

DAS ENTGRATEN – DIE UNTERSCHÄTZTE AUFGABE AM BAUTEIL

Das Entgraten bzw. Anfasen von Verzahnungen rückt in der Praxis mehr und mehr in den Fokus. Und mit Blick auf einen möglichst effizienten Produktionsablauf wird es immer wichtiger, nach der Spiralverzahnung auch die Entgrataufgaben direkt in der Verzahnmaschine abbilden zu können. Wie komplex diese vermeintlich einfache Aufgabe am Ende werden kann und wie ein neues Entgraterprinzip für mehr Effizienz sorgt – hier wird es verraten.

Warum werden Kegelräder eigentlich entgratet bzw. angefast? Die Gründe dafür sind sehr unterschiedlich.

In jedem Fall ist beim Kegelrad der Kantenbereich zwischen der konkaven Flanke (Lücke) und der Bauteil-Außenkontur zu entgraten. Dort tritt im Normalfall das Kegelrad-Verzahnwerkzeug aus dem Material aus und hinterlässt einen mehr oder weniger ausgeprägten Grat. Dieser Bereich ist extrem scharfkantig und muss zur Vermeidung von Verletzungsgefahr gebrochen werden. Mit zunehmendem Verschleiß des Kegelrad-Verzahnwerkzeugs kann zusätzlich im Schnittbereich zwischen der konvexen Flanke (Lücke) und der Bauteil-Außenkontur ein Grat entstehen. Dieser Bereich sollte daher ebenfalls berücksichtigt und gegebenenfalls entgratet werden.

Wie komplex die Aufgabe des Entgratens ist, hängt entscheidend von der Außenkontur des Bauteils ab sowie von dem Bereich, für den der Anwender eine Entgratung vorschreibt. Die Außenkontur kann im Bereich der zu entgratenden Kante geradlinig sein – oder aber auch aus mehreren Konturelementen bestehen. Eine geradlinige Fase lässt sich mithilfe eines Entgratwerkzeugs meist einfach in nur einem Schnitt bearbeiten. Komplexe Entgratkanten erlauben das meist nicht. Hier sind vielmehr mehrere Positionen und Schnitte des Entgratwerkzeugs in Betracht zu ziehen.

Direkt auf der Verzahnmaschine entgraten

Das Entgraten außerhalb der Verzahnmaschine (in einer zweiten Aufspannung) setzt immer ein erneutes Bauteilhandling voraus, bei dem für die Entgrataufgabe wieder der Bezug der Position der Entgratkante hergestellt werden muss. Eine Entgratung per Hand birgt hingegen die Gefahr einer Bauteilbeschädigung, stellt zudem einen hohen Zeitfaktor dar und wird darum meist vermieden.

Wesentlich effizienter ist es daher, wenn das Entgraten schon auf der Verzahnmaschine stattfindet. Dann ist die Aufspannung des Bauteils bereits sehr stabil, die Position der Lücken nach dem Fräsen ist bekannt und verändert sich auch bei mehrmaligem Rüsten nicht. Bei einer Wiederholfertigung muss entsprechend die Lückenposition nicht neu zugeordnet werden, was den Aufwand des Rüstens deutlich senkt. Sind bei einer komplexen Bauteilkontur mehrere unterschiedliche Entgratpositionen definiert, können diese stabil in ihrer Zuordnung in der bekannten Aufspannung nacheinander abgefahren werden. So lassen sich Durchlaufzeiten und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit optimieren. Hochproduktive Fräsprozesse sind auf den Oerlikon Kegelrad-Fräsmaschinen der C-Serie machbar – und das bei extrem hoher und reproduzierbarer Verzahnungsqualität. Sie ermöglichen zusätzlich die Umsetzung komplexer Entgrataufgaben. Die erzeugte Fase ist dabei präzise darstellbar und die Entgratwerkzeuge haben eine hohe Lebensdauer.

Kompakt

Hochproduktive Entgratprozesse auf Maschinen der C-Serie

Effizientes und ökonomisches Entgraten findet direkt auf der Verzahnmaschine statt. Kegelrad-Fräsmaschinen der C-Serie von Klingelnberg ermöglichen sowohl die Umsetzung leistungsfähiger Kegelrad-Zerspanaufgaben als auch komplexer Entgrataufgaben in nur einer Aufspannung.



