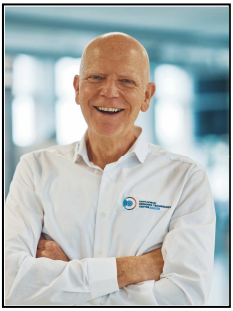
Einflüsse auf den Prozess beim Nutenschleifen von VHM Schaftwerkzeugen

Lutz Gaida[1], Anna Bergmann[2], Jörg Rucker[3], Ronald Hörmann[4]

Saint-Gobain Diamantwerkzeuge GmbH

[1]Dir. OEM WW & EGTC, [2]Research Engineer, [3]Sen. Research Engineer, [4] Product Manager

Grindingcentre.eu@Saint-Gobain.com



Einleitung

Die Schleifmittelsparte von Saint-Gobain entwickelt und produziert ein breites Portfolio von Produktlösungen für verschiedenste Industrieanwendungen und Märkte.

Die Zerspanungswerkzeugherstellung ist weltweit ein bedeutendes Einsatzfeld für die Hochleistungsprodukte, die unter der Marke NORTON-WINTER im Markt bekannt sind. Der kontinuierlich wachsende Markt an Schaftwerkzeugen stellt dabei ein signifikantes Anwendungsfeld für Hochleistungsschleifwerkzeuge dar.

Die Werkzeuganwender stehen vor den technologischen Herausforderungen prozesssicherer, hochproduktiver Bearbeitung traditioneller und neuester Bauteile, z.B. dünnwandigen Statorgehäusen für Elektroantriebe und neuen Werkstoffen, wie Titan oder CFK Verbundwerkstoffen, und benötigen dafür technologisch ausgereifte Zerspanungswerkzeuge [KAM21].

Daneben entstehen auf Grund der Marktdynamik höhere Anforderungen an die Produktverfügbarkeit und Flexibilität durch geringere Losgrößen, bei gleichzeitiger Verringerung der Durchlaufzeiten.

Die daraus resultierenden Herausforderungen an den gesamten Herstellungsprozess von Schaftwerkzeugen können auf jeden Arbeitsschritt zurückgeführt werden. Das Nutenschleifen von Schaftwerkzeugen stellt mit dem

vergleichbar höchsten Materialabtrag einen der wesentlichen Bearbeitungsschritte dar.

Die Weiterentwicklung des Nutenschleifens erfordert ein grundlegendes Verständnis der Prozesseinflüsse und Wirkzusammenhänge. Ausgehend von der Analyse der Eingangsgrößen und der Prozessergebnisse werden die wesentlichen Wirkzusammenhänge mit Blick auf die Produktivität, Prozessstabilität und Qualität betrachtet. Aus Sicht des Schleifmittelherstellers geht dieser Beitrag besonders auf die Entwicklung der Hochleistungsschleifwerkzeuge für das Nutenschleifen ein.

Wirkzusammenhänge beim Schleifen

Beim Schleifen wird die Produktivität durch das Zeitspanvolumen, dem zerspanten Volumen pro Zeiteinheit, definiert. Die Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit hat keinen direkten Einfluss auf das Zeitspanvolumen, jedoch kann mit ihr die Größe der Einzelspäne beeinflusst werden: je höher die Umfangsgeschwindigkeit, umso kleiner die entstehenden Späne, doch umso höher die Reibung. Kleine Späne bewirken geringere Kräfte und geringeren mechanischen, höhere Reibung dafür stärkeren thermischen und chemischen Verschleiß. Der optimale Arbeitsbereich einer Schleifscheibe stellt sich ein, wenn durch ausreichende mechanische Belastung das Schleifkorn durch Mikroausbrüche scharf bleibt, und der Bindungsverschleiß einen effektiven Kornüberstand gewährleistet.

Beim Nutenschleifen wird das Zeitspanvolumen durch Erhöhung der Zustellung und/oder der Vorschubgeschwindigkeit gesteigert. Das führt zu verringerten Schleifzeiten, kann jedoch unerwünschte Auswirkungen haben. Typischerweise führen steigende Zeitspanvolumina zu höheren Normal- und Tangentialkräften (**Abbildung 1**). Die Kraftverläufe verhalten sich innerhalb der geeigneten Arbeitsbereiche weitestgehend linear [BIE12, UHL11, HEY15].

