

SCHLEIFEN VON SONDERVERZÄHNUNGEN: WIE HERAUSFORDERUNGEN DIE GRENZEN DES MACHBAREN VERSCHIEBEN

Die stetig steigenden Anforderungen an Getriebe und andere Antriebselemente stellen nicht nur deren Konstrukteure vor große Herausforderungen, sondern bringen auch für die Fertigungsabteilungen immer neue Aufgaben mit sich. Insbesondere im Bereich der Sonderverzahnungen kann dabei das Profilschleifen seine bekannte Variabilität ausspielen – vorausgesetzt, Bediener und Maschine sind in der Lage, die komplexen Fertigungsabläufe komfortabel und sicher zu definieren bzw. zu kontrollieren. Hierbei erweist es sich als entscheidend, Dateneingabe, Bedienerführung und Bearbeitungsabläufe den jeweiligen Gegebenheiten optimal anzupassen. Selbst die klassische Rollenverteilung zwischen Hersteller und Anwender der Werkzeugmaschine wird dabei zuweilen neu definiert – mit großem Erfolg für beide Seiten.

Präzision ist unser Auftrag, Qualität ist unser Anspruch, Begeisterung ist unser Antrieb.“ So überschreibt die Firma Zörkler aus dem österreichischen Jois – ein typischer Highend-Verzähler – seinen Internetauftritt. Und das nicht ohne Grund: Das Produktspektrum des innovativen Unternehmens umfasst eine Vielzahl komplexer Sonderanwendungen aus den Bereichen Luftfahrt, Schiene, Automotive sowie Industrie – und dieses Spektrum erfordert eine gleichermaßen flexible wie hochgenaue Fertigungslinie.

Dafür hat sich Zörkler eine neue Multifunktionsmaschine für kleine und mittlere Werkstücke ins Haus geholt. Das Besondere daran: Durch die spezifisch für jede Bearbeitungsaufgabe angepasste Steuerungssoftware eignet sie sich nicht „nur“ für Standard-, sondern auch für eine Vielzahl an Sonderaufgaben und ist damit extrem wirtschaftlich. Moritz Wurm, Leitung VZ-Schleifen bei Zörkler: „Wir setzen auf die jahrzehntelange Erfahrung und Entwicklung der Marke Höfler – deren Optionsliste deckt so ziemlich alles ab, was sich im Profilschleif-Verfahren herstellen lässt: angefangen bei den zahlreichen Varianten von evolventischen und nicht-evolventischen Laufverzahnungen über Schnecken, Kupplungs- und Steckverzahnungen bis hin zu Plan- und Rundflächen.“

Der Support durch die Bediensoftware macht den Unterschied

In den meisten Fertigungsbetrieben erfolgt das Schleifen der weit verbreiteten Hirth-Verzahnungen auf einer zwar konstruktiv dafür geeigneten CNC-Maschine, jedoch in der Regel ohne spezifische Softwareunterstützung. Der Zeitaufwand für die manuelle DIN-Programmierung sowie das nötige „Fingerspitzen-Gefühl“ beim Einrichten sind dabei immer ein Hindernis auf dem Weg zu kürzeren Durchlaufzeiten und zu einer höheren Qualität. Hinzu kommt,

dass der Anwender, wenn er die Bearbeitungsprogramme komplett in Eigenregie erstellt, von Weiterentwicklungen des Herstellers von Werkzeug-Maschinen nicht profitieren kann. Außerdem stellt die Abhängigkeit vom Spezialwissen meist eines einzelnen Mitarbeiters ein erhebliches personelles Risiko dar.

Was dem gegenüber eine moderne Werkzeug-Maschine für die komfortable und präzise Bearbeitung komplexer Sonderverzahnungen bieten kann, zeigt sich in der harmonischen Kombination eines einheitlichen, intuitiven Bedienkonzepts mit den anwendungsspezifischen Anpassungen in Dateneingabe, Bedienerführung und Bearbeitungsabläufen. Diese Eigenschaft stand auch bei der Kaufentscheidung der Firma Zörkler im Fokus: „Für uns war ein einfaches User Interface speziell für das Modul zum Schleifen von Hirth-Verzahnungen ein wichtiger Beweggrund für unsere Entscheidung zugunsten der neuen RAPID 800 K“, erklärt Moritz Wurm.

