2 Mechanische, physikalische und chemische Vorbehandlung

Eine neue Methode des Anfasens von Zahnrädern

Manfred Schlatter, Niklas Müller ..... lesen Sie ab Seite 11
Duale Hochschule Baden-Württemberg, Lörrach

Heißer Tipp zum heißen Dipp: die Vorbehandlung des Feuerverzinkens

Michael Feld ..... lesen Sie ab Seite 17
Feldlabor, Lüdenscheid

Neue Methode zur Modifikation der Kunststoffoberfläche

L. Orf, M. Heilig, Dr. E. Kraus, Dr. B. Baudrit, Dr. T. Hochrein ..... lesen Sie ab Seite 23
SKZ - KFE gGmbH, Würzburg

Eine neue Methode des Anfasens von Zahnrädern

Prof. Dr.-Ing. Manfred Schlatter, B.Eng. Niklas Müller, Duale Hochschule Baden-Württemberg, Lörrach

Zum Anfasen von Zahnrädern im Bereich der Zahnstirnkanten gibt es momentan drei gut eingeführte Methoden: „ChamferCut“, Drückentgraten oder Drückanfasen und „Gratomat“. Sie alle haben ihre Vorteile, sind aber auch alle nicht in jeder Situation einsetzbar. Für besonders schwierige geometrische Situationen und speziell für kleinere Serien wurde ein neues Verfahren entwickelt. Der Prozess basiert auf der individuellen Zahngeometrie und wird mit mathematischen Methoden simuliert. Darauf aufbauend wird für jeden spezifischen Modul ein angepasster Fräser gefertigt. Damit ist es möglich, die Zähne eines Zahnrads in kurzer Zeit mit guter Qualität wirtschaftlich anzufasen.

There are currently three well-established methods for chamfering gears in the tooth end edges: „ChamferCut“, pressure deburring or pressure chamfering and „Gratomat“. They all have their advantages, but they can also not be used in every situation. A new process has been developed for particularly difficult geometric situations and especially for smaller series. The process is based on the individual tooth geometry and is simulated with mathematical methods. Based on this, an adapted milling cutter is manufactured for each specific module. This makes it possible to chamfer the teeth of a gear in a short time and with good quality.

Ausgangssituation und Gratentstehung

Das typische Symbol des Maschinenbaus ist seit hunderten von Jahren das Zahnrad, das Maschinen oder Fahrzeuge bewegt und bewirkt ganz allgemein, dass technische Geräte funktionieren. Zahnräder werden durch Gießen, Schmieden, Feinschneiden oder mit spanenden Bearbeitungsverfahren hergestellt wie Wälzfräsen, Wälzstoßen oder Räumen. Die spanenden Verfahren werden vor allem bei Präzisionszahnrädern genutzt, wenn große Kräfte übertragen werden müssen oder wenn Getriebe besonders leise arbeiten sollen.

Leider produzieren alle diese spanenden Verfahren mehr oder weniger große Grate beim Austritt des Werkzeugs aus der Zahnlücke in die Planflächen der Zahnräder (*Abb. 1*). Zumindest entstehen scharfe Kanten, die ein Zahnrad für den vorgesehenen Einsatz unbrauchbar machen können. Wenn solche

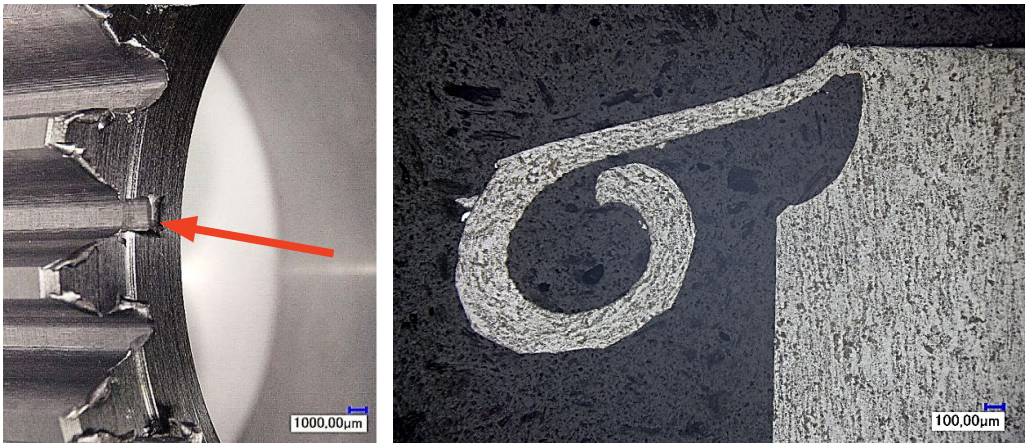

Abb. 1: Durch Wälzfräsen hergestelltes Zahnrad mit großen Graten auf der Austrittsseite des Wälzfräsers (links) und Querschnitt durch einen dieser Grate (rechts) im Bereich des Zahnfußes

