



Wirkungsgrad von E-Antrieben verbessern | August 2023

Polierschleifen von Zahn- rädern

Walter Graf, Reishauer AG

Eine verbesserte Oberflächenbeschaffenheit der Zahnflanken erhöht den Gesamtwirkungsgrad von Getrieben, was sich in einem geringeren Drehmomentverlust, höherer Leistungsdichte und auch geräuschoptimierten Zahnradern niederschlägt – alles Faktoren, die insbesondere bei E-Antrieben von hoher Tragweite sind. Der Schlüssel zum Erfolg ist hierfür das Polierschleifen.

Das Verfahren

In diesem Beitrag wird das Verfahren zum Polierschleifen von Zahnradern vorgestellt. Die Basistechnologie hierfür ist das kontinuierliche Wälzschleifen. Basierend auf einer abrichtbaren Schleifschnecke hat sich dieses Verfahren sowohl in Bezug auf die Flexibilität als auch auf die hohe Produktivität bewährt. Die Kinematik dieses Verfahrens kann als Schneckenantrieb verstanden werden, siehe Abbildung 1, mit zusätzlichen abrasiven Bearbeitungsbewegungen, bestehend aus einer Zustellung X, einem vertikalen Vorschub Z und einer seitlichen Shift-Bewegung Y. Das Polierschleifen wird als abschließende Bearbeitungssequenz durchgeführt, wobei das Werkstück sowohl beim Schleifen als auch beim Polierschleifen auf dem gleichen Werkstückträger gespannt bleibt. Es wird unmittelbar nach dem konventionellen Schleifen durchgeführt, welches aus einem Schrupp- und einem Schlichtschleifgang besteht. Zu diesem Zweck wird die Schleifschnecke in zwei Zonen unterteilt, die Schleif- und die Polierzone, wie in Abbildung 2 dargestellt.

REISHAUER

Gear Grinding Technology

Reishauer AG | info@reishauer.com | reishauer.com

Polierschleifen von Zahnrädern

Diese letzte Sequenz ist ein Polierschleifdurchgang mit dem elastischen, kunstharzgebundenen Abschnitt der Schleifschnecke. Es gibt einige grundlegende Unterschiede zwischen Schleifen und Polierschleifen. Vereinfacht ausgedrückt, werden beim Schleifen größere Korngrößen und starrere Bindungsstrukturen verwendet. Zum Schleifen werden Korngrößen 80 verwendet, die einen durchschnittlichen Durchmesser von $185\ \mu\text{m}$ aufweisen. Für das Polierschleifen wird die Korngröße 800 verwendet, die einen durchschnittlichen Durchmesser von $7\ \mu\text{m}$ aufweist.

Ziel des Schleifens ist es, eine perfekte Geometrie, eine «gute» Oberflächengüte, frei von Welligkeit, und eine hohe Abtragsleistung zu erzielen. Das Polierschleifen, als nachfolgender Schritt des Schleifens, verändert die vom Schleifen erzeugte Geometrie nicht, erhöht aber die Tragfähigkeit der Zahnflanken. Für technische Zwecke sollte das Polierschleifen jedoch nur die Spitzen der Oberflächenrauheit entfernen und die Rauheit der Oberflächentäler intakt lassen, so dass ein Ölfilm auf der polierten Oberfläche haften kann. Die Erhöhung des Traganteils der Zahnradflanken ermöglicht den Getriebebauingenieuren, die Leistungsdichte der Getriebe zu steigern.

Nach den beiden Schleifdurchgängen des Schrubbens und Schlichtens wechselt die Schleifschnecke mittels Shift-Sprung aus der keramisch-gebundenen Zone in die Polierzone für den abschließenden Bearbeitungsdurchgang, wie in Abbildung 3 dargestellt.

Die Verwendung einer kombinierten Schleif- und Polierschleifscheibe bietet einen großen Vorteil gegenüber alternativen Verfahren wie dem Gleitschleifen, das einen vorherigen Schleifprozess bedingt und somit zwei verschiedene Werkzeugmaschinen und ein komplexeres Materialhandling erfordert. Das kontinuierliche Wälzschleifen benötigt nur eine

