

Hydrodehnspannfutter verbessern Werkzeugstandzeit, Qualität und Produktivität

Spanntechnikvergleich bei der Hochleistungszerspanung

Jürgen Fleischer, Volker Schulze, Frederik Zanger,
Urs Leberle, Nikolay Boev und Andreas Spohrer, Karlsruhe

In einer Studie wurden am wbk Institut für Produktionstechnik Werkzeughaltersysteme in Hydro-Dehnspanntechnik und Warmschrumpftechnik vergleichend gegenübergestellt. Der Fokus lag auf den bei der Hochleistungszerspanung bedeutsamen Kriterien Produktivität und Werkzeugstandzeit.

Die Qualität einer zerspanten Oberfläche wird maßgeblich durch fertigungsprozessbedingte Maschinenschwingungen beeinflusst. Diese „Prozess-Maschine-Interaktion“ wurde bereits vielfach untersucht [1], wobei in den meisten Fällen der Einfluss der Prozesskräfte auf die Maschinenschwingungen analysiert und mittels Stabilitätskarten dargestellt wurde [2]. Vereinfachende Annahmen bei der Abbildung der Maschinenstruktur führen dazu, dass bei den bislang durchgeführten Analysen der Einfluss der Werkzeughaltersysteme meistens vernachlässigt wurde. Aufgrund der technischen Unterschiede verschiedener Spannsysteme ist allerdings – insbesondere bei der Hochleistungszerspanung – ein signifikanter

Einfluss auf die Prozess-Maschine-Interaktion und damit auf die Qualität des Bearbeitungsergebnisses und die Werkzeugstandzeit zu erwarten.

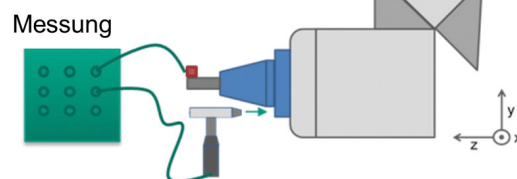
Die Hydro-Dehnspanntechnik (HDSS) nutzt für die Werkzeugeinspannung die Erhöhung des Fluiddrucks innerhalb des Spannfutters und die dadurch hervorgerufene elastische Verformung des fixierenden Werkstoffs. Bei der Warmschrumpftechnik (WSS) wird hingegen die thermische Ausdehnung bei Erwärmung des Spannfutters genutzt, sodass nach dem Abkühlen des Systems eine Übermaßpassung entsteht.

Ziel der durchgeführten Studie war der systematische Vergleich von HDSS- und WSS-Technik hinsichtlich der maximal erreichbaren Produktivität und der erzielbaren Werkzeugstandzeit bei der Hochleistungszerspanung. Darüber hinaus wurde das Schwingungsverhalten der beiden Werkzeughaltersysteme untersucht, um den Einfluss des Dämpfungsverhaltens der beiden Systeme in die vergleichende Betrachtung mit einbeziehen zu können.

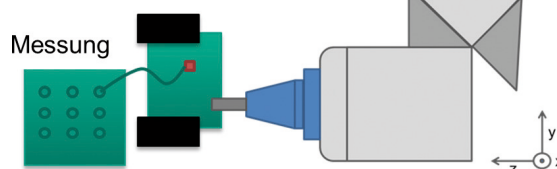
Vergleich von Produktivität und Werkzeugstandzeit

Um den Einfluss der beiden Werkzeughaltersysteme auf Produktivität und Werkzeugstandzeit zu analysieren, wurden Fräsversuche mit Werkzeughaltern der Firma Schunk durchgeführt. Als WSS wurde ein „Celsio SSF“ (HSK-A63 beziehungsweise A100 Ø12) und als HDSS ein „Tendo SDF-E compact“ (HSK-A63) beziehungsweise „Tendo SDF“

Modalanalyse



Betriebsschwingungsanalyse



■ = Beschleunigungssensor

Bild 1

Modalanalyse und Betriebsschwingungsanalyse.

(HSK-A 100 Ø12) verwendet. Für alle Experimente wurden Schaftfräser des Typs Walter „H4138217-12-0,5“ beziehungsweise -1 genutzt. Zur Absicherung der Ergebnisse kamen verschiedene Bearbeitungszentren (MAG „NBH630“, Heller „MC16“ und Chiron „FZ15 S“) zum Einsatz.

