

Spanende Bearbeitungsverfahren mit neuem Potential

U. Heisel, Stuttgart

Inhalt. Neue Anwendungen bekannter Verfahren bei Sonderwerkstoffen, dünnwandigen Werkstücken, extremen Bohrungen, komplexen Geometrien, hohen Genauigkeiten – Kombination bekannter Verfahren zu einem neuen Verfahren bei aufgeweiteten Innenkonturen, mehrachsiger Bearbeitung und hohen Zerspanungsraten – Perspektiven für Substitutionen – Bearbeitungsbeispiele.

1 Einleitung

Die Entwicklung der spanenden Bearbeitungsverfahren ist durch Fortschritte bei der Werkzeuggestaltung, bei den Schneidstoffeigenschaften, bei der Zerspanungskinematik und von dem zur spanenden Bearbeitung notwendigen Energiebedarf gekennzeichnet. Verbesserungen im einzelnen, wie auch neue Entwicklungen, sind Potentiale, zu deren allgemeiner Beurteilung die Kriterien Wirtschaftlichkeit, Produktivität und Qualität dienen.

Häufig wird dabei der Fortschritt von einem Bedarf initiiert, der mit steigender Komplexität der Fertigungsaufgaben und zunehmender Verbreitung neuer Konstruktionswerkstoffe aus der Unzulänglichkeit bisheriger Fertigungsmöglichkeiten resultiert. Andere Gründe für Neu- bzw. Weiterentwicklungen der spanenden Bearbeitungsverfahren leiten sich aus der fortschreitenden Automatisierung und Fertigungsflexibilisierung ab.



Bild 1. Allgemeine Ziele und Trends in der Fertigungstechnik

Ziele jeder angestrebten Verbesserung sind Vorteile, die sich objektiv in Zeit, Kosten, Qualität und Mengen sowie subjektiv in Know-how-Zuwachs, Zukunftssicherung u. ä. messen bzw. beschreiben lassen (Bild 1).

Eine systematische Nutzung neuer Potentiale existiert bisher nicht. Auch mit der Verfahrensentwicklung befaßte Abteilungen größerer Unternehmen unterliegen in ihrer Arbeitsweise häufig den aus der Produktion momentan gestellten Aufgaben. Die Umsetzung und Nutzung neuer Potentiale richtet sich üblicherweise nach den Bedingungen und Gegebenheiten vorhandener Fertigungsmittel und Einrichtungen. Oft haben dabei auch vorgegebene Organisationsstrukturen eine große Bedeutung.

Mit den im folgenden Beitrag ausgewählten Beispielen sollen Möglichkeiten und Wege zur Nutzung neuer Potentiale bei spanenden Bearbeitungsverfahren gezeigt werden.

2 Potentiale der spanenden Bearbeitung

Ansatz- bzw. Ausgangspunkt der Entwicklung spanender Bearbeitungsverfahren sind Fortschritte, die entweder die Werkzeuge oder die Kinematik bzw. Dynamik oder die Maschinenkonstruktion betreffen (Bild 2). Fortschritte in einem dieser Bereiche beeinflussen die Entwicklungen in den anderen beiden Bereichen. So bewirken beispielsweise Fortschritte bei der Werkzeugkonstruktion höhere Forderungen an die Maschinenkonstruktion und an die Dynamik, sei es bezüglich der Leistung, der Genauigkeit, der Geschwindigkeit, des Verhaltens oder der Sicherheit. Diese Beeinflussung läßt sich als eine Funktionskette darstellen, innerhalb der je-



Bild 2. Potentiale und Entwicklungsfelder in der Fertigungstechnik



Bild 3. Funktionskette bei der Schneidstoffentwicklung

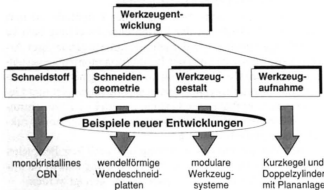


Bild 4. Funktionsfelder der Werkzeugentwicklung

des einzelne Glied zahlreiche Möglichkeiten zur Verbesserung enthält.