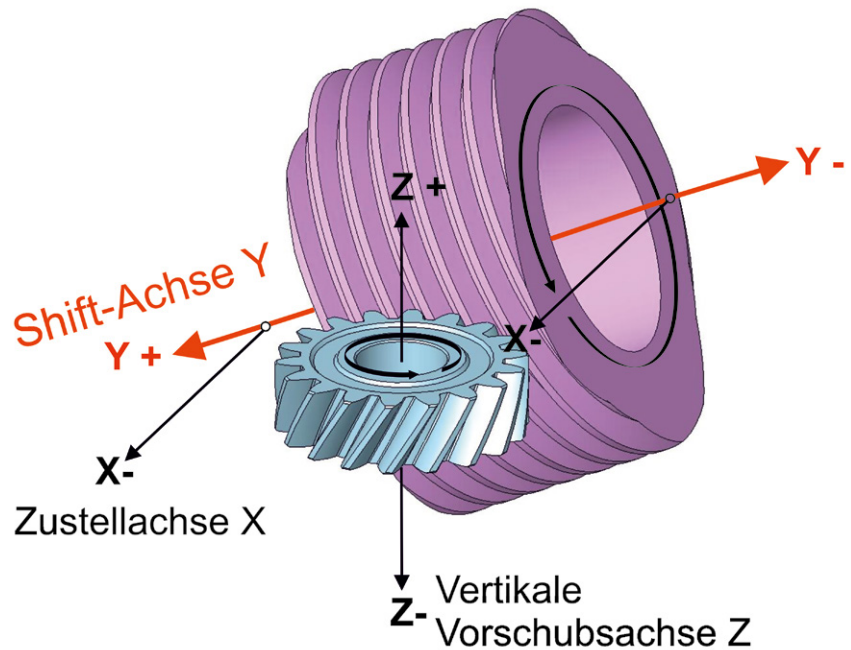


Abbildung 1 – Prinzip des kontinuierlichen Wälzschleifens

Werkzeugmaschine und schleift und poliert das Bauteil in einer Aufspannung, was es für die Großserienfertigung wirtschaftlich macht. Beim kombinierten Verfahren folgt das Polierschleifen perfekt den präzisionsgeschliffenen Mikro- und Makrogeometrien des Zahnradprofils und der Flankenlinie.

Wissenschaftliche Grundlage

Ein Forschungsprojekt des NASA-Forschungszentrums bestätigte schon im Jahr 2002, dass superfinish-geschliffene (polierte) Zahnradflanken eine vierfache Lebensdauer im Vergleich zu konventionell

geschliffenen Zahnradflanken haben [1]. In diesem Fall wurde Polierfinish erreicht, indem die Zahnradteile in ein abrasives Medium getaucht und einem Vibrationsfinish-Prozess unterzogen wurden.

Charakterisierung der Oberfläche

Der Parameter R_a für die Charakterisierung der Oberflächengüte reicht nicht aus, um die Oberflächengüte im Hinblick auf die Tragfähigkeit und Funktionsweise zu beschreiben. Wie M. Stewart in einem SME-Papier von 1990 schreibt:



Abbildung 2 – Zwei-Zonen-Schleifschnecke

Polierschleifen von Zahnradern

«Tribologieuntersuchungen haben gezeigt, dass die ideale Gleitfläche eine glatte Oberfläche mit relativ tiefen Tälern ist, um Schmiermittel zu halten und zu verteilen, aber die Quantifizierung und Spezifizierung dieser Oberflächen war immer ein Problem. Seit ihrer Einführung ist die Lagerflächenkurve – auch Abbottkurve genannt – als einzige effektive Methode zur Charakterisierung dieser Oberflächen anerkannt, wird aber nur selten in Spezifikationen verwendet». [2]

Die Abbott-Kurve, Abbildung 4, ist in der Tat ein viel besserer Indikator für die Vorhersage des Tragfähigkeitsverschleißverhaltens von Zahnradflanken als der Rauheitswert R_a . Die arithmetische Mittelwertabweichung R_a differenziert nicht zwischen Spitzen und Tälern und hat daher einen relativ schwachen Informationscharakter [3]. Zudem soll an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass es zum Polierschleifen keine gängigen Standards gibt und die Anwender verschiedene Vorstellungen betreffend der Polier-Charakteristika haben. So kann ein identischer R_a -Wert eine Oberfläche mit hohen Spitzen und geringen Tälern beschreiben oder auch eine Oberfläche mit geringen Spitzen und tiefen Tälern beschreiben. Aus diesem Grund verwenden Anwender heute bevorzugt den R_{vk} -Wert, der die reduzierte Riefentiefe beschreibt. Dieser Parameter wird verwendet, um Täler zu charakteri-

