



Was lange währt, wird endlich gut!

Inhalt:

- Abgrenzung zum Stoßen und Wälzfräsen
... Seite 2
- Klassische Werkzeuge zum Wälzschälen
... Seite 3
- Warum war Wälzschälen bisher erfolglos?
... Seite 3
- Maschine und Werkzeug – Erfolgsfaktoren für das Wälzschälen
... Seite 4
- Closed-Loop-Fertigung
... Seite 5
- Warum also Wälzschälen?
... Seite 7

Sie begann vor über 100 Jahren: die Geschichte des Wälzschälens. Am 1. März 1910 meldete Wilhelm von Pittler ein Patent an, das die Fertigung von Zahnrädern revolutionieren sollte.



Sein Patent zum Wälzschälens mit dem Titel „Verfahren zum Schneiden von Zahnrädern mittels eines zahnradartigen, an den Stirnflächen der Zähne mit Schneidkanten versehenen Schneidwerkzeugs“ erinnert zunächst an das damals bereits bekannte Stoßen von Zahnrädern. Das wirklich Revolutionäre an dieser Idee erschließt sich erst auf den zweiten Blick.

Abgrenzung zum Stoßen und Wälzfräsen

Beim Stoßen wird die Schneidbewegung durch den Hub des zahnradförmigen Werkzeugs in axialer Richtung erzeugt, wobei sich während der oszillierenden Hubbewegungen Werkstück und Werkzeug entsprechend ihrer Zähnezahlen ein wenig weiter drehen. Für einen kollisionsfreien Rückhub wird das Werkzeug radial genügend weit vom Werkstück zurückgezogen. Insgesamt entsteht so eine unterbrochene Schneidbewegung des zahnradförmigen Werkzeugs. Wegen des Rückhubs, bei dem kein Schnitt stattfindet, ist das Stoßen von Stirnrädern immer mit einem Zeitverlust verbunden.

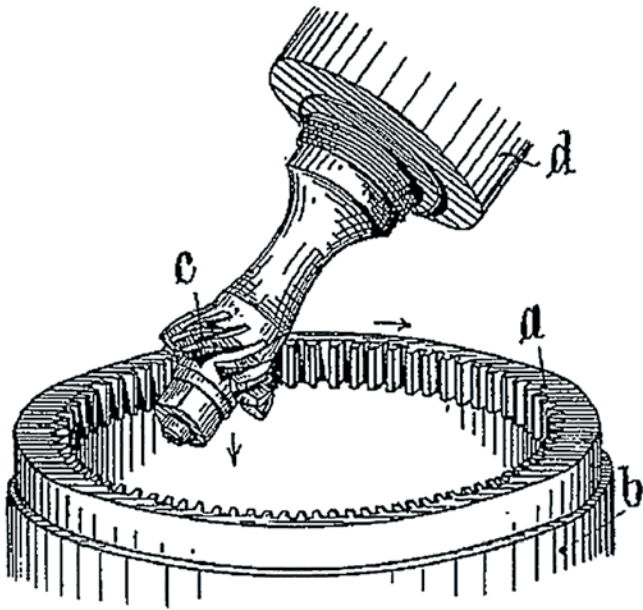


Bild 1: Patentschrift des Wilhelm von Pittler und Skizze, 1910

Etwa 50 Jahre vor der Erfindung des Wälzschälens erhielt Christian Schiele ein Patent auf einen schraubenförmigen Fräser zur Herstellung von Stirnrädern, dem Vorläufer des Wälzfräasers. Der Vorteil dieses Verfahrens lag in der ungeheuren Produktivität. Obwohl die Herstellung solcher Werkzeuge nicht einfach war, überzeugten die kurzen Bearbeitungszeiten und die hohe Qualität derart hergestellter Zahnräder, sodass Wälzfräsen das etablierte Standard-Verzahnverfahren für Stirnräder wurde.

