

NUTZEN SIE IDEALE VERZAHNPROZESSE? IHR EINFACHER WEG ZUR GRAFISCH UNTERSTÜTZTEN OPTIMIERUNG!



Hochproduktive Fräsprozesse bei extrem hoher und reproduzierbarer Verzahnungsqualität – das ist das Ergebnis des optimalen Zusammenspiels von innovativen Fräs-Werkzeugen und leistungsfähigen Klingelberg Kegelrad-Fräsmaschinen der C-Serie. Verknüpft werden beide Elemente durch den Verzahnprozess.

Stetig wachsender Wettbewerb und der damit verbundene Druck, vor allem in der Automobilindustrie, verlangen nach kostengünstiger Produktion bei gleichzeitig steigenden Qualitätsanforderungen in sämtlichen Bereichen – unter anderem auch in der spanenden Fertigung von Kegelrad-Verzahnungen. Gerade deshalb ist es wichtig, das volle Potenzial aller am Prozess beteiligten Komponenten auszuschöpfen.

Adaptive Vorschubregelungen bieten bei einfachen Prozessen bereits die Möglichkeit, den Vorschub basierend auf der Antriebsauslastung zu regeln, um die Maschinenleistung bestmöglich auszunutzen und so die Zykluszeit zu reduzieren. Bedingt durch die sehr komplexe Herstellkinematik beim Verzahn von Kegelrädern ergeben sich allerdings während des Prozesses ständig andere Schnittverhältnisse. Eine „einfache“ Regelung des Vorschubs allein nach der Spindelauslastung und ohne hinreichende Analyse sowie Kenntnisse der Prozessabläufe ist somit nicht optimal. Durch die fortlaufende Entwicklung der Klingelberg Maschinen-Bediensoftware wird jetzt dem Anwender der Einblick in den Prozessablauf ermöglicht. Dieser Einblick befähigt den Technologen, die Maschinenbelastung aufzuzeichnen und den Prozesssequenzen zuzuordnen. Die Maschinenreaktion auf Prozessänderungen kann hierdurch präzise analysiert

und nachverfolgt werden. Eine neue Basis zur Optimierung hochproduktiver Verzahnprozesse ist geschaffen.

Die neue Bediensoftware unterstützt das Zusammenspiel von innovativen Fräs-Werkzeugen und der leistungsfähigen Kegelrad-Fräsmaschine C 30. Hochproduktive Fräsprozesse bei extrem hoher und reproduzierbarer Verzahnungsqualität sind das Ergebnis.

„Knackpunkte“ der Prozessoptimierung

Was charakterisiert einen optimalen Verzahnprozess?

1. Die Bauteil-Qualität entspricht exakt den Anforderungen.
2. Die Bearbeitungszeit ist möglichst kurz.
3. Das eingesetzte Verzahn-Werkzeug hält möglichst lang.
4. Ein Optimum aus Maschinenkosten und Werkzeug-Kosten ist gefunden.

Auf den ersten Blick ist das eine sehr einfache „Checkliste“. Allerdings ergeben sich bei der Optimierung des Kegelrad-Fräsprozesses oft Konflikte zwischen Zielsetzung und technischer Umsetzung. Wer den Prozess verbessern will, für den stehen zwei Ziele klar im Fokus: eine gesteigerte Produktivität sowie eine verbesserte Prozesssicherheit, um die hohen Anforderungen an die geometrische Bauteil-Genauigkeit (Teilung und Topografie) reproduzierbar und sicher zu erfüllen – und das ohne Einbußen in der Oberflächenbeschaffenheit der Zahnflanke als Messoberfläche. Eine Steigerung der Produktivität erfordert aber eine Erhöhung der Bearbeitungsparameter, und genau darin besteht der Konflikt. Denn gesteigerte Bearbeitungsparameter führen tendenziell zu einem erhöhten Verschleißverhalten des Werkzeugs und steigern die Gefahr einer Schädigung der Flankenoberfläche durch Defekte wie Kratzer oder sogar Aufschweißungen. Diese gilt es natürlich unbedingt zu vermeiden.

Kompakt

Zeit ist Geld

Die Einsparung von Prozesszeit erfordert genaue Kenntnisse der Abläufe und der beim Verzahn vorherrschenden Bedingungen in der Kontaktzone von Werkzeug und Werkstück.

