommer ansvarig personal, alltså maskinoperatörerna, att ha större kunskap om de parametrar som kommer att undersökas, och eventuellt få större insikt i vad orsaken är till att Ra-värdet är svårt att styra. Om projektet kommer med förslag, kan företaget i nästa steg åtgärda felen. Även vid ett utfall där resultatet blir att ingen av de undersökta kategorierna ligger till grund för felet så kan informationen användas för att bygga vidare på kunskapsbasen kring att styra Ra-värdet.

1.3 Avgränsningar

Arbetet är avgränsat till kartläggning av orsaker till att Ra-värdet är svårt att styra med dagens rutiner inom ett specifikt avsnitt på E-fabriken på SKF. Detta beror på att det endast är i E-fabriken där man mäter Ra-värdet och där problematiseringen av fel Ra-värde uppstår. Orsaker till inkommande variationer på ringarna från tidigare processteg som stör slipning och

Ra-mätning är utanför ramarna för detta projektarbete.

Projektet är även begränsat till den sfäriska innerytan på ytterringen (A-ring), som framgår i bild 1 som nummer två, vilket är det området där flest problem uppstår. Det innebär att målet i huvudsak är att ta fram en hypotetisk förklaringsmodell för orsaken till variationer i slipresultat på en specifik lagertyp, som kan ligga till grund för senare verifieringar på de andra ringtyperna som bearbetas på SKF. Av detta följer att det inte kommer gå att dra slutsatser om alla ring-typer utifrån denna undersökning. SKF utgår ifrån att projektet går att genomföra med de befintliga maskinerna i E-fabriken och projektet begränsas därför till de resurser som finns i E-fabriken.

1.4 Frågeställning

- Vad är de underliggande orsakerna till att det uppstår problem med att styra Ra-värdet med dagens rutiner vid slipning?
- Vilka faktorer påverkar Ra-värde?
- Vad kan man göra för att styra Ra-värde?



Bild 1. Kullager. Hämtad 2020-06-18 från

<https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4lzlager#/media/Datei:Ball-bearing-numbered.png>

1.5 Begreppsförklaringar

Effekt – kraften som uppstår vid slipkontakt

Kylvätska – den essentiella vätskan som behövs för att förhindra brännskador, slipslitage, och minska på friktion

Utstick – den längden som segmenten sticker ut från slipskivan

Kryssmönster – mönster formade som kryss på innersidan av ytterreringen i syfte för oljefunktionen

Toppkraft – högsta effekten som fås vid slipkörning

Bordsvarv – antalet varv som ringen snurrar

Matning – trycket som slipskivan går in i arbetsstycket

Skivhastighet – hur snabbt slipskivan snurrar

Kördatan – gemensamt ord för matning, sliphastighet och bordsvarvtal

Spånarea – tjockleken på materialet som slipas bort

Logga effekten – datainsamling på krafterna

Segment – ett slipverktyg som man slipar med, alltså segmenten som kommer i kontakt med arbetsstycket

Slipkopp – ett slipverktyg som man slipar med, alltså den som kommer i kontakt med arbetsstycket

Slipverktyg – innefattar slipkopp eller segment

Krafter – effekt

Skärhastigheten – hastigheten på skivan

X -inställningen – kryssmönstret

Profilera segment – skärpning av segment så att alla segment har samma utstick

2. Teoretisk referensram

Detta kapitel redogör för teorier ifrån tidigare undersökningar som kommer att användas som en grund för mitt arbete. Initialt kommer slipningsprocessen introduceras, följt av en beskrivning av vad Ra innebär. Därefter kommer det att redogöras för vilka parametrar tidigare forskningar som lyft fram som har en påverkan på Ra.

2.1 Slipning

Slipningstekniken är en av de äldsta tillverkningsteknikerna som använts av människor och är en avgörande del för att ta bort det sista materialet på en produkt som ska bearbetas. Syftet med slipningen är att kunna gå från en grov yta till en fin yta. För att uppnå en bra kvalitet på ytfinheten krävs det inte bara en anpassad slipmaskin med lämplig precision, utan man måste ta hänsyn till flera parametrar för att uppnå en bättre kvalitet på ytfinheten. Till exempel vilken typ av kylmedel och mängden kylvätska som finns runt hela slipskivan. Kylvätskan används för kyla ner sliphjulet och arbetsstycket, minimera friktionen och ta bort avverkade partiklar. I dagsläget försöker man förbättra tekniken genom att öka spåntjockleken för att undvika svarvning och fräsning, i syfte att öka den ekonomisk lönsamheten.⁷

Det finns olika typer av slipningsmetoder, vilket framgår i bilden nedan. I detta projektarbete kommer rundslipsmetoden användas, se längst till vänster i bild 2.

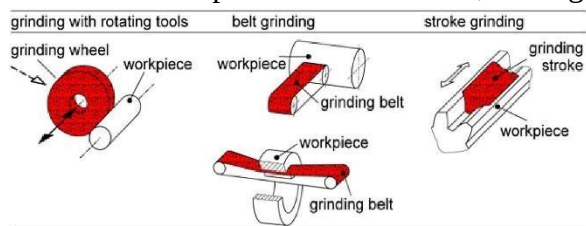


Bild 2. Wegener, Bleicher, Krajnik, mfl (2017), s. 780.

En slippkopp består av flera sammansatta beståndsdelar: slipmedel, bindemedel och luftporer. Dessa komponenter bestämmer slippkoppens egenskaper. Det finns även andra typer av slippkoppar utan luftporer, exempelvis diamantskivor.⁸ I bild 3 nedan framgår hur mikrostrukturen och fördelningen mellan beståndsdelarna ser ut.

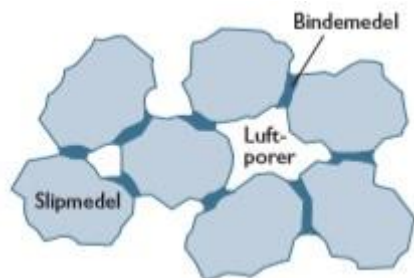


Bild 3. Uddeholm (2013), s. 4.

⁷ Wegener, K., Bleicher, F., Krajnik, P., Hoffmeister, W-H. & Brecher, C. (2017). Recent developments in grinding machines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 66, s. 779-802.

Uddeholm (2013). Slipning av verktygsstål. Utgåva 4.

⁸ Uddeholm (2013). Slipning av verktygsstål. Utgåva 4.

Slipmedel är en viktig beståndsdel av slipkoppen med krav på hårdhet, skärpa, kemisk stabilitet och värmebeständighet. Det finns fyra huvudgrupper av slipmedel.⁹ I bild 4 nedan framgår vilken hårdhet och värmebeständighet i luft som olika slipmedel har.

SLIPMEDEL	HÄRDHET KNOOP kp/mm ²	VÄRME- BESTÄNDIG- HET I LUFT °C
Aluminium-oxid	2100	2000
Kiselkarbid	2500	1200
Bornitrid	4700	1400
Diamant	7000	650

Bild 4. Uddeholm (2013), s. 4

Ett antal olika bindemedel används för att binda kornen i en slipkopp: keramiska, fenoplast, gummi och metall. Slipkornen har olika geometri, vilket resulterar i en slumpmässig oregelbunden skärgeometri, enligt bilden nedan.¹⁰

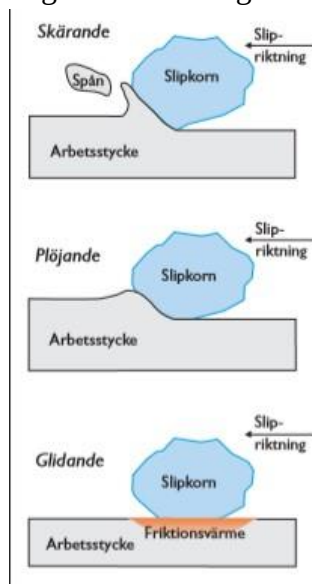


Bild 5. Uddeholm (2013), s. 6

I början av slipprocessen är korna skarpa, men efter en kort stund slipas de ned och blir trubbiga. Efter ett tag slutar de att avverka från arbetsstycket och mer friktionsvärme uppstår, vilket kan leda till slipsprickor och brännskador på arbetsstycket, som påverkar hårdningen negativt.¹¹

Under slipningen är skärvätskan en viktig parameter som har en stor påverkan på slipprocessens resultat. Kylvätskans största uppgift är att kyla ner slipområdet, ge en smörjande effekt och minska på friktionen. Det finns tre olika typer av skärvätskor: vattenlösningar, emulsioner och skäroljor. Vattenlösningar består av vatten med syntetiska tillsatser och är till för att öka vätningsförmågan och förhindra korrosion. Emulsioner består av vatten och olja, även svavel

⁹ Uddeholm (2013). Slipning av verktygsstål. Utgåva 4.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

eller klorföreningar kan förekomma. Skäroljor har vanligtvis mineralolja som bas med tillsatser av svavel eller klorföreningar.¹²

Kornens på slipkoppen avverkas i olika hastigheter. Hastigheten beror i sin tur på vilken matning som är inställd, sammansättningen på slipkoppen och vilken skärhastighet som bestäms. Om skärhastigheten ökar med ökad matning, ökar spåntjockleken, vilket leder till en grövre yta. Om man kör dubbla skärhastighet kommer dubbelt så många slipkorn att arbeta per tidsenhet. Om man däremot inte ökar på matningen så minskar medelspåntjockleken och därmed minskar skärkrafterna per korn. Skivan självskärps inte så lätt, alltså verkar koppen hårdare och man får en finare yta. Dock ökar risken att bränna den slipade ytan.¹³ Bild 6 visar att små krafter på slipkorn leder till liten spånarea som i sin tur resulterar i fin yta och att stora krafter på slipkornen leder till stor spånarea som resulterar i grov yta.

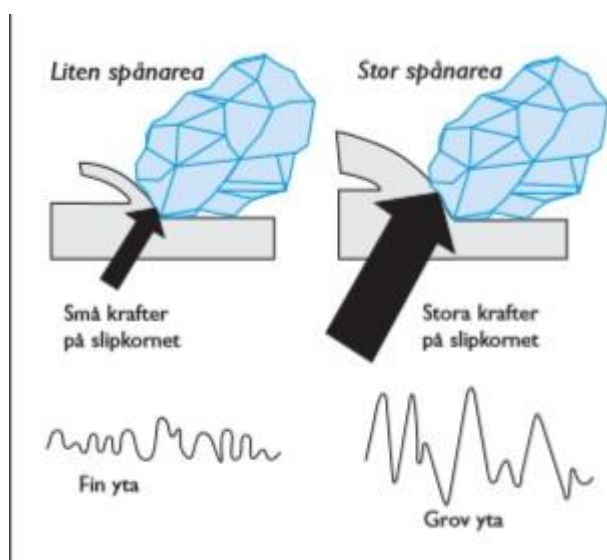


Bild 6. Uddeholm (2013), s. 6

Patel, Goyal och Pabla¹³ gjorde 2018 en undersökning på ytfinheten där de tittat på inverkan på både ytslipning och rundslipning från parametrarna skärhastighet, slipbredd, materialet i slipverktyget, och matning. Dessutom tillkom även arbetshastighet för rundslipning och för ytslipning lades bordsvarv till som styrvariabel. För samtliga tester användes fyra olika slipskivor.

Artikeln framhäver att materialet på slipverktyg samt kvaliteten på slipskivan har störst påverkan på ytfinheten på både rundslipning och ytslipning. Materialet samt kvaliteten på slipskivan förklarar upp mot 71% av effekten på rundslipningen, följt av skärhastigheten med 8,2%, spåntjockleken 3,4% samt matning 0,2%. De gjorde totalt 32 tester varav tre likadana tester utfördes för verifiering. Resultaten visar att ytslipning resulterar i finare ytfinhet jämfört med rundslipning på grund av vibrationer.

¹² Ibid. ¹³

Ibid.

¹³ Patel, D.K., Goyal, D. & Pabla, B.S. (2018). Optimization of parameters in cylindrical and surface grinding for improved surface finish. *R.Soc.opensci.*

2.2 Vad är Ra?

Gadelmawla, Koura, Maksoud mfl (2002)¹⁴ illustrerar och förklarar 59 olika grovhetsparametrar som definierar ytfinheten. Ytfinheten är viktigt för många grundläggande egenskaper i lagret, som exempelvis friktion, kontaktdeformation och värme. Således har ytfinheten studerats experimentellt och teoretiskt i många decennier. Ytgeometrin är så komplicerad att ett begränsat antal parametrar inte kan ge en fullständig beskrivning av ytfinheten. Om man ökar antalet parametrar för att kunna beskriva ytfinheten kan en mer exakt beskrivning bestämmas.

Parametrarna för karaktäriseringen av ytfinheten är uppdelad i följande tre grupper: amplitud-, avstånds- och hybridparametrar.¹⁶ Amplitudparametern är den viktigaste för att karakterisera yttopografi. Den används för att mäta de vertikala ytavvikelserna vinkelrätt mot ytans plan. Inom gruppen amplitudparametrar finns det många parametrar som kan användas för att beskriva ytfinheten. Den aritmetiska medelytavvikelsen (R_a), är den mest använda grovhetsparametern för allmän kvalitetskontroll. R_a är ett mått på ytfinheten som beräknas som medelvärdet avvikelsen mellan topp och dal med elektrisk mätning. Parametern är enkel att definiera, enkel att mäta och ger en bra allmän beskrivning av ytans höjdvariationer.¹⁷ Bild 7 är ett exempel där Mean line definierar R_a .

