Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 81 (2009)

Artikel: Technologien für die Metallbearbeitung im Werkzeug- und Formenbau : Potential und Grenzen

Autor: Löttgen, Ralf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-378460

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

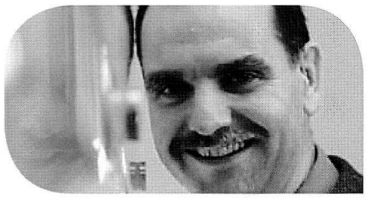
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch



Technologien für die Metallbearbeitung im Werkzeug- und Formenbau – Potential und Grenzen

Ralf Löttgen, Leiter Business Unit Schaffhausen Mikron AgieCharmilles AG, Schaffhausen (CH)

Geboren 1964 in Waldbröl (D). Ausbildung zum Werkzeugmacher, anschliessend Maschinenbaustudium mit Spezialisierung auf Produktionstechnologie an der RWTH Aachen (D), Diplom 1993. Project Manager and Applications Manager (R&D) bei AGIE Ltd. in Losone (CH). In der gleichen Funktion anschliessend bei Bostomatic Corporation, Milford, MA (USA); Head of HSM Competence Centre and Test Mikron AG Nidau, Nidau, CH; Head New Applications, Systems & Automation AgieCharmilles Management AG, Genf, CH, heute Leiter Business Unit Schaffhausen Mikron AgieCharmilles AG, Schaffhausen (CH).

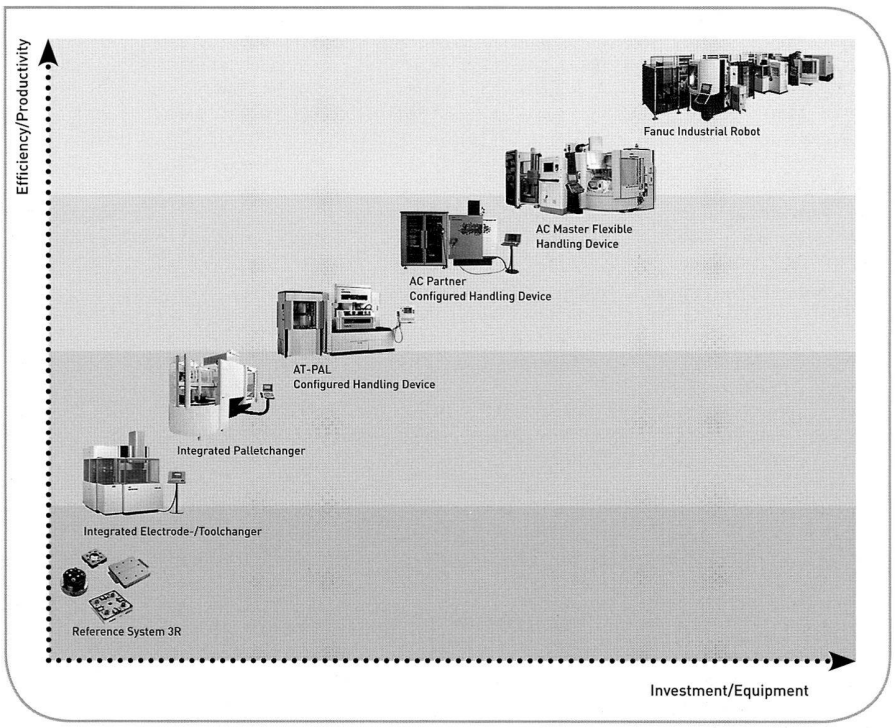


Bild 1: Angemessene Automatisierung von Fertigungsmitteln. (Foto: GF AgieCharmilles)

In den vergangenen zehn Jahren hat sich im Bereich Werkzeug- und Formenbau ein drastischer Wandel vollzogen. In kaum einem anderen Bereich sind die Spuren der Globalisierung besser zu erkennen als in diesem Industriezweig. Zum einen wurden viele lohnintensive Arbeitsplätze nach Osteuropa und Asien verlagert, zum anderen hielten neue Technologien Einzug, welche die Unternehmen zu einer generellen Restrukturierung ihrer Produktionsprozesse sowie zu überlebensnotwendigen Investitionen zwangen. Bezogen auf den betrachteten Industriezweig sowie die dort relevanten Fertigungsverfahren Funkenerosion und Fräsen, sind die Innovationsfähigkeit einerseits sowie die Fähigkeit, die sich aus den Innovationen ergebenden Potentiale gezielt auszuschöpfen, für Hersteller und Anwender entsprechender Maschinen gleichermassen relevant.