Leider lässt sich das Wälzfräsen nur auf außenverzahnte Stirnräder anwenden. Um innenverzahnte Ringe zu fertigen, ist man bis heute auf Räumen, Formfräsen oder Stoßen angewiesen. Genau an diesem Punkt eröffnet das Wälzschälens neue Möglichkeiten. Als Werkzeug dient ein Zahnrad mit

stirnseitigen Schneiden. Anders als beim Stoßen wird jedoch die Schneidbewegung nicht durch eine oszillierende Hubbewegung erzeugt. Vielmehr wird mit der gekreuzten Achsanordnung von Werkzeug und Werkstück eine axiale Relativgeschwindigkeit erzeugt, welche die Schneidbewegung ermöglicht. Während des Umlaufs des Werkzeugs durchschreitet jede Schneidkante unterschiedliche Zahnhöhen am Werkstück – die Bewegung, die für den Schneidprozess benötigt wird. Das Kreuzen der Achsen bedingt, dass der Schrägungswinkel des Werkzeugs und der Schrägungswinkel des herzustellenden Zahnrads sich um den Achskreuzwinkel unterscheiden (siehe Bild 1 Skizze). Von Pittler hat damit ein kontinuierlich wälzendes Verzahnverfahren entwickelt, das die Produktivität für Innenverzahnungen drastisch erhöhen kann. Grundsätzlich lassen sich mit Wälzschälens beliebige periodische Strukturen auf rotationssymmetrischen Mantelflächen erzeugen.

Bild 2 zeigt die Freiheitsgrade der Kinematik des Wälzschälens. Neben dieser Neigung für den Achskreuzwinkel gibt es einen Kippwinkel, dessen Neigung senkrecht zur Rotationsachse des Werkzeugs und senkrecht zur Neigung für den Achskreuzwinkel erfolgt. Mit dieser Kippung erreicht man einen Freiwinkel zwischen den Zahnflanken des Werkzeugs und den Zahnflanken des Werkstücks, der auch kinematischer Freiwinkel genannt wird. Zusätzlich benötigt man zwei lineare Verschiebungen. Zum einen muss der Abstand zwischen der Werkstück- und der Werkzeugachse eingestellt werden und zum anderen muss das Werkzeug entlang der Werkstückachse verfahren werden. Dieses Verfahren des Werkzeugs entlang der Werkstückachse erfordert eine der Werkzeug- oder Werkstückrotation zu überlagernde Drehung, welche vom Achskreuzwinkel abhängt. Sie wird üblicherweise Differenzialgeschwindigkeit genannt.

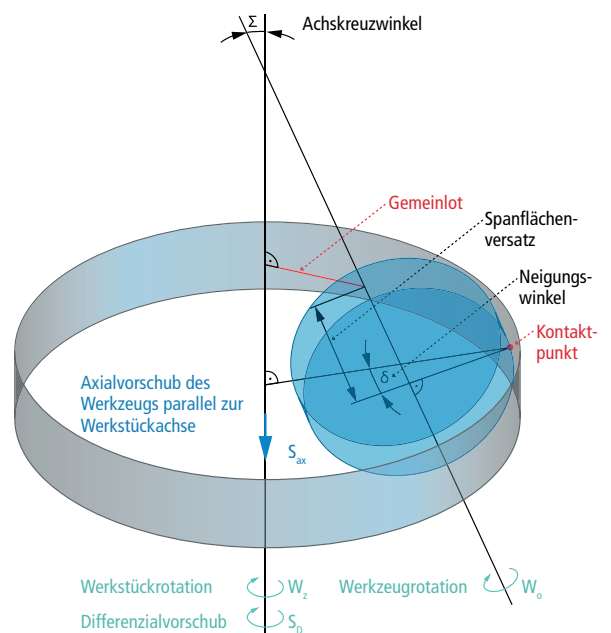


Bild 2: Kinematik des Wälzschälensprozesses: Die gekreuzte Achsanordnung wird durch eine Neigung um das Gemeinlot der Achsen von Werkzeug und Werkstück erreicht (reduzierte Darstellung ohne Verzahnung).