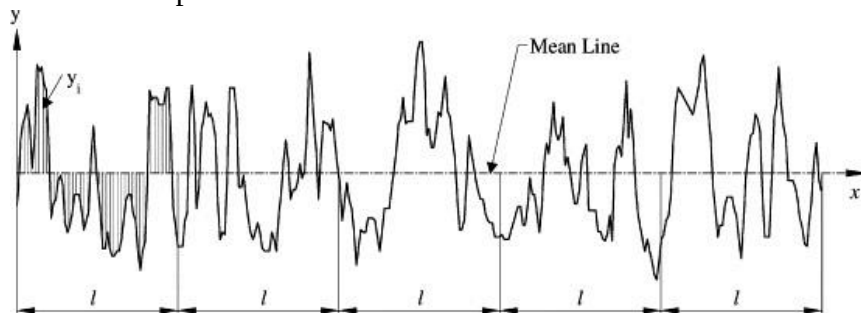


Bild 7. Gadelmawla, Koura, Maksoud, Elewa, Soliman (2002), s.135

Det aritmetiska medelvärdet av de absoluta värdena av profilkurvans avvikelser från medellinjen är:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

R_a mäts i mikrometer. Andra amplitudparametrar är exempelvis kvadratisk medelvärde (R_q), maximal höjd på profilen (R_z), maximal höjd på toppen (R_p) och maximalt djup på dalen (R_v).

Avståndsparametern används vid beräkningar av de horisontella egenskaperna hos ytavvikelserna. Avståndsparametern är väldigt viktigt inom några tillverkningsoperationer som exempelvis pressning av plåstål.¹⁵ Hybridparametern är en kombination mellan amplitud- och avståndsparametern. Eventuella förändringar som inträffar på amplitud- eller avstånds- kan påverka hybridparametern.¹⁶

¹⁴ Gadelmawla, E.S., Koura, M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* 123, s. 133-145. ¹⁶ Ibid. ¹⁷ Ibid.

¹⁵ Gadelmawla, E.S., Koura, M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* 123, s. 133-145.

¹⁶ Ibid.

2.3 Kylningens påverkan på Ra-värde

För att uppnå en fin ytfinitet krävs det optimal kylvätska runt hela slipskivan samt arbetsstycket som kommer ur flera munstycken. Även typen av skärvätska som används har en betydelse för ytfiniteten framhäver Wegener, Bleicher, Krajnik mfl i artikeln "Recent developments in grinding machines".¹⁷ Kylningens uppgift är bland annat att kyla ned sliphjulen och slipverktyget, minimera friktion samt spola bort skräp, flisar och materialspån.

Brinkmeier, Heinzel och Wittman (1999) visar effekten av kylvätsketyp, -sammansättning och -tillförsel på slippprocessen. Rätt inställd kylning ger en förbättrad process stabilitet, bättre produktkvalitet och längre livslängd. Den främsta anledningen till att kylning används är för smörjning. Då det uppstår friktion vid slipning, vill man minimera den med hjälp av kylningen.¹⁸ I bild 8 framgår kylvätskan och smörjningens inverkan på slipningen.

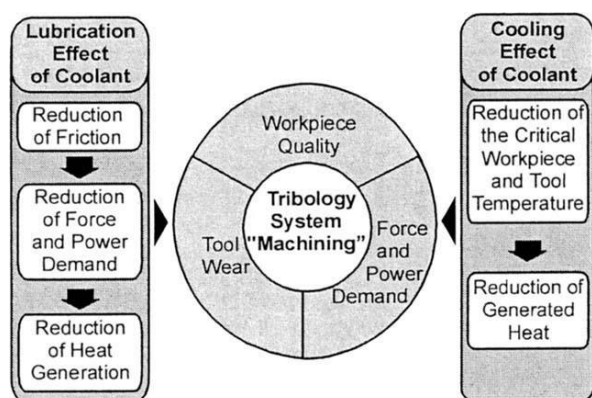


Bild 8. Brinksmeier, Heinzel och Wittmann (1999), s. 584.

Under årtionden av tester, har man kommit fram till att kylningen har en för stor påverkan för att kunna bortses ifrån på grund av den höga värmen som uppstår under en slipning kan leda till brännskador på arbetsstycket. Därför har kylvätskan och smörjningen en väldigt stor roll under en slippprocess. Störningar i tillförseln av den nödvändiga kylvätskan leder till avsevärt ökad risk för brännskador på arbetsstycket och även slitage på slipskivan.¹⁹ För att minska på friktionen krävs det högt tryck och rätt temperatur på kylvätskan på rätt yta på både slipskiva och på arbetsstycke. Jämfört med användning av skärolja med emulsioner av mikrokristaller av aluminiumoxid leder användningen av kylvätska till lägre verktygsslitage, grövre yta, restspänningar och minimering verktygsslitage jämfört med emulsionen.²⁰ Dock är skäroljan inte alltid den avgörande faktorn för en finare ytfinitet jämfört med emulsionen. Under en hög sliphastighet med elektropläterad CBN slippningsskiva, har Treffert²¹ tagit fram en grövre ytfinitet med användning av skärolja.

¹⁷ Wegener, K., Bleicher, F., Krajnik, P., Hoffmeister, W-H. & Brecher, C. (2017). Recent developments in grinding machines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 66, s. 779-802.

¹⁸ Brinksmeier, E., Heinzel, C. & Wittmann, M. (1999). Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 48:2, s. 581-598.

¹⁹ Majumdar, S., Kumar, S., Roy, D., Chakraborty, S. & Das, S. (2017). Improvement of lubrication and cooling in grinding. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 33, s. 1459-1465.

²⁰ Brinksmeier, E., Heinzel, C. & Wittmann, M. (1999). Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 48:2, s. 581-598.

²¹ Treffert, C., 1995, i Brinksmeier, E., Heinzel, C. & Wittmann, M. (1999). Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 48:2, s. 581-598.

I artikeln ”Improvement of lubrication and cooling in grinding” av Majumdar, Kumar, Roy, mfl (2017) visar forskarna på att kylvätskan påverkar ytfinheten. Forskarna har använt sig utav en skrapskiva för att förbättra på smörjning och kyleffekterna. Skrapskivans används för att hitta det kritiska området där lufttrycket är noll. Resultatet visar att ytfinheten förbättrades med 36% med skrapskivan jämfört med 54,2% utan från det Ra-värdet som förutsågs, därav drog man slutsatsen att kylvätskan har en påverkan på ytfinheten.²² Ett experiment från König mfl. (1976)²³ visar att plötsliga tvärsnittsförändringar leder till en finare ytfinhet med 20%. Små mängder av smörjning med 4 ml/min esterolja, jämfört med 11 l/min mineralolja under påverkar ytfinheten med 50%. Vidare kan ökat tryck på kylningen med optimala munstycken leda till en finare yta.

Alberdi, Sanchez, Pombo, mfl (2011)^{24,25} har gjort två undersökningar där de har tittat på vattenflödet under slipningen. Syftet med undersökningen var att optimera en så effektiv kylarstråle som möjligt. De har använt beräkningsvätskedynamik för att titta på munstyckets hastighet och tryck som resulterat en finare yta.

De har även undersökt vattenvätskan och blandat små mängder av smörjning med en kall CO₂. De har sprutat CO₂ och små mängder av smörjmedel precis innan slipskivan kommer i kontakt på arbetsstycket. Resultatet visar marginell skillnad på ytfinheten.

2.4 Vibrationens och segmentens påverkan på Ra-värde

Wegener, Bleicher, Krajnik mfl (2017)²⁸ framhäver att följande faktorer kan dämpa vibrationen: bordsvarvtalet, sliphastigheten och matningen. De framhäver att det är viktigt att minimera den totala vibrationen för en finare ytfinhet. Även Alvarez, Zatarain, Barrenetxea mfl. (2013)²⁶ framhäver att vibrationen är bland de viktigaste faktorerna att kunna hantera eftersom den påverkar ytfinhet.

Ytfinheten påverkas av vibrationer som uppstår i slipmaskinerna. En obalans på sliphjulet påverkar kvaliteten på ytan. Det kan finnas flera orsaker till att vibrationer uppstår, exempelvis att spindelenheten är obalanserad eller att sliphjulet är obalanserat monterad på spindeln.²⁷ När man slipar och använder sig utav segment som slipverktyg minskar slipkraften. Dock ökar maxlasten vid användning av segmenten jämfört med vanliga slipkopp.³¹ Ju mer mellanrum det är mellan segmenten desto mindre slipkraft, men ökad max last. Jeong-Du Kim, Youn-Hee

²² Majumdar, S., Kumar, S., Roy, D., Chakraborty, S. & Das, S. (2017). Improvement of lubrication and cooling in grinding. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 33, s. 1459-1465.

²³ König i Brinksmeier, E., Heinzl, C. & Wittmann, M. (1999). Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 48:2, s. 581-598.

²⁴ Alberdi, R., Sanchez, J.A., Pombo, I., Ortega, N., Izquierdo, B., Plaza, S. & Barrenetxea, D. (2011).

Strategies for optimal use of fluids in grinding. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 51, s. 491-499.

²⁵ Wegener, K., Bleicher, F., Krajnik, P., Hoffmeister, W-H. & Brecher, C. (2017). Recent developments in grinding machines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 66, s. 779-802.

²⁶ Alvarez, J., Zatarain, M., Barrenetxea, D., Ortega, N. & Gallego, I. (2013). Semi-discretization for stability analysis of in-feed cylindrical grinding with continuous workpiece speed variation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 69, s. 113–120.

²⁷ Gusev, V.G. & Zhigalov, R.V. (2009). Influence of the Number of Segments and Their Dimensional Errors on the Primary Imbalance Vector of a Grinding Wheel. *Russian Engineering Research*, vol. 30, s. 90-93. ³¹ Kim, J-D., Kang, Y-H., Jin, D-X. & Lee, Y-S. (1997). Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 37:11, s. 1611-1624. Fan, X., & Miller, M.H. (2007). Force analysis for grinding with segmental wheels. *Machines Science and Technology*, col. 10, s.435-455.

Kang, Dong-Xie Jin, Young-Seo Lee (1997)²⁸ förklarar att med användning av en slipskiva med segment ger en grövre ytfinhet jämfört med en slippkopp. Samtidigt som man minskar risken för brännskador på arbetsstycket.

Vid en undersökning av Fan och Miller (2007)³³ framkommer att ytfinheten och slipskivans slitage påverkas väldigt lite av antalet segment på en slipskiva, dock har medeleffekten reducerats. I bild 9 framgår hur segmenten kommer i kontakt med arbetsstycket.

FIGURE 4 Material removal in one segmental cycle.

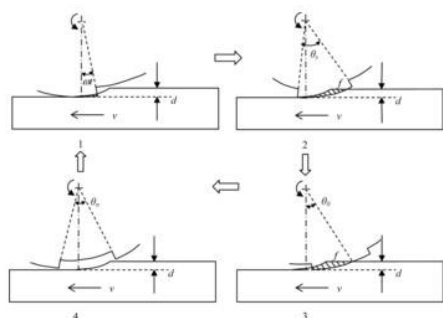


Bild 9. Fan & Miller (2007), s. 441

Effekten kan kontrolleras genom att justera antalet segment samt avståndet mellan segmenten. Segmenten ger marginell skillnad på ytfinheten. Dock får man en mycket grövre ytfinhet på arbetsstycket beroende på förhållandet mellan längden på segmenten och höjden på segmenten jämfört med användning av vanliga slipskivor.²⁹ En ökning av djupslip, skärhastighet samt matning leder till en finare ytfinhet. Skärhastigheten samt matningen har större effekt jämfört med djupslipningen. Slipningsparametrar samt vibrationen tillsammans påverkar spåntjockleken som leder till en förändrad ytfinhet under slipningen.³⁰ Wu, C., Li, B., Pang, J., & Liang, S.Y. (2016) framhäver att konstanta maximala spåntjocklek inte påverkar ytfinheten.³¹ Effekten varierar beroende av spåntjockleken samt bordsvarvtalet som sedan inverkar på ytfinheten.³²

²⁸ Kim, J-D., Kang, Y-H., Jin, D-X. & Lee, Y-S. (1997). Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 37:11, s. 1611-1624. ³³ Fan, X., & Miller, M.H. (2007). F

²⁹ Fan, X., & Miller, M.H. (2007). Force analysis for grinding with segmental wheels. *Machines Science and Technology*, col. 10, s.435-455.

³⁰ Zhang, L., Kang, M. & Tang, W. (2020). Effects of Grinding parameters on Surface Quality in High speed grinding considering maximum undeformed chip thickness. *SAE Int. J. Mater. Manf*, vol 13(2).

³¹ Wu, C., Li, B., Pang, J., & Liang, S.Y. (2016). Ductile grinding of Silicon carbide in high speed grinding. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 10.

³² Tönshoff, H.K., Peters, J., Inasaki, I. & Paul, T. (1992). Modelling and Simulation of Grinding Processes. *CIRP Annals*, Vol. 41:2, s. 667-688.