Zahnräder durch Härten weiterverarbeitet oder in ein Getriebe montiert werden, kann dies die folgenden Probleme bewirken:

- Die Handhabung kann das Montagepersonal verletzen
- Das Zahnrad kann beim Transport beschädigt werden
- Ein Überkohlen der Kanten kann Kantenausbrüche verursachen
- Die Planflächen der Zahnräder werden als Anschlagfläche oder als Spannfläche für eine folgende Hartfeinbearbeitung genutzt und nur gratfreie Planflächen können eine störungsfreie Weiterverarbeitung garantieren
- Die Standzeiten der Werkzeuge für eine nachfolgende Bearbeitung wie Schleifscheiben oder Honwerkzeuge werden beeinträchtigt
- Es könne Probleme bei der Montage von Getrieben auftreten, insbesondere wenn diese automatisch erfolgt
- Durch beschädigte Flanken oder Planflächen der Zahnräder entstehen lautere Geräusche bei Getrieben
- Gratreste können ein Getriebe infolge ihrer abrasiven Wirkung zerstören.

Aus diesen Gründen werden alle spanend gefertigten Zahnräder entgratet, aber die meisten mechanischen Entgratverfahren hinterlassen scharfe Kanten, die für sehr viele Anwendungen ungenügend sind. Oft erscheinen Verfahren wie das Bürsten der Kanten und ähnliche Techniken einfach und günstig, aber auch sie hinterlassen häufig Gratreste am Gratfuß (*Abb. 2*) und dies kann zu Problemen in einem Getriebe führen.

Bekannte Entgratprozesse und Methoden zum Anfasen von Zahnrädern

Wenn die geforderte Entgratqualität von Zahnrädern nicht außergewöhnlich hoch ist, kann eines der einfacheren Verfahren eingesetzt werden. Neben ungezielt arbeitenden Verfahren wie das chemische Entgraten, elektrochemisches Bad- oder Formentgraten oder das Thermische Entgraten (TEM) existiert die Methode mit Entgratscheiben oder Feilscheiben. Gelegentlich wird auch mit eher unbefriedigenden Ergebnissen das Gleitschleifen eingesetzt. Sie alle sind in der Lage, Grate von der Wälzfräsmaschine hauptzeitparallel oder außerhalb der eigentlichen Verzahnung sicher zu entfernen, hinterlassen aber scharfe Kanten, teilweise auch Restgrate.

Um ein Zahnrad mit guter Entgratqualität zu produzieren, ist die beste Methode das Anbringen einer definierten Fase. Dies stellt sicher, dass keine Gratreste die Planflächen der Zahnräder beeinträchtigen und ermöglicht z. B. die Montage in ein Getriebe ohne jede Beschädigung des Gegenzahnrads.

Es gibt auf dem Markt verschiedene Verfahren, die Zahnräder wie gefordert und beschrieben anfasen können. Eines davon ist das Verfahren „Fette ChamferCut“ (*Abb. 3*). Diese Technologie ist schnell und ermöglicht eine gute Fasenqualität. Die Werkzeuge sind jedoch nicht in der Lage, jede mögliche Position von Zahnstirnflächen zu erreichen und zu bearbeiten. Nur wenn diese leicht erreichbar sind (*Abb. 4*), kann das Verfahren angewendet werden. Die Werkzeuge sind speziell auf die anzufasende Verzahnung ausgelegt und können deshalb nur für ein bestimmtes Zahnrad verwendet werden.

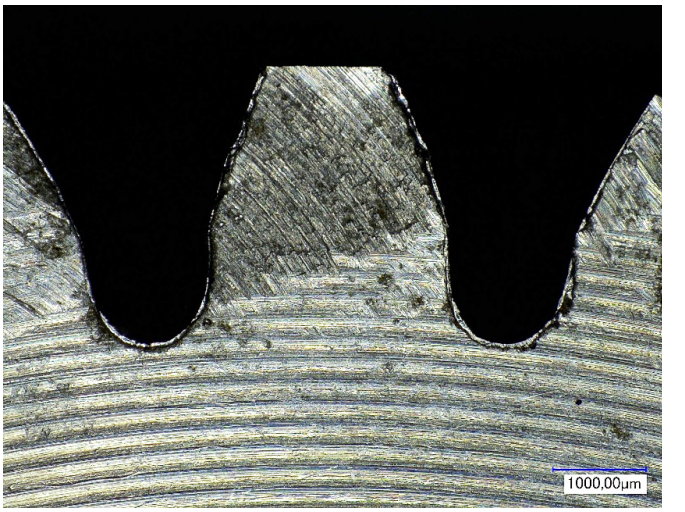

Abb. 2: Zahnstirnkanten und Planfläche mit Restgrat nach dem Entgraten mit einer Entgratscheibe