Die in Bild 3 gezeigte Funktionskette verdeutlicht die Auswirkungen der Schneidstoffentwicklung, die neben verbesserten Standzeiten vor allem höhere Schnittgeschwindigkeiten zuläßt. Infolgedessen werden steife und stabile Maschinenkonstruktionen und hohe Antriebsleistungen benötigt, die wiederum eine Steigerung der Mengenleistung und darüber eine Reduzierung der Stückkosten ermöglichen. Bei dem gewählten Beispiel der Werkzeugentwicklung ist die Schneidstoffentwicklung aber nur eine von mehreren Funktionsgrößen. Bild 4 zeigt weitere Möglichkeiten der Werkzeugentwicklung, für die ähnliche Funktionsketten existieren. So werden alleine schon bei der Werkzeugentwicklung die vielen Möglichkeiten deutlich, die insgesamt als Potential der spanenden Bearbeitung anzusehen sind.

Die große Zahl aller denkbaren Möglichkeiten wird mit der in Bild 5 gezeigten Gliederung der Potentiale überschaubar. Danach sind vorhandene und neue Möglichkeiten in der spanenden Bearbeitung grundsätzlich mit der

- Verbesserung bekannter Verfahren,
- Kombination verschiedener Verfahren,
- Transformationen und
- Substitutionen sowie
- Integrationen von Zerspanverfahren

zu nutzen. Mit diesem Ansatz zur Systematik werden auch gleichzeitig die möglichen Strategien zur gezielten Nutzung neuer Potentiale formuliert.

Beispiele neuer Entwicklungen geben nachfolgend einen Überblick über die große Bandbreite der Möglichkeiten.

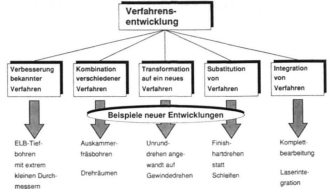


Bild 5. Potentiale der spanenden Bearbeitung

3 Beispiele der Verfahrensentwicklung

3.1 Einlippentiefbohren zur Herstellung kleinster Bohrdurchmesser

Der typische Anwendungsbereich des Einlippentiefbohrers liegt im Durchmesserbereich von 2 bis 30 mm mit Rohrschaftwerkzeugen. Neue Entwicklungen extrem kleiner Vollhartmetall-Tiefbohrer erlauben bei Vorschubgeschwindigkeiten bis 1000 mm/min auch Bohrungen um 1 mm Durchmesser in Stahl herzustellen (Bild 6). Damit werden diesem Zerspanverfahren neue Anwendungsbereiche erschlossen. Beispielhaft zu nennen sind hierbei Kraftstoffkanäle in Einspritzdüsen und Rotorenteile in Einspritzpumpen, Steuer- und Entlüftungsbohrungen in Hydraulik- und Pneumatikelementen, Tiefbohrungen in Brennerdüsen und Spannzangen, Kühlbohrungen, Bohrungen in Knochenägeln und Dentalgeräten sowie in Futtermittelmatrizen.

Die Entwicklung wurde möglich mit der Herstellung der sehr kleinen Vollhartmetallbohrer im Strangpreßverfahren und der Beherrschung der komplexen Prozeßparameter, be-

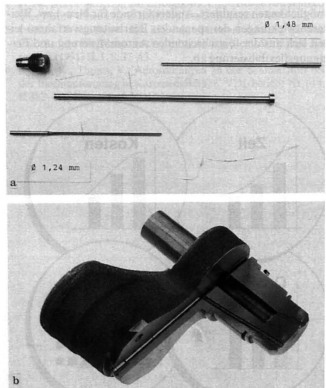


Bild 6. a Einlippentiefbohrer aus Vollhartmetall und b Bearbeitungsbeispiel (TBT, Dettingen)

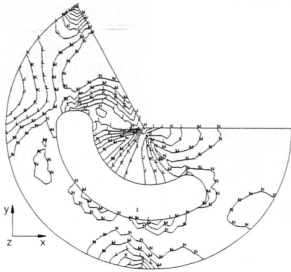


Bild 7. FEM-Untersuchung der ELB-Beanspruchung durch die Zerspankräfte und den Schneidölldruck bei kleinsten Durchmessern

sonders im Hinblick auf die Bruchempfindlichkeit des durch die Sicke und den Ölkanal geschwächten Bohrerquerschnitts (Bild 7). Die detaillierte Aufklärung der Wirkzusammenhänge durch die Grundlagenforschung sowie die Entwicklung geeigneter Sensorik für die Inprocessmessung erlauben eine sichere geregelte Prozeßbeherrschung.