Genau dieses anwenderfreundliche User Interface und das intuitive Bedienkonzept stehen schon seit Jahren im Mittelpunkt aller (Weiter-)Entwicklungen der GearPro-Software von Klingelnberg. Die kommt auch bei der neuen Stirnrad-Schleifmaschine RAPID 800 K zum Einsatz, die entsprechend das von Standardverzahnungen

Kompakt

Der Weg zu kürzeren Durchlaufzeiten

Im Vergleich zur Fertigung auf Standard-CNC-Maschinen lassen sich auf einer RAPID Hirth-Verzahnungen jetzt auch in kürzeren Durchlaufzeiten herstellen.

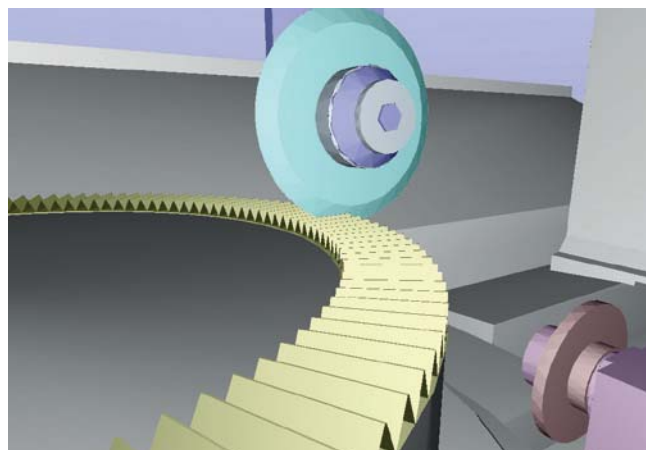


Abb. 1: Modellierung Hirth-Verzahnung mit Klingelnberg Software

SCHNELLESEINFO

- Das Anwendungsspektrum des Profilschleifens umfasst eine Vielzahl unterschiedlichster Stirn- und Planverzahnungen
- Das Schleifen und Messen von Sonderverzahnungen mit GearPro kombiniert ein Höchstmaß an Variabilität mit bewährtem Bedienkomfort
- Kundenspezifische Anpassungen auf spezielle Geometrien können teilweise oder ganz durch Klingelnberg übernommen werden oder wahlweise vom Kunden selbst programmiert werden
- Die Anbindung von GearPro an die Klingelnberg Messsoftware ist von grundlegender Bedeutung für einen geschlossenen Qualitätskreislauf und wird weiter ausgebaut

gewohnte User Interface mit einer über die Jahre gewachsenen Funktionsfülle kombiniert: von visualisierten, dreidimensionalen Verzahnungs- und Maschinenmodellen, der Berechnung und Erzeugung von passenden Werkzeug-Profilen bis hin zur Ermittlung der exakten Lage der zu schleifenden Flächen sowie ausgefeilten Schleif- und Abrichtstrategien. So sind beispielsweise gerade bei Hirth-Verzahnungen aufgrund der teilweise sehr hohen Zähnezahlen optimierte Teilverfahren wie das aus dem Verzahnungsbereich etablierte Sektorteil für eine hohe Teilungsqualität unerlässlich.

Sonderverzahnungen dank Freiprofil-Option

Ein weites Anwendungsfeld eröffnet die Option „Freiprofil“, die es ermöglicht, das Stirnschnitt-Profil zylindrischer Verzahnungen durch beliebig viele Geraden- und Kreisbogen-Stücke frei zu definieren. Dabei kann die meist datenintensive Repräsentierung des Profils entweder extern erzeugt und dann importiert oder bei

gegebener parametrierter Beschreibung aus wenigen Eingabewerten berechnet werden.