Für den Vergleich der Produktivität wurde das maximal mögliche Zeitspanvolumen bei gleichwertiger Oberflächenqualität gegenübergestellt. Hierzu wurde zunächst ein Referenzwerkstück aus 16MnCr5 definiert, in welches eine Halbnut im Gleichlauf und drei Vollnuten mit Schnitttiefen von 6 mm, 12 mm und 18 mm gefräst wurden.

Aus Vorversuchen war bekannt, dass bei den durch den Werkzeughersteller vorgegebenen maximal zulässigen Schnittparametern das HDSS bessere Oberflächenqualitäten liefert als das WSS. Dies erlaubte es, die unter Verwendung des HDSS erreichte Oberfläche als Referenzoberfläche zu definieren und bei Verwendung des WSS die Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten solange zu reduzieren, bis eine mit dem HDSS vergleichbare Oberflächenrauheit erzielt wird. Durch den Vergleich des jeweils er-

Autoren

Prof. Dr.-Ing. **Jürgen Fleischer**, Jahrgang 1961, studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH). Seit 2003 ist er Institutsleiter am wbk Institut für Produktionstechnik in Karlsruhe.

Prof. Dr.-Ing. habil. **Volker Schulze**, Jahrgang 1965, studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH). Seit 2010 ist er Institutsleiter am wbk.

Dr.-Ing. **Frederik Zanger**, Jahrgang 1982, studierte Ingenieurpädagogik Maschinenbau und Mathematik an der Universität Karlsruhe (TH). Seit 2012 ist er Oberingenieur des Forschungsbereichs Fertigungs- und Werkstofftechnik am wbk.

Dipl.-Ing. **Urs Leberle**, Jahrgang 1982, Dipl.-Ing. **Nikolay Boev**, Jahrgang 1978, und Dipl.-Ing. **Andreas Spohrer**, Jahrgang 1987, studierten Maschinenbau am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und sind als wissenschaftliche Mitarbeiter am wbk tätig.

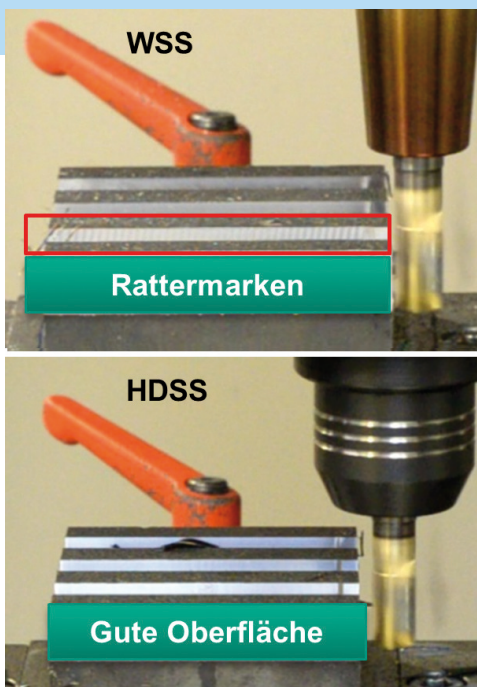


Bild 2

Bearbeitungsergebnis nach Hochleistungs-zerspanung mit einem Warmschrumpffutter (WSS) und einem Hydro-Dehnspannfutter (HDSS).

reichbaren Zeitspanvolumens konnte so auf den Produktivitätsunterschied geschlossen werden. Sämtliche Versuche wurden durch dreimalige Wiederholung auf allen Bearbeitungszentren statistisch abgesichert.

Im nächsten Arbeitsschritt folgte der Vergleich der beiden Spannsysteme hinsichtlich der (bei Hochleistungs-zerspanung erreichbaren) Werkzeugstandzeiten. Hierfür wurden jeweils so lange Vollnuten mit einer Tiefe von 12 mm gefräst, bis die Verschleißmarkenbreite auf der Nebenflechte des Fräasers einen Wert von 50 μm erreicht hatte. Die Verschleißmarkenbreite wurde mit einem Lichtmikroskop aufgenommen und vermessen. Mit den Ergebnissen konnte das insgesamt zerspannte Volumen für die beiden Werkzeughalter berechnet und verglichen werden.