Vergleichbar verhalten sich Oberflächenrauheit (**Abbildung 2**) und Verschleiß bei Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit [ABD07, IFO06a].

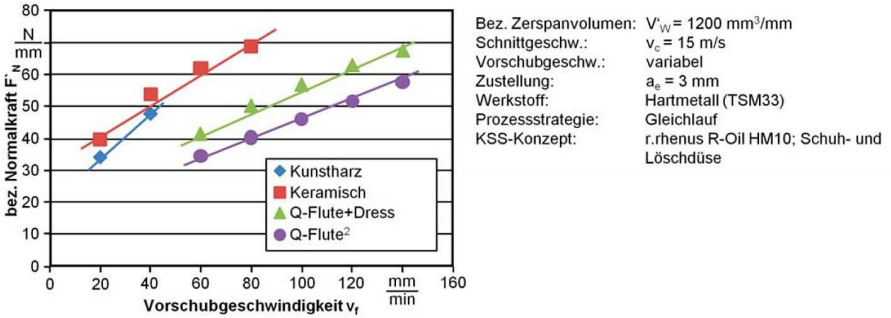


Abbildung 1 Linearer Anstieg der Schleifkräfte mit steigenden Vorschubgeschwindigkeiten [BIE12]

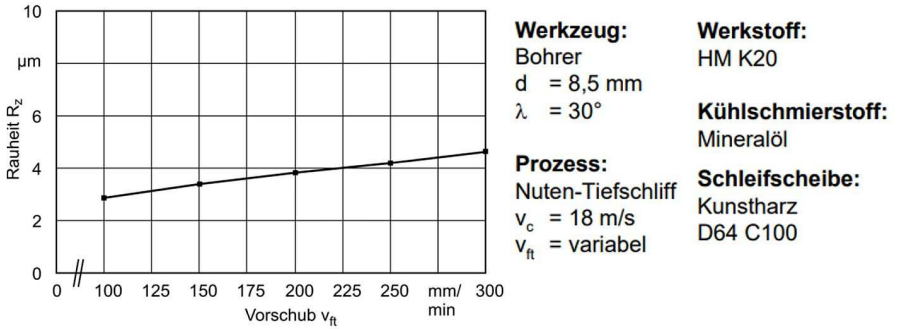


Abbildung 2 Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Rauheit [IFO06a]

Höhere Zeitspanvolumina verursachen üblicherweise einen höheren Verschleiß am Werkzeug, sei es Radial- oder Kantenverschleiß [ABD07, UHL16, SCH18, HEY15, IFO21].

Bis zu einem gewissen Grad kann der Verschleißsteigerung durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit entgegengewirkt werden; dadurch verringert sich die äquivalente Spandicke, so dass kleinere Späne entstehen und sich der Verschleiß reduziert. Bleibt die äquivalente Spandicke konstant, kann der Verschleiß konstant gehalten werden [IFO21], sonst steigt auch bei höheren Schnittgeschwindigkeiten der Verschleiß mit steigendem Zeitspanvolumen [HEY15, ABD07].

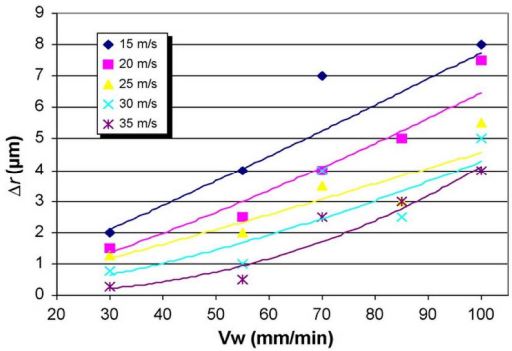


Abbildung 3 Anstieg des Radialverschleißes mit steigenden Vorschubgeschwindigkeiten für unterschiedliche Schnittgeschwindigkeiten [ABD07]

Dagegen führt eine Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit zur Verringerung der Oberflächenrauheit, was die Qualität positiv beeinflusst [SCH18].