2.5 Skärhastighetens påverkan på Ra-värde

Högre skärhastighet leder till en finare ytfinhet enligt Zhu, Yuli sun & Dunwen Zuo (2017).³³ En förbättrad kvalitet på slipskivan, verktygets livslängd och produktiviteten sammanfaller med en ökande skärhastighet. Den maximal uppnådda hastigheten beror på bindningen av beståndsdelarna på slipskivan.³⁴

Chen, Fang och Li (2015)³⁵ har tittat på ytfinhet med hänsyn till slipskivans spindelvibration. Resultatet av deras undersökning är att ytfinheten blir grövre med ökande bordsvarv samt vibration. Samtidigt så leder en ökad skärhastighet och nedsatt vibration till en finare ytfinhet. Artikeln hävdar att spetsen på slipkornen och ytan är de avgörande faktorerna för ytfinheten. De framhäver att ökad bordshastighet leder till en ökad spåntjocklek vilket har en minimal inverkan på ytfinheten. Det har även resulterat i att ökad skärhastighet leder till minskning av spåntjocklek av enstaka slipkorn som i sin tur leder till finare yta. Vibrationer inverkar på bland annat materialavverkning, materialskada samt grövre ytfinhet.

2.6 Hypotes

Tidigare forskning inom området betonar kylvätskans inverkan på ytfinheten. Det framgår att optimal mängd och temperatur på kylvätskan runt om hela slipskivan och arbetsstycket är väsentligt för en fin ytfinhet. Konsekvenserna blir annars ökad risk för brännskador på arbetsstycket. Därmed förväntas att projektarbetet kommer att bekräfta att minimering av skärvätskan leder till en grövre yta. Vidare är vibrationer som framhävs inom tidigare forskning. Då det uppstår vibrationer vid långa utstick av segment förväntas det resultera i grov yta vid långa utstick och finare yta ju mindre utstick det är på segmenten.

³³ Zhu, Y., Lu. & Zuo, D. (2017). Grinding characteristics in high-speed grinding of boron-diffusion-hardened TC21-DT titanium alloy with vitrified CBN wheel, vol. 89, s. 1269-1277.

³⁴ Klocke, F., Brinksmeier, E., Evans, C.J., Howes, T., Inasaki, I., Minke, E., Tönshoff, H., Webster, J.A. & Stuff, D.f (1997). High Speed grinding fundamentals and state of the art in Europe, Japan, and the USA. Annals of the CIRP, vol 46(2).

³⁵ Chen, J., Fang, Q. & Li, P. (2015). Effect of grinding wheel spindle vibration on surface roughness and subsurface damage in brittle material grinding. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 91, s. 12-23.

3. Metod

I metod kommer tillvägagångssättet för att besvara syftet och frågeställningarna redogöras.

3.1 Kartläggning

Projektarbetet påbörjades med sökning av relevant litteratur. Fokus är på litteratur kopplat till vilka parametrar som påverkar Ra generellt och därefter på de parametrar som skall undersökas. Material från SKF lades till grund för litteraturforskningen.

För att kunna anpassa undersökningen till kontexten vid SKF görs inledningsvis en kartläggning av befintlig process på SKF. Kartläggningen innefattar iakttagelser, enkätundersökning samt fördjupande intervjuer med maskinoperatörer från den aktuella tillverkningsenheten.

Inledningsvis genomfördes en jämförande mätning av hur ofta felvärden förekommer i tillverkningskanalen där maskinoperatörerna använder sig av slipkopp vid slipning jämfört med där maskinoperatörerna använder segment istället. Skillnaden mellan dessa två kanalen är inte enbart användning av olika slipverktyg utan även storleken på den detalj som skall bearbetas. Vid kanalen där kopp används slipas mindre sfäriska ringar, vilket leder till kortare cykeltid.

3.1.1 Enkätundersökning

För att få en initial uppfattning av vilka parametrar som kan ha störst inverkan på Ra-värdet genomförs en enkätundersökning med de maskinoperatörer som dagligen arbetar med fler olika typer av metallarbete, exempelvis: svarvning, slipning, montering samt polering, i både tillverkningskanalen som använder kopp och den som använder segment.

Enkätundersökningen tilldelades slumpmässigt fyra personer. I enkäten finns en lista på alla potentiella parametrar som kan påverka Ra-värdet. Maskinoperatörerna får besvara vilka de anser kan påverka Ra-värdet. Anledningen till detta urval av parametrar gjordes är på grund av avgränsningar, tidigare forskning och även på grund av vad som kan kontrolleras under en slipprocess, exempelvis kördatan. Utifrån tidigare forskning framkommer det att vibrationer, skärvätskan och kördatan påverkar ytfinheten. Maskinoperatörerna fick även välja att skriva till egna parametrar som de uppfattar har betydelse för Ra-värdet. Enkätundersökningen bilageras i Bilaga 1.

3.1.2 Intervjuer och expertkonsultation

För att få en djupare förståelse över hur processen fungerar i respektive kanal genomfördes intervjuer med de maskinoperatörer som enkätundersökningen tilldelades. Syftet med intervjuerna var att kunna få en mer grundlig uppfattning om vilka parametrar som intervjuobjekten tror påverkar Ra-värdet samt om Ra-värdet är styrbart.

Intervjuerna var semi-strukturerade där specifika frågor ställdes och där intervjuobjekten sedan fick förklara fritt. Under intervjuerna frågades hur ofta maskinoperatörerna får ett godkänt Ra-värde och hur de gör ett utslip. Intervjuobjekten fick sedan även möjlighet att förklara mer detaljerat varför de valt de parametrar de bokat för i enkätundersökningen. Slutligen var syftet även att kontrollera ifall det finns någon annan parameter som

intervjuobjekten ville lyfta fram. Intervjuerna utfördes med fyra personer som har goda kunskaper inom slipning. Intervjuobjekten är:

Daniel Törnros – maskinoperatör (metallarbete)
 Daniel Biberdzic – maskinoperatör (metallarbete)
 Fahri Zymberi – maskinoperatör (metallarbete)
 Darko Bogovic – maskinoperatör (metallarbete)

Slutligen konsulterades även Anders Smith som jobbar för Saint Gobain och har jobbat med de slipskivorna som används i dagsläget. Syftet med konsultationen var att utöka de initiala kunskaperna kring vilka parametrar som är betydande att ta hänsyn till vid utförande av testerna.

3.2 Utformning av tester

I tidigare forskning framgår att vibration har en stor påverkan på ytfinheten. Då det uppstår vibrationer vid långa utstick på segmenten enligt maskinoperatörerna, kommer testet 1 gå ut på att variera längden på utsticken för att se om det leder till styrbart Ra-värde. En annan parameter som kommer att testas är kylvätskan där mängden kylvätska justeras för att se om det leder till styrbart Ra-värde. Enligt tidigare forskning är det viktigt att det finns optimal kylvätska runt om hela slipskivan samt arbetsstycket annars kan det uppstå brännskador på arbetsstycket. Därmed kommer testerna inte att gå under den kritiska nivån för skärvätskan. Ett andra test ska utföras dels för att verifiera resultaten från det första testet och för att närmare undersöka utsticken på segmenten i förhållande till Ra-värdet.

3.3 Metod för datainsamling

3.3.1 Mätverktyg

I undersökningen kommer mätverktyget perthen användas eftersom det är det mätverktyget som används i produktion. Mätning med perthometer funkar genom att den tar sex mätningar för att sedan få ut ett medelvärde. Efter ett test bestäms ett medelvärde för Ra baserat på totalt arton mätningar i tre grupper om sex mätningar. Felet i medelvärdet är omvänt proportionellt mot kvadratroten ur antalet mätningar enligt centrala gränsvärdessatsen. Ra-värdet mäts manuellt med hjälp av perthometern, vilket ökar osäkerheten samt att mätning på samma punkt ger inte exakt samma värde vid varje mättillfälle, dock får man ett liknande värde.

SKF har mätverktyg som kommer att användas vid mätning av segment samt sfärisk ring. Dock är det maskinoperatören som kommer att mäta segmenten manuellt vilket innebär att det finns risk för att mätningarna inte är 100% noggranna. SKF har inga kvantitativa mätverktyg för att mäta kryssmönstret, utan det görs med en bedömning av maskinoperatörerna med blotta ögat. Vilket är det vanliga sättet att mäta kryssmönster vid SKF. I produktion brukar maskinoperatörerna stanna under en slipcykel för att kontrollera kryssmönstret och eventuellt justerar det manuellt genom att centrera slipskivan. När slipskivan är centrerad uppstår det bra kryssmönster. SKF har inte heller mätverktyg för att mäta vibrationer som uppstår på en slippprocess. Vilket innebär att man inte vet hur mycket vibrationer som uppstår eller om det uppstår vibrationer alls. Justering av kylvätskan görs eventuellt manuellt via styrenheten, men vid normal produktion används alltid 100% kylvätska.

3.3.2 Metod för att få fram utdata

Nedan övergripande data förs in i Excel:

- Antal segment
- Ring nummer
- Ring typ
- Avverkning i diameter på sfärsringen

Mått/Längd:

- Längden på segment före och efter slipning
- Volymen på segment före och efter, samt volymskillnaden
- Sfärsdiameteren på ringen före och efter
- Volymen på sfär före och efter, samt volymskillnaden

Ra – värden

- Tre olika Ra-värden samt medelvärdet för dessa tre

Hänsyn tas även till utsticken på segmenten före och efter slip. Även tider för hur länge skivan är i slipkontakt och hur långt ett utslip var noteras. Slutligen så ska även kommentarer framgå ifall det har skett någon justering samt hur bra kryssmönstret är.

3.3.3 Test 1 – Fokus på utstick och kylning

Syftet med test 1 är att se förhållandet mellan utsticket och kylvätskan med Ra-värden vid justering av utsticken på segment mellan 20mm och 40mm samt mängden kylvätska på 100% och 50% av den totala mängden. Genom dessa tester kommer man kunna plotta värden där effekten loggats, för att se hur dessa parametrar har påverkat effekten och därmed se om Ra-värde är styrbart.

Testerna struktureras i följande kronologisk ordning:

T1: 40 mm utstick med 100 % kylning, 120 % matning, 100 % skärhastighet, 10 bordsvarv och 60 sekunders utslip – 6 tester

T2: 40 mm utstick med 50 % kylning, 120 % matning, 100 % skärhastighet, 10 bordsvarv och 60 s utslip – 6 tester

T3: 20 mm utstick med 100 % kylning, 120 % matning, 100 % skärhastighet, 10 bordsvarv och 60 s utslip – 4 tester

T4 20 mm utstick med 50 % kylning, 120 % matning, 100 % skärhastighet, 10 bordsvarv och 60 s utslip – 3 tester

Där matningen ligger på 12 0% = 0,012 mm/bordsvarv Där bordsvarv ligger på 10 varv/min

Där skärhastigheten ligger på 100 % = 1120 varv/min

Ovan kördata bestämdes gemensamt med maskinoperatörerna som har många års erfarenhet. I vanliga fall används denna kördata i produktion. Testerna kommer genomföras flera gånger (mellan 3-6 gånger) utan justering av parametrarna i verifieringssyfte.

Utöver dessa tester kommer det även vara samma utslip som kommer utföras. Genom att man går ner i matningen till först 30 % efter en slipcykel, skärhastigheten blir oförändrad, såsom

resterande av kördatan, slutligen påbörjar ett utslip på 60 sekunder. Segment valet kommer att bli den segment som är standard på SKF. Även skivan kommer vara standarden som SKF använder.

I test 1 kommer testerna att utföras på två ringar där maskinoperatören som jobbar med hårdsvanen ska lämna ett större sliptillägg så att fler tester kan undersökas. Detta innebär att ringen kommer vara i samma position vid varje test.

3.3.4 Test 2 - Fokus på utstick på segment i samband med effekterna

Efter utförandet av första testet görs ett andra test för att se vid vilket utstick segmenten ligger på när effekterna börjar gå över den önskade medeleffekten. Anledningen till att detta görs som ett andra test är på grund av erfarenheter och kunskaper från anställda på SKF som säger att segmentkorna börjar sätta sig vid ett visst utstick på segmenten och därmed avverkar inte segmentkorna konstant, vilket till slut leder till oönskade effekter.

Inför test 2 tas två nya Excel ark fram. Dock ska test 2 verifiera test 1 när det kommer till effekten samt Ra-värdena. Målet med andra testet är att hitta önskad kraftintervall och hitta en koppling till Ra-värden. Därmed kan man även se när segmenten blir för korta och behöver bytas ut mot nya.

Testet genomförs genom att slipcykeln börjar från 40 mm utstick av segment och effekten loggas vid varje körning ner till 20 mm för att märka när effekterna börjar gå över 50 %. På ett jobbskift som motsvarar ungefär åtta timmar produceras drygt tre sfärsringar från slipmaskinen. För testerna behöver det köras mellan åtta och tio ringar för att segmenten ska gå från 40 mm till 20 mm utstick. Detta innebär att testet görs under flera dagar och att utsticket på segmentet behöver justeras vid varje ny dag. Det medför att effekten på första ringen inte alltid går enligt hypoteserna.

Test 2 kommer att undersökas i samband med produktion. Detta är för att se ifall det kommer leda till någon skillnad på effekterna samt för att se ifall parametrarna kommer påverka effekten på annorlunda sätt.

3.4 Avgränsningar

Utöver de begränsningar som nämnts kommer utförandet av undersökningen avgränsas till kanalen där segmenten används på grund av att typen av ring som undersökningen ska fokusera på endast går på kanalen där segmenten används. Anledningen till att undersökningen fokuseras på en specifik typ är på grund av att den är bland de vanligaste vid SKF vilket innebär att testerna kan utföras mer frekvent.