Die mit der Werkzeugentwicklung erzielte Verbesserung des bekannten ELB-Verfahrens eröffnet neue Anwendungspotentiale und vermehrt die Kenntnisse zum Beherrschen des Tiefbohrprozesses.

3.2 Fräsbohren aufgeweiteter Innenkonturen

Das Fräsbohren (Bild 8) steht als Beispiel für die Kombination zweier Verfahren. Es entspricht einer Überlagerung der Kinematik des Innenrundfräsens und des Bohrens und ist in der Systematik der Fertigungsverfahren nach DIN 8589 nicht genannt. Insofern entspricht die Kombination des Innenrundfräsens mit dem Bohren bzw. Ausdrehen einem neuen Verfahren. Entwickelt wurde es zum Bearbeiten aufgeweiteter Innenkonturen als eine Alternative zum Innenausdrehen mit verstellbaren Bohrstangen bei etwa vergleichbarem Aufweitungsverhältnis. Typische Anwendungen für dieses Verfahren sind genaue Bearbeitungen der Innenkonturen hochbeanspruchter Leichtbauteile wie Flugzeuglandebeine und Triebwerksrotorachsen. Kennzeichen solcher Fertigungsaufgaben sind bei den vergleichsweise großen

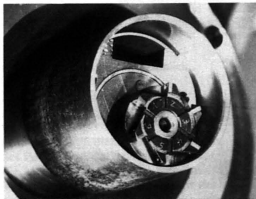


Bild 8. Fräsbohren zur Herstellung aufgeweiteter Innenkonturen

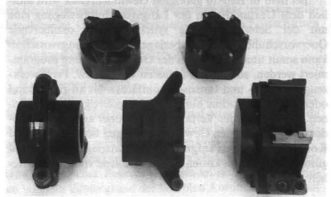


Bild 9. Fräsbohr-Werkzeuge zum Vollbohren und Auskammern (Heller, Bremen)

geometrischen Abmessungen der Bauteile hohe Genauigkeitsanforderungen. Zur Gewährleistung einer sicheren Späneentsorgung – auch aus tiefen Sackbohrungen – weist das Fräsbohren gegenüber dem Innenausdrehen verfahrensbedingt den Vorteil günstiger Spanformen und -größen auf. Wirrspäne und Spankäuel können auch bei langspannenden Werkstoffen nicht entstehen.

Neben zerspannungstechnischen Fragen und der Erzeugungskinetik, die eine besondere Maschinenkonstruktion und Antriebskonzeption erfordert, stehen für die Verfahrensentwicklung hier die Werkzeuge im Blickpunkt des Interesses. Sie müssen problemspezifisch konstruiert und ausgeführt sein (Bild 9). Zum Einsatz kommen handelsübliche Wendeschneidplatten und Schneidstoffsorten.

3.3 Gewindeschneiden bis an den Bund, Absatz oder Übergangsgradius

Für die Transformation als Potential der Verfahrensentwicklung ist eine neue Methode der Gewindefertigung stellvertretend für eine große Zahl möglicher Beispiele an dieser Stelle genannt. Kennzeichnend für diese Kategorie der Potentiale ist die analoge Übertragung bekannter und erprobter Merkmale von einem Fertigungsverfahren auf ein anderes.