Untersuchung des zugrundeliegenden Dämpfungsverhaltens

Das Dämpfungsverhalten der beiden Werkzeughaltersysteme wurde mittels Modal- und Betriebsschwingungsanalysen, **Bild 1**, erfasst und verglichen. Bei der Modalanalyse wurden die Beschleunigungen am Werkzeugeingriffspunkt in allen drei Raumrichtungen aufgenommen und zu einem normierten Beschleunigungs-Frequenzgang umgerechnet. Mit der Betriebsschwingungsanalyse konnten die während der Hochleistungs-zerspanung auftretenden Schwingungen sensorisch erfasst und mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) ausgewertet werden.

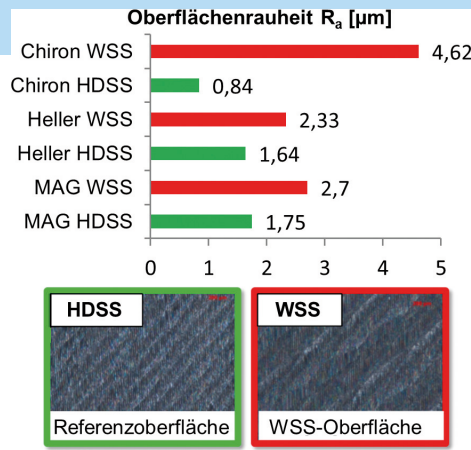


Bild 3

R_a -Werte und mikroskopische Aufnahme auf der Gleichlaufseite der 12-mm-Vollnuten.

nigungen am Werkzeugeingriffspunkt in allen drei Raumrichtungen aufgenommen und zu einem normierten Beschleunigungs-Frequenzgang umgerechnet. Mit der Betriebsschwingungsanalyse konnten die während der Hochleistungs-zerspanung auftretenden Schwingungen sensorisch erfasst und mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) ausgewertet werden.

Ergebnisse der experimentellen Arbeiten

In den Fräsversuchen zeigten sich deutliche Unterschiede im Bearbeitungsprozess und dem resultierenden

Bearbeitungsergebnis. Besonders auffällig waren ein bei Verwendung des WSS auftretender, lauter und hochfrequenter Pfeifton ($f \approx 3300\text{--}3700\text{ Hz}$) und demgegenüber die signifikant niedrigere Geräuschemission bei Verwendung des HDSS. Eine Auffälligkeit im Bearbeitungsergebnis war die überwiegend schlechtere Oberflächenqualität bei Verwendung des WSS, die sich bei tiefen Nuten in Form von Rattermarken noch verstärkte.

Bild 2 zeigt ein exemplarisches Bearbeitungsergebnis nach einer Hochleistungs-zerspanung mit WSS und HDSS.

Ein beispielhaftes Ergebnis aus den Versuchen zur Produktivitätsbestimmung, bei denen die nach Vorgabe des Werkzeugherstellers maximal zulässigen Schnittparameter zum Fräsen von Vollnuten mit 12 mm Tiefe eingesetzt wurden, ist in **Bild 3** dargestellt. Das WSS liefert im Vergleich zum HDSS deutlich schlechtere Oberflächenrauhigkeiten. Auch für die anderen Nuten ergaben sich auf allen drei Werkzeugmaschinen überwiegend schlechtere Oberflächenrauhigkeiten bei der Verwendung des WSS. Eine Ausnahme bildeten lediglich die auf der Chiron gefrästen Halbnuten mit 12 mm Tiefe, bei denen die