4. Resultat

4.1 Resultat från enkätundersökningar och intervjuer

Enkätundersökningen gav en initial bild utav läget vid SKF. Nedan listas resultatet från enkätundersökningen med de parametrar maskinoperatörerna uppfattar har en inverkan på Ra-värdet. Listan är utan inbördes ordning:

- Hastigheten på ringen
- Hastigheten på skivan
- Matningen
- X-inställningen
- Vilket segment (hårdheten)
- Längden på segmentet
- Tjockleken på segmentet
- Diametern på ringen
- Centreringen
- Antalet segment
- Matningshastigheten
- Utslipstid
- köra A-ring före B-ring för att slippa träffa måttet exakt.
- Bredden på ringen i förhållandet till skivan
- Hur mycket slipyta/sekund som skivan slipar (kontaktytan) hur många segment som är i ingrepp.

Inmatningen av data bilagras i bilaga 2.

De två parametrarna som de flesta maskinoperatörerna uppfattade hade inverkan på Ra-värden är hastigheten på skivan samt matningen. Även utsticken på segmentet, tjockleken på segmentet samt antalet segment på skivan var också betydande.

4.2 Resultat från intervjuer och expertkonsultation

Utifrån intervjuerna kunde det konstateras att flertalet maskinoperatörer anser att det är praktiskt problematiskt att kunna hitta en lösning till hur man kan styra Ra-värdena eftersom det kan finnas flera parametrar som påverkar samtidigt. Utifrån intervjuerna kunde det även konstateras att maskinoperatörerna inte arbetar på samma sätt. De har olika arbetsmetoder framförallt vid utslipen.

Syftet med ett utslip är att sätta ytan, alltså Ra-värdet, har maskinoperatörerna förklarat. Utslipet är beroende av hur slipprocessen har gått till. Ett utslip fungerar genom att efter man slipat färdigt, så går man ner i matning och låter skivan snurra. Vissa drar även ned på skärhastigheten men det är olika beroende på maskinoperatör. Dock har slipprocessen ett stor inflytande på hur länge utslipet ska vara, vilket i sin tur leder till Ra-värdet.

Medan en maskinoperatör kör ett utslip på tid kör en annan på effektivitet. Syftet med att köra på effektivitet är att påskynda processen och spara tid. När man tar hänsyn till deras Ra-värden kan man konstatera att maskinoperatören som kör på tid får mer likvärdiga Ra-värden

på alla tre punkter där Ra-värdena mäts, medan en annan maskinoperatör som kör på effektivitet får mindre likvärdiga Ra-värden på alla punkter. Tar man däremot medelvärdet av alla tre punkter så får personen oftast ändå ett godkänt Ra-värde. När de tillfrågades om bakgrunden till användningen av deras arbetsmetod blev svaren att de har sina egna arbetsmetoder på grund av att de arbetat vid SKF sedan många år tillbaka och har testat sig fram till vad som fungerar bäst för dem.

Under intervjuer tillfrågades maskinoperatörerna om varför de uppfattar att utstickan på segment påverkar Ra-värdet och på vilket sätt. Det framkom att maskinoperatörerna upplever att vid långa utstick av segment så flexar segmenten vid körning. Då segmenten flexar uppstår vibrationer och enligt tidigare forskningar så påverkar det Ra-värdet. Maskinoperatörerna har haft problem med vibration sedan långt tillbaka och har utövat ett arbetssätt med tiden där de arbetar runt problemet. Vad som även händer vid långa utstick av segment under körning är att effekten hålls konstant jämfört med körning med korta utstick av segment då segmentkorna sätter sig och det avverkar inte konstant längre påstår maskinoperatörerna. När segmenten avverkar bra får de en bra effekt som kan ge ett bra Ra-värde säger maskinoperatörerna.

Genom expertkonsultation framkom att det finns två betydelsefulla parametrar som är viktiga att titta på, utstickan på segment samt kylningen. Dessa två parametrar är några av dem som förmodligen har en inverkan på Ra-värdet.

4.3 Resultat av test 1

4.3.1 Sammanställning av utdata

I bilaga 3 återfinns en sammanställning över alla tester som gjordes inom test 1.

Utdata test 1 T1

I tabellen nedan framgår datainsamling från T1: 40mm utstick, 100% kylning, konstant körning.

T 1	Avverknin g diameter sfär [mm]	Volymskillna d sfär (V_diff_sfär) [mm^3]	Volymskillna d segment (V_diff_seg) [mm^3]	Medeleffekten [%]	Ra 1 [µm]	Ra 2 [µm]	Ra 3 [µm]	Ra_avg [µm]
1	0,125	103638,1198	6800,88		0,35	0,42	0,38	0,38333333 3
2	0,106	87891,33069	1725,6		0,42	0,5	0,46	0,46
3	0,099	82093,75002	4690,8		0,34	0,18	0,24	0,25333333 3
4	0,1	82910,46347	6513,072	37,72304	0,67	0,72	0,74	0,71
5	0,124	102817,958	3058,512	25,57	0,48	0,51	0,58	0,52333333 3
6	0,112	92898,55018	#REF!	37,08	0,39	0,38	0,43	0,4

Tabell 1. Resultat från test 1, T1

T1	Bedömning av kryss
1	Godkänd kryss.
2	Bra kryss
3	Godkänd kryss
4	Bra kryss
5	Godkänd kryss
6	Godkänd kryss

Tabell 2. Resultat från test 1, T1, kryss

I T1 gjordes sex tester för verifiering utan någon justering av parametrarna. Det bör noteras att testerna inte gjordes i kronologisk ordning. T1_1-T1_3 genomfördes initialt medan T1_4-T1_6 genomfördes vid ett senare skede. Vid T1_1-T1_3 loggades inte effekten, på grund av att vid utförandet av dessa, så visste vi inte om att effekten kunde loggas. Det är därför framförallt resultaten från testerna som utfördes då effekten loggades som analyseras.

Vid ett jämförande mellan testerna T1_1-T1_6 framgår att Ra-värdena inte är likvärdiga. Detta till följd av att testerna inte utfördes efter varandra. Effekten var likvärdiga på testerna T1_4-T1_5, ändå blev resultatet en variation mellan olika Ra-värden. Likheterna mellan T1_4-T1_6 var lika mycket avverkning i sfärsdiameter och volymskillnad i sfären. Vid T1_4 avverkades däremot dubbelt så mycket från segmenten jämfört med vid T1_5. Testerna resulterade i godkända och bra kryssmönster.

Utdata Test 1 T2

I tabellen nedan framgår datainsamling från T2: 40mm utstick, 50% kylning, konstant körning.

T2	Avverkning diameter sfär [mm]	Volymskillnad sfär (V_diff_sfär) [mm ³]	Volymskillnad segment (V_diff_seg) [mm ³]	Medeleffekten [%]	Ra 1 [µm]	Ra 2 [µm]	Ra 3 [µm]	Ra_avg [µm]
1	0,06	49760,36626	6384,96		0,63	0,74	0,57	0,646666667
2	0,079	65521,92915	2690,16		0,49	0,31	0,37	0,39
3	0,086	71332,92658	4252,56		0,39	0,29	0,39	0,356666667
4	0,087	72144,34305	4565,808	25,12103	0,74	0,75	0,73	0,74
5	0,099	82101,24237	2140,32	27,46341	0,66	0,68	0,73	0,69
6	0,12	99525,1569	9174,984	31,86	0,78	0,79	0,69	0,753333333

Tabell 3. Resultat från test 1, T2

T2	Bedömning av kryss
1	Bra kryss
2	Bra kryss

3	Dåligt kryss
4	Godkänd kryss
5	Dåligt kryss
6	Dåligt kryss

Tabell 4. Resultat från test 1, T2, kryss

Likt testerna i T1 gjordes test T2_4-T2_6 vid ett senare skede. I T2 framgår det grova Ra-värden mellan T2_4-T2_6. T2 resulterade även i likvärdiga medeleffekter men olika avverkning i diameter på sfären, volymsskillnader på segmenten samt volymskillnad på sfären. T2 resulterade i bra kryss, dåliga kryss samt godkända kryss. Resultatet gav både höga och låga Ra-värde från respektive nivå av kryssmönster.

Utdata test 1 T3

I tabellen nedan framgår datainsamling från T3: 20mm utstick, 100% kylning, konstant körning.

T3	Avverkning diameter sfär [mm]	Volymskillnad sfär (V_diff_sfär) [mm ³]	Volymskillnad segment (V_diff_seg) [mm ³]	Medeleffekten [%]	Ra 1 [µm]	Ra 2 [µm]	Ra 3 [µm]	Ra_avg [µm]
1	0,067	55578,1154	3942,528		0,77	0,9	1,04	0,903333333
2	0,114	94572,42204	6126,24		0,61	0,58	0,73	0,64
3	0,065	53926,55112	3501,6	51,31214	0,81	0,75	0,73	0,763333333
4	0,085	70523,45968	3127,44	51,2	0,22	0,22	0,26	0,233333333

Tabell 5. Resultat från test 1, T3

T3	Bedömning av kryss
1	Dåligt kryss
2	Godkänd kryss
3	Godkänt kryss
4	Dåligt kryss

Tabell 6. Resultat från test 1, T3, kryss

Det framgår även i T3 att Ra-värdena varierade trots att samma test gjordes 4 gånger utan justering av parametrarna utstick av segment samt kylning. Testet resulterade i olika värden på avverkning på sfären i diameter och volymskillnad på både sfären och segmenten, men likvärdiga medeleffekter. T3 resulterade i godkända och dåliga kryss. Resultatet gav höga Ra-värde från dåliga kryss och godkända kryss. Dock blev resultatet en låg Ra-värde från dålig kryssmönstret.

Utdata test 1 T4

I tabellen nedan framgår datainsamling från T4: 20mm utstick, 50% kylning, konstant körning.

T4	Avverknin g diameter sfär [mm]	Volymskillna d sfär (V_diff_sfär) [mm^3]	Volymskillna d segment (V_diff_seg) [mm^3]	Medeleffekte n [%]	Ra 1 [µm]	Ra 2 [µm]	Ra 3 [µm]	Ra_avg [µm]
1	0,087	72117,83748	10398,672	29,88	0,69	0,73	0,74	0,72
2	0,087	72122,73342	-1641,1728	53,065	0,32	0,28	0,38	0,32666666 7
3	0,062	51400,79777	8385,0288	57,195	0,56	0,73	0,76	0,68333333 3

Tabell 7. Resultat av test 1 T4

T4	Bedömning av kryss
1	Godkänd kryss
2	Dåligt Kryss
3	Dåligt kryss

Tabell 8. Resultat av test 1 T4, kryss

Det framgår även i T4 att Ra-värdena varierade trots att samma test gjordes 3 gånger utan justering av parametrarna utstick av segment samt kylning. Även här framgår olika mått som avverkat på sfären och olika volymskillnad i sfären. På volymskillnaden i segment så fick vi ett negativt svar efter slipning vilket inte låter rimligt. T4 resulterade även i olika medeleffekter samt godkänt kryssmönster och dåliga kryssmönster. T4 resulterade i både höga och låga Ra-värden från dåliga kryssmönster samt likvärdiga medeleffekt vid dåliga kryssmönster men olika Ra-värden.

4.3.2 Jämförelse av resultat av Ra-värde

Nedan följer jämförelse mellan de olika testerna, T1-T4 för att se hur Ra-värdet varierar utifrån justering av parametrarna utstick och kylvätska.

T1-T2: Längden vid 40mm utstick 100% kylning jämfört med 40mm utstick och 50% kylning

Vid en jämförelse mellan T1 och T2 framgår från tabell 2 och 4 att Ra-värden från T2 generellt är grövre (höga Ra-värden) jämfört med Ra-värden från T1. Utifrån tidigare forskning är detta resultat förväntat. Dock kan man inte fastställa att kylvätskan vid 40mm utstick gör en skillnad på Ra-värdet eftersom testerna även resulterade i Ra-värden från T1 som är grova samtidigt som vissa Ra-värden från T2 resulterade i finare Ra-värden.

T3-T4: Längden vid 20mm utstick 100% kylning jämfört med 20mm utstick och 50% kylning

Vid en jämförelse mellan T3 och T4 framgår från tabell 6 och tabell 8 att Ra-värden är likvärdiga, dock inte styrbara eftersom testerna resulterade i Ra-värden på både 0,23 och 0,32 som är väldigt fina ytor jämfört med resterande av Ra-värdena som framgår. Utifrån dessa tester kan man inte dra någon slutsats kring hur kylvätskan vid 20 mm utstick av segment påverkar Ra-värden då det framgår både fina och grova ytor.

T1-T3: Längden vid 40 mm utstick 100 % kylning jämfört med 20 mm utstick 100 % kylning

Vid en jämförelse mellan T1 och T3 framgår det finare Ra-värden vid T1 än vid T3. Dock fick man ut ett Ra-värde på 0,23333 på T3 som är lägre än alla värden från T1, och Ra-värdet

0,71 från T1 som är högre än T3_2 och T3_4. Detta innebär att Ra-värdet inte är styrbart vid en jämförelse mellan 40 mm och 20 mm utstick vid konstant mängd kylning.

T2-T4: Längden vid 40 mm utstick 50 % kylning jämfört med 20 mm utstick 50 % kylning
Vid en jämförelse mellan T4 och T2 framgår i tabellen att testerna resulterade i både höga och låga Ra-värden. Därmed gick det i de utförda testerna inte att styra Ra-värdet med dessa justeringar. Även här kan man inte dra någon slutsats om att utsticken på segmenten har lett till ett styrbart Ra-värde.