Abb. 1: Entgratwerkzeuge

Kompakt

Simulation mit drei Elementen

Die hochkomplexen Anforderungen bei Entgratungsprozessen lassen sich über Simulationen in den Griff bekommen. Die im Hause Klingelnberg entwickelte Simulation deckt drei Elemente ab:

1. Definition der Entgratwerkzeuggeometrie
2. Festlegung des Austrittswinkels der Entgratwerkzeug-Schneide aus dem Material
3. Kollisions- und Verfahrensprüfung

Simulation hochkomplexer Anforderungen

Eine Entgratung direkt auf der Verzahnmaschine wird im Bereich der Kegelradproduktion bereits immer häufiger gefordert – und auch durchgeführt. Die Umsetzung kann dabei unterschiedlich komplex sein und verlangt daher angepasste und variierende technologische Lösungsansätze. Diese Ansätze müssen dabei immer mit einer Bedingung in Einklang gebracht werden: Kollision zu vermeiden. Kollisionsgefahr besteht zum einen zwischen Entgratwerkzeug und der Lücke, wo die gegenüberliegende Flanke geschädigt werden kann. Zum anderen ist die Kollisionssituation zwischen Entgratwerkzeug und Spannmittel zu betrachten. Bei Entgrataufgaben an Tellerrädern

ist diese Kollisionssituation meist weniger kritisch. Bei den Entgrataufgaben an Ritzeln ist die Kollisionsbetrachtung jedoch oft von besonderer Bedeutung.

Eine Simulation dieser komplexen Aufgabenstellung ermöglicht es, zusätzlich die Durchdringung von Bauteil/Spannmittel mit dem Antrieb des Entgratwerkzeugs zu betrachten. Eine solche Simulation beinhaltet drei unterschiedliche Elemente. Diese drei Elemente sind bereits im Vorfeld in Einklang mit den Möglichkeiten der spezifischen Verzahnmaschine zu bringen:

- 1) Die Simulation startet mit der Definition der Entgratwerkzeug-Geometrie. Die Entgratwerkzeuge bestehen aus Hartmetall-Stabmessern, die in einem Träger ein-

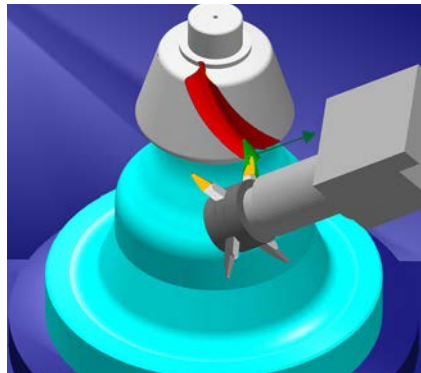


Abb. 2: 3D-Ansicht aller an der Entgratung beteiligten Komponenten

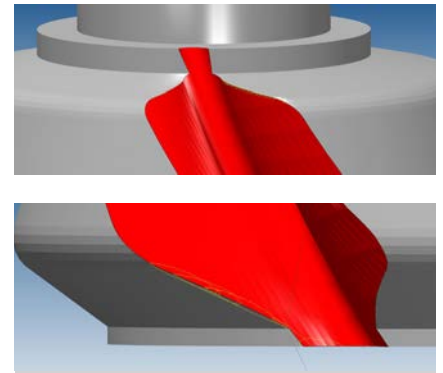


Abb. 3: Zu entgratende Kanten, die sich aus dem Schnittbereich der Bauteilhülle und der Bauteillücke ergeben

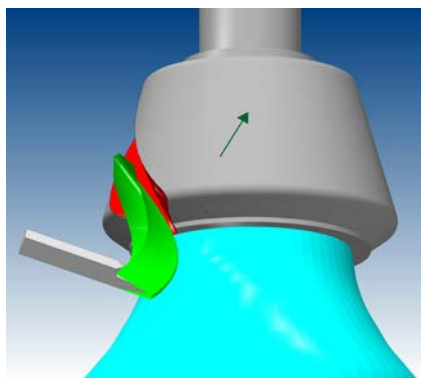


Abb. 4: Bauteil in Vorrichtung eingespannt, in grün die Flugbahn des Entgratwerkzeugs

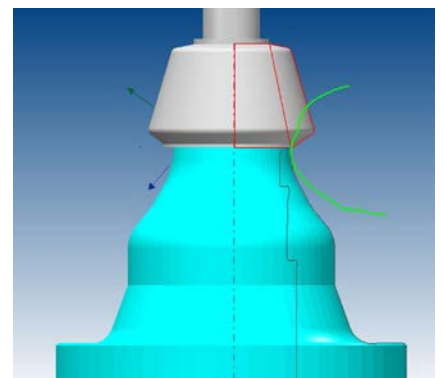


Abb. 5: Hüllkontur eines Spannmittels und Bauteils (rot); Kollisionsbereich aller Entgratpositionen (grün)

gespannt werden. Das Profil an den Stabmessern kann sehr flexibel ausgeführt werden. Die technologischen Winkel lassen sich dabei speziell an die Bedürfnisse anpassen. Um den Rüstaufwand an der Maschine möglichst klein zu halten und die Werkzeugkosten zu reduzieren, werden möglichst viele Entgrataufgaben mit dem gleichen Entgratwerkzeug durchgeführt.