Cycloid speed reducer

Als eine der aktuell wichtigsten Anwendungen solcher Sonderverzahnungen stellen sich die in der Robotik häufig eingesetzten cycloid speed reducer dar. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Form eines Zykloidgetriebes, bei dem eine oder mehrere Kurvenscheiben mit zyklodischer Außenkontur auf zylindrischen Pins abrollen, die in entsprechend konkav geformten Slots eines umfassenden Ringgehäuses gelagert sind.

Die zu schleifenden Profile bestehen auf der Gehäuseseite aus einfachen Kreisbogen-Segmenten und lassen sich daher durch wenige Angaben zu deren Lage und Radius in der Definitionstabelle beschreiben. Die zykloidischen Profile der Kurvenscheiben folgen demgegenüber zwar einem komplexeren mathematischen Zusammenhang, sie lassen sich aber ebenfalls durch wenige

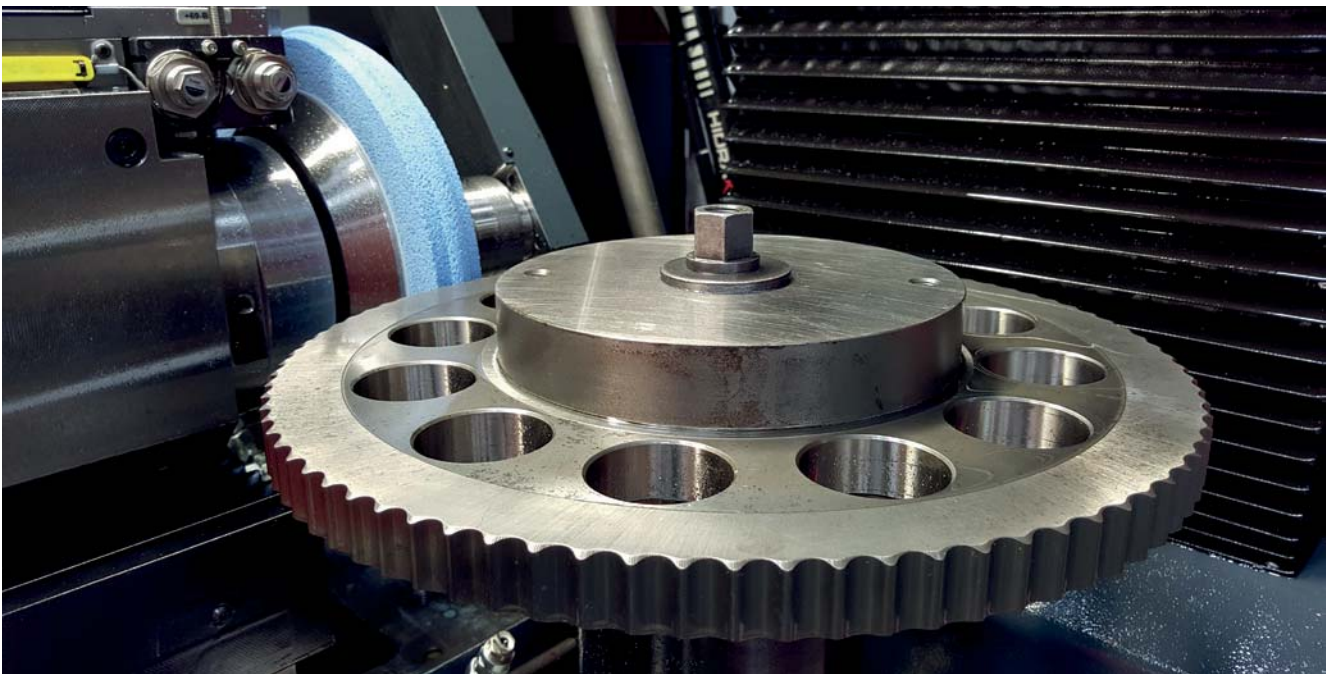


Abb. 2: Kurvenscheibe eines cycloid speed reducer

Parameter beschreiben. Dieser Umstand macht es möglich, mit Hilfe entsprechend programmierter Assistenzfunktionen die inhärente Komplexität bzw. das zugehörige Know-how in der Konstruktion nur in soweit darzustellen, wie es für die Bearbeitung des Werkstücks notwendig ist. Für die Programmierung der Bearbeitungszyklen steht damit eine Vielzahl von Varianten und Optionen für das Einmitten, Schleifen, Messen und Korrigieren zur Verfügung. Hierzu zählt auch eine Daten-Schnittstelle zu den Klingelberg Messmaschinen der P-Reihe, die dem Nutzer ein aufwendiges und fehleranfälliges Erzeugen passender Messdaten erspart.

Wildhaber-Novikov-Verzahnungen