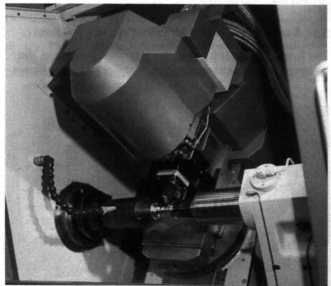


Bild 10. Gewindeherstellung mit Formdreheinrichtung (Matrix Churchill, Coventry)

Bei dem in Bild 10 gezeigten Gewindedrehen wird ähnlich dem Unrunddrehen der Längsvorschubbewegung eine mit der Schnittbewegung synchronisierte, oszillierende Quervorschubbewegung überlagert. Der Längsvorschub kann somit unabhängig von der Gewindesteigung programmiert werden, so daß mit üblichen Form- bzw. Profilwerkzeugen Außen- und Innenschraubflächen bis an einen Bund oder Übergangsradius ohne Einstich gefertigt werden können. Der Vorteil des Verfahrens gegenüber anderen Methoden zur auslauffreien Gewindeherstellung liegt in Zeit- und Kosteneinsparungen aufgrund hoher Zerspanungsraten und günstiger Werkzeugkosten. Die Idee wurde vom Kopierdrehen abgeleitet.

3.4 Finish-Hartdrehen

Die Hartbearbeitung gilt als ein typisches Beispiel für die Substitution des Schleifens oder Läppens. So ist auch das Finish-Hartdrehen in Konkurrenz zum Spitzenloschleifen zu sehen, weil selbst in der Massenfertigung mit großen Stückzeitverkürzungen bis zu 80% höchste Oberflächengüten erzeugt werden können.

Durchmessersprünge benötigen kein aufwendiges Abrichten und können im Programmablauf beim Finish-Hartdrehen hergestellt werden. Teile lassen sich mit einfachem Programmieren ändern. Sicheres konzentrisches Arbeiten und Arbeiten auf Umschlag ist leicht zu beherrschen. Als Maschinen dienen Feindrehmaschinen, die in einem bestimmten Leistungsbereich oftmals die an Schleif-, Hon- oder Läppmaschinen gestellten Forderungen übertreffen (Bild 11).

Bei der Entwicklung des Finish-Hartdrehs spielte besonders wieder die Werkzeugentwicklung eine wichtige Rolle. Zum Bearbeiten von Stahl- und Gußwerkstücken wurden neben den teuren und empfindlichen Naturdiamantwerkzeugen die deutlich günstigeren CBN-Schneidstoffe sowie Mischkeramik und Cermet eingesetzt. CBN war bisher nur als polykristalliner Schneidstoff verfügbar und ist seit kurzem auch in monokristalliner Form erhältlich. Das eröffnet neben der Hartbearbeitung auch dem Feindrehen weit über den Bereich der Feinbearbeitung von Aluminium und Kupferlegierungen hinaus zahlreiche Neuanwendungen bei der Pneumatik, der Hydraulik, der Einspritztechnik sowie der Medizintechnik. Daneben sind die wirtschaftlichen Perspektiven nicht uninteressant.

3.5 Komplettbearbeitung durch Verfahrensintegration

Die Komplettbearbeitung ist bei Drehmaschinen und Bearbeitungscentren seit langem Stand der Technik. Das Haupt-



Bild 11. Feindrehmaschine mit hydrostatischer Spindellagerung, Bett aus Granit (Hemburg, Haarlem)

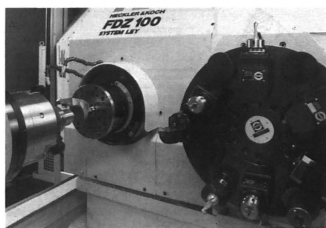


Bild 12. Frontdrehmaschine mit Scheibenrevolver und Unrunddreheinrichtung (Heckler & Koch, Schramberg)

merkmal der Komplettbearbeitung ist die Verfahrensintegration in einer einzigen Werkzeugmaschine mit möglichst wenigen Aufspannungen des Werkstücks. Am häufigsten werden Dreh-, Bohr- und Fräsverfahren zusammengefaßt. Neueste Entwicklungsarbeiten befassen sich auch mit der Laserintegration, beispielsweise zur Wärmebehandlung, zum Beschriften oder zum Schweißen. Das gilt auch für besondere Einrichtungen zum Entgraten, Polieren oder Fügen.