2) Das zweite Element beinhaltet die Festlegung des geeigneten Austrittswinkels der Entgratwerkzeug-Schneide aus dem zu entgratenden Material. Dieser Austrittswinkel ist so zu wählen, dass durch die Entgrataufgabe, die ja ebenfalls eine spanabnehmende Operation ist, nicht erneut ein Grat (Sekundärgrat) entsteht. Bei dieser Aufgabe spielt sowohl die Entgratwerkzeug-Geometrie als auch die Bewegung, die das Werkzeug im Raum vollzieht, eine Rolle. Um die Entgrataufgabe umfänglich zu untersuchen, muss geprüft werden, mit welcher Anzahl an verschiedenen Schnitten der komplette zu entgratende Bereich erfasst werden kann. Für jede dieser Werkzeugpositionen ist der Austrittswinkel der Schneide zu prüfen.

Eine möglichst präzise Beschreibung der Bauteilkontur erleichtert die zielsichere Optimierung der Positionen des Entgratwerkzeugs. Immer häufiger liegen Drehteilbeschreibungen in digitaler Form vor. Diese oftmals als „Drawing Interchange Datei“ (DXF) vorliegende Bauteilkontur kann als Konturelement in die Simulation importiert werden.

3) Drittes Element ist die Kollisions- und Verfahrwegsprüfung für die jeweilige Verzahnmaschine. Die Kollision ist sowohl in Bezug auf die Gegenflanke in der Lücke als auch zu dem Spannmittel, mit dem das Bauteil in der Verzahnmaschine gehalten wird, zu prüfen. Dazu wird die Flugbahn des Entgratwerkzeugs in einer ausreichenden räumlichen Ausdehnung dargestellt. Eine möglichst präzise

Die Flexibilität bei Entgratungsaufgaben hängt von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Maschinenachsen ab.

Beschreibung der Spannmittelkontur erleichtert die zielsichere Optimierung der kollisionsfreien Position des Entgratwerkzeugs. Diese Spannmittelkontur wird bei Klingenberg Spannmitteln automatisch generiert und kann ebenfalls als DXF-Element importiert werden.

Die Prüfung der Entgrataufgabe und die Kollisionsprüfung lassen sich individuell für die Gegebenheiten, d. h. für Maschinenkonzepte wie auch Maschinengrößen einzelner Maschinentypen durchführen.

Maschinenachsen bestimmen Flexibilität

Für die Fertigung von Spiralkegelrädern finden sich im Markt unterschiedliche Maschinenausführungen. Je nach Ausführung stehen verschiedene Möglichkeiten der Entgratung zur Verfügung. In puncto Flexibilität bei der Entgratung spielt auf jeden Fall die Anzahl der zur Verfügung stehenden Maschinenachsen eine große Rolle. Je nach Bauteilgröße und Spannmittelkonzept beeinflussen die zur Verfügung stehenden Verfahrwege auch die Möglichkeiten der Entgrataufgabe.

Neue Maschinengenerationen haben im Vergleich zu älteren Modellen ihren Funktionsumfang hinsichtlich des Entgratens deutlich vergrößert. Diese Entwicklung spiegelt wider, dass bei modernen Konzepten stark in den Fokus geraten ist, Entgrataufgaben möglichst umfänglich abbilden zu können.

DIE MASCHINE MACHT DEN UNTERSCHIED

Umsetzung komplexer Entgratungsaufgaben in einer Aufspannung

- Effizientes Entgraten
- Kürzere Durchlaufzeiten
- Optimierte Wettbewerbsfähigkeit