Noch einen Schritt weiter ging man bei Klingelberg auf eine spezielle Kundenanfrage für das Schleifen von Wildhaber-Novikov-Verzahnungen hin, wo nicht das Stirnschnitt-Profil selbst, sondern das Kreisbogen-Profil des erzeugenden Bezugsprofils parametrisiert gegeben ist. Auch für diesen

Fall wurde eine kundenspezifische Lösung entwickelt, die mittels einer Abtragssimulation die spezielle Geometrie des Stirnschnitts nachbildet und mit diesem als Sonderfall der Freiprofil-Option die bewährten Features der Standard-Schleifprozesse erschließt.

So sind nun auch hier Flankenlinien-Modifikationen möglich. Die notwendigen Profile werden auf Schleif- und Abrichtbarkeit geprüft und bei Bedarf werden in mehreren Zahnücken die realen Aufmaße ermittelt, die bei Sonderverzahnungen im Vorfeld oft nur ungenau bekannt sind.

Flexibelste Variante: Freie Programmierung

Die Königsdisziplin im Hinblick auf die Integration anwendungsspezifischer Bearbeitungsabläufe in den Bedienkomfort der GearPro-Oberfläche decken jedoch die konkurrenzlosen, frei programmierbaren Prozesse ab: hiermit können in GearPro beliebige Bearbeitungsabläufe vom Kunden selbst programmiert, verwaltet und mit vom Maschinenhersteller bereitgestellten

Kompakt

GearPro – eine für alles

Flexible Funktionen wie das „Freiprofil“ oder komplett frei programmierbare Prozesse garantieren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten und decken eine große Bandbreite an Sonderverzahnungen wie beispielsweise cycloid speed reducer und Wildhaber-Novikov-Verzahnungen ab.