STATUS QUO

Adaptive Vorschubregelung für das Kegelrad – nicht optimal!

- Wenig sehen
- Adaptiv ändern
- Wenig verstehen

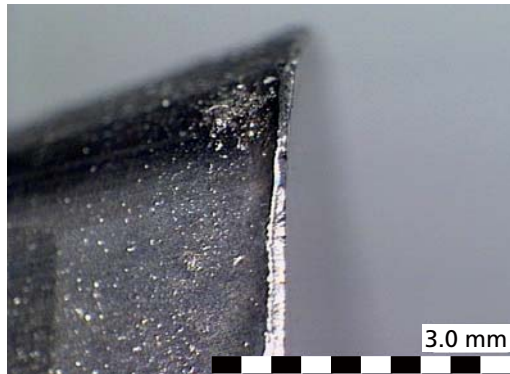


Abb. 1: Werkzeug-Verschleiß als Grenze beim Fräsen von Tellerrädern



Abb. 2: Kratzer in der Oberfläche beim Fräsen der Ritzel

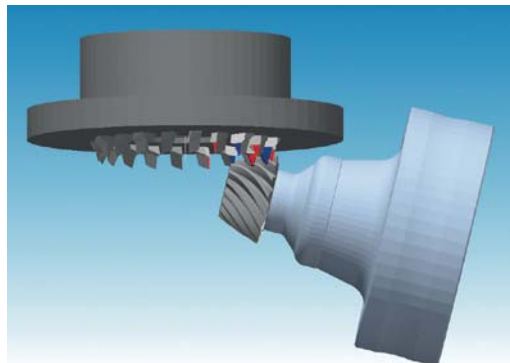


Abb. 3: Simulative Prozessanalyse

Grenzen der Prozessgestaltung

Die Möglichkeiten, einen Kegelrad-Fräsprozess zu optimieren, sind durch verschiedene Elemente eingeschränkt. Welche davon als erste eine Grenze setzen, hängt immer vom Bauteil-Typ und den damit verbundenen unterschiedlichen Prozessmerkmalen ab: Bei formverzahnten Bauteilen – das sind exklusiv Tellerräder – ist es das Werkzeug hinsichtlich seines Verschleißes (siehe Abbildung 1). Bei gewälzten Bauteilen – das sind immer Ritzel und gelegentlich auch Tellerräder – legt häufig die Entstehung von Oberflächendefekten die Grenze fest (siehe Abbildung 2). Eine weitere Einschränkung bildet die Verschleißsituation der Werkzeuge. Die Verzahnmaschine spielt hingegen in den meisten Fällen eine untergeordnete Rolle.

Das Beste herausholen: Empirie ...

Für ein optimales Ergebnis beobachten erfahrene Technologen oder Maschineneinrichter direkt an der Verzahnmaschine die im Prozess entstehende Form der Späne, und grob den Verlauf der Maschinenbelastung, den Werkzeugverschleiß und die zum Prozessende vorliegende Güte der Flankenoberfläche. Veränderungen der Prozessparameter werden basierend auf Erfahrungen in Kombination mit den subjektiv erfassten Größen vorgenommen.

... oder Simulation?

Dieser empirischen Prozessanalyse steht die simulative Prozessanalyse gegenüber: Ein erfahrener Technologe kann je nach der zur Verfügung stehenden Software an seinem Arbeitsplatz verschiedene Prozesssequenzen aufzeigen und analysieren (siehe Abbildung 3). Dieses Vorgehen ist relativ aufwendig und wird nur in der Theorie durchgeführt – viele Anwender

„Für jeden unserer Kunden entwickeln wir die passende Lösung zur Realisierung des optimalen Verzahnprozesses.“

Jürgen Weber, Anwendungstechnik, Technologiezentrum Kegelrad

haben keinen Zugriff auf entsprechende Software oder kein Personal mit der benötigten Fachkenntnis. Die simulativ ermittelten Werte müssen in jedem Fall noch durch praktische Anwendung validiert werden.

Am besten beides!