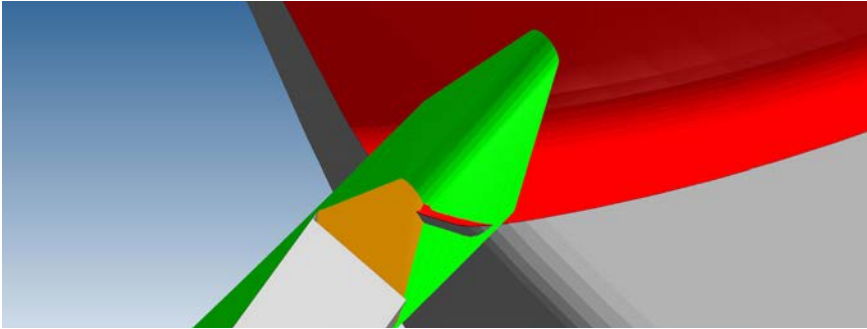


Abb. 6: Eingriff der Entgratmesser-Schneide im Fuß und finale Gestalt der Entgratkante nach einem einzigen Schnitt

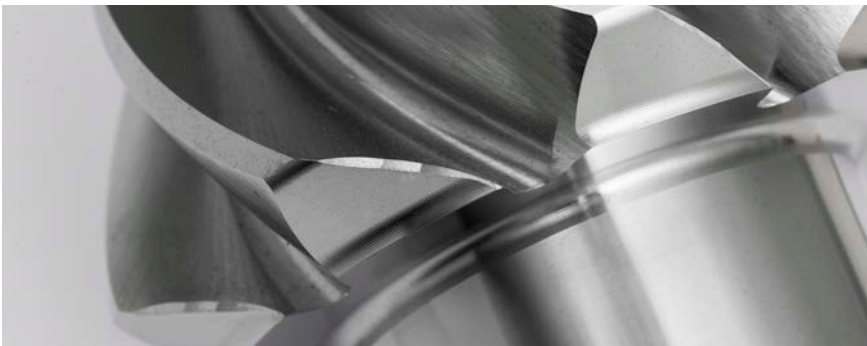


Abb. 7: Kontur mit fünf verschiedenen Positionen des Entgratwerkzeugs erzeugt



Abb. 8: Kontur mit vielen verschiedenen Positionen des Entgratwerkzeugs erzeugt

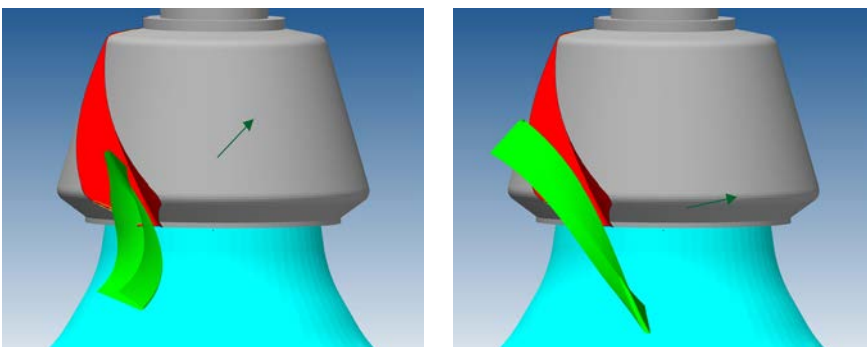


Abb. 9: Vergleich zwischen den beiden möglichen Kopplungssituationen anhand der gleichen Entgrataufgabe

Methodenvarianz bei Bauteilentgratung

Entgratfacetten lassen sich auf ganz unterschiedliche Arten erzeugen – auch Kombinationen sind realisierbar. Die Möglichkeiten umfassen:

- Die Ein-Schnitt-Methode kommt bei den horizontal aufgebauten Klingenberg Verzahnmaschinen mit nur vier für die Entgrataufgabe zur Verfügung stehenden Achsen zum Tragen. Der Zahnfuß lässt sich zusätzlich durch Verdrehung des Bauteils in der Endposition des Entgratens entgraten.

- Die Mehr-Schnitt-Methode ist bei Klingenberg Maschinen mit vertikalem Maschinenkonzept und der Möglichkeit, sechs simultan gesteuerte NC-Achsen zu nutzen, anwendbar. Dabei wird eine zusammenhängende, zu entgratende Kante durch mehrere hintereinander liegende Schnitte im Fersenbereich entgratet. Abb. 7 zeigt das Ergebnis von fünf gewählten Positionen. Diese sind notwendig, weil einerseits eine sehr hohe Krümmung der Zahnflanke in Profilrichtung vorliegt, die über drei Schnitte ausgeglichen wird, und andererseits eine besondere Konturänderung am Rückenkegel des Bauteils vorliegt. Diese benötigt einen weiteren, sehr steil verlaufenden Schnitt. Zuletzt wird der Lückengrund mit einem stark gedrehten letzten Schnitt entgratet. Zwischen jeder Entgratposition wird das Werkzeug aus der Lücke herausgezogen und für die nächste Position wieder erneut mit einer Vorschubbewegung zugestellt.