SONDERVERZAHNUNGEN – WEITERE BEISPIELE

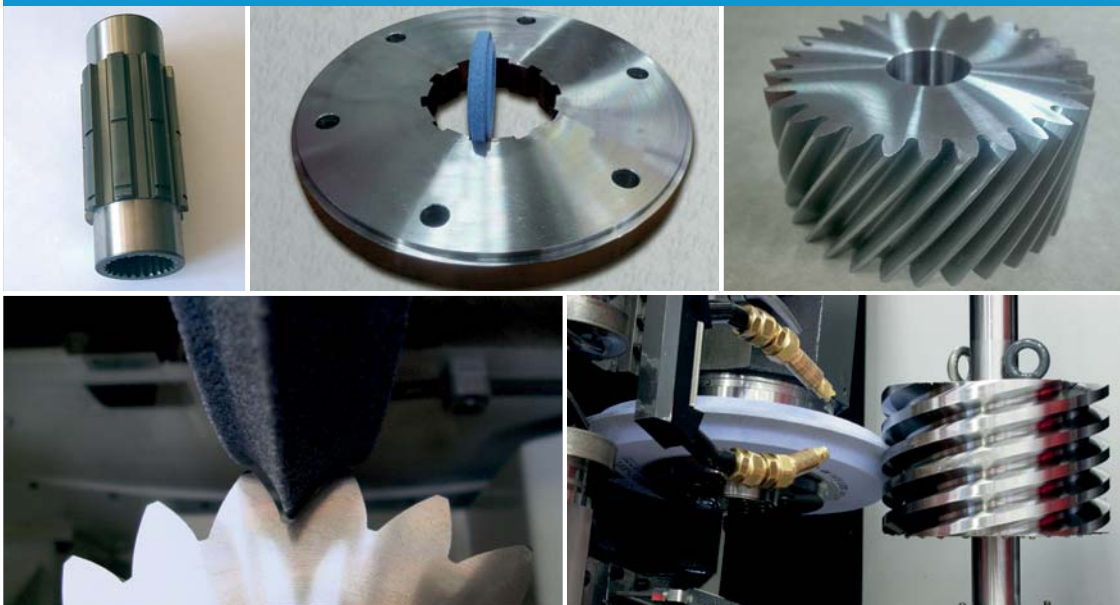


Abb. 3: Keilwelle, Keilnabe, Freiprofile, asymmetrische Evolventen und Schnecke (von links oben nach rechts unten)

HÖCHSTE QUALITÄT UND PRODUKTIVITÄT



„In der Anwendungstechnik erleben wir praktisch täglich, wie vielfältig und komplex die Anforderungen im Bereich der Zahnrad-Bearbeitung geworden sind. In vielen Fällen sind Geometrie und Bearbeitungsstrategien so ausgefeilt, dass ohne eine intuitive und leistungsfähige Softwareunterstützung nicht mehr effektiv produziert werden kann. Daher haben wir in den letzten Jahren und Jahrzehnten unsere ganze Erfahrung in unterschiedlichste anwendungsspezifische

Eingabeassistenten und optimierte Bearbeitungsabläufe fließen lassen. Das zahlt sich nun für unsere Kunden aus: Sie können auf ihrer HÖFLER Stirnrad-Maschine in einer unschlagbaren Bandbreite Fertigungskapazität anbieten – und das bei reproduzierbar höchster Qualität und Produktivität.“

Dr.-Ing. Christoph Kühlewein, Anwendungstechnik, KLINGELNBERG GmbH

Funktionen kombiniert werden. Selbst wiederverwendbare Subfunktionen oder durchmesserabhängige Werkzeug-Bahnen lassen sich mit diesem flexiblen Konzept abbilden.

Auf diese Weise bleibt das konstruktive Know-how komplett auf Kundenseite, während Verwaltung, Bedienerführung und die Bereitstellung von Maschinen-Grundfunktionen sowie die Steuerung von Teilabläufen wie dem Abrichten bei Bedarf weiterhin von der Steuerungssoftware übernommen werden.

„Unsere Kunden können sicher sein, dass wir auf Basis des bewährten und intuitiven Bedienkonzepts von GearPro auch für zukünftige Aufgabenstellungen hochwertige Lösungen erarbeiten.“

Dr.-Ing. Markus Brumm, Produktlinien-Leiter Stirnrad-Technologie

Neueste Anwendungsmöglichkeiten

Jüngste Anwendungen dieser flexibelsten aller GearPro-Betriebsvarianten sind das Schleifen von Kupplungsverzahnungen mit den typischen extrem ausgeprägten Flankenballigkeiten sowie das Schleifen von frei definierten Profilen an Rundflächen.

Herausforderung: nicht-symmetrische Profile

Besondere Herausforderungen ergeben sich zusätzlich immer dann, wenn die zu erzeugenden Profile nicht symmetrisch sind. Diese Eigenschaft wird auch bei evolventischen Verzahnungen immer häufiger dort eingesetzt, wo große Leistungen über ein Getriebe laufen, das vorzugsweise oder ausschließlich nur in einer Richtung betrieben wird. Die bei diesen Verzahnungen oft stark unterschiedlichen Eingriffswinkel der linken und rechten Flanke bieten den Vorteil, dass auf der flacheren Lastflanke eine höhere Tragfähigkeit erreicht und durch die größeren möglichen Fußrundungsradien die Zahnfuß-Festigkeit deutlich verbessert wird.