Die Steuerungen von modernen CNC-Maschinen ermöglichen eine umfassende Aufzeichnung von Signalen. So ist es möglich, zu allen Zeitpunkten eines Prozesses unterschiedliche Informationen zu erfassen und abzuspeichern. Die Aufgabe ist, festzulegen, über welche maßgeblichen Kriterien ein Prozess als optimal zu definieren ist. Während beispielsweise das Kriterium „Bearbeitungszeit“ am Ende des Prozesses leicht abzulesen ist, lässt sich das Kriterium „Schädigung der Flankenoberfläche durch Oberflächendefekte“ schon schwerer ab- und einschätzen. Denn der Verschleiß des Werkzeugs ändert sich mit dessen Einsatzdauer, zusätzlich spielen hier Chargeinflüsse des Materials eine Rolle. Am schwierigsten zu bewerten ist die Werkzeug-Belastung und der sich daraus ergebende Schneidenverschleiß. Entgegen vieler anderer Zerspanprozesse verändert sich beim Kegelrad-Fräsprozess ständig die Eingriffssituation der Werkzeug-Schneiden während des Prozessablaufs. Die Belastung der Verzahnmaschine variiert ebenfalls entsprechend. Das Besondere ist, dass sich der entstehende Werkzeug-Verschleiß aufgrund der lokalen Belastungen entlang der Schneide örtlich unterschiedlich ausbildet.

Will man die Informationen der Maschinensteuerung als Basis für die Bewertung der Schneidenbelastung heranziehen, geht das nur über eine Normierung. An dieser Stelle treffen sich nun Empirie, d. h. die Messungen an der Maschine, und Theorie, d. h. die Analyse der am Schneidprozess beteiligten Schneidkanten-Länge.

Prozessoptimierung mit Smart Process Control

Die Aufzeichnung der Auslastung der Werkzeug-Spindel hilft sowohl bei der Optimierung als auch bei der Überwachung der Prozessabläufe. Die Prozesse werden durch Stützpunkte aus Arbeitsposition und Vorschub definiert. Eine Variation dieser Parameter bewirkt eine Änderung der Auslastung der Werkzeug-Spindel.

Die für den Anwender direkt an der Maschine nutzbare Software ermöglicht für jede Bearbeitungssituation eine präzise Visualisierung der Maschinenbelastung. So ist der Prozessablauf auf einen Blick zu erfassen und gut zu verstehen. Gern gibt ein erfahrener Klingelberg Technologe eine kurze Schulung, nach der der Maschinenanwender in der Lage ist, seine Prozesse eigenständig mit Smart Process Control zu analysieren und zu optimieren.

Das automatische Mitschreiben der Spindelauslastung – für eine sinnvolle Werkstück-Anzahl – ermöglicht zudem eine konstante Prozessüberwachung. Daten lassen sich über den gesamten Prozessverlauf hinweg erfassen und auswerten. Auffällige Abweichungen in der Spindelauslastung erlauben Rückschlüsse auf Materialunregelmäßigkeiten oder auf eine veränderte Verschleißcharakteristik des Werkzeugs.

NEUHEIT

Klingelberg Smart Process Control bietet:

- Viel sehen
- Gut verstehen
- Gezielt optimieren

INFOS ZU SMART PROCESS CONTROL

- Analysemöglichkeit der Auslastung der Werkzeug-Spindel für eine gesamte Prozesssequenz
- Präzise Zuordnung der Spindelauslastung zur Arbeitsposition direkt an der Maschine
- Automatische Erfassung der Auslastungskurve für eine wählbare Anzahl gefertigter Kegelräder
- Auswertung der erfassten Daten bequem vom Arbeitsplatz mit gängigen Office-Programmen
- Software kann als Option für die C 30 erworben werden
- Schulungen zur Bedienung durch Klingelberg Technologen

Aus der Praxis

Das Schlichtwälzen bildet – nach dem anfänglichen Tauchprozess und dem darauffolgenden Schrappwälzen – den abschließenden Arbeitsschritt beim Verzahnen einer Kegelrad-Verzahnung. Abbildung 4 zeigt die aufgezeichnete Auslastungskurve (blau) der Werkzeug-Spindel eines Schlichtwälz-Prozesses. Da es sich bei dem Beispiel um einen im kontinuierlichen Verfahren

hergestellten Radsatz handelt, der im Anschluss an die Wärmebehandlung durch Läppen seine endgültige Qualität erhält, steht die Bauteil-Genauigkeit bei der Bearbeitung besonders im Fokus.