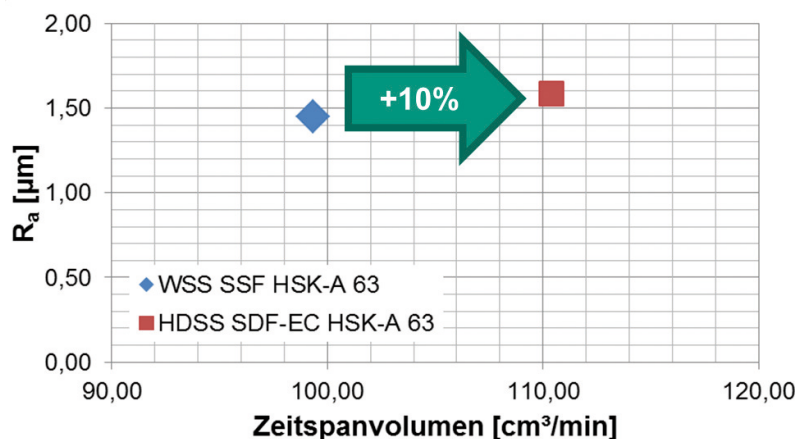


Bild 4

Produktivitätsvergleich bei der Bearbeitung auf der „Heller MC16“ für die Herstellung von 12-mm-Vollnuten.

Warmschrumpftechnik etwas bessere Ergebnisse lieferte.

Weiterhin sind in Bild 3 die mikroskopischen Aufnahmen der Oberflächen nach den Referenzversuchen dargestellt, woraus die bessere Qualität der mit dem HDSS erzeugten Oberfläche zu erkennen ist.

Einflüsse auf die Oberflächenrauheit

Mit den experimentellen Ergebnissen war es möglich, den Einfluss der Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit auf die Oberflächenrauheit mittels geeigneter Regressionsfunktionen zu beschreiben. Diese Funktionen wurden verwendet, um die jeweils optimale Parameterkombination aus Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit für das WSS zur Herstellung einer mit dem HDSS vergleichbaren Oberflächenqualität zu bestimmen sowie über zusätzliche Validierungsversuche abzusichern.

In Bild 4 sind exemplarisch die auf dem Bearbeitungszentrum Heller MC16 erzielten Ergebnisse durch Auftragen der vergleichbaren R_a -Werte über dem Zeitspanvolumen dargestellt. Sowohl auf der Heller MC16 als auch der MAG NBH630 ist mit dem Einsatz des Hydro-Dehnspannsystems eine durchschnittliche Produktivitätssteigerung von 10 % möglich.

Werkzeugstandzeit

Im weiteren Verlauf der Studie wurde die maximal erreichbare Werkzeugstandzeit bei Verwendung der beiden Werkzeugspannsysteme untersucht. Bild 5 zeigt die Gegenüberstellung der jeweils erreichten Standzeiten. Deutlich zu erkennen ist, dass durch den Einsatz der HDSS eine Standzeiterhöhung bis zu 300 % gegenüber der WSS erreicht werden konnte.

Schwingungsanalyse

Bild 6 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Betriebsschwingungsanalyse bei der Herstellung von Vollnuten mit 18 mm Tiefe auf dem Bearbeitungszentrum Heller MC16. Während sich bei Verwendung des HDSS eine nur sehr schwache Anregung über das gesamte Frequenzband zeigt, treten bei Verwendung des WSS insbesondere im Frequenzbereich oberhalb von

Werkzeugstandzeit Vollnut 12 mm

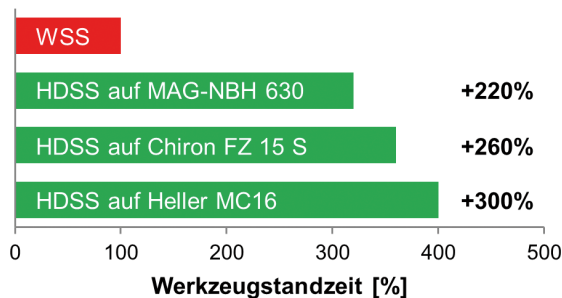


Bild 5

Gegenüberstellung der maximal möglichen Werkzeugstandzeit (Ergebnisse für die 12-mm-Vollnuten).