4.3.3 Jämförelse av kryssets påverkan på Ra-värdet, test 1 T1-T4

Nedan följer en sammanställning av samtliga kryssmönster från respektive test i förhållande till Ra-värden.

	Kryssmönster	Ra-värde
T1_1	Godkänd kryss.	0,383333333
T1_2	Bra kryss	0,46
T1_3	Godkänd kryss	0,253333333
T1_4	Bra kryss	0,71
T1_5	Godkänd kryss	0,523333333
T1_6	Godkänd kryss	0,4
T2_1	Bra kryss	0,646666667
T2_2	Bra kryss	0,39
T2_3	Dåligt kryss	0,356666667
T2_4	Godkänd kryss	0,74
T2_5	Dåligt kryss	0,69
T2_6	Dåligt kryss	0,753333333
T3_1	Dåligt kryss	0,903333333
T3_2	Godkänd kryss	0,64
T3_3	Godkänd kryss	0,763333333
T3_4	Dåligt kryss	0,233333333
T4_1	Godkänd kryss	0,72
T4_2	Dåligt kryss	0,326666667
T4_3	Dåligt kryss	0,683333333

Tabell 9. Resultat av kryssmönster och Ra-värde T1-T4

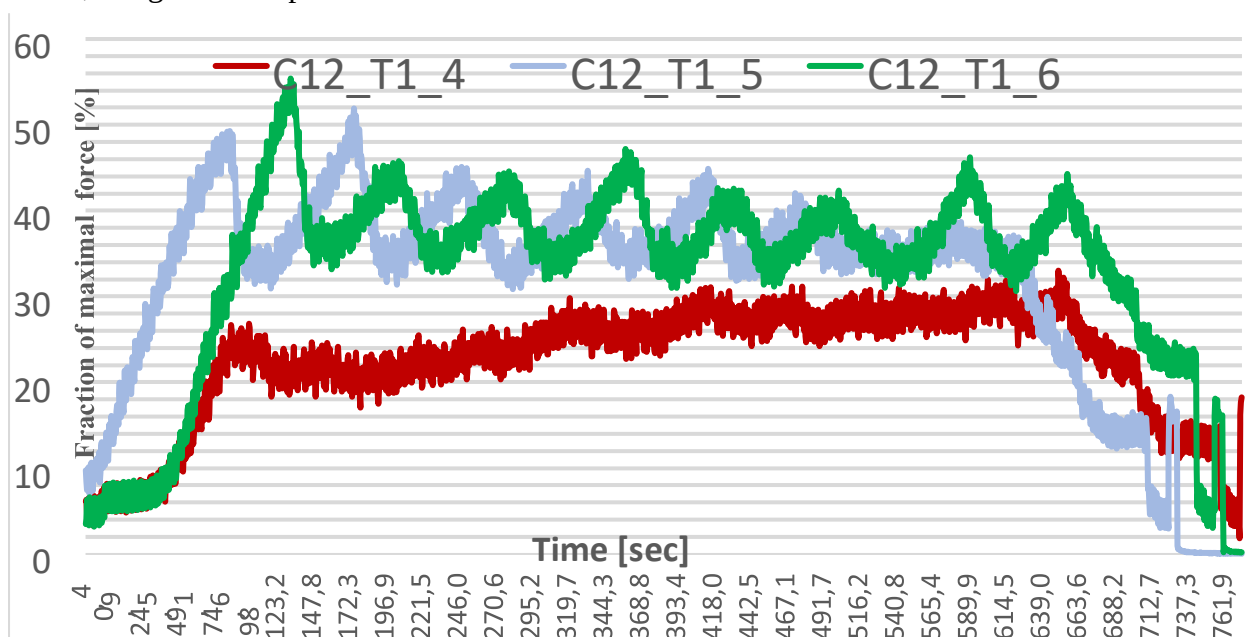
I tabell 9 framgår att testerna resulterade i olika kryssmönster kvaliteter. Det framgår även Ravärde på respektive nivå av kryssmönster. Utifrån resultatet kan man se att Ra-värdet inte är beroende av enbart kryssmönstret då testerna resulterade i både höga och låga Ra-värden på samtliga nivåer av kryssmönster.

4.3.4 Jämförelse av testverifieringar

I graferna nedan framgår effekterna som har loggats under körningens gång från T1 till T4. Krafterna har loggats under 13 minuter vid samtliga tester.

T1

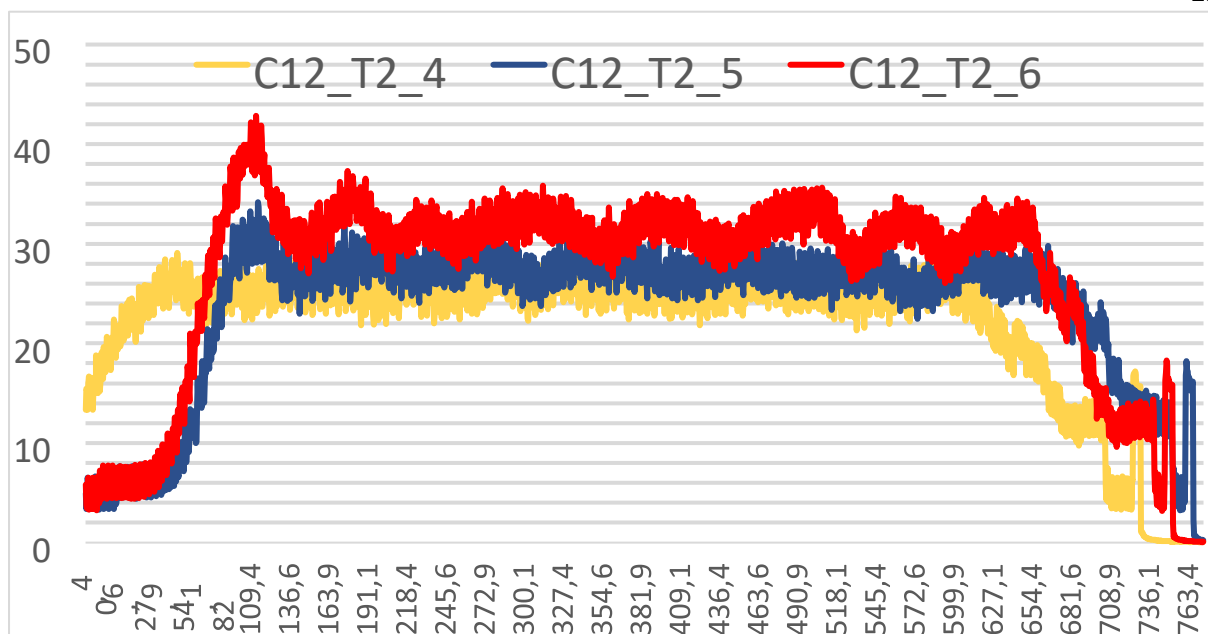
I grafen nedan framgår att T1_5 och T1_6 hade en effekt som varierade mellan 30–50 % vilket är den procenten som maskinoperatörerna vill ha. Genom effekten kunde maskinoperatörerna bedöma att segmentkorna inte har satt sig, utan avverkar konstant. T1_4 resulterade i en låg effekt jämfört med resterande testerna i T1. Anledningen till detta är att maskinoperatörerna gick in manuellt och justerade segmenten från 20 mm till 40 mm. Detta medför att man fick profilera segmenten. Vid profilering av segment förekommer det låg effekt, enligt maskinoperatörerna.



Graf 1. Den loggade effekten, T1

T2

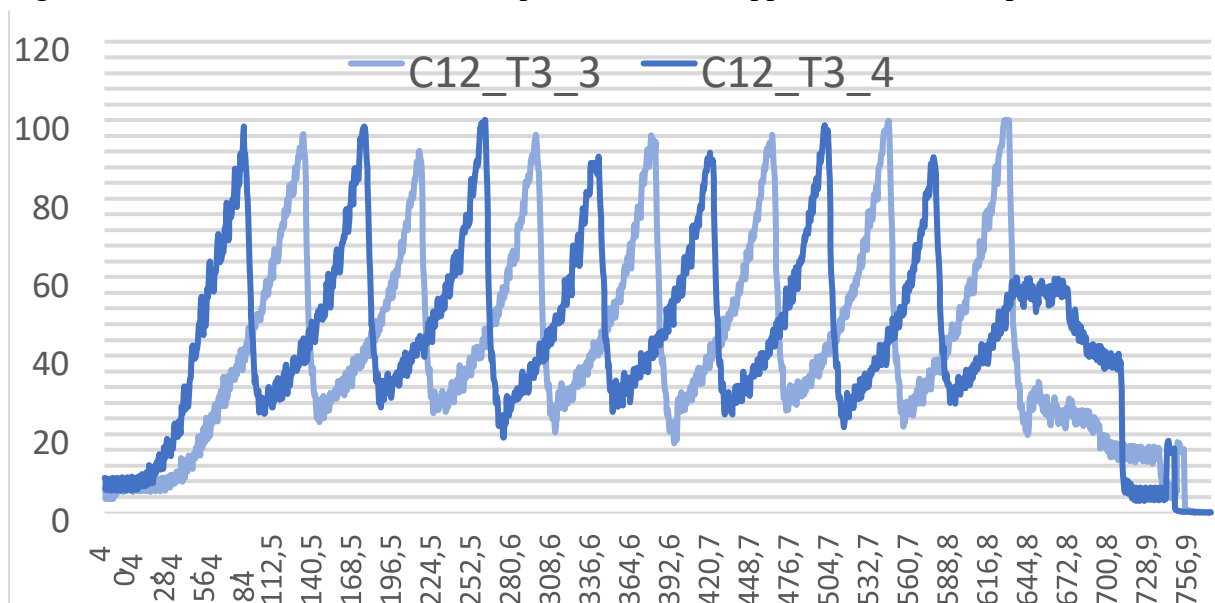
I grafen nedan framgår en medeleffekt mellan 25–35 % från T2 vilket inte är en lika bra effekt som vid T1. Vid 50% kylvätska tillkommer värme på slipytan vilket leder till att segmenten avverkas snabbare som påverkar de lägre effekterna enligt maskinoperatörerna.



Graf 2. Den loggade effekten, T2

T3

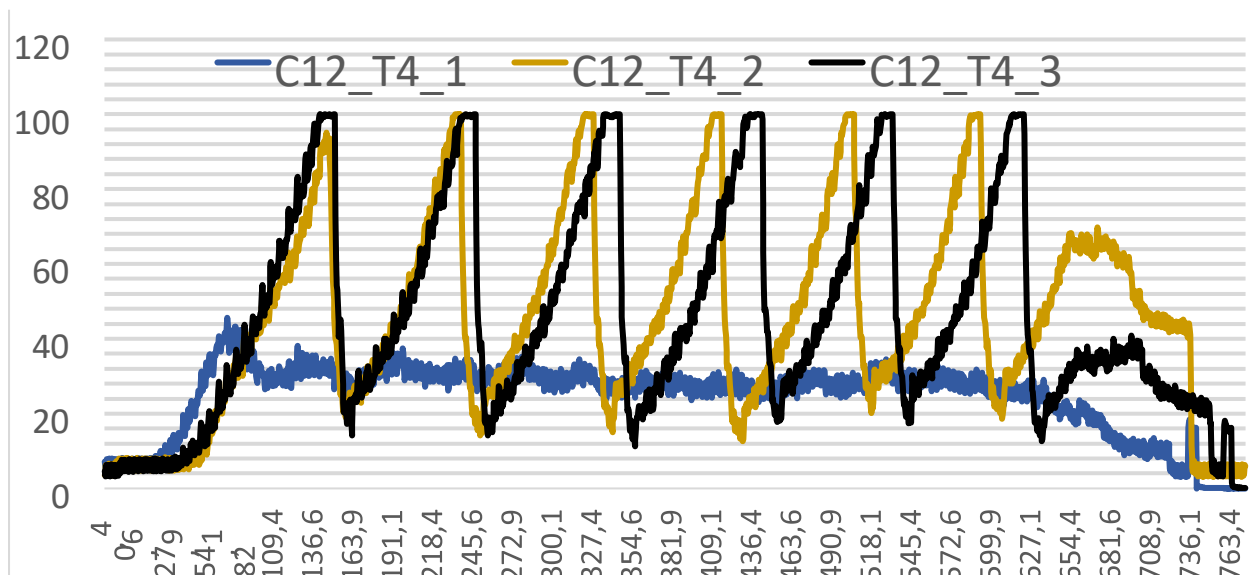
I grafen nedan framgår en effekt som är annorlunda jämfört med T1 och T2 då den varierar mellan 30–100 %. Segmentkorna sätter sig och segmenten avverkar inte konstant vilket skapar ett högt tryck som motsvarar den höga effekten medan den låga effekten motsvarar segmentkorna som rasar, anser maskinoperatörerna som upplever detta under produktion.



Graf 3. Den loggade effekt, T3.