Als Konsequenz der beiden unterschiedlich steilen Flanken ergeben sich jedoch teilweise stark differierende Abtragsverhältnisse, die das Standard-Bearbeitungsverfahren unwirtschaftlich oder gar unmöglich machen. Dies schlägt sich nicht zuletzt in den Grenzwerten der leistungsbezogenen Span-Kenngrößen wie etwa dem bezogenen Zeitspanvolumen $Q'w$ nieder. Werden die ungleichen Verhältnisse nicht beachtet, kommt es zwangsweise entweder zu großem Zeitverlust oder zur übermäßigen thermischen Belastung einer Flanke. Der Vergleich der geometrischen Verhältnisse beim Schleifen einer ebenen und einer geneigten Fläche macht den Unterschied deutlich (siehe Abbildung 5): Bei gleicher radialer Zustellung ergibt sich zwar der gleiche Querschnitt A_Q und damit das gleiche

zerspante Volumen V_w pro Zeiteinheit Δt , jedoch unterscheiden sich die überstrichenen Flächen A_k erheblich.

Die intelligente Abtragssteuerung von GearPro sorgt jedoch auch hier automatisch für eine optimierte Schleifstrategie: sowohl bei der Einflanken- als auch bei der wirtschaftlicheren Zweiflankenbearbeitung werden die effektiven Spandicken optimiert und gleichzeitig die vorgegebenen Flankenmodifikationen exakt erzeugt.

Schleifen von Schnecken

Beim Schleifen von Schnecken hingegen ergeben sich grundlegend abweichende geometrische Verhältnisse allein schon durch die extremen Schrägungswinkel: Das Stirnschnitt-Profil eines Ganges schließt nicht selten mehr als 180° ein und die Achsen von Werkzeug und Werkstück stehen nahezu parallel zueinander. Als Konsequenz daraus führt GearPro das Anschleifen der beiden Flanken entgegen der üblichen Praxis in axialer Richtung durch und generiert auf diese Weise wesentlich deutlichere Signalfanken im „mithörenden“ Körperschall-Sensor. Weitere spezielle Anforderungen ergeben sich bei den fünf unterstützten Flankenformen ZA, ZN, ZI, ZK und ZC aus dem jeweiligen Schleifscheiben-Profil, das teilweise nur mit Sonderrollen abgerichtet werden kann. Ebenso unterscheidet sich



Abb. 4: Mit einer RAPID 800 lassen sich alle beschriebenen Funktionen nutzen.

aufgrund der axial definierten Messgrößen sowohl das Prüfen als auch das Korrigieren von schneckenförmigen Verzahnungen.

Kurz & bündig

Das Schleifen und Messen von Sonderverzahnungen mit GearPro kombiniert ein Höchstmaß an Variabilität mit bewährtem Bedienkomfort – auch für künftige Aufgaben können Anwender individuelle wie hochwertige Lösungen erwarten. ◆

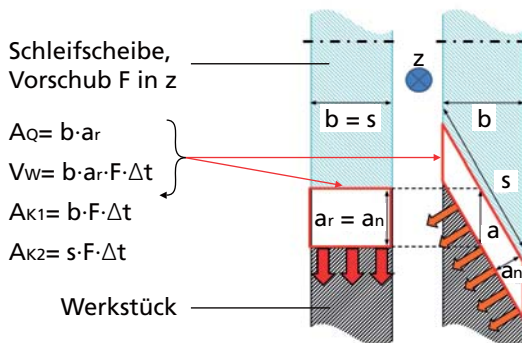


Abb. 5: Wärmeeintrag in Abhängigkeit der Profilneigung



Dipl.-Math. techn.
Martin Schweizer

Leiter Software Werkzeugmaschinen,
KLINGELNBERG GmbH