Auch wenn eine thermische Schädigung der Werkstücke mit angepassten Kühlschmierstoffbedingungen hinausgezögert werden kann [HEY15], setzen durch stärkere Reibung zunehmende Kontaktzonentemperaturen der Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit letztendlich Grenzen.

Bei unterschiedlichen Hartmetallqualitäten führen steigende Zeitspanvolumina ebenfalls zu höheren Kräften und höherem Verschleiß (**Abbildungen 4 und 5**) [HEY15, SCH18]. Unterschiedliche Werkstoffeigenschaften können jedoch den Arbeitsbereich so verschieben, dass das Zusammenspiel von Schleifscheibenspezifikation, Parametern und Randbedingungen angepasst werden muss. Deshalb können unterschiedliche Werkstoffe unter gleichen Bedingungen oft nur unzureichend verglichen werden.

Ähnliches gilt für den Vergleich unterschiedlicher Schleifscheibenspezifikationen. Variationen von Korngröße, Konzentration, Bindungshärte und Bindungstyp werden typischerweise den jeweiligen Schleifbedingungen angepasst, um im möglichst idealen Arbeitsbereich zu wirken und die Qualitätsanforderungen erfüllen zu können.

Auch mit verschiedenen Spezifikationen und Bindungssystemen steigen die Schleifkräfte mit steigenden Zeitspanvolumina üblicherweise linear an [UHL16, IFO12, IFO06a]. Wird jedoch der Arbeitsbereich der Spezifikationen verlassen, wird ein abweichendes Verhalten beobachtet [HEY15, SCH18, IFO04, DEN22].

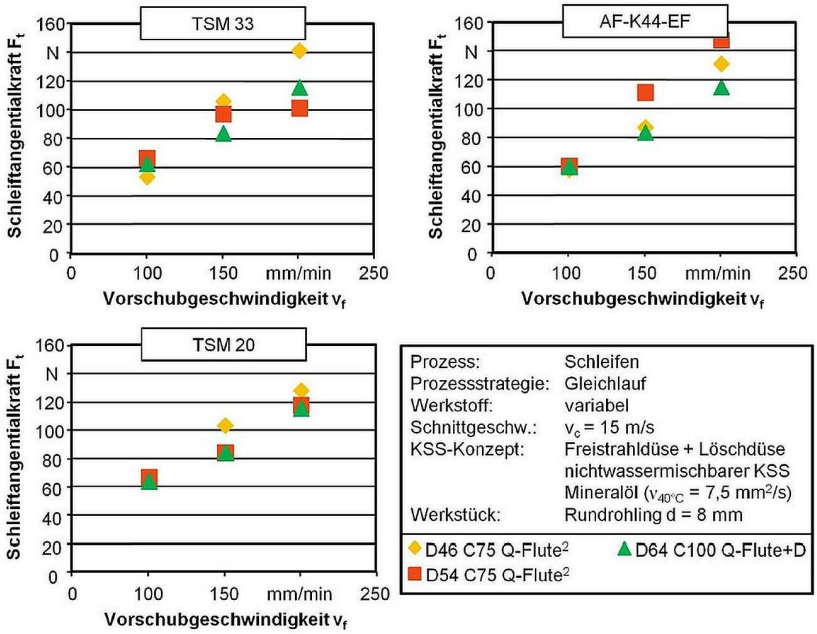


Abbildung 4 Anstieg der Schleifkräfte mit steigenden Vorschubgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Hartmetallqualitäten [HEY15]