Bei den spanenden Bearbeitungsverfahren handelt es sich hauptsächlich um Standardverfahren mit vergleichsweise einfacher Kinematik, wobei komplexe Fertigungsaufgaben nur mit erhöhtem Aufwand bei der Werkzeugkonstruktion und bei der Bearbeitungsdauer gelöst werden können. Mit verminderter Zahl der Sonderwerkzeuge und kürzerer Bearbeitungsdauer können Zusatzeinrichtungen wie zusätzliche NC-Achsen oder Unrunddreheinrichtungen aber wirtschaftlich gerechtfertigt werden. Das in Bild 12 wiedergegebene Beispiel zeigt eine Frontdrehmaschine mit Scheibenrevolver, die in bekannter Weise ausgebaut und automatisiert werden kann. Neu ist die Integration einer NC-Formdrehereinrichtung nach dem Patent von H. Ley (Bild 13), deren Funktionsweise dem Wirbelverfahren vergleichbar ist. Das Werkzeug bewegt sich in einem unabhängigen Spindelssystem auf einer Bahnkurve, vorzugsweise einer Epi- oder Hypozykloide, um das rotierende Werkstück. Auf diese

FUNKTIONSPRINZIP SYSTEM LEY

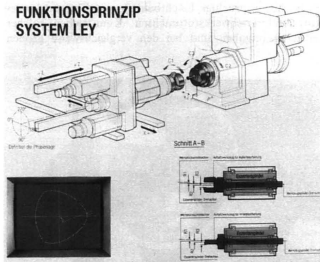


Bild 13. Funktionsprinzip der Unrunddreheinrichtung nach dem System Ley (Heckler & Koch, Schramberg)



Bild 14. Beispiele komplett bearbeiteter Unrunddrehteile (Heckler & Koch, Schramberg)

Weise lassen sich beliebige Konturelemente, die harmonisch um ein Mittenzentrum angeordnet sind, fertigen. Die in Bild 14 gezeigten Einzelteile homokinetischer Elemente lassen sich so komplett in einer Aufspannung fertigbearbeiten. Zeiteinsparungen von 60% und mehr wurden gemessen.

Die Verfahrensintegration bringt auch gleichartige Ergebnisse bei Bearbeitungszentren. Dies gilt sowohl für die Serienbearbeitung als auch die Großteilfertigung. Generell hat die Verfahrensintegration die größten Potentiale für die Komplettbearbeitung in der spanenden Bearbeitung.

4 Rechnerunterstützte Verfahrensoptimierung

Über Forschungsaktivitäten zu rechnerunterstützten Verfahrensoptimierungen ist verschiedentlich aktuell berichtet worden. Vor dem Hintergrund der Entwicklungen im Bereich des CAD und der dialogorientierten NC-Programmierung beruhen die Ansätze auf Systematiken, in denen konkreten Werkstückformelementen alternative Herstellverfahren zugeordnet werden. Als Kriterium für die Optimierung dienen Kostenvergleiche, in denen auch Werkstückstoff-, Werkzeug- und Vorrichtung- sowie Maschinen- und Energiekosten berücksichtigt werden können.

Weitentwickelte, fortgeschrittene Systeme, die in der Praxis in die Bearbeitungsplanung oder Arbeitsvorbereitung eingebunden sind, erlauben besonders in der flexibel automatisierten Fertigung gezielt einen Kosten- und/oder zeitoptimierten Durchlauf der Werkstücke.

Das damit verbundene Potential in der Planung und Organisation ist noch sehr entwicklungsfähig, weil komplett umfassende Kostenrechnungen und die ganzheitliche Berücksichtigung aller Einflüsse bisher fehlen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ziele in der Fertigungstechnik richten sich auf die Reduzierung und Minimierung von Zeit- und Kostenfaktoren sowie auf die Verbesserung der Qualität und Produktivität. Jede diesen Zielen dienende Maßnahme stellt die Nutzung eines Potentials dar. Die Vielfalt der möglichen Maßnahmen, die die Werkzeug- und Betriebsmittelentwicklung, die Verfahrens- und die Maschinenentwicklung betreffen, läßt sich in ein Schema ordnen, das vorgestellt und anhand von Beispielen neuester Entwicklungen erläutert wurde.

Im Blickpunkt weiterer und zukünftiger Interessen stehen heute Entwicklungen und Potentiale sehr unterschiedlicher Bereiche. Große Aufmerksamkeit gilt den Fortschritten bei der

- Hochgeschwindigkeitsbearbeitung,
 - Ultrapräzisionsbearbeitung,
 - Hartbearbeitung und
 - Bearbeitung schwer zerspanbarer oder neuer Werkstoffe.
- Gleiches gilt für den Lasereinsatz und seine Integration, da sowohl trennende als auch stoffeigenschaftsändernde Fertigungsverfahren substituiert werden können.