Der zu optimierende Prozess – siehe Abbildung 4 – startet mit einem Tauchvorgang (I) bei einer Arbeitsposition von ca. 312°. Hat das Werkzeug seine Arbeitstiefe erreicht, wälzt es einen ersten Bereich der Zahnflan-

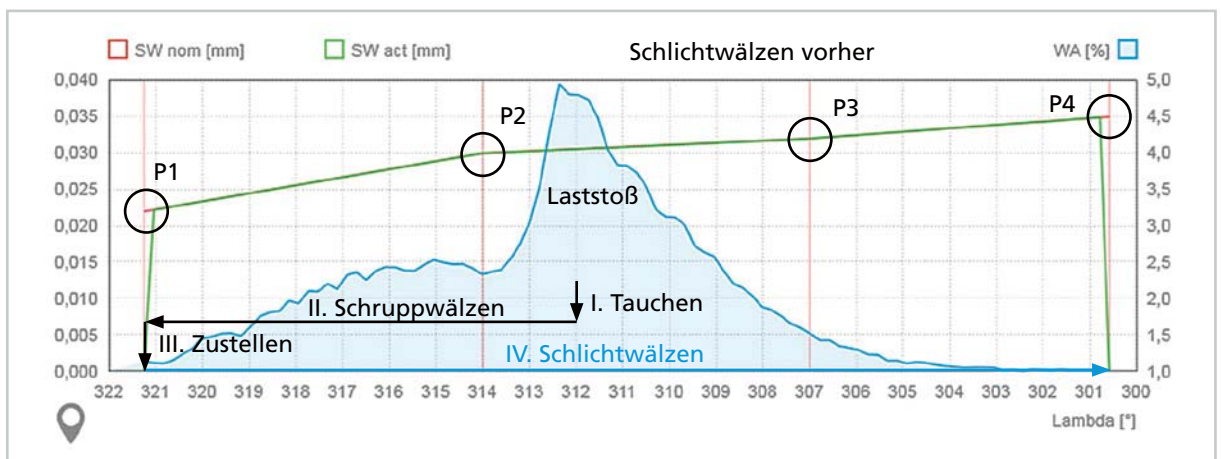


Abb. 4: Auslastungskurve Werkzeug **vor der Optimierung** (blau) Schlichtwälz-Prozess