In the past ten years the tool and die making industry has gone through drastic changes. The effects of globalization are more discernible here than in practically any other sector of industry. On the one hand, many labour-intensive jobs have been relocated to Eastern Europe and Asia, while on the other hand new technologies have taken a foothold, forcing companies to restructure their production processes and to make the necessary investments for survival. Equally pertinent for manufacturers and users in this particular industry with production techniques such as spark erosion and milling is the capacity for innovation as well as the ability to tap the potential derived from such innovations.

Einleitung

GF AgieCharmilles befasst sich mit der Herstellung von Werkzeugmaschinen sowie deren Automation und Integration in Fertigungsabläufe. Als weitere wichtige Aktivitäten gelten die Herstellung und der Vertrieb von Komponenten, z.B. Frässpindeln, sowie von Zubehör, z.B. Palettisierungssyteme und Verschleissteile. Das Angebot an Werkzeugmaschinen konzentriert sich auf die Schwerpunkte Funkenerosion und Fräsen.

Im Bereich der Funkenerosion werden die traditionellen Verfahren der Senkbearbeitung (DEDM – Die Electro Discharge Machining) und des Drahtschneidens (WEDM – Wire Electro Discharge Machining) durch eine komplette Produktpalette abgedeckt. Die angebotenen Produkte im Bereich Fräsen sind auf die Bereiche HPC (High Performance Cutting) und HSC (High Speed Cutting) und für Fertigungsaufgaben in der

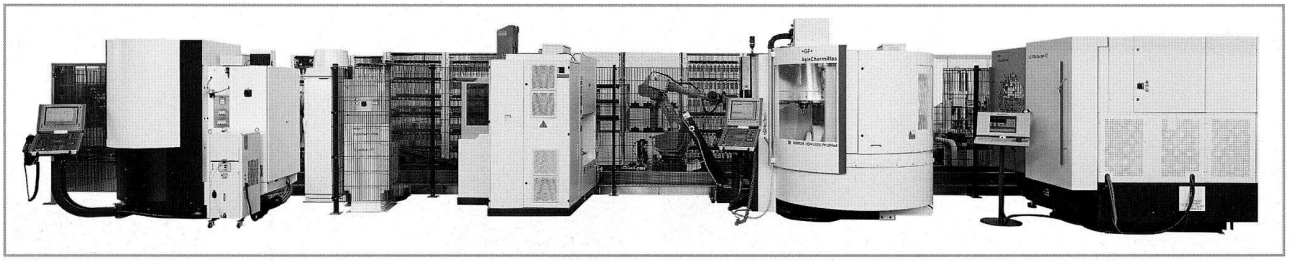


Bild 2: Automatisierte flexible Fertigungszelle. (Foto: GF AgieCharmilles)

Einzelteilfertigung sowie bei kleinen bis mittleren Serien fokussiert. Dabei reicht das Produktspektrum jeweils von der preiswerten Maschine für Einsteiger bis zur komplexen und hochgenauen High-End-Maschine.

Den Begriff Systemanbieter definiert GF AgieCharmilles basierend auf den Kernprozessen. Die bestmögliche Beherrschung der Kernprozesse wird als grundlegende Fähigkeit für eine Integration der Einzelprozesse zu einem mehr oder weniger komplexen System betrachtet. Ziel von GF AgieCharmilles ist es somit, in den einzelnen Bereichen ein Maximum an Kompetenz aufzubauen. Dazu gehört neben den einzelnen Fertigungsverfahren, der Automation, den Komponenten, dem Zubehör und der Palettisierung auch die Software, welche die Einzelprozesse zu einem funktionierenden und effizienten Fertigungsprozess verbindet.