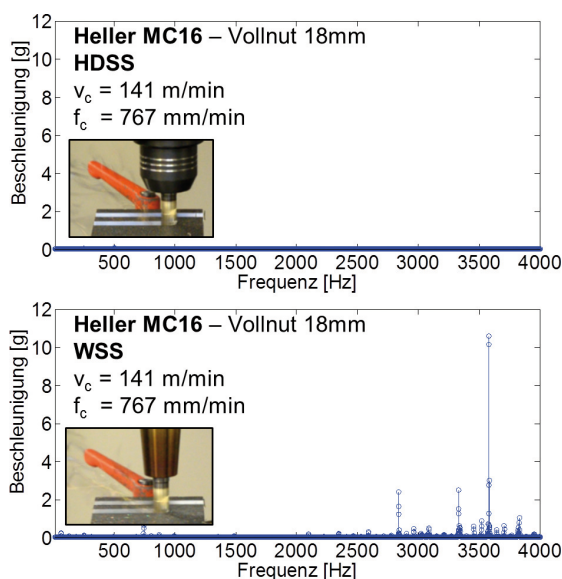


Bild 6

Angeregte Betriebsschwingungen mit HDSS (oben) und WSS (unten).

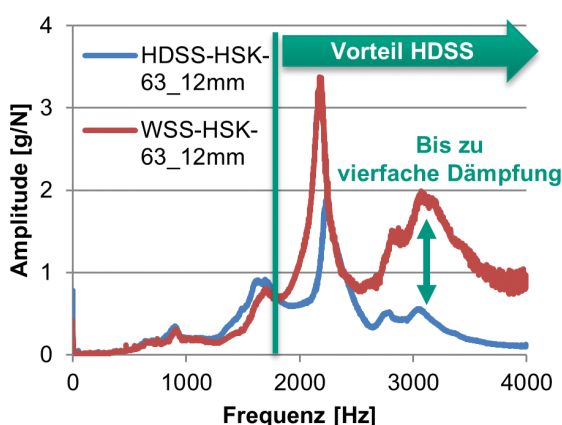


Bild 7

Beschleunigungsfrequenzgänge am Werkzeug-eingriffspunkt auf der Heller MC16.

2800 Hz teils sehr starke Anregungen auf. In diesem Frequenzbereich befindet sich auch der während des Zerspanungsprozesses auftretende, hochfrequente Pfeifton.

Bei Betrachtung der in Bild 7 dargestellten Beschleunigungsfrequenzgänge fällt auf, dass sich ab Frequenzen über 1700 Hz bei der Verwendung des HDSS überwiegend geringere Beschleunigungsamplituden einstellen. Ab circa 2500 Hz lässt sich sogar eine um bis zu vierfach bessere Dämpfung des HDSS feststellen. Im unteren Frequenzbereich zeigen beide Werkzeughaltersysteme ein ähnliches Dämpfungsverhalten mit teilweise leichten Vorteilen des WSS.

Durch die bei den experimentellen Versuchen erzielten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass die HDSS im Vergleich zur WSS überwiegend bessere Dämpfungseigenschaften bietet. Dies führt zu dem Ergebnis, dass die bearbeiteten Bauteiloberflächen besser und die Werkzeugstandzeiten erhöht sind. Die Dämpfungseigenschaften werden insbesondere im hohen Frequenzbereich in Form einer deutlich geringeren Geräuschemission bei der Hochleistungszerspanung mit der HDSS deutlich.

Zusammenfassung

In einer Studie wurden Werkzeughaltersysteme in HDSS- und WSS-Technik vergleichend gegenübergestellt. Bei Fräsversuchen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz der HDSS-Technik bei gleicher Oberflächenqualität höhere Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten erlaubt, womit eine Produktivitätssteigerung im Vergleich zur WSS-Technik einhergeht. Darüber hinaus war durch den Einsatz der HDSS bei gleichen Schnittbedingungen eine deutliche Erhöhung der Werkzeugstandzeit möglich. Die erzielten Ergebnisse wurden abschließend um Modal- und Betriebsschwingungsanalysen ergänzt. Hierbei wurden die Dämpfungseigenschaften beider Werkzeughaltersysteme quantitativ verglichen, wobei ein überwiegend besseres Dämpfungsverhalten der HDSS-Technik festgestellt wurde.

Literatur

- [1] Brecher, C.; Esser, M.; Witt, S.: Interaction of manufacturing process and machine tool, CIRP Annals – Manufacturing Technology 58 (2009), S. 588–607.
- [2] Uhlmann, E.; Rasper, P.: Influences on specific cutting forces and their impact on the stability behavior of milling processes. Production Engineering – Research and Development 5 (2011), S. 175–181.