Klassische Werkzeuge zum Wälzschälern

Entsprechend der Idee des von Pittler'schen Patents wurden in der Vergangenheit Stoßräder zum Wälzschälern verwendet. Besonders anschaulich wird dies, wenn das Werkzeug ein geradzahntes zylindrisches Schälrad ist. Der Achskreuzwinkel muss dann genau dem Schrägungswinkel des herzustellenden Zahnrads entsprechen. Solche Werkzeuge können folglich nur eingesetzt werden, wenn der Schrägungswinkel des herzustellenden Zahnrads groß genug ist. Je nach Schrägungswinkel muss das Profil der Schneiden angepasst werden. Wegen der zylindrischen Kontur des Schälrades ist es zwingend erforderlich, einen geeigneten Kippwinkel einzustellen, damit sich im Prozess ein brauchbarer Freiwinkel ergibt. Dieser Kippwinkel erfordert eine erneute Anpassung im Zahnprofil des Schälrades (Werkzeugbeispiel Bild 3 oben). Der sofort ersichtliche Vorteil solcher Werkzeuge ist das einfache Nachschärfen. Es reicht aus, nach dem Entschichten die Spanfläche nachzuschleifen und das Werkzeug erneut zu beschichten. Die Geometrie ändert sich nicht, sodass nach jedem Scharfschliff mit der ursprünglichen Kinematik wieder die gleiche Zahnform erzeugt wird. Je länger das Schälrad ist, desto öfter lässt es sich nachschärfen und desto geringer werden die anteiligen Werkzeugkosten.

Der entscheidende Nachteil solcher Werkzeuge liegt in dem immer viel zu kleinen Freiwinkel. Je kleiner der Freiwinkel ist, desto höher ist die thermische Belastung der Schneidkante und desto geringer ist die Standlänge des Werkzeugs. Die Verschleißmerkmale bei zylindrischen Schälradern sind stets Freiflächenverschleiß und Kammrisse. Das Problem eines zu kleinen Freiwinkels lässt sich nur durch den Einsatz konischer Werkzeuge umgehen.

Bild 3 zeigt zudem ein konisches Schälrad. Der Freiwinkel ist hier in das Werkzeug integriert. Wenn der Schrägungswinkel und der Achskreuzwinkel unterschiedlich sind, erhält man stark unterschiedliche Spanwinkel für die ein- und auslaufenden Flanken der Schneiden. In solchen Fällen muss ein Treppenschliff auf den Spanflächen erfolgen. Nur so kann ein ähnlicher Spanwinkel für die ein- und auslaufenden Flanken der Schneiden erreicht werden. Dies macht das Nachschärfen aufwendig. Darüber hinaus bekommt man nach jedem Nachschliff des Werkzeugs ein etwas anderes Profil. Um damit exakt die gleiche Zahnfläche herzustellen, sind Anpassungen in der Kinematik erforderlich. Die Praxis hat gezeigt, dass konische Werkzeuge nur einige wenige Male nachgeschliffen werden können.

Hier zeigt sich nun das erste Dilemma: Ein zylindrisches Werkzeug bereitet wenig Aufwand beim Nachschärfen, hat aber immer ein ungünstiges Verschleißverhalten. Ein konisches Werkzeug hat ein deutlich besseres Verschleißverhalten, aber es kann nur einige wenige Male nachgeschliffen werden und darüber hinaus ist das Nachschleifen ein sehr aufwendiger Prozess.

Warum war Wälzschälern bisher erfolglos?

Die Produktivität eines Zerspanprozesses ist im Wesentlichen durch die Spandicke und die Anzahl der Schnitte pro Zeiteinheit gegeben. Das große Potenzial des Wälzschälern zeigt sich bei der Anzahl der Schnitte pro Zeiteinheit. Die erforderliche Schnittgeschwindigkeit lässt sich durch passende Drehzahlen von Werkzeug und Werkstück sowie durch eine geeignete Wahl des Achskreuzwinkels erreichen. Für einen Trockenfräsprozess mit einem Hartmetallwerkzeug sind Schnittgeschwindigkeiten von 150 bis 250 Metern pro Minute sinnvoll. Einfache Überschlagsrechnungen verdeutlichen diesen Unterschied: Bei einer angenommenen Drehzahl von 2.000 min^{-1} , welche zu einer Schnittgeschwindigkeit von 200 Metern pro Minute und einem Werkzeug mit 25 Zähnen führt, erhält man 50.000 Eingriffe pro Minute. Ein Wälzfräser mit acht Stollen und zwei Gängen, der für die gleiche Schnittgeschwindigkeit nur 1.200 min^{-1} benötigt, liefert dagegen nur 19.200 Eingriffe pro Minute. Würden die Werkzeuge für Wälzschälern und Wälzfräsen die gleichen Spandicken bei vergleichbaren Standlängen

zulassen, wäre das Wälzschälern der neue Stern am Himmel der Produktionstechnik.