Grundlagen

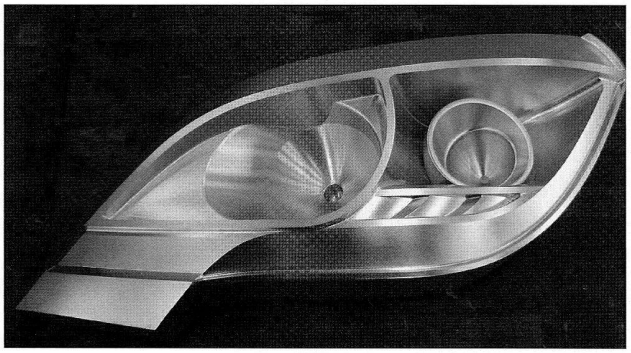
Zu den heutigen Schlüsseltechnologien des klassischen Werkzeug- und Formenbaus gehören die Funkenerosion (EDM) sowie das Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC). Während das Verfahren der funkenerosiven Bearbeitung thermisch abtragend wirkt, gehört das Hochgeschwindigkeitsfräsen zu den mit geometrisch bestimmter Schneide zerspanenden Verfahren. Bereits aus diesem einfachen und wohl kaum beeindruckenden Vergleich ergeben sich Eigenschaften, welche die grundsätzliche Eignung des Verfahrens für bestimmte Anwendungen festlegen.

Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC)

Mit dem Begriff Hochgeschwindigkeitsfräsen bezeichnet man typischerweise eine Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide, welche die maximal mögliche Schnittgeschwindigkeit moderner Werkzeugmaterialien und Beschichtungen in den verschiedenen Werkstückmaterialien ermöglicht. Bezogen auf den Werkzeug- und Formenbau, liegen die Schwerpunkte in der Bearbeitung von leicht zerspanbaren Werkstoffen für die Modell- und Elektrodenfertigung sowie die Bearbeitung vergüteter und gehärteter Werkzeugstähle. Die Realisierung der erforderlichen Schnittgeschwindigkeiten und korrespondierender Vorschubgeschwindigkeiten erfordert einen hohen Entwicklungs- und Materialaufwand für die entsprechenden Maschinen. Dieser zeigt sich insbesondere in der mechanischen und elektrischen Konstruktion. Diesbezügliche ständige Innovation und Weiterentwicklung sind dabei der Schlüssel zum Erfolg.

Als Werkzeuge kommen moderne Feinstkornhartmetalle mit auf das Werkstückmaterial abgestimmten Beschichtungen zum Einsatz. Typische Werkzeugdurchmesser im Werkzeug- und Formenbau reichen von D = 0,2 mm bis zu D = 16 mm, wobei ein maximales Verhältnis von Schneidenlänge zu Durchmesser von L/D = 10 bis L/D = 15 möglich ist. Ausnahmen bestätigen auch hier die Regel.

Die Technologie des Hochgeschwindigkeitsfräsens ist erst durch die rasante Entwicklung der Schneidstofftechnologie und genaue Erkenntnisse des Wirkprozesses zwischen Werkzeug und Werkstück möglich geworden. Ein wesentliches Kriterium ist hierbei die Verteilung und Abfuhr der durch den Schneidprozess entstehenden Wärme. Insbesondere bei der Bearbeitung gehärteter Werkzeugstähle ist der Bearbeitungsprozess so zu parametrisieren, dass im Schneidenbereich Temperaturen nahe oder oberhalb der Schmelztemperatur des Werkstückwerkstoffes entstehen. Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, kommt es zu einem wirtschaftlichen und funktionierenden Bearbeitungsprozess durch Hochgeschwindigkeitsfräsen. Die hohe Schnittgeschwindigkeit bewirkt in Verbindung mit einer kleinen Spantiefe die gezielte Abfuhr der beim Schnittprozess entstehenden Wärme mit dem Span und reduziert weitestgehend den grossflächigen Wärmeübergang in die Werkzeugschneide. Den im Mikrobereich entstehenden hohen Temperaturen insbesondere an der Schneidkante kann durch geeignete Beschichtungen entgegengewirkt werden bzw. der Werkstoff kann diese Temperaturen ertragen, solange er nicht mit stark kühlenden Medien in Kontakt kommt. In der Regel wird u.a. deshalb bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung auf wasserbasierte Kühlschmierstoffe verzichtet, und es kommt eine auch aus ökologischer Sicht sinnvollere Minimalmengenschmierung mit fein zerstäubten synthetischen Ölen zum Einsatz.