Abb. 3: Technologie „ChamferCut“ [1]

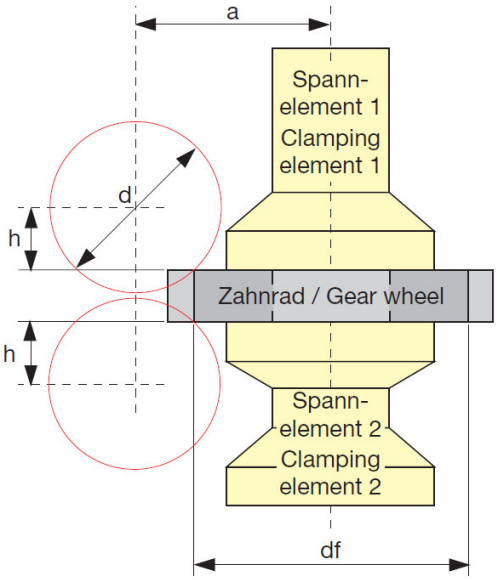

Abb. 4: Typische Position von Anfaswerkzeugen (mit „d“ und „h“ gekennzeichnet) an leicht erreichbaren Gratpositionen [1]

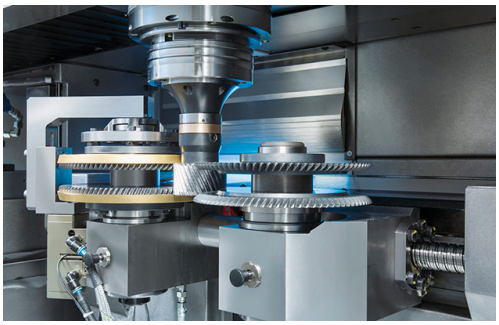

Abb. 5: Drückentgraten mit Glättwerkzeugen [2]

Eine zweite Technologie zum Anfasen von Zahnrädern ist das Drückentgraten (*Abb. 5*). Mit dieser Technologie kann eine Fase durch Umformen der scharfen Zahnstirnkanten erzeugt werden. Vor dem Anfasen sollte der bei dem vorgelagerten Wälzfräs- oder Wälzstoßprozess entstandene Grat mit einer Entgratscheibe grob entfernt werden. Der beim Umformprozess verdrängte Werkstoff fließt als Aufwurf auf die Planfläche aber auch in die Zahnflanke hinein.

Der planseitige Aufwurf kann einfach mit einem Entgratmesser oder einer Feilscheibe durch Abschneiden entfernt werden.

Der Aufwurf in der Verzahnung muss entweder durch die Verwendung eines Glättwerkzeugs geglättet oder mit einem zweiten Schnitt in einer Wälzfräsmaschine, einem Schlichtschnitt der Verzahnung, entfernt werden. Ein verbleibender Aufwurf in der Zahnflanke verursacht bei einem nachgelagerten Hartfein-Prozess aber auch bei fertigverzahnten Bauteilen in der Anwendung Probleme, da er bei einer Wärmebehandlung der Bauteile (beispielsweise Einsatzhärten) nicht abbrennt.

Beim sogenannten „Gratomat-Verfahren“ wird mit einem Schaftfräser gearbeitet, der an der Außenkante der Verzahnung über Federkraft angestellt ist (*Abb. 6*). Sobald das Werkstück in Rotation versetzt wird, folgt der Schaftfräser der Zahnlückenkontur, entfernt den vorhandenen Grat und erzeugt eine Fase.

Die Qualität und Ausprägung der Fase wird durch viele Einflüsse geprägt. In hohem Maße hängt sie von der Einstellung der Fräsvorrichtung zu Beginn der Bearbeitung ab. Darüber hinaus spielt auch der Verschleiß des Werkzeugs eine Rolle. Eine gleichförmige Fasenform ist aufgrund der unterschiedlichen Anstellbedingungen an den Punkten der ungleichmäßig gekrümmten Zahnflanke nur schwer zu erzielen.