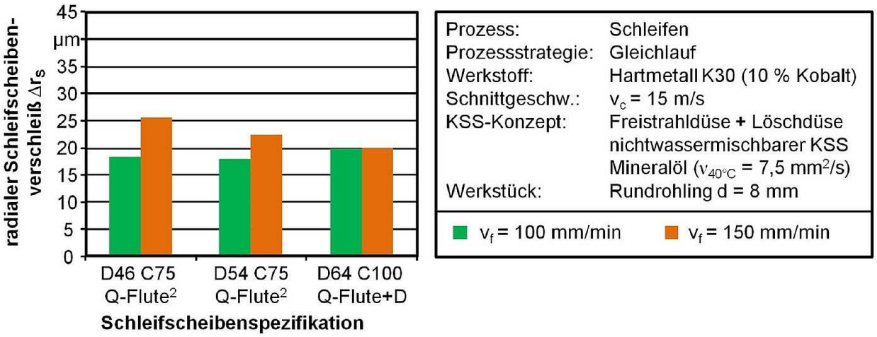


Abbildung 5 Einfluss der Schleifscheibenspezifikation auf den Verschleiß bei steigenden Vorschubgeschwindigkeiten [HEY15]

Mit der Variation der Korngröße wird die Oberflächenrauheit insbesondere im Nutgrund beeinflusst, gröbere Diamantkörnungen erzeugen rauere Oberflächen [MAL08].

Entwicklungsergebnisse Schleifwerkzeuge zum Nutenschleifen

Abbildung 6 zeigt einen Überblick der Saint-Gobain Entwicklungen von Schleifscheibengenerationen zum Nutenschleifen, bezogen auf die Schleifkräfte und den radialen Schleifscheibenverschleiß.

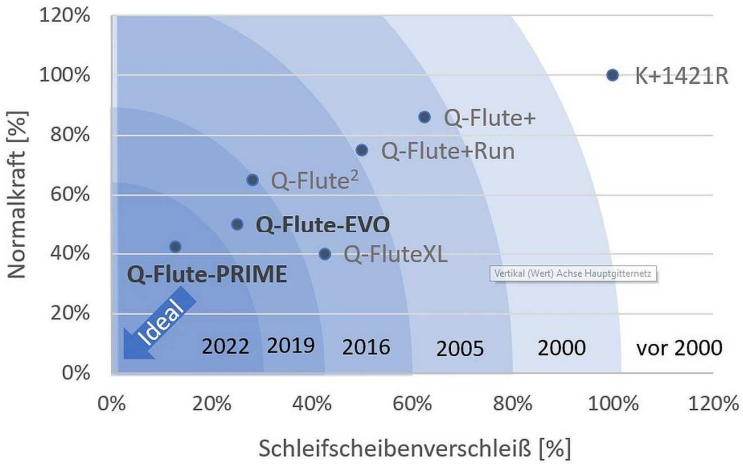


Abbildung 6 Entwicklungstrend Nutenschleifscheiben

In der Vergangenheit wurden überwiegend phenolharzbasierte Bindungssysteme wie die K+1421R für das Nutenschleifen genutzt, deren Leistungsfähigkeit allerdings begrenzt war.

Anfang der 2000er Jahre wurden erste Hybridbindungen wie z.B. Q-Flute+ entwickelt, wodurch signifikante Leistungssteigerungen und Prozessoptimierungen möglich wurden.

Mit diesen Bindungsgenerationen ergaben sich wesentlich verbesserte Möglichkeiten in der Schleifscheibenentwicklung. Durch die optimierte Korneinbindung konnten mit feinerem Diamantkorn deutlich höhere Schleifleistungen bei verbesserter Werkstückqualität erreicht werden.

Die Forderungen des Marktes an bessere Werkstückqualität und gleichzeitig höhere Produktivität stiegen kontinuierlich an. Parallel dazu entwickelten sich die zu bearbeitenden Werkstoffe weiter.

Für jede dieser neuen Anforderungen wurden die Schleiflösungen entsprechend weiterentwickelt. In der Vergangenheit wurde mit Schleifscheiben in Körnung D91

mit Zeitspanvolumina von Q'w <3mm³/mm·s gearbeitet, die aktuell neueste Generation D54 Q-Flute-PRIME erreicht Zeitspanvolumina >12mm³/mm·s und das bei in der Vergangenheit nicht vorstellbaren Standmengen/Abrichtzyklen.