Natürlich stellt sich nun die Frage, warum bei diesem Potenzial das Wälzschälern ein bis heute ganz und gar erfolgloses Dasein fristet. Es fehlt sicherlich nicht am wissenschaftlichen Interesse. Seit mehr als 20 Jahren gibt es auf diesem Gebiet viele Untersuchungen, die sich alle in einem Punkt einig sind: Wälzschälern ist ein Hochleistungsverfahren, dessen Erfolg sich wegen viel zu geringen Werkzeugstandlängen, Maschinenschwingungen und einer kritischen Späneabfuhr nicht einstellt.

Die vorher genannten Parameter Spandicke und Schneideneintritt pro Zeiteinheit definieren zwar im Wesentlichen die Produktivität, aber für einen erfolgreichen Einsatz in der Praxis ist die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens von entscheidender Bedeutung. Kurze Bearbeitungszeiten alleine reichen nicht aus, wenn die Werkzeugstandlänge unbrauchbar ist.



Bild 3: Klassische Werkzeuge zum Wälzschälern: zylindrisch (oben) und konisch (Quelle: Bechle, A.: Beitrag zur Prozesssicheren Bearbeitung beim Hochleistungsfertigungsverfahren Wälzschälern, Dissertation WBK, Universität Karlsruhe, 2006)

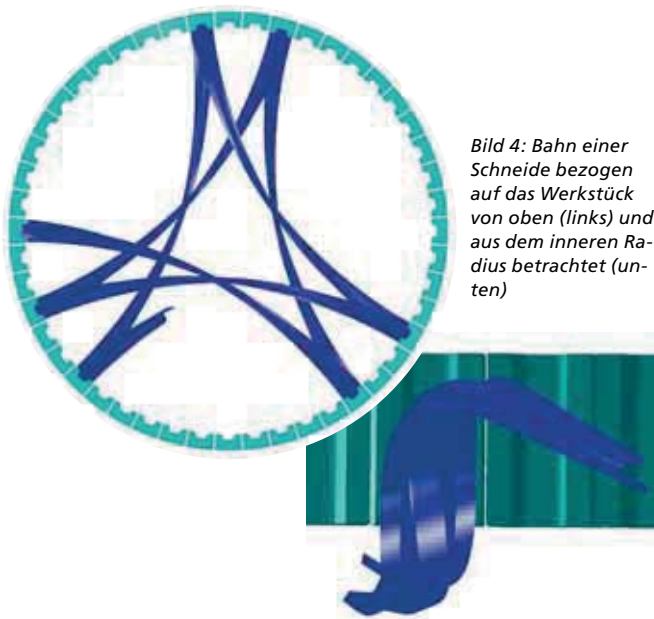


Bild 4: Bahn einer Schneide bezogen auf das Werkstück von oben (links) und aus dem inneren Radius betrachtet (unten)

Um zu verstehen, weshalb die Werkzeuge so schnell versagen, muss man die Spanbildung detailliert analysieren. Obwohl die Kinematik des Wälzschälens sich sehr einfach beschreiben lässt, ist die Durchdringung der Schneidkante mit dem Werkstück eine komplizierte Bewegung, für die man geeignete Simulationswerkzeuge benötigt (Bild 4). In diesem Beispiel hat das Werkstück 48 und das Werkzeug 17 Zähne. Jeweils nach 17 Zähnen bearbeitet die Schneide die nächste Zahnücke des Werkstücks. Da die Zähnezahlen teilerfremd sind, werden tatsächlich alle Lücken des Werkstücks bearbeitet. Wenn man die Lücken im Gegenuhrzeigersinn fortlaufend nummeriert und dabei mit der auf 9 Uhr liegenden Lücke beginnt, dann bearbeitet die dargestellte Schneide die Lücken in der Reihenfolge 1–18–35–4–21–38–7 usw., oder präzise formuliert $i \times 17 \bmod 48 + 1$.

Im rechten Teil des Bildes sieht man die Bewegung der Schneide innerhalb einer Lücke. Die Schneide taucht von rechts oben in die Lücke ein. Die radiale Bewegung geht bis zum Lückenrund und schließlich wieder aus der Lücke heraus. Während des radialen Ein- und Austauchens bewegt sich die Schneide axial entlang der Zahnbreite des Werkstücks. Von Bedeutung ist der gekrümmte Verlauf der Bahn. An ihm kann man erkennen, dass sich der Kopfspanwinkel während des Schneidens in einer Lücke stetig verändert und am Ende sogar einen negativen Wert annehmen kann.

