

Superkritisches CO₂-Fräsen von medizinischen Kunststoffen

Überblick

Ultrahochmolekulares Polyethylen (UHMWPE) ist ein in der medizinischen Orthopädie häufig verwendetes Material, dessen haltbare, reibungsarme Oberfläche als Spacer für Knie-, Hüft- und Schulterimplantate verwendet wird, um die Beweglichkeit sicherzustellen. Bei der Bearbeitung dieses Materials durch herkömmliches Fräsen entstehen Grate, die oft in einem zweiten Prozess manuell entfernt werden müssen. Da der Wärmeausdehnungskoeffizient von UHMWPE mehr als 12-mal so hoch ist wie der von Stählen, ist die Überwachung der Bearbeitungswärme von entscheidender Bedeutung, um die für Implantate erforderlichen engen Toleranzen und hohen Maßgenauigkeiten zu erreichen.

Am KSF (Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung) wurden Untersuchungen zu den Auswirkungen der superkritischen CO₂-Kühlung (scCO₂) auf den Fräsprozess mit einer Mikron MILL S 400 U® 5-Achsen-Fräsmaschine – ausgestattet mit einer StepTec 42k-Spindel, einem Fusion Coolant Systems Pure-Cut+® scCO₂-Zuführsystem und verschiedenen Fräswerkzeugen wie einem 3 mm Schaftfräser (einschneidig) für das Nutenfräsen und einem 6 mm Kugelkopffräser für das Fräsen eines Kniepacers – mit verschiedenen Schnittparametern durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Verringerung der Grate, verbesserte Werkstückgenauigkeit und bessere Oberflächenqualität. Diese Faktoren deuten auf einen zuverlässigeren Bearbeitungsprozess hin, der das manuelle Entgraten stark reduzieren oder sogar überflüssig machen könnte.

Trockenes Nutfräsen

UHMWPE kann trocken gefräst werden, um das Eindringen von Verunreinigungen und die Aufnahme von Feuchtigkeit, insbesondere bei medizinischen Anwendungen, zu vermeiden. Die Nutbearbeitung wurde "trocken" für eine Nutbreite von 3 mm und eine Tiefe von 6 mm durchgeführt. In Abbildung 1 sehen wir den Ein- und Austrittskanal nach dem Vorschuppen beim Trockenfräsen und die daraus resultierende Gratbildung.

Werkzeug	Schaftfräser (Gühring VHM 6793 – Ø3 mm, einschneidig)
Werkstück	UHMWPE
Fräsparameter	$v_c = 100$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/U, $a_e = 3$ mm, $a_p = 6$ mm
Kühlung	trocken

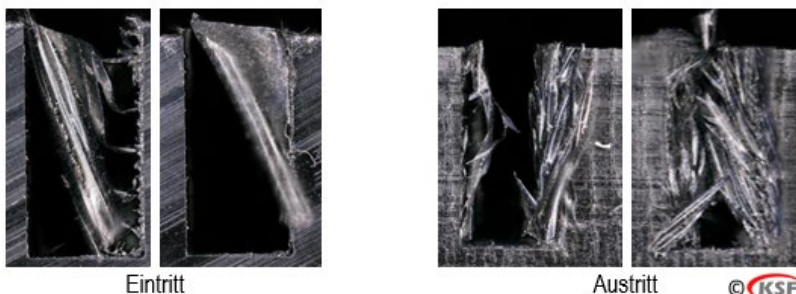


Abbildung 1: Übermäßige Gratbildung am Eingang und Ausgang der Nut beim Trockenfräsen

Ergebnisse und vorläufige Analyse

Mithilfe einer Bildverarbeitungssoftware wurde anhand der Bilder aus Abbildung 1 und Abbildung 2 die Gratfläche berechnet und zwischen dem Trocken- und dem superkritischen CO₂-Fräsen verglichen (Abbildung 3).