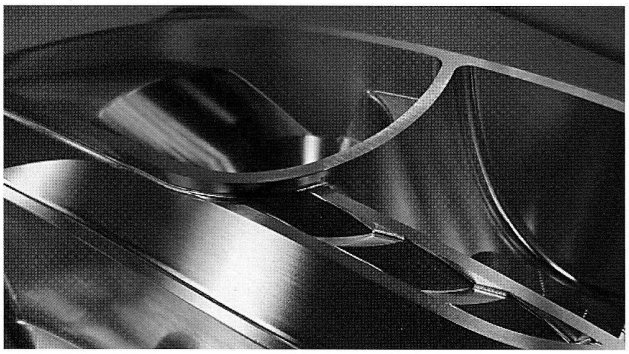


Bild 3a und 3b: Fünfachsige Bearbeitung zur Erzeugung von komplexen Kavitäten. (Foto: GF AgieCharmilles)

Funkenerosion (EDM)

Beim funkenerosiven Verfahren werden zwei mit elektrischer Spannung beaufschlagte Elektroden in einer elektrisch isolierenden Flüssigkeit (Dielektrikum) einander so lange angenähert, bis es an den Feldspitzen zum Ladungsüberschlag kommt und sich in der Folge zwischen den Elektroden ein Plasmakanal bildet. Die jeweils auf den Elektrodenoberflächen mit hoher Geschwindigkeit auftreffenden Ladungsträger setzen ihre kinetische Energie in Wärme um, wodurch es an den Kontaktflächen zwischen Plasmakanal und Elektroden zu einem lokalen Schmelzen des Elektrodenmaterials kommt. Bereits durch das Auftreffen der Ladungsträger wird ein Teil des geschmolzenen Elektrodenmaterials verdampft oder aus dem entstehenden Krater herausgeschleudert. Wird in der Folge die Spannungsversorgung unterbrochen, bricht der Plasmakanal mit hoher Geschwindigkeit zusammen. Der entstehende Unterdruck erhöht die Effizienz des Prozesses, indem durch Über-/Unterdruckeffekte zusätzliches geschmolzenes Elektrodenmaterial aus dem Krater abgetragen wird. Durch sequenzielles Wiederholen dieses Vorganges können nennenswerte Materialvolumina von weitgehend allen elektrisch leitfähigen Elektrodenwerkstoffen abgetragen werden. Durch gezieltes Einstellen optimaler Randbedingungen, d.h. Parametrisierung der elektrischen Entladung, intelligentes Ausspülen der abgetragenen Partikel und die Auswahl besonders geeigneter Werkstoffe für die Werkzeugelektrode kann die Effizienz und Sicherheit des funkenerosiven Prozesses wesentlich beeinflusst werden. Der Entwicklungsaufwand für entsprechende Werkzeugmaschinen liegt deshalb in erster Linie in der Bereitstellung geeigneter technologischer Parameter für den Endanwender sowie in der Implementierung moderner und schneller Elektronik.

Unterschieden werden die Verfahren des funkenerosiven Senkens und des funkenerosiven Schneidens. Im ersten Fall wird eine der gewünschten Endgeometrie der typischerweise dreidimensionalen Kavität entsprechende Elektrode in das Werkstückmaterial eingesenkt, im zweiten Fall wird mit einer ablaufenden Drahtelektrode eine maximal zweidimensionale Geometrie aus einem Werkstück ausgeschnitten.

Als Werkstoffe für die zum funkenerosiven Senken erforderliche Werkzeugelektrode kommen im Normalfall Reinkupfer oder Spezialgraphite, in Sonderfällen Wolframkupfer zum Einsatz. Die Elektroden müssen in einem vorbereitenden Bearbeitungsschritt typischerweise aus als CAD-Modell vorliegenden Geometriedaten erzeugt werden. Aufgrund der Materialeigenschaften, d.h. der einfachen Zerspanbarkeit von Kupfer und Graphit, ist dazu der Prozess des Hochgeschwindigkeitsfräsens aufgrund seiner Flexibilität und Geschwindigkeit prädestiniert und seit seinen Anfängen etabliert.