Wenn man mit Simulationswerkzeugen die für die Spanbildung relevanten Größen der Span- und Freiwinkel exakt analysiert, erhält man erschreckende Ergebnisse. Der Spanwinkel ist bestenfalls null Grad (0°) und während des Prozesses kann er negative Werte bis zu minus fünfzig Grad (-50°) annehmen. Es ist leicht einzusehen, dass hier jeder noch so geeignete Schneidstoff über seine Grenzen hinaus belastet wird. Dabei kommt erschwerend hinzu, dass negative Spanwinkel stets zu einer massiven Zunahme der Schnittkräfte führen und eine Werkzeugmaschine hinsichtlich Konturtreue, Dynamik und Steifigkeit erheblich fordern.

An diesem Bündel aus Werkzeugproblemen, ungünstiger Spanbildung und sehr hohen Forderungen an die Werkzeugmaschine liegt es, dass sich das Wälzschälern trotz der genialen Idee noch nicht durchgesetzt hat.

Maschine und Werkzeug – Erfolgsfaktoren für das Wälzschälern

Durch die jüngsten Fortschritte im Bereich der Direktantriebe für Werkzeugmaschinen sind äußerst präzise Kopplungen von Bewegungen, wie sie beim Wälzschälern erforderlich sind, heutzutage machbar. Moderne Maschinenkonzepte, die hinsichtlich Spänefluss, Steifigkeit, Dämpfung und geometrischer Genauigkeit optimiert sind, schaffen eine solide Grundlage. Ein Beispiel ist die Oerlikon Spiralkegelrad-Wälzfräsmaschine C 29. Diese wurde ursprünglich für das Hochleistungstrockenfräsen von Kegelrädern entwickelt. Sie bietet zudem ideale Eigenschaften für das Wälzschälern. Die ausgezeichnete Steifigkeit, die hochdynamischen Direktantriebe und der durch das Vertikalkonzept optimale Spänefluss sowie die passende Achsanordnung sind notwendige Voraussetzungen für den Erfolg des Wälzschälens.

Neben der Werkzeugmaschine ist das Werkzeug der entscheidende Erfolgsfaktor. Wie oben gezeigt wurde, ist die Spanbildung beim Wälzschälern recht kompliziert und für die klassischen Werkzeuge, egal ob sie zylindrisch oder konisch ausgeführt sind, immer mit äußerst ungünstigen Bedingungen verbunden. Brauchbare Freiwinkel führen zu konischen Werkzeugen, die sich nicht wirtschaftlich darstellen lassen.



Bild 5: Wälzschälern auf einer Oerlikon Spiralkegelrad-Wälzfräsmaschine C 29 – die Maschinenachsen sind rot eingezeichnet.



Bild 6:
Stabmesser-Schälrad

Zylindrische Werkzeuge, die wirtschaftlich akzeptabel nachschleifbar sind, bieten nicht die ausreichende Standlänge. Der Idealfall wäre, bei der Werkzeuggestaltung nur die Schneidkante zu berücksichtigen, ohne die für das Schneidrad notwendigen Kompromisse machen zu müssen.

Diese Werkzeugtechnologie ist für eine ganz andere Anwendung bereits vorhanden und weltweit erprobt. Die Oerlikon Stabmessersysteme mit den Messerköpfen ARCON® und SPIRON® bieten genau diese Möglichkeiten für spiralverzahnte Kegelräder. Ein rechteckiger Hartmetallstab wird durch Schleifen mit einem Schneidenprofil versehen, anschließend beschichtet, in den Messerkopf-Grundkörper eingesetzt und dort automatisch und hochpräzise eingerichtet.

Die Lösung ist also, einfach ausgedrückt, dieses Stabmesser-System auf das Wälzschälen zu übertragen. Statt eines zylindrischen oder konischen Vollhartmetall-Schälrades wird nur noch die Schneidengeometrie in einen Hartmetallmesserstab geschliffen. Diese profilierten Messerstäbe werden in einem geeigneten Messerkopf-Grundkörper befestigt und bilden so die Schneiden eines Stabmesser-Schälrades (Bild 6).