T4

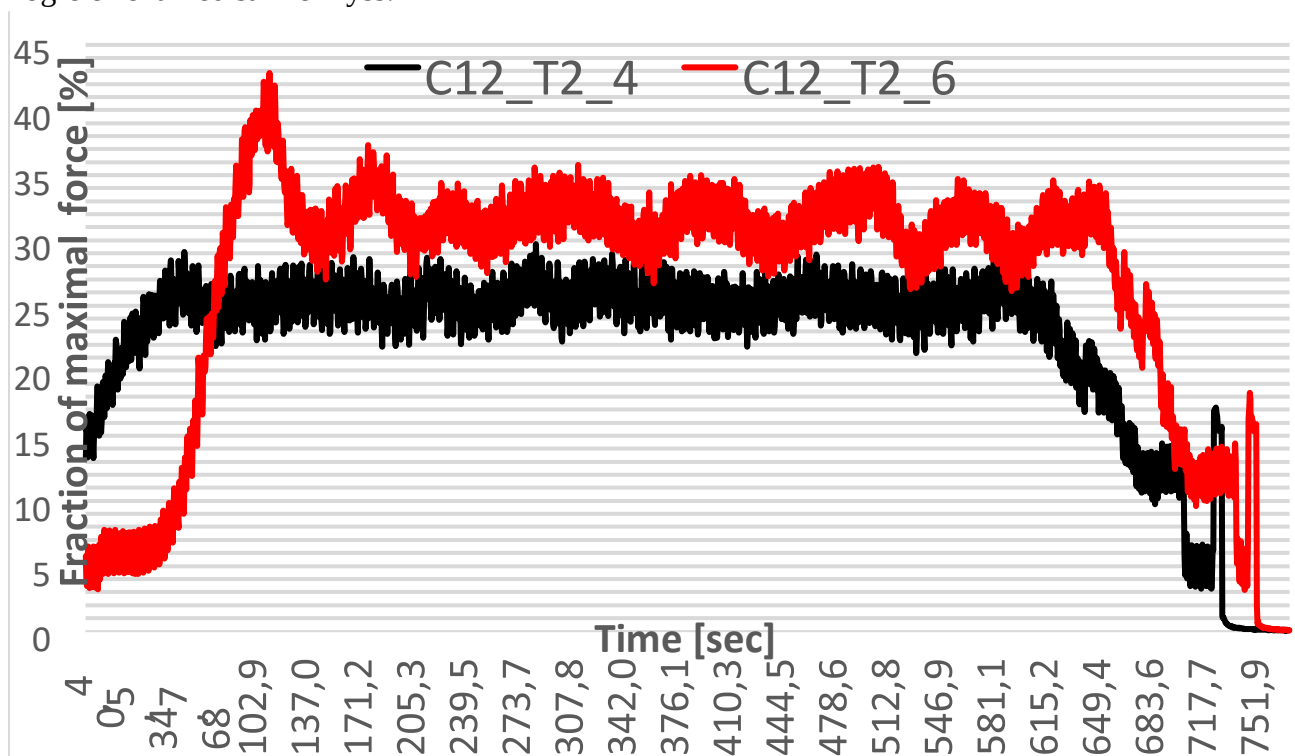
I grafen nedan framgår att effekten vid T4 ser likadan ut som effekten vid T3 från graf 3. Dock fick man en längre toppkraft jämfört med T3. Skillnaden mellan T4 och T3 från graf 3 är att vid T4 användes 50 % kylvätska medan vid T3 användes 100 % kylvätska. Även här resulterade testerna i en låg medeleffekt från T4_1. Anledningen till den låga effekten är profilering av segment då man justerade utsticken på segmenten till 20mm.



Graf 4. Den loggade effekten, T4.

Kryssets påverkan

I nedanstående graf 5 framgår skillnaden i effekt mellan ett bra kryssmönster jämfört med ett dåligt kryssmönster med samma parametrar, 40mm utstick och 50 % kylvätska. I detta fall hade T2_4 ett godkänt kryssmönster och T2_6 ett dåligt kryssmönster. Detta kan betyda att kryssmönstret, i åtminstone detta fall inte har påverkat effekten eftersom T2_6 resulterade i en högre effekt med sämre kryss.

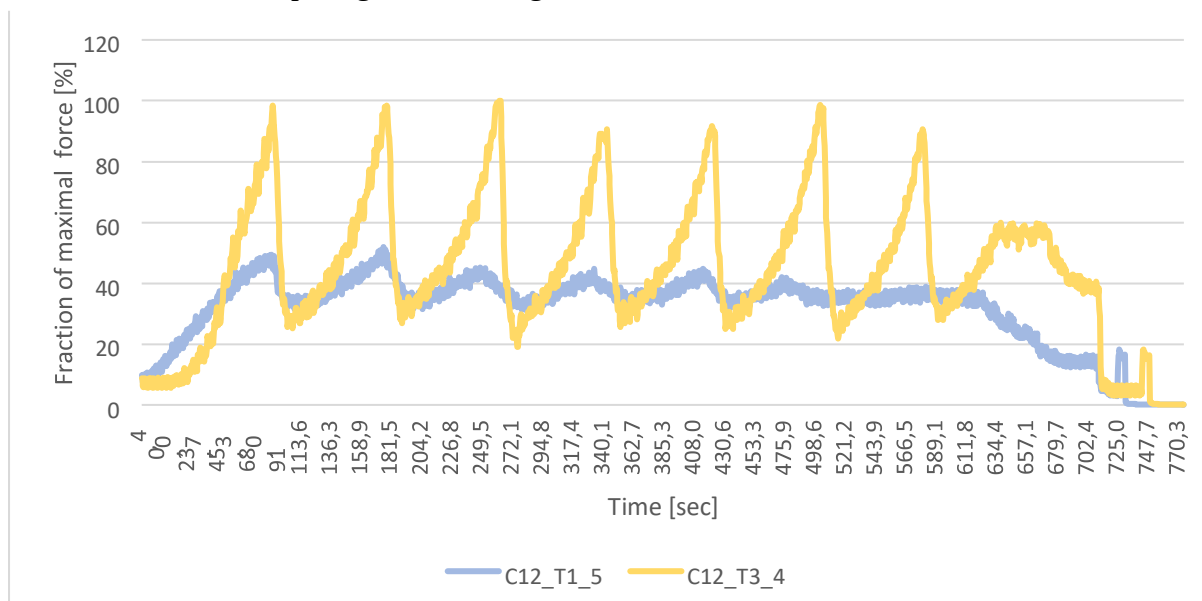


Graf 5. Den loggade effekten med avseendet på kryssset, T2.

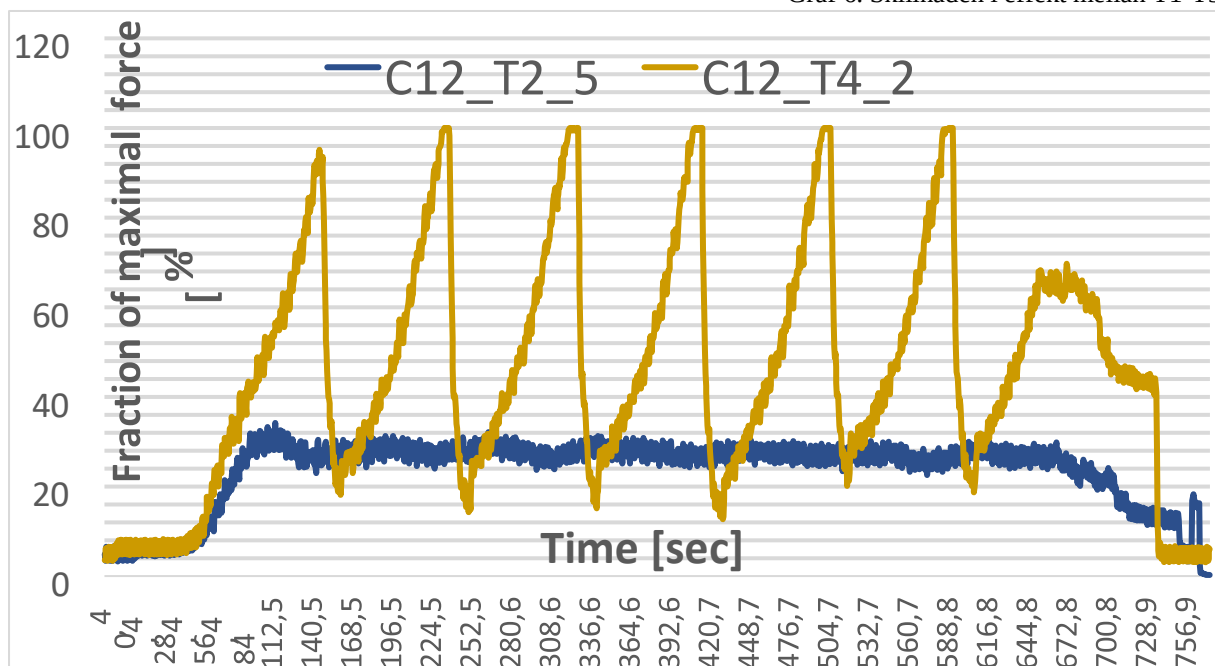
4.3.5 Jämförelse av parameterjusteringarnas påverkan på effekten

Nedanstående grafer visar jämförelser mellan T1-T4 i medeleffekt avseende hur de skiljer sig åt vid justeringar av parameter.

I graf 6 framgår det en medeleffektskillnad mellan T1 och T3. Det framgår att T3 har en stor medeleffektskillnad jämfört med T1 som har en konstant medeleffekt. Detta innebär att ett utstick på 20 mm gör i detta fall en stor skillnad på effekten jämfört med 40 mm utstick. Graf nummer 7 bekräftar vad som händer när man har 20 mm utstick jämfört med 40 mm. I det här fallet kan man även se att kryssmönstret inte har någon jättestor betydelse jämfört med utsticken på effekten, eftersom från graf 6 har både testerna godkända kryssmönster av de testerna där effekten loggades medan i graf 7 framgår två inte godkända kryssmönster av de testerna där effekten loggades. Samtidigt användes 50 % kylvätska på testerna i graf 7 jämfört med 100 % kylvätska i testerna i graf 6. Av vad som framgår har inte heller kylvätska en jättestor betydelse på effekten jämfört med utsticken enligt maskinoperatörerna då de anser att det har med utsticken på segmenten och göra.



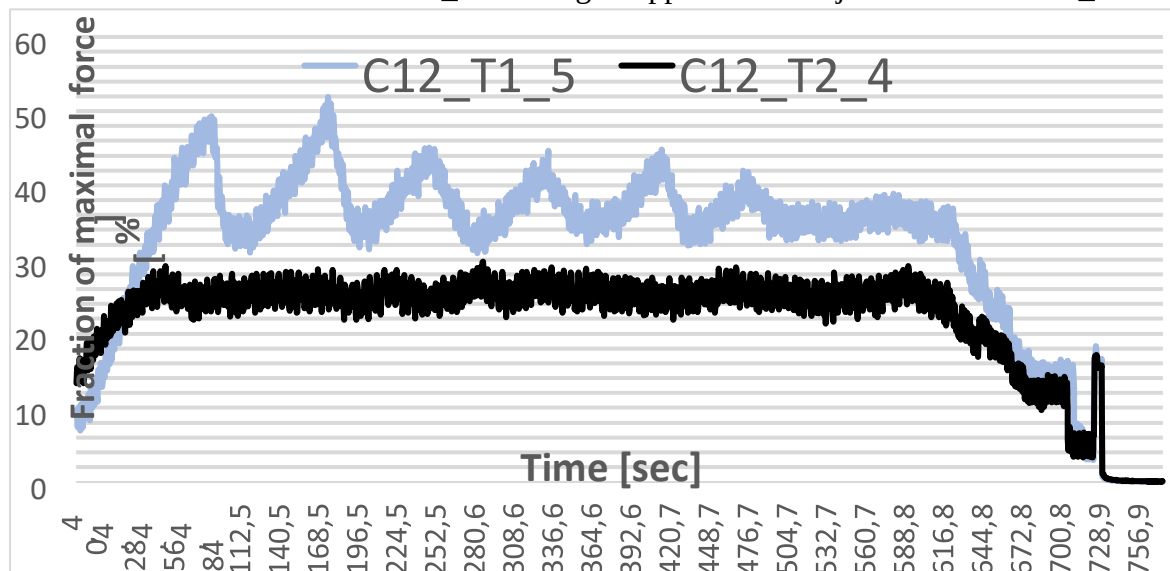
Graf 6. Skillnaden i effekt mellan T1-T3



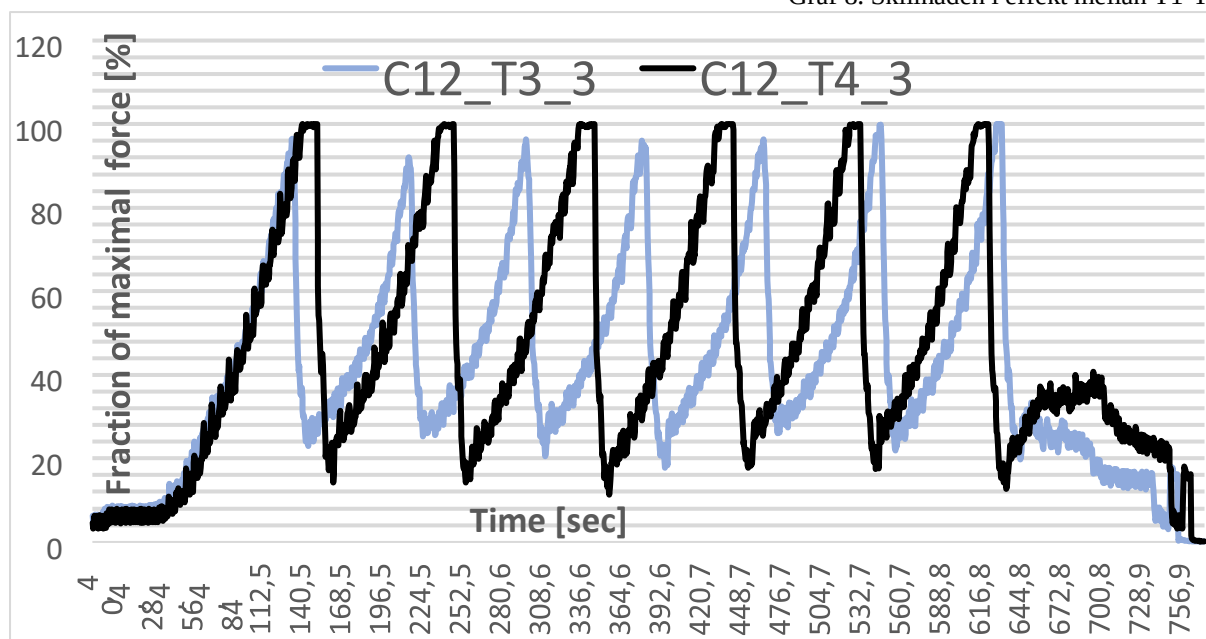
Graf 7. Skillnaden i effekt mellan T2-T4

I graf 8 nedan framgår en medeleffektskillnad mellan T1 och T2. Dessa två tester motsvarar en parameterjustering på kylvätskan där T1 är 100 % kylvätska medan T2 motsvarar 50 %

kylvätska och bägge har ett utstick på 40mm och godkänt kryssmönster. Vid test med 50 % kylvätska leder det enligt nedan jämförelse till mindre medeleffekt än vid 100% kylvätska. Graf nummer 9 bekräftar vad som händer när man har 50 % kylvätska jämfört med 100 % kylvätska, dock med 20 mm utstick. Vid T3_3 och T4_3 framgår två olika kryssmönster där T3_3 har ett godkänt kryssmönster medan T4_3 har ett dåligt kryssmönster. Dock i medeleffektskillnad framgår inga stora medeleffektmarginaler om man jämför testerna med varandra. Däremot resulterade T4_3 i en längre toppkraft vid en jämförelse med T3_3.