Zusammenfassung

Das Nutenschleifen von VHM Schaftwerkzeuge hat sich kontinuierlich weiterentwickelt. Die Leistungsfähigkeiten der einzelnen Systemkomponenten erlauben eine wesentlich gesteigerte Produktivität bei hoher Prozessstabilität. Die industrielle Praxis zeigt, dass Entwicklungsergebnisse und Verbesserungen teils noch nicht in vollem Umfang genutzt werden. Das ist ein Potenzial, welches in der Zusammenarbeit zwischen Werkzeug-, Maschinen-, Schleifmittel-, aber auch KSS-Herstellern in der Praxis implementiert werden sollte. Dies erfordert einen engen Wissensaustausch.

Mit dem notwendigen Blick auf die Nachhaltigkeit gewinnt auch die Energieeffizienz von Schleifprozessen bei hoher Produktivität zunehmend an Bedeutung. Eine definierte Zielstellung oder einheitliche Standards existieren bisher nicht. Die Identifikation der Energieeinsparungspotentiale individueller Systemkomponenten stellt sich als neue Aufgabe dar. So wird auch dieser Aspekt in die zukünftige Schleifscheibenentwicklung einfließen.

Ein Hauptfokus des Projektes bleibt die Fortsetzung der Entwicklung kraftärmer arbeitender Nutenschleifwerkzeuge, die in energieeffizienteren Maschinen zukünftigen Kundenanforderungen gerecht werden können.

Danksagung

Die Autoren danken dem IFW - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen an der Leibniz Universität Hannover und der Firma Walter Maschinenbau GmbH Tübingen für die hervorragende Zusammenarbeit und Unterstützung.

Literatur

[ABD07] A. Abdullah, A. Pak, M. Farahi, M. Barzegari: Profile wear of resin-bonded nickel-coated diamond wheel and roughness in creep-feed grinding of cemented tungsten carbide. Journal of Materials Processing Technology 183 (2007) p. 165-168

[BIE12] D. Biermann, T. Heymann: Tiefschleifen von Hartmetall. Wissenschaft & Forschung (2012)

[DEN22] Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: Operational behaviour of graded diamond grinding wheels for end mill cutter machining. SN Appl. Sci. 4, 84 (2022).

[HEY15] T. Heymann: Schleifen und Polierschleifen von wendelförmigen Spannuten an Vollhartmetallbohrwerkzeugen. Dissertation (2015)

[IFO04] Industrieforum: Ergebnisse zur Leistungsfähigkeit Kunstharz und keramisch gebundener Schleifscheiben sowie Wirkungen auf die Substratrandzone. IFW (1/2004-2/2004).

[IFO06a] Industrieforum: Wirkungen hoher Vorschubgeschwindigkeiten beim Nutentiefschliff auf Oberflächenqualität, Kantenschartigkeit und Eigenspannungszustand. IFW (2/2006)

[IFO12] Industrieforum: Verschleißverhalten von Schleifwerkzeugen in Abhängigkeit der Hartmetallspezifikation. IFW (1/2019-2/2021)

[IFO21] Industrieforum: Verschleißverhalten von Schleifwerkzeugen in Abhängigkeit der Hartmetallspezifikation. IFW (1/2019-2/2021).

[KAM21] D. Kammermeier, J. Kruszynski, M.Luik: Vom Trend zum Innovativen Zerspanungswerkzeug. Technik und Wissen online (2021)

[MAL08] J. Maldaner: Verbesserung des Zerspanverhaltens von Werkzeugen mit Hartmetall-Schneidelementen durch Variation der Schleifbearbeitung. Dissertation (2008)

[SCH18] N. Schröer: Spannutschleifen von Hartmetall-Schaftwerkzeugen mit gradierten Schleifscheiben. Dissertation (2018)

[UHL11] E. Uhlmann, C. Hübert: Tool grinding of end mill cutting tools made from high performance ceramics and cemented carbides. CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) p. 359–362

[UHL16] E. Uhlmann, N. Schröer: Werkzeugschleifen mit Hybridschleifscheiben. wt Werkstatttechnik online 106 (2016) p. 181 –186