Die Vorteile dieses Werkzeugs sind sofort ersichtlich:

- Span- und Freiwinkel sind frei wählbar und können für die Spanbildung optimiert werden.
- Hartmetall kommt nur an den Schneiden zum Einsatz.
- Das Nachschärfen ist ein sicherer Prozess, der seit mehr als zehn Jahren für Kegelrad-Werkzeuge weltweit beherrscht wird.

- Profilmodifikationen sind sofort durch Schleifen der Messerstäbe umsetzbar.

Damit ist ein Werkzeugsystem geschaffen, welches erstmals eine gezielte und weitgehende Optimierung der Schneide für das Wälzschälen gestattet. Zusammen mit den erprobten Oerlikon Kegelradfräsmaschinen ist ein Fertigungssystem vorhanden, mit dem das Wälzschälen 100 Jahre nach seiner Erfindung nun endlich erfolgreich am Markt in Erscheinung treten kann.

Closed-Loop-Fertigung

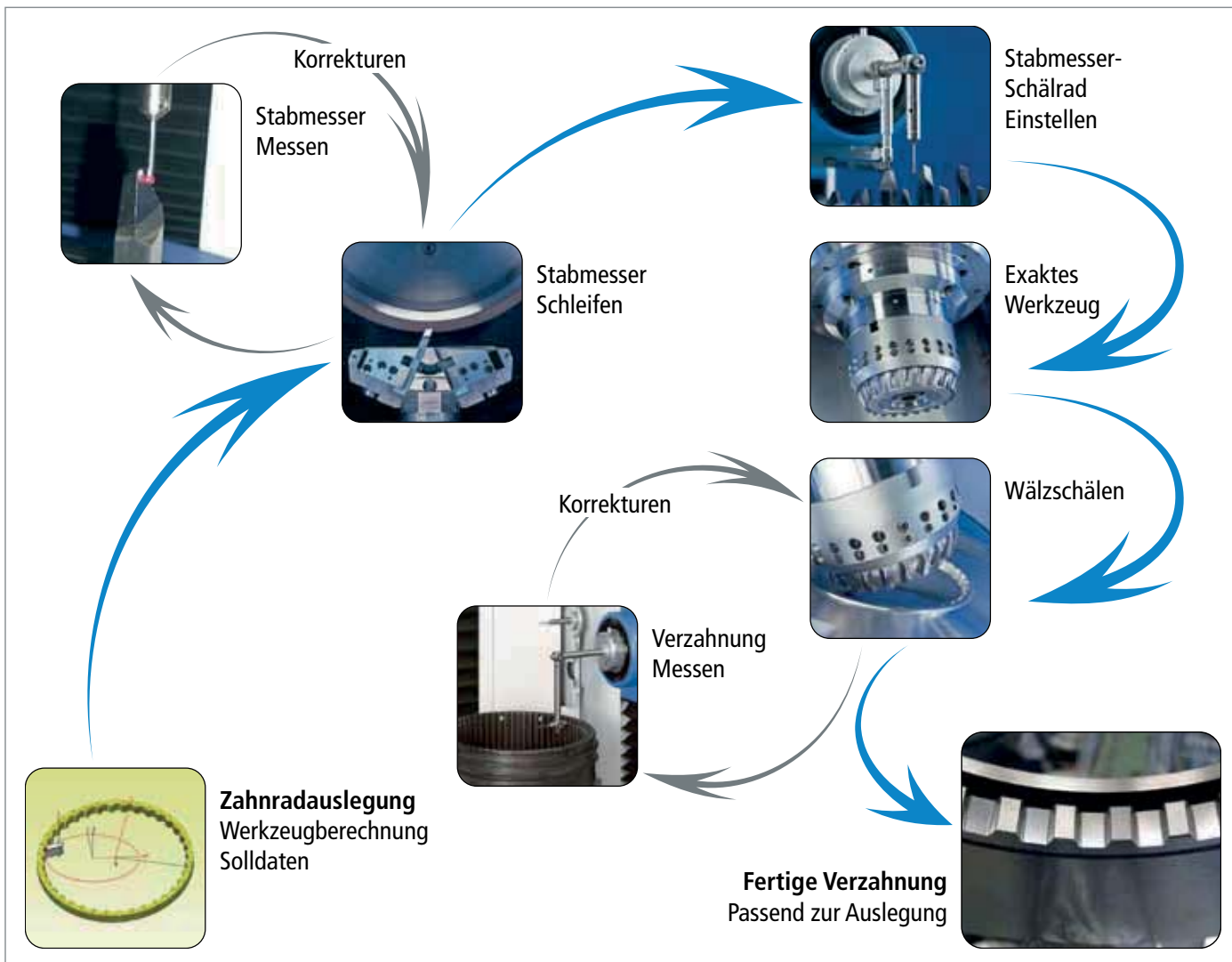
Sichere Prozesse benötigen weitaus mehr als verlässliche Maschinen und taugliche Werkzeuge. Erst die Einbindung aller Schritte entlang der Prozesskette in einen durchgängigen datentechnischen Verbund garantiert stabile und sichere Prozesse. Für Klingelberg ist diese Herangehensweise bekannt. Der Closed-Loop ist für Kegelräder seit vielen Jahren weltweit erprobter Standard. Damit der Anwender beim Wälzschälen von der gleichen Prozesssicherheit wie beim Kegelradverzahnen profitiert, entwickelte Klingelberg den Closed-Loop für die Stirnradbearbeitung durch Wälzschälen.