Graf 8. Skillnaden i effekt mellan T1-T2



Graf 9. Skillnaden i effekt mellan T3-T4

4.3.6 Jämförelse av effekten i förhållande till Ra värden

I diagram 1 nedan framgår förhållandet mellan medeleffekten och Ra-värden på samtliga tester. Sambandet mellan de krafter från graferna som loggades och Ra-värden som framstod framgår i stapelform. I helhet framgår i testerna att endast medeleffekten på respektive parameterjustering inte har lett till ett styrbart Ra-värde eftersom testerna resulterade i olika Ra-värden.

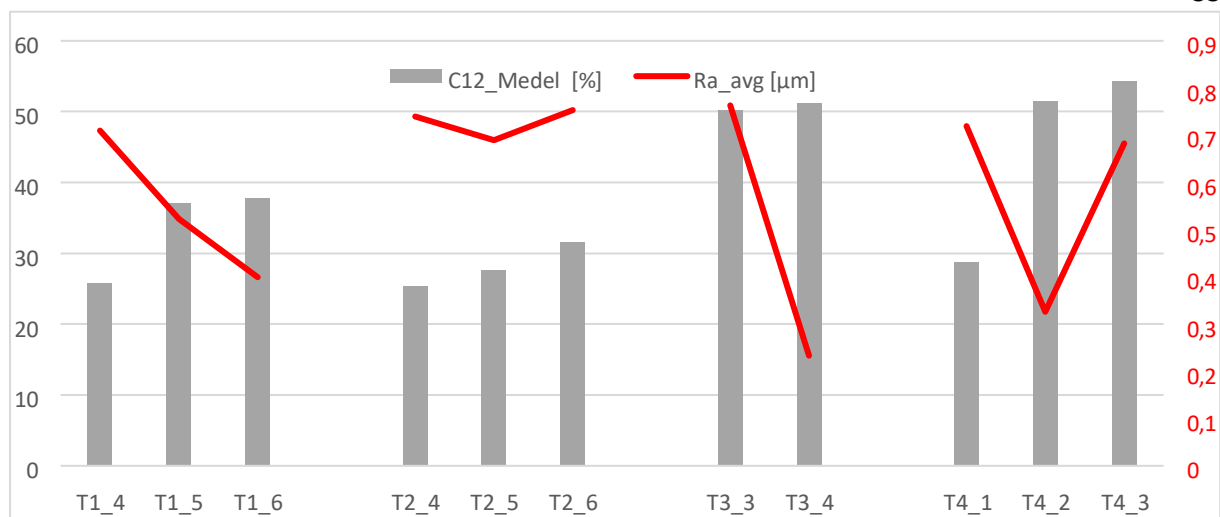


Diagram 1. Förhållande mellan effekten och Ra-värde, T1-T4.

4.3.7 Sammanställning av resultat T1-T4

Sammanfattningsvis resulterade testerna i ostyrbara Ra-värden, vilket innebär att skärvätskan, utsticken på segment, medeleffekten och kryssmönstret inte har kunnat styra Ra-värdet.

4.4 Resultat av Test 2

Nedan följer en sammanställning över alla tester som gjordes inom test 2. Följande framgår: testordning, avverkningen i diameter på sfärringen under en hel slipkörning, volymsskillnaden på sfären, volymskillnaden på segmenten, medeleffekten, utstick på segmenten från start, Ra-värden vid tre punkter samt Ra-medelvärde och kryssbedömningen.

I nedanstående tabell framgår alla tester som utfördes för test 2, med totalt 13 tester. Vid sista testet var utsticken på segmenten 18 mm. Testerna utfördes i totalt 4 dagar vilket innebär att segmenten fick profileras 4 gånger på testerna T1, T4, T7 och T11. Samtidigt gjordes en kryssjustering vid test T5, T8, T10, T12 och T13. Detta innebär att medeleffekterna där segmenten profilerades förväntas bli lägre än förväntat. Detta innebär även att vid kryssjustering beräknas medeleffekterna bli högre än normalt beroende på hur bra kryssmönstret är. I test 2 framgår två effekter i samma resultat eftersom effekten loggades två gånger under samma slipprocess.

Test	Avverkning diameter sfär[mm]	Volymskillnad sfär (V_diff_sfär) [mm ³]	Volymskillnad segment (V_diff_seg) [mm ³]	C12_Medel [%]	Utstick_start	Ra 1 [µm]	Ra 2 [µm]	Ra 3 [µm]	Ra_avg [µm]	Kryss
1	0,305	253087,122	10745,28	10,06571908	40,1833	0,35	0,38	0,37	0,36666667	Godkänd
				41,66304558						
2	0,28	232338,2009	9613,8	39,36446217	37,92333	0,33	0,18	0,28	0,26333333	Godkänd
				45,43902537						
3	0,38	315318,5877	15153,96	44,36054361	36,09	0,37	0,34	0,36	0,35666667	Godkänd
				51,03831231						
4	0,32	265539,7219	8646,12	23,89534021	33,51	0,39	0,42	0,33	0,38	Godkänd
				40,31275845						
5	0,28	-597224,5259	7949,76	54,87875093	31,37	0,31	0,24	0,34	0,29666667	Bra
				57,12881155						
6	0,275	228016,3151	7500,72	43,62581881	29,523333	0,41	0,34	0,38	0,37666667	Godkänd
				42,00733281						
7	0,222	184225,0748	8694,0192	40,179486	27,906	0,52	0,5	0,49	0,50333333	Bra
8	0,26	215739,2515	11914,08	33,43789097	25,96	0,54	0,59	0,57	0,56666667	Godkänd
				35,43463908						
				37,68764794						
9	0,205	170110,3898	10589,88	37,12918112	23,49	0,49	0,51	0,6	0,53333333	Godkänd
10	0,19	157662,3664	5693,52	38,5319683	21,56	0,48	0,51	0,63	0,54	Godkänd
				33,78799189						

11	0,21	174263,8384	8286,84	27,41380442	21,38	0,38	0,39	0,32	0,36333333	Godkänd
				45,7620647						
12	0,25	207453,7163	9545,64	38,99217881	19,55	0,43	0,41	0,31	0,38333333	Godkänd
				44,54482289						
13	0,165	136922,3878	-7113,84	50,24951153	18	0,32	0,29	0,3	0,30333333	Godkänd

Tabell 10, test 2

I diagram 2 nedan framgår förhållandet mellan medeleffekten och Ra-värdet vid test 2. I diagrammet framgår att enbart effekten inte har lett till ett styrbart Ra-värde. Utifrån test 2 kan man även dra slutsatsen att maskinoperatörerna bör byta ut segmenten då utsticken ligger på 20mm utstick eftersom medeleffekten vid det måttet kan börja överstiga 50 %.

T5 fick högst medeleffekt vid en jämförelse mellan testerna. Skillnaden mellan T5 och resterande tester är enligt maskinoperatörernas beräkning att T5 hade det bästa kryssmönstret.

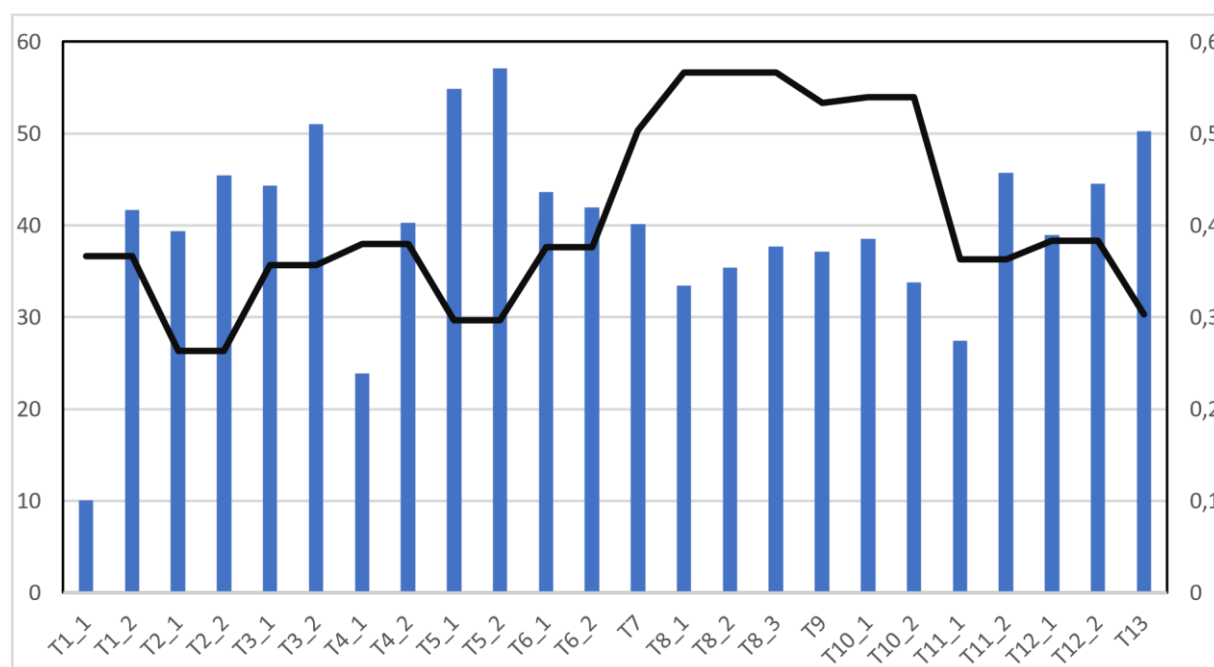


Diagram 2, effekten i förhållandet till Ra-värdet, test 2.

4.4.1 Medeleffekt jämförelse mellan test 1 och test 2

Om man jämför diagram 1 med diagram 2 framgår att medeleffekten på T1 från test 1 är likvärdig de första tre resultaten från testerna vid test 2. Detta innebär utifrån testerna att körning vid 40 mm utstick, 100 % kylvätska och konstant kördata leder till likvärdiga medeleffekter. Här kan man även se att vid T13 från test 2 börjar medeleffekten gå över 50%, vilket är gränssfall innan man börjar gå över den medeleffekten maskinoperatörerna vill ha.

Här kan man även se att medeleffekterna är varierande mellan både höga och låga.

Skillnaden mellan test 1 T4 och de sista tre testerna från test 2 är att test 2 resulterade i bättre kryssmönster, ändå resulterade testerna från test 2 i lägre medeleffekter.

5. Sammanfattning och diskussion

Som det framgår i diagram 1 resulterade T1 i högre medeleffekter jämfört med T2. Det kan bero på bland annat vilken nivå av kvalitet på kryssmönstret som testet resulterade i. Det kan även bero på kylarjusteringen som gjordes eller en blandning av vardera. I test T3 och T4 är effekterna däremot likvärdiga. Detta kan medföra att när utstickan på segmenten ligger på 20 mm har inte kylvätskan lika stor påverkan på effekten jämfört med när utstickan på segmenten ligger på 40 mm. Från graf 8 framgår en konstant effekt jämfört med graf 9 där effekterna varierar väldigt mycket beroende på utstickan på segmenten. Test 2 resulterade inte i den medeleffekt som förväntades av maskinoperatörerna då de förväntade sig att få fram en högre medeleffekt vid mindre utstick av segment. Detta innebär att enbart utstickan på segmenten inte har någon större påverkan på effekten. Slutsatsen som kan dras av båda testerna som utfördes är att effekten inte har lett till ett styrbart Ra-värde. Resultatet ger däremot, som nämnt under avsnittet om avgränsningar, endast en inblick i slipprocessen vid innersidan av ytterringer vid SKF:s E-fabrik, under de förutsättningar som fanns då testerna utfördes. Däremot kan resultatet från detta projektarbete kring effektens påverkan på Ra-värdet ändå ge en vägledning vid vidare forskning kring ämnet.