Werkzeug	Schaftfräser (Gühring VHM 6793 – Ø3 mm, einschneidig)
Werkstück	UHMWPE
Fräsparameter	$v_c = 100$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/U, $a_e = 3$ mm, $a_p = 6$ mm
Kühlung	trocken und scCO ₂ (80 Bar) with MQL = 0,25mL/min

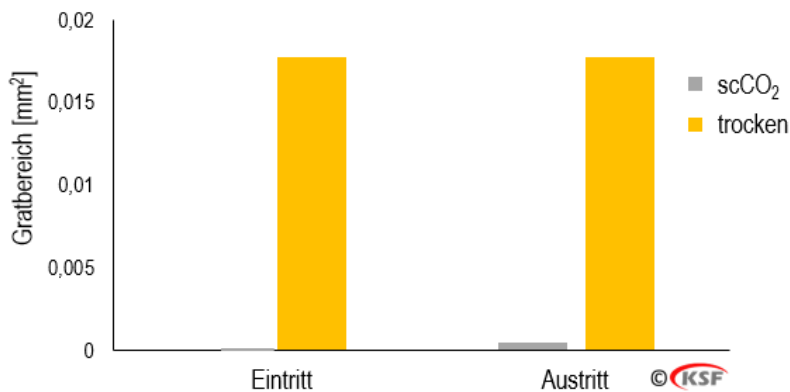


Abbildung 3: Gratfläche beim Trocken- und scCO₂-Fräsen von UHMWPE

Vergleicht man die Gratfläche bei der Trocken- und der scCO₂-Bearbeitung, so stellt man fest, dass sich die Gratbildung um etwa 95 % verringert.

In der Studie wurde auch die Oberflächenrauigkeit (R_z) der Nutflanke betrachtet. Während des Schruppvorgangs wurde bei der Bearbeitung mit $scCO_2$ eine um ca. 30 % geringere Rauheit als bei der Trockenbearbeitung festgestellt (siehe Abbildung 4). Die Verringerung der Rauheit wird in der Abbildung 5 belegt.

Werkzeug	Schaftfräser (Gühring VHM 6793 – $\varnothing 3$ mm, einschneidig)
Werkstück	UHMWPE
Fräsparameter	$v_c = 300$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/U, $a_e = 3$ mm, $a_p = 6$ mm
Kühlung	trocken und $scCO_2$ (80 Bar) mit MMS= 0,25mL/min

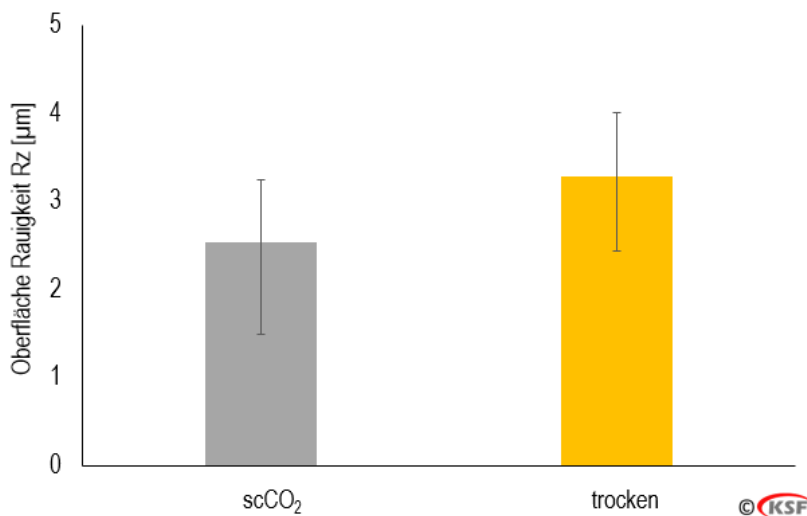


Abbildung 4: Oberflächenrauigkeit der Nutflanke beim Trocken- und $scCO_2$ -Fräsen von UHMWPE

Werkzeug	Schaftfräser (Gühring VHM 6793 – $\varnothing 3$ mm, einschneidig)
Werkstück	UHMWPE
Fräsparameter	$v_c = 100$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/U, $a_e = 3$ mm, $a_p = 6$ mm
Kühlung	trocken und $scCO_2$ (80 Bar) mit MMS = 0,1 mL/min



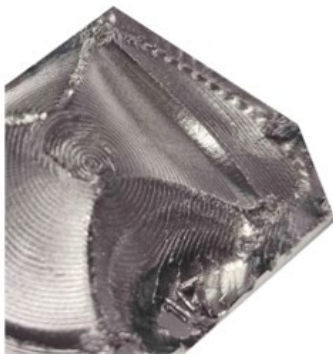
Abbildung 5: Vergleich der Oberflächenqualität von Nuten, die durch Trocken- und $scCO_2$ -Fräsen hergestellt wurden