In der unten stehenden Grafik ist die Struktur der Closed-Loop-Fertigung zu erkennen. Alles beginnt mit der Auslegung der Verzahnung. Hier wird die Makrogeometrie des Bauteils definiert und die Flankenform nach unterschiedlichen Optimierungskriterien modifiziert. Anders als bei Kegelrädern wird hier nur ein einzelnes Zahnrad betrachtet. Es ist bei evolventischen Stirnrädern üblich, statt des Ease-Off die Topografie-Abweichung zwischen der optimierten und der unmodifizierten Zahnflanke zu betrachten. Sobald die vollständige Verzahnungsgeometrie vorliegt, werden die theoretischen Soll-daten der Zahnform erzeugt und es beginnt die Berechnung des Werkzeugs und der Kinematik.

Kinematik und Werkzeug beeinflussen sich in diesem iterativen Prozess gegenseitig. Auf Grundlage der Herstellsimulation des Wälzschälprozesses werden dem Anwender die wichtigsten Parameter für die Spanbildung gezeigt. Der Benutzer hat nun die Möglichkeit, den Kopfspanwinkel, die Flankenspanwinkel sowie die Freiwinkel an Kopf und Flanken zu optimieren. Als Nebenprodukt erhält er die dazu passende Kinematik für die Bearbeitungsmaschine und die Form der Schneidkante. Dieses Softwarepaket unterstützt nicht nur Stabmesser-Schälräder, sondern genauso klassische zylindrische oder konische Schälräder mit und ohne Spanflächenversatz. Nach diesen Schritten ist die Verzahnungsauslegung abgeschlossen, und es liegen die Daten für das zu fertigende Bauteil, für das Werkzeug sowie für die Werkzeugmaschine vor.

Der nächste Schritt in der Prozesskette ist die Werkzeugfertigung. Für Stabmesser-Schälräder greift hier der Werkzeug-Closed-Loop, wie er seit vielen Jahren für Kegelrad-Werkzeuge bekannt ist. Die Beschreibung des Werkzeugs beinhaltet

Closed-Loop beim Wälzschälern



nicht nur die Zähnezahl und die Schneidkantenform, sondern alle geometrischen Parameter des Werkzeugs. Dazu gehören alle Span- und Freiwinkelinformationen sowie alle Angaben zur Position des Stabmessers im Schälrad. Nachdem ein Stabmesser geschliffen wurde, kann es geometrisch vermessen werden. Auch noch so kleine Abweichungen des Stabmesserprofils von der Sollform werden erfasst und in einem Korrekturalgorithmus verarbeitet. Das Ergebnis sind Modifikationen an den Einstellwerten der Schleifmaschine, sodass die gemessenen Abweichungen minimiert werden. Spätestens jetzt liegen Stabmesser vor, die exakt das vorgegebene Profil besitzen. Diese werden durch das Messerkopfeinstellgerät Oerlikon CS 200 im Messerkopf mikrometerngenau positioniert und verschraubt. Ab hier ist für den weiteren Prozess sichergestellt, dass ein Werkzeug verwendet wird, welches genau der Spezifikation entspricht.