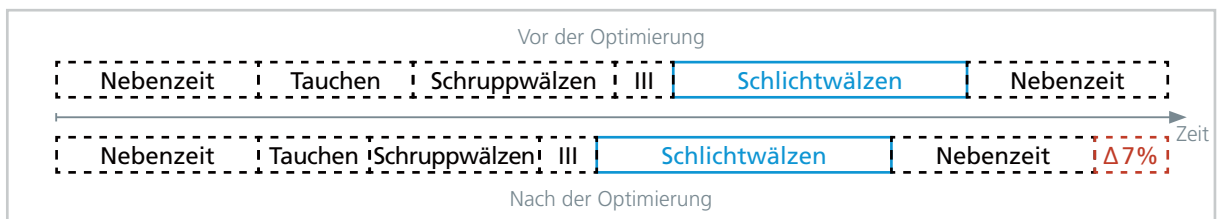


Abb. 5: Bearbeitungszeit

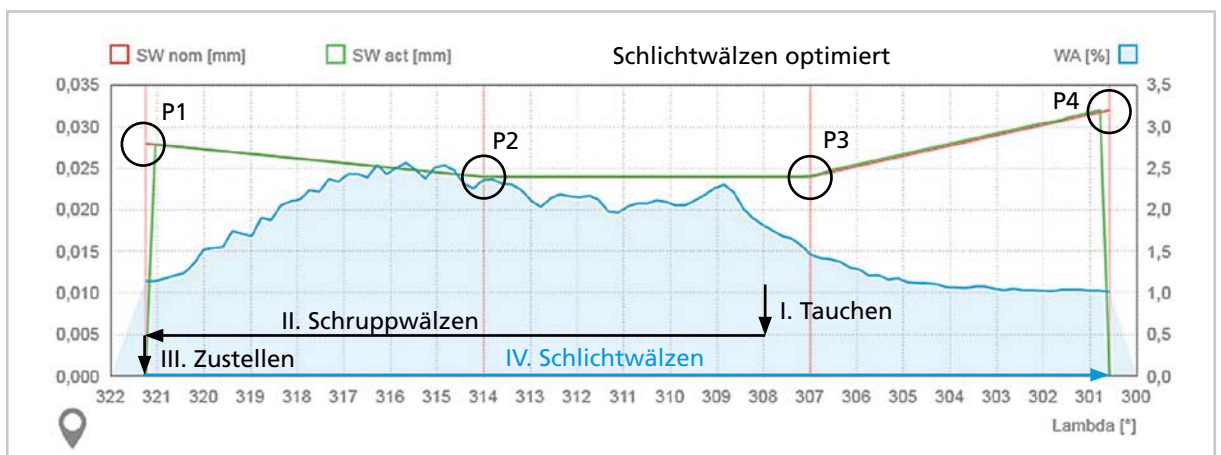


Abb. 6: Auslastungskurve Werkzeug **nach der Optimierung** (blau) Schlichtwälz-Prozess

ke vor (Schruppwälzen, II). Im Anschluss daran erfolgt nach einer kurzen Zustellung (III) das Schlichtwälzen der Verzahnung mit der aufgezeigten Werkzeug-Auslastung. Das Werkzeug startet das Schlichtwälzen (IV) bei einem Wälzwinkel von 321° und endet bei einem Wälzwinkel von ca. $300,5^\circ$. Hierbei durchwält es den schrumpfgewälzten Bereich. Deutlich sichtbar ist der Lastanstieg um den Wälzwinkel von 312° , der aus dem Übergang des schrumpfgewälzten Bereichs in den nicht gewälzten Bereich resultiert.

Eine Messung des betrachteten Bauteils zeigte Auffälligkeiten in der Flankentopografie, die genau im Bereich des Lastanstiegs, also bei 312° , lagen. Daraufhin wurde die Arbeitsposition des Tauchvorgangs auf 308° verlagert, um den schrumpfgewälzten Bereich zu vergrößern (siehe Abbildung 6). Außerdem fand eine Anpassung der Stützpunkte P1 bis P4 durch Eingabe geeigneter Vorschübe statt.

Resultat ist eine deutlich gleichmäßigere Spindelauslastung beim Schlichtwälzen ohne lokalen Lastanstieg und eine unauffällige Flankentopografie. Auf dieser Basis besteht jetzt die Möglichkeit, das gleichmäßige Lastniveau über eine Verlagerung der Stützpunkte P1 bis P4 parallel anzuheben, um so eine Verkürzung der Bearbeitungszeit zu erzielen. Die Nutzung von Smart Process Control ermöglicht für den Tauch- und Schruppwälz-Bereich ebenfalls eine kontrollierte Anhebung der

SO OPTIMIERT KLINGELBERG VERZAHNPROZESSE

Checkliste, worauf Klingelberg achtet:

- Aufnahme und Analyse des Istzustands
- Reduzierung der Nebenzeiten durch möglichst kurze Fahrwege
- Reduzierung der Hauptzeiten durch Optimieren der Schnittparameter
- Ständige Kontrolle von Bauteil- und Oberflächenqualität sowie des Werkzeug-Verhaltens

Vorschübe. In Summe konnte, wie Abbildung 5 veranschaulicht, eine Verkürzung der Hauptzeit dieses Beispielprozesses um sieben Prozent erreicht werden.

Verkürzen Sie die Nebenzeiten!

Die Bearbeitungszeit setzt sich aus Hauptzeiten und Nebenzeiten zusammen. Durch höhere Schnittparameter verringert sich die Hauptzeit. Jedoch muss bei der Optimierung der Prozessparameter unbedingt Rücksicht auf die Verschleißentwicklung des Werkzeugs sowie die erreichte Oberflächenqualität der Verzahnung genommen werden. Vorrang hat deswegen die Optimierung der Nebenzeiten, denn diese wirken sich weder auf die Bauteil-Qualität noch den Werkzeug-Verschleiß negativ aus. Je nach final ermitteltem Prozessablauf sollten abschließend die Nebenbewegungen auf Richtigkeit geprüft werden. ◆

NEUE POTENZIALE

Resultat der Optimierung des Beispielprozesses:

- Verbesserung der Qualität
- Reduzierung der Hauptzeit um sieben Prozent
- Gleichmäßige Belastung



Dipl.-Ing. Karl-Martin Ribbeck

Leiter Kompetenzzentrum Kegelrad,
KLINGELBERG GmbH