5-Achs-Fräsen

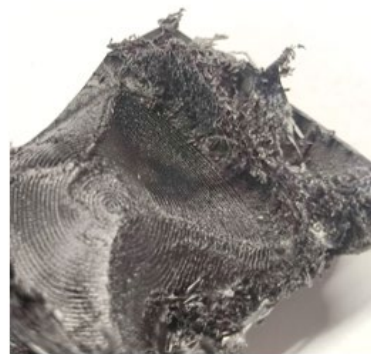
Im nächsten Versuchsschritt wurde ein Knie-Spacer durch 5-Achs-Fräsen sowohl trocken als auch unter scCO_2 -Bedingungen bearbeitet. Die verwendeten Vorschubb-Parameter sind in Abbildung 6 aufgeführt. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, verursachte das Trockenfräsen eine übermäßige Gratbildung (wahrscheinlich aufgrund von Materialaufschmelzung während des Schneidprozesses) und eine schlechte Oberflächenqualität.

Eine sehr geringe Gratbildung und eine saubere Werkstückoberfläche mit detaillierten Fräskonturen sind hingegen das Ergebnis des scCO_2 -Fräsens.

Werkzeug	HSS Kugelkopffräser \varnothing 6 mm, Schneidenzahl: 4
Werkstück	UHMWPE
Fräsparameter	$v_c = 100$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/U, $a_p = 1,5$ mm
Kühlung	trocken und scCO_2 (80 Bar) mit MMS = 0,25 mL/min



scCO_2



trocken

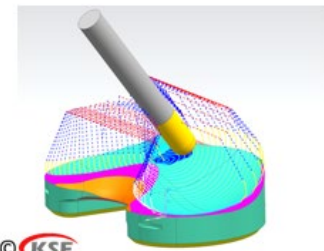


Abbildung 6: Vergleich zwischen Gratbildung und Oberflächenqualität von Knieabstandshaltern (Gleitflächen), die durch 5-Achs-Fräsen unter trockenen und scCO_2 -Bedingungen hergestellt wurden

Mögliche Anwendungen und Bereiche für weitere Forschung

Die Verwendung von UHMWPE in Knie-, Schulter- und Hüftimplantaten ist weit verbreitet. Da das Material nicht mit herkömmlichen Technologien geformt werden kann, werden sie meist gefräst. In den meisten Fällen entsteht beim Fräsen eine beträchtliche Anzahl von Graten, die zumeist mittels manuellem Prozess von zusätzlichen Arbeitskräften entfernt werden.

Weitere Versuche müssen mit speziellen Werkzeugen durchgeführt werden, die für die Verwendung mit scCO_2 angepasst sind. Es scheint jedoch wahrscheinlich, dass diese Technologie ein stabiles, wiederholbares Bearbeitungsverfahren für UHMWPE ermöglichen könnte, welches zu einer wesentlich höheren Oberflächengüte und zu deutlich weniger Graten führt. Bei zukünftigen Versuchen werden wir den Einfluss verschiedener Werkzeuggeometrien sowie Variationen von Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit auf die Oberflächenrauigkeit und Gratbildung untersuchen.

Über das Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung (KSF)

Das Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung (KSF) befindet sich in Tuttlingen, Deutschland – dem Herzen der europäischen Medizintechnikindustrie, und ist Teil der Hochschule Furtwangen, einer der führenden Hochschulen mit Forschung und Lehre für Medizintechnik in Deutschland. Das KSF beschäftigt sich seit mehr als 25 Jahren mit den Herausforderungen bei der Bearbeitung schwer zerspanbarer Werkstoffe und den steigenden Anforderungen an die Effizienz und Genauigkeit der spanenden Bearbeitung. Das KSF verfügt nicht nur über einen gut ausgestatteten Maschinenpark und Messgeräte, sondern auch über einen Stab von Doktoranden und Masterstudenten, die sowohl in der Grundlagenforschung als auch in von der Industrie geförderten Projekten Fertigungsverfahren entwickeln und verbessern.

Für weitere Informationen und Anfragen zur Zusammenarbeit bei industriellen Projekten wenden Sie sich bitte an:

Professor Dr. Bahman Azarhoushang
Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung (KSF)
Katharinenstraße 2, 78532 Tuttlingen, Deutschland
(ksfinfo@hs-furtwangen.de)

oder

Erik Poulsen
Leiter des Marktsegments Medizintechnik
GF Machining Solutions
Roger-Federer-Allee 7, 2504 Biel, Schweiz
(erik.poulsen@georgfischer.com)