Die echten Besonderheiten beim Wälzschälern einer Verzahnung auf einer Oerlikon Fräsmaschine der C-Baureihe sind die sehr kurzen Prozesszeiten und die gefertigten Qualitäten. Nachdem ein Teil gefräst wurde, wird es vermessen, um die Abweichungen von der theoretischen Sollform festzustellen. Beim Messen dieser Teile geht Klingelberg einen neuen

Weg. Statt des üblichen Messens von Profil und Flankenlinie als Abweichung zu einer gerad- oder schrägverzahnten evolventischen Zahnform wird hier mit einem topografischen Gitter gemessen. Wenn die Abweichung an allen Gitterpunkten nahezu null ist, stimmt das gefertigte Bauteil mit der Vorgabe durch die Verzahnungsauslegung überein. Abweichungen werden wiederum einem Korrekturalgorithmus zugeführt, der Korrekturwerte für die Kinematik berechnet. Diese werden wie bei der Messerschleifmaschine per Netzwerk der Maschinensteuerung zugeführt, die dann automatisch das nächste Teil so fräst, dass die Abweichungen minimal werden.

Zu Beginn von vielen Anwendern als Komfortlösung eingestuft, sind sich weltweit alle Anwender darin einig, dass der Hauptvorteil der Closed-Loop-Fertigung in den sicheren Prozessen steckt. Neben prozessfähigen Maschinen und Werkzeugen braucht es Regelkreise, die den Prozess permanent auf dem Kurs halten, der durch die Auslegung vorgegeben ist. Nur wenn man genau das produziert, was konstruiert wurde, können Verzahnungsoptimierungen zielsicher greifen und das Mysterium des nicht kommunizierbaren Know-how weicht transparenten Prozessen.

Warum also Wälzschälen?

Zahnräder, die bisher ausschließlich durch Stoßen zu fertigen waren, können jetzt hochpräzise und sehr produktiv durch Wälzschälen hergestellt werden.

Obwohl die Kinematik des Wälzschälprozesses auf den ersten Blick einfach scheint, ist die Spanbildung sehr komplex. Kontinuierlich während des Eingriffs veränderliche Span- und Freiwinkel führen bei klassischen Schälrädern – ganz gleich, ob sie konisch oder zylindrisch sind – zu ungünstigen Zerspanbedingungen. Ebendies ist der Grund für die bisherige Erfolglosigkeit des Wälzschälens in den vergangenen 100 Jahren.

Entscheidender Erfolgsfaktor für das Wälzschälen ist das Stabmesser-Werkzeugsystem mit seinen frei gestaltbaren Frei- und Spanwinkeln. Derartige Werkzeuge sind weltweit seit mehr als einem Jahrzehnt für das Trockenfräsen von Spiralkegelrädern erfolgreich im Einsatz.

Durch die sehr kurzen Bearbeitungszeiten und die hohe Bauteilqualität ist es gelungen, die Herstellkosten drastisch zu reduzieren – „nebenbei“ sinkt der Energieverbrauch pro Bauteil und das Stabmesser-Werkzeugsystem sorgt für äußerst kurze Durchlaufzeiten. Alle Voraussetzungen, sowohl für Großserien- als auch für Einzelstückfertigung, sind somit erfüllt.

Die Prozesssicherheit des Verfahrens beruht auf dem Closed-Loop für die Fertigung. Die Werkzeugaufbereitung und der Wälzschälprozess sind datentechnisch mit der Zahnradauslegung in einem durchgängigen Datenverbund. Durch die unterlegten Qualitätsregelkreise ist sichergestellt, dass genau das produziert wird, was auch konstruiert wurde.

Seit der Anmeldung des von Pittler'schen Patentes hat sich das eigentliche Prinzip nicht verändert. Doch der technische Fortschritt in Bezug auf Maschinen, Werkzeuge und Produktionsprozesse im Allgemeinen sorgte dafür, dass das, was lange währte, nun endlich gut geworden ist.



Dr.-Ing. Hartmuth Müller



Dipl.-Ing. Frank Seibicke
Leitung Berechnungssoftware