Ein auch in Zukunft sehr entwicklungsfähiges Feld fertigungstechnischer Potentiale verbindet sich vor allen Dingen vor dem Hintergrund der flexiblen Automatisierung mit der Komplettbearbeitung von Werkstücken durch die Verfahrensintegration.

Literatur

1. Reiter, N.: Neue Werkstoffe und Bearbeitungstechnologien. wt Werkstattstechnik 79 (1989) S. 513-516
2. Weiland, W.: Diamant hat viele Facetten. VDI-Nachrichten (1991) H. 10, S. 29
3. N. N.: Härte 10, Naturdiamant - ein vielseitig verwendbarer Industriewerkstoff. Moderne Industrie (1987) S. 60-61
4. Michel, B.: Auf dem Wendel zum Erfolg. M + W 13 - Fertigungstechnik 5 (1991) S. 90-104
5. Betz, W.: Britische Werkzeugmaschinenhersteller - Partner der europäischen Automobilindustrie. dima (1991) H. 6, S. 59-62
6. Dohlen, H.: Universelles modulares Werkzeugsystem für Dreh-, Fräs- und Bohrwerkzeuge. wt Werkstattstechnik 81 (1991) S. 359-362
7. Enderle, K.: Beeinflussung des Mittenverlaufs beim Einlippentiefbohren durch Pulsation des Kühlmittels. Fachgespr. zw. Ind. u. Hochsch. Dortmund, Tiefbohren 1990, S. 44-50
8. Heisel, U.; Enderle, K.: Stand der Technik beim Einlippentiefbohren. Tag. bd. d. VDI-Tag. „Tiefbohren“, Stuttgart (1991) S. 1-10
9. Hauger, R.: Einflußgrößen auf das Stabilitätsverhalten von Einlippentiefbohrwerkzeugen. Tag. bd. d. VDI-Tag. „Tiefbohren“, Stuttgart (1991) S. 17-26
10. Heisel, U.; Enderle, K.: Weniger Ausschuß. MM 97 (1991) 23, S. 46-51
11. Koster, A.: Technologische Grundlagen des Fräsbohrens. Diss. Univ. Stuttgart 1988
12. Heisel, U.; Utz, Th.: Auskammern durch Fräsen. dima - die maschine 43 (1989) 6, S. 16-23
13. Heisel, U., u. a.: Fräsbohren garantiert kurze Späne. dima 9 (1990) S. 67-73
14. Utz, Th.: Herstellung aufgeweiteter Innenkonturen durch Auskammerfräsbohren. Diss. Univ. Stuttgart 1990
15. König, W.; Berkold, A.: Drehräumen - Kinematik und Werkstückqualität. Ind.-Anz. 111 (1989) H. 11, S. 24-27
16. Reiter, N., u. a.: Technologie des Drehräumens. Werkst. u. Betr. 122 (1989) H. 3, S. 201-206
17. Müller, M.: Neue Werkzeuge zum Fräsen und Drehräumen optimieren die Fertigung. Werkst. u. Betr. 124 (1991) H. 7, S. 551-554
18. Fuchs, H.: NC-gesteuertes Drehfräsen von Werkstücken mit elliptischem Querschnitt. wt Werkstattstechnik 79 (1989) S. 368-370
19. Hofmann, D.: Mehrkant- und Unrundprofile numerisch gesteuert drehen. Werkst. u. Betr. 124 (1991) H. 6, S. 505-507
20. N. N.: Unrunddrehen mit dem CNC-Formdrehzentrum FDZ 100. VDI-Z 133 (1991) H. 6, S. 104-110
21. N. N.: Harter Schneidstoff spannt harten Stahl. VDI-Nachr. (1990) H. 37, S. 35
22. Weule, H.; Timmermann, S.: Automatisierte Feinbearbeitung von Hohlformwerkzeugen. wt Werkstattstechnik 80 (1990), S. 459-555