I test 1 ovan framgår att kryssmönstret inte har någon tydlig påverkan på effekten då utstickan på segmenten ligger på 20 mm jämfört med då utstickan ligger på 40 mm. Kryssmönstret enligt maskinoperatörernas bedömning gjorde en stor skillnad på effekten då utstickan på segmenten var 31,4 mm, i test 2 ring nummer 5. Detta betyder att kryssmönstret kan ha en påverkan på effekten beroende på utstickan på segmenten. Vidare utfördes test 2 i samband med produktion vilket innebär att kryssmönstren var tvungna att vara minst godkända. Det gick därmed inte att bestämma hur bra kryssmönstret skulle vara när testerna utfördes och därmed kan variationen på kryssmönstren varit en grundorsak till varför effekten på slipkörningen från test 2 varierade. Kryssmönstret kan således även varit grundorsaken till varför det inte gick att ha en styrbart Ra-värde. Sambandet mellan kryssmönstret och Ra-värden framgår även från tabell 10 där det inte framgick någon tydlig mönster mellan dem. Detta innebär att perfekta kryssmönster på tester framöver inte nödvändigtvis säkerställer ett styrbart Ra-värde.

Enligt tidigare forskning krävs det optimal kylvätska för att få en fin yta. Däremot resulterade test 1 i en variation av grova och fina ytor, trots att en justering av parametern kylvätska gjordes mellan testerna. När utstickan på segmenten ligger på 40 mm kan kylvätskan göra en påverkan på Ra-värdet, medan vid 20 mm gör kylvätskan inte lika stor skillnad. Vad som vidare kan ha varit grundorsaken till finare Ra-värden på T2 och T4 är kryssmönstret. Men det kan likaså även ha varit utstickan på segmenten eller vibration.

I tidigare forskning framgår även att vibrationer leder till grövre yta. Testerna som jag utförde resulterade däremot i fina Ra-värden vid 40 mm utstick av segment. Därmed har vibrationen inte gjort någon skillnad inom omfånget av testerna i mitt projektarbete. Det går däremot inte att bedöma ifall det uppstod vibrationer vid 40 mm utstick av segment på grund av brist på mätverktyg.

Genom testerna som utfördes inom ramen för projektarbetet kan man inte dra någon slutsats för vad de underliggande orsakerna är till att det uppstår problem med att styra Ra-värde. De

parametrar som lyfts upp i SKF som potentiellt kan påverka Ra-värde är kylvätskan, utsticken på segment, kryssmönstret och effekten. Genom testerna som utfördes framgår däremot att Ra-värdet inte kunnat styras utifrån de angivna parametrarna. Detta kan bero på att jag inte haft verktygen för att kontrollera/mäta kryssmönstret och jag har inte heller haft mätverktygen för att kunna mäta vibrationerna som uppstått under testerna. Därtill har jag inte inom ramen av projektarbetet kunnat utföra tillräckligt många tester för att kunna dra några generella slutsatser.

5.1 Felkällor

Eftersom effekten inte loggades på de första tre tester ifrån T1-T2 samt de första två testerna i T3 fick vi göra om samma tester senare, eftersom vi insåg det när vi påbörjade T3 på test 1. Detta framgår i testordningen och därmed har vi inga förklaringar på hur effekten ser ut på T1_1-T1_3, T2_1-T2_3 och T3_1-T3_2.

Test T4_1 från test 1 resulterade i en väldigt låg effekt, vilket beror på att segmenten behövde profileras. Varje gång maskinoperatörerna justerar utsticken på segmenten behöver dem profileras. Efter många års erfarenheter från maskinoperatörerna har de sagt att första ringen inte alltid går som planerat. Det kan hända att effekten inte blir detsamma eftersom när man får slipkontakt kommer inte alla segment på skivan i slipkontakt samtidigt. Ett exempel på vad som kan hända med effekten framgår i graf 4 där T4_1 skiljer sig ifrån de andra två identiska effekterna.

Då vi inte hade verktygen för att mäta kryssmönster är det svårt att kunna göra utförliga tester eftersom man inte vet hur stor påverkan kryssmönstret har på effekten samt Ra-värdet. Jag hade inte heller verktyg för att mäta vibrationerna då man inte vet storleken på vibration eller om det uppstod någon vibration vid 40mm utstick. Man vet även inte ifall det kan ha uppstått vibrationer vid 20mm utstick. Andra saker som påverkat testerna är kylmedlet och materialet på segmenten. Enligt tidigare forskning har kylmedlet samt slipverktyget en påverkan på ytfinheten. Då jag inte kunnat kontrollera för dessa faktorer kan man inte utifrån detta projektarbete slutleda vad justeringar av kylmedel och slipverktyg leder till.

5.2 Förbättringar och idéer

Eftersom jag utifrån de tester som genomfördes inom projektarbetet inte kunnat dra några generella slutsatser utifrån de parametrar som testades (kylvätskan, utsticken på segmenten, kryssmönstret och effekten) och deras påverkan på Ra-värde fordrar forskningsfältet för vidare undersökningar kring parametrarna och deras påverkan på ytfinhet.

Eftersom jag vidare inte kunnat mäta/kontrollera kvalitén på kryssmönstret eller vibrationer som uppstår har jag inte kunnat få en önskad medeleffekt vid varje körning. Genom att kontrollera för dessa vid framtida undersökningar skulle man kunna komma ett steg närmare ett styrbart Ra-värde. Utan mätverktygen för att mäta kvaliteten på kryssmönster eller vibrationer är det väldigt svårt att kunna göra utförliga tester eftersom man inte vet hur stor påverkan dessa två parametrar har på effekten och Ra-värdet.

Får man kontroll över kryssmönstret tar man bort en parameter som påverkar effekten, vilket kan vara ett steg närmare till att kunna styra Ra-värden. I vidare forskning kan man även testa för kördatan och dess påverkan på Ra-värdet. Vad händer vid snabbare sliphastighet eller bordsvarv? Hur påverkar matningen Ra-värdet?

Referenslista

1. Alberdi, R., Sanchez, J.A., Pombo, I., Ortega, N., Izquierdo, B., Plaza, S. & Barrenetxea, D. (2011). Strategies for optimal use of fluids in grinding. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 51, s. 491-499.
2. Alvarez, J., Zatarain, M., Barrenetxea, D., Ortega, N. & Gallego, I. (2013). Semidiscretization for stability analysis of in-feed cylindrical grinding with continuous workpiece speed variation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 69, s. 113–120.
3. Brinksmeier, E., Heinzl, C. & Wittmann, M. (1999). Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 48:2, s. 581-598.
4. Chen, J., Fang, Q. & Li, P. (2015). Effect of grinding wheel spindle vibration on surface roughness and subsurface damage in brittle material grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 91, s. 12-23.
5. de souza Ruzzi, R., da Silva, R.B., da Silva, L.R.R., Machado, Á.R., Jackson, M.J. & Hassui, A. (2020). Influence of grinding parameters on Inconel 625 surface grinding. *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 55, s. 134-185.
6. Fan, X., & Miller, M.H. (2007). Force analysis for grinding with segmental wheels. *Machines Science and Technology*, col. 10, s.435-455.
7. Gadelmawla, E.S., Koura, M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* 123, s. 133-145.
8. Gusev, V.G. & Zhigalov, R.V. (2009). Influence of the Number of Segments and Their Dimensional Errors on the Primary Imbalance Vector of a Grinding Wheel. *Russian Engineering Research*, vol. 30, s. 90.93.
9. Kim, J-D., Kang, Y-H., Jin, D-X. & Lee, Y-S. (1997). Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 37:11, s. 1611-1624.
10. Klocke, F., Brinksmeier, E., Evans, C.J., Howes, T., Inasaki, I., Minke, E., Tönshoff, H., Webster, J.A. & Stiff, D.f (1997). High Speed grinding fundamentals and state of the art in Europe, Japan, and the USA. *Annals of the CIRP*, vol 46(2).
11. Majumdar, S., Kumar, S., Roy, D., Chakraborty, S. & Das, S. (2017). Improvement of lubrication and cooling in grinding. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 33, s. 1459-1465.

12. Patel, D.K., Goyal, D. & Pabla, B.S. (2018). Optimization of parameters in cylindrical and surface grinding for improved surface finish. *R.Soc.opensci*.
13. Tönshoff, H.K., Peters, J., Inasaki, I. & Paul, T. (1992). Modelling and Simulation of Grinding Processes. *CIRP Annals*, Vol. 41:2, s. 667-688.
14. Uddeholm (2013). Slipning av verktygsstål. Utgåva 4.
https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/43/2017/10/Slipning-swedish_1305_e4-1.pdf
15. Wegener, K., Bleicher, F., Krajnik, P., Hoffmeister, W-H. & Brecher, C. (2017). Recent developments in grinding machines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 66, s. 779-802.
16. Wu, C., Li, B., Pang, J., & Liang, S.Y. (2016). Ductile grinding of Silicon carbide in high speed grinding. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 10.
17. Zhang, L., Kang, M. & Tang, W. (2020). Effects of Grinding parameters on Surface Quality in High speed grinding considering maximum undeformed chip thickness. *SAE Int. J. Mater. Manf*, vol 13(2).
18. Zhu, Y., Lu. & Zuo, D. (2017). Grinding characteristics in high-speed grinding of boron-diffusion-hardened TC21-DT titanium alloy with vitrified CBN wheel, vol. 89, s. 1269-1277.

Hemsidor

1. SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/group/ourcompany/organization/skf-care/environmental-care/manufacturingprocesses/index.html>
2. SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/ourcompany/index.html>
3. Internordic (u.å) Kullager och rullager. Hämtad 2020-05-15 från <https://www.internordic.com/produkter/lager/kullager-och-rullager>
4. SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/career/vad-vigor/index.html>
5. SKF (u.å) Om SKF. Hämtad 2020-06-15 från <https://www.skf.com/se/organisation/sustainability/environment-and-climate#cid477810>

Böcker

1. Materials By Michael Ashby, Hugh Shercliff and David Cebon Third edition

Bilaga 1. Enkätundersökning

Hej!

Mitt namn är Nghiep Tuan Luu. Jag studerar för närvarande till Maskiningenjör på Chalmers. För närvarande skriver jag mitt examensarbete här på SKF inne i E-fabriken. Mitt examensarbete går ut på att hitta den huvudsakliga anledningen till att Ra inte kan kontrolleras.

Jag behöver hjälp ifrån dig. Ringa in minst 3 bland dessa parametrar som du tror har störst inverkan på Ra-värde

Utsittstiden	Matningen	Materialet	Slippa träffa måttet	X-inställningen
Segmentets hårdhet		Segmentets tjocklek		Antalet segment på skivan
Bredden på ringen i förhållandet till skivan		Vattnet/kylningen		Varvtalet på skivan
Utsticket på segmentet (längden)			Hur hög slipkraft innan utslip startas	
Vibration	Kördatan			

Du kan även skriva här under ifall du kan komma på någon annan slags parameter:

Bilaga 2. Resultat av enkätundersökning

1. Hastigheten på ringen
2. Hastigheten på skivan
3. Effekten (trycket) (matningen)
4. X-inställningen (EE02 = position axel Y)
5. Vilket segment (hårdheten)
6. Längden på segmentet
7. Tjockleken på segmentet
8. Diametern på ringen
9. Centreringen
10. Antalet segment
11. Matningshastigheten
12. Utslipstid
13. köra A-ring före B-ring för att slippa träffa måttet exakt.
14. Bredden på ringen i förhållandet till skivan
15. Hur mycket slipyta/sekund som skivan slipar (kontaktytan). hur många segment som är i ingrepp.

Daniel T	Fahri 02	Darko 09	Balkan 09
2	1	2	2
3	2	3	3
5	3	6	6
13	12	7	7
14		10	8
15			10
			11

Bilaga 3. Sammanställning av test 1

T1	Test ordning	Utstick_start	Utstick_slut	Tid från slipkontakt [sek]	Tid från slipkontakt [ms]	Utslip [sek]	Kommentar
1	1	39,78	38,42	590	590000	60	
2	2	38,42	37,48	884	884000	60	
3	3	37,48	36,96	744	744000	60	
4	14	40,5	39,376	669	669000	60	Drog ut igen på segmenten till 40 mm, profilering av segment
5	15	39,376	39	730		60	
6	19	36,4	35,93	666	666000	60	Kryss justering igen sedan test 16
T2							
1	4	40,25	40	670	670000	60	Ny dag, vi flyttade ut segmenten igen, profilering av segment
2	5	40	39,16	667	667000	60	
3	6	39,16	38,406	662	662000	60	
4	16	38,406	38	737	737000	60	Söndags, fick slipkontakt direkt då sfären har blivit kall och krympt.
5	17	38	37,23	665	665000	60	
6	18	37,23	36,4	664	664000	60	
T3							
1	7 (extra)	20,36	19,503	672	672000	60	Profilering av segment. segment justering till 20mm
2	8	19,503	18,82	657	657000	60	
3	9	18,82	17,6	643	643000	60	
4	10	17,6	16,71	647	647000	60	Här gick vi över till ring nummer två, (alltså gjordes test nr 10 på ring nr 2)
T4							
1	11	19,99	19,22	660	660000	60	Drog ut på segmenten igen till 20 mm. Profilering av segment
2	12	19,22	17,9	658	658000	60	
3	13	17,9	17,4	670	670000	60	