- Die Viel-Schnitt-Methode lässt sich ebenfalls bei Klingenberg Maschinen mit vertikalem Maschinenkonzept und der Möglichkeit, sechs simultan gesteuerte NC-Achsen zu nutzen, verwenden. Eine zusammenhängende, zu entgratende Kante wird durch sehr viele, nahe beieinander liegende Schnitte entgratet. Das Besondere dieser Methode ist, dass das

Entgratwerkzeug zwischen diesen Positionen nicht aushebt – es fährt vielmehr alle Entgratpositionen entlang der Kante direkt mit einer schnellen Vorschubbewegung ab. Die Zerspanaufgabe übernimmt dabei vorwiegend der Spitzenradius am Werkzeug.

Neue Koppelbewegung optimiert Kollisionskurve

Alle vorgestellten Methoden der Bauteilentgratung basieren auf einem kontinuierlich ablaufenden Bewegungsprinzip. Das hat den Vorteil sehr kurzer Nebenzeiten und somit auch einer insgesamt kurzen Entgratzeit. Dieses kontinuierlich arbeitende Prinzip verlangt eine gekoppelte Bewegung der Drehung der Entgratwerkzeugachse und der Bauteilachse.

Alle bislang bekannten für das Entgraten genutzten Koppelbewegungen sind so aufgebaut, dass sich die Bauteilflanke auf das Entgratmesser zubewegt. Diese Bewegung benötigt, bezogen auf die Flugbahn des Entgratmessers, eine bestimmte räumliche Ausdehnung. Bei einer Vielzahl von Entgrataufgaben ist allerdings gerade diese räumliche Ausdehnung der Flugbahn bezogen auf die Kollisionssituation eine entscheidende Herausforderung.

Daher hat Klingelberg die Möglichkeit geschaffen, diese Koppelbewegung so zu gestalten, dass sich die Bauteilflanke von dem Entgratmesser wegbewegt. Die räumliche Ausdehnung der Flugbahn dieses Kopplungsverhältnisses hat eine signifikant andere Form und benötigt deutlich weniger Platz. Kollisionskritische Aufgaben können daher mit diesem Entgratprinzip deutlich besser erfüllt werden.

Fazit

Die vermeintlich einfache Aufgabe, Entgrataufgaben bereits auf einer Verzahnmaschine auszuführen, kann am Ende ganz schön komplex werden. Das zeigt

METHODEN DER BAUTEILENTGRATUNG

Ein-Schnitt-Methode

- Horizontal aufgebaute Verzahnmaschinen mit vier Achsen
- Oerlikon Kegelrad-Fräsmaschine C 27, C 42 und C 60

Mehr-Schnitt-Methode

- Maschinen mit vertikalem Maschinenkonzept und sechs NC-Achsen
- Oerlikon Kegelrad-Fräsmaschine C 29, C 30 und C 50

Viel-Schnitt-Methode

- Maschinen mit vertikalem Maschinenkonzept und sechs NC-Achsen
- Oerlikon Kegelrad-Fräsmaschine C 29, C 30 und C 50

schon die Varianz und Vielfalt, mit der es möglich ist, eine Entgratung auf einer Verzahnmaschine durchzuführen – aber auch die Schwierigkeit, Prozessparameter wie die Kollisionsgefahr sicher zu bestimmen. Hier bietet die im Hause Klingelberg entwickelte Simulationsmöglichkeit eine gute Hilfestellung: Die aus der Simulation hervorgehenden Maschineneinstellungen lassen sich direkt an der Verzahnmaschine laden. Der Herstellung realer, gratfreier Bauteile steht somit nichts mehr im Wege.

Dass immer flexiblere Lösungen angeboten und nachgefragt werden, spiegelt wider, wie wichtig es Kunden mittlerweile ist, nach der Spiralverzahnung auch die Entgrataufgaben direkt in der Verzahnmaschine abbilden zu können. Es macht gleichzeitig deutlich, wie individuell Unternehmen wie Klingelberg auf spezielle Kundenwünsche reagieren, die aus dem Markt herangetragen werden. ◆



Dipl.-Ing. Karl-Martin Ribbeck

Leiter Kompetenzzentrum Kegelrad,
KLINGELNBERG GmbH

Kompakt

Neues Entgraterprinzip ist noch effizienter

Dank einer neuen Koppelbewegung von Bauteilflanke und Entgratermesser lassen sich kollisionskritische Aufgaben deutlich besser erfüllen.