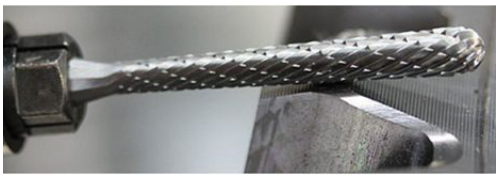

Abb. 6: Fräser des Verfahrens „Gratomat“ [3]

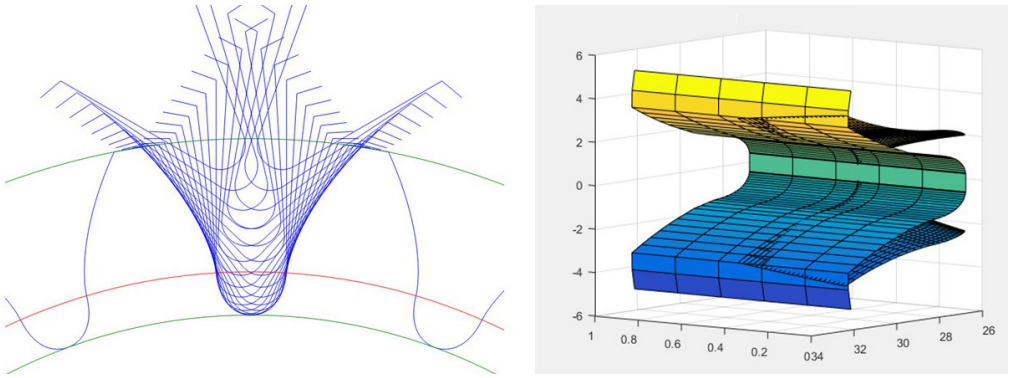

Abb. 7: Berechnung und Simulation der Zahnform des anzufasenden Zahns (links) und die Zahnlücke mit der dahinterliegenden Form der zu erzeugenden Fase (rechts)

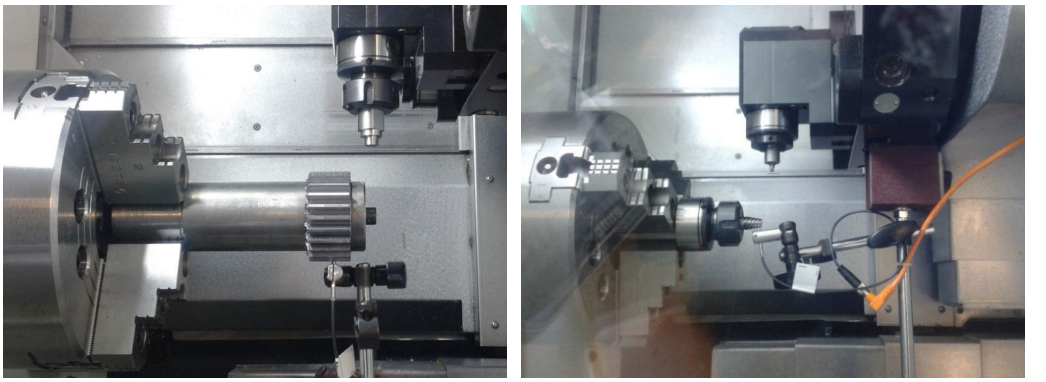

Abb. 8: Bearbeitung auf einer CNC-Drehmaschine mit dem Fräser oberhalb der Zahnräder und dem Sensor für die Synchronisation unterhalb

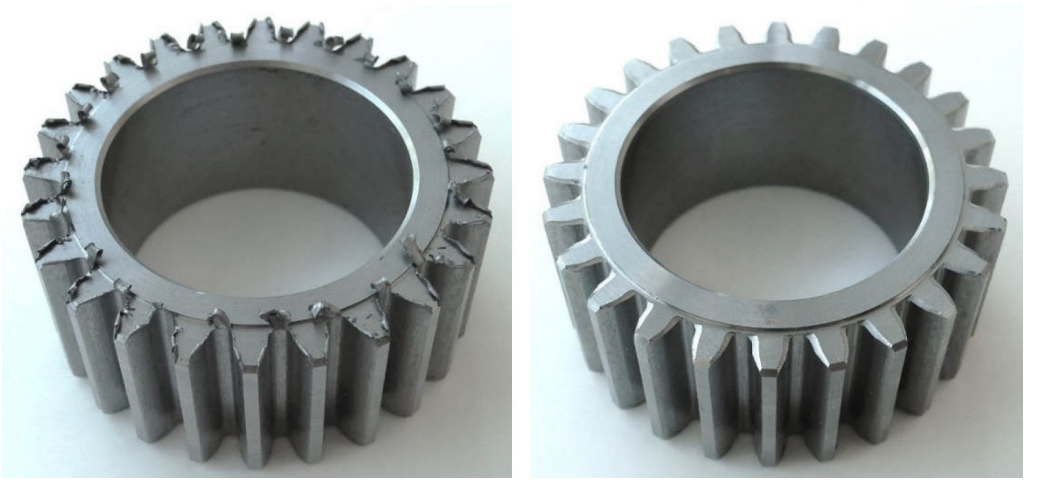

Abb. 9: Das Planetenrad vor und nach der Bearbeitung mit der neuen Methode zum Anfasen mit dem Fräser