Grundsätzlich können durch den Prozess der Funkenerosion fast alle elektrisch leitfähigen Materialien bearbeitet werden. Aufgrund des zugrunde liegenden Funktionsprinzips ist der funkenerosive Prozess unabhängig von jeglicher Materialhärte und weitgehend unabhängig von der Materialzusammensetzung des Werkstückes. In Kombination mit vernachlässigbaren Bearbeitungskräften ergeben sich daraus die besonderen Eigenschaften, welche den Prozess in der Vergangenheit für den Werkzeug- und Formenbau prädestinierten und die bis zum heutigen Zeitpunkt durch kein alternatives Verfahren vollständig substituiert werden können.

Verfahrensvergleich

Die eigentlich miteinander konkurrierenden Verfahren im Werkzeug- und Formenbau sind die funkenerosive Senkbearbeitung und das Hochgeschwindigkeitsfräsen (Tabelle 1). Beide Verfahren dienen in erster Linie zur Erzeugung komplexer dreidimensionaler Kavitäten und Formkerne für Spritz- oder Druckgussformen sowie zur Herstellung von Schmiedestempeln und -gesenken, Presswerkzeugen, Prägestempeln, Sinterpressmatrizen, Blasformen usw.

Die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung hat sich weiterhin insbesondere in der Herstellung von Graphit- und Kupferelektroden etabliert und ist unter diesem Gesichtspunkt auch

Tabelle 1: Verfahrensvergleich DEDM / HSC (Tabelle: R. Löttgen, 2003)

	DEDM	HSC (3-achsig)	HSC (5-achsig)
Prozess	indirekt	direkt	direkt
Erzielbare Genauigkeit (Formtoleranz)	5 ... 10 mm	5 ... 10 mm	10 ... 20 mm
Erzielbarer Materialabtrag	900 mm³/min	2500 ... 3500 mm³/min	2500 ... 3500 mm³/min
	abhängig von der Grösse der Fläche, Bearbeitungszeit ↗↗	150 mm²/min bei Ra = 0,2 µm	150 mm²/min bei Ra = 0,2 µm
Erzielbare Oberflächenrauheit	Ra < 0,1 µm	Ra = 0,1 µm	Ra = 0,1 µm
Maximal bearbeitbare Oberfläche	Abhängig von Rauheit, Bearbeitungszeit ↗↗	unbegrenzt	unbegrenzt
Maximal bearbeitbare Materialhärte (Stahl)	unbegrenzt	≤ 60 HRc prozesssicher	≤ 60 HRc prozesssicher
		60 – 65 HRc Standzeit↘↘	60 – 65 HRc Standzeit↘↘
Maximal bearbeitbare Zähigkeit des Materials	unbegrenzt	in Verbindung mit hoher Härte problematisch	in Verbindung mit hoher Härte problematisch
Maximales Aspektverhältnis für Nuten	≈ unbegrenzt	≤ 7 prozesssicher 7–10 möglich > 10 fallabhängig	≤ 7 prozesssicher 7–10 möglich > 10 fallabhängig
Minimaler Radius für Innenkanten	Funkenspalt	Fräserradius (z.B. 0,1 mm) Begrenzung durch Aspektverhältnis	Fräserradius (z.B. 0,1 mm) Begrenzung durch Aspektverhältnis

komplementäres Verfahren zur funkenerosiven Senkbearbeitung.

Man kann davon ausgehen, dass beide Verfahren bezüglich der erzielbaren Bauteilgenauigkeit weitgehend gleichwertig sind. Eine Besonderheit stellt das fünfachsige Hochgeschwindigkeitsfräsen dar, welches in dieser Hinsicht und je nach Art der Anwendung besondere Aufmerksamkeit erfordert. Diese Einschränkungen gelten allerdings in gleichem Masse auch für Senkerodiermaschinen mit mehr als drei Achsen.

Die Betriebskosten von Maschinen zur funkenerosiven Senkbearbeitung sind weitgehend identisch mit denen von Hochgeschwindigkeitsfräsmaschinen, vorausgesetzt, es werden Maschinen der gleichen Kategorie miteinander verglichen. Ein wichtiger Faktor bei diesem Vergleich ist die Betrachtung der Kosten für Werkzeuge (Fräswerkzeuge, Elektrodenherstellung), Hilfsstoffe (Dielektrikum, Öl für Minimalmengenschmierung), Ersatz- und Austauschteile (Spindeln), Entsorgung (Dielektrikum, Späne, Erodierschlamm usw.).

Auch unter dem Aspekt der erreichbaren Oberflächengüte erscheinen beide Verfahren im ersten Moment gleichwertig. In der Praxis gelten aber für die funkenerosive Senkbearbeitung gravierende Einschränkungen. Die erzielbare Oberflächengüte ist abhängig von der aktiven Fläche der Elektrode, d.h. wenn diese wächst, nimmt die erreichbare Oberflächenqualität ab. Gleichzeitig steigt die erforderliche Bearbeitungszeit zur Erzeugung einer definierten Oberflächenqualität mit wachsender aktiver Elektrodenfläche überproportional an. Im Vergleich dazu ist die Grösse einer zu bearbeitenden Oberfläche ohne Einschränkung der Oberflächenqualität beim Verfahren des Hochgeschwindigkeitsfräsens praktisch unbegrenzt. Ein limitierender Faktor kann in speziellen Anwendungsfällen lediglich durch die Lebensdauer des Fräswerkzeuges auftreten.

Dieser Nachteil der funkenerosiven Senkbearbeitung wird nur dann kompensiert, wenn die verfahrensspezifische Oberflächenstruktur der Kavität, bzw. des Formkerns, z.B. zur Strukturierung von Sichtteilen aus Kunststoff ausdrücklich erwünscht ist. Ist sie unerwünscht, z.B. bei Kunststoffteilen mit glatter oder glänzender Oberfläche sowie bei nahezu allen anderen Anwendungen (z.B. Schmiedegesenke und -stempel, Druckgusswerkzeuge usw.), ist das Verfahren des Hochgeschwindigkeitsfräsens unter dem Aspekt Oberflächengüte das mit Abstand schnellere Bearbeitungsverfahren.

In Bezug auf den erzielbaren Materialabtrag pro Zeiteinheit beim Schruppen, bzw. die realisierbare Fläche pro Zeiteinheit beim Schlichten auf eine definierte Oberflächenqualität, zeigt das Hochgeschwindigkeitsfräsen ebenfalls eindeutige Geschwindigkeitsvorteile. Diese lassen sich auch in der Praxis in nahezu allen Fällen eindeutig und in beeindruckender Weise belegen.

Einer der unbestreitbaren Vorteile der funkenerosiven Senkbearbeitung gegenüber dem Hochgeschwindigkeitsfräsen liegt eindeutig in der völligen Unabhängigkeit des Ver-

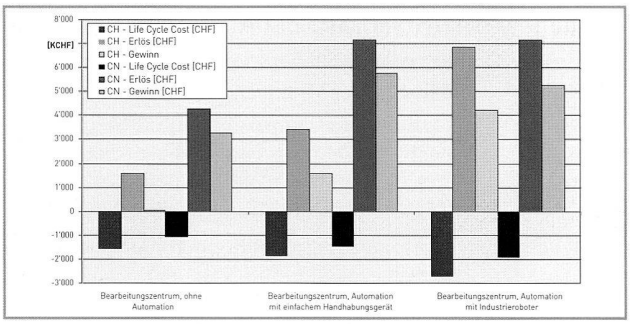
fahrens von der Härte und der Zähigkeit des zu bearbeitenden Materials. Realistisch betrachtet funktioniert das Verfahren des Hochgeschwindigkeitsfräsens weitgehend problemlos bis zu einer Materialhärte von ca. 58–60 HRc. Übersteigt die Härte des zu bearbeitenden Materials diesen Wert, muss von einem starken Anstieg des Werkzeugverschleisses ausgegangen werden. Für kleinere Bauteile oder Bauteile, die lediglich über eine harte Oberflächenschicht (z.B. Nachsetzen von Schmiedegesenken) verfügen, kann eine Bearbeitung bei dieser Härte durchaus noch wirtschaftlich sein. Bei ca. 62–63 HRc ist heute die Grenze für eine erfolgreiche Bearbeitung mittels Hochgeschwindigkeitsfräsen erreicht