R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 und Mr_2

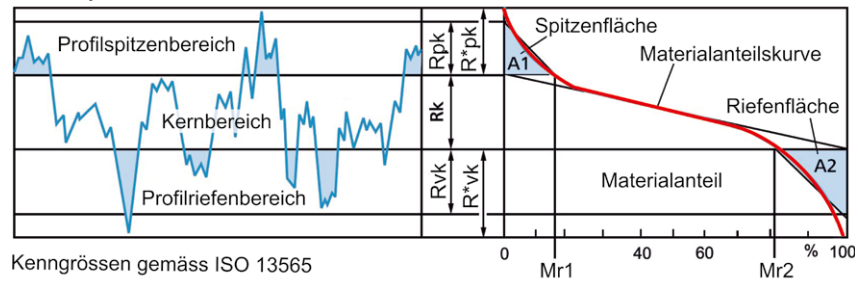


Abbildung 4 – Abbott-Materialverhältniskurve (Quelle Jena Optik)

sieren, die Schmiermittel zurückhalten. Beim Poliervorgang wird der R_{pk} -Wert (die Spitzen) mehr als der R_{vk} -Wert (die Täler) verändert. Ziel des Polierschleifens soll sein, den R_{pk} zu verringern und den R_{vk} möglichst zu belassen, mit dem weiteren Ziel, dass der R_{pk} -Wert auf beiden Flanken identisch ausfällt.

Wirtschaftliche Überlegungen und Fazit

Die direkte Integration des Polierschleifens als Folgeschritt in den konventionellen Wälzschleifprozess führt zu minimalen Investitionskosten, wenn die Kunden bereits über Reishauer Wälzschleifmaschinen verfügen. Zudem bleiben die Diamantabrichtwerkzeuge dieselben wie bei den bestehenden konventionellen Verfahren. Auch erfordert das Polierschleifen nur minimale zusätzliche Bedienschulungen. Zwar erhöht sich die Zykluszeit aufgrund des zusätzlichen Polierhubs geringfügig, doch wird dies

durch den Gewinn an Produktqualität aufgewogen.

Zusätzliche Kosten ergeben sich aus dem Kauf spezieller Schleifscheiben mit zwei unterschiedlichen Schleif- und Polierbereichen. Die höheren Prozesskosten im Vergleich zum konventionellen Zahnradschleifen werden durch die Vorteile des geringeren Drehmomentverlusts, der höheren Tragfähigkeit der poliergeschliffenen Zahnradflanken und der höheren Leistungsdichte in den Getrieben bei weitem aufgewogen.

Literaturverzeichnis

[1] Krantz, T. «Verbesserung der Haltbarkeit von Zahnradern durch Superfinishing», NASA-Forschungszentrum Glenn, April 2002.

[2] Stewart, Mike, «A new Approach to the Bearing Area Curve», SME Technical Paper, International Honing Technologies, 1. bis 3. Mai 1990, Novi, Michigan.

[3] Graf, Walter, «Grinding Alternatives», Gear Solutions, August 2014.

Autor

Walter Graf ist Senior Project Manager bei Reishauer

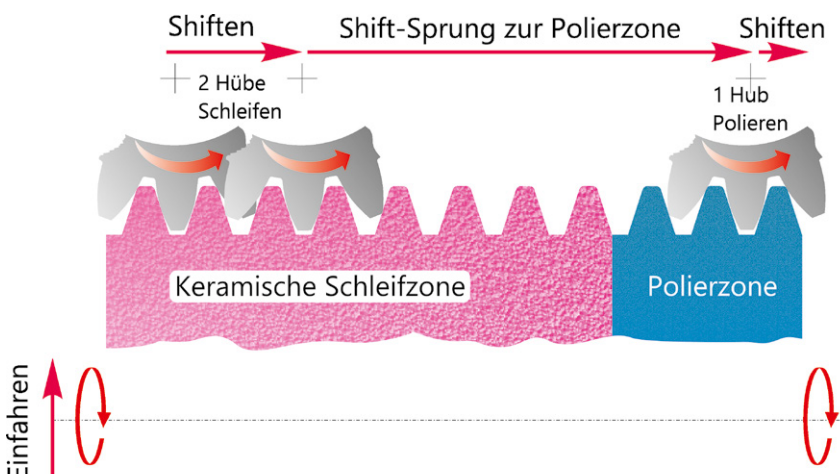


Abbildung 3 – Prinzip des kontinuierlichen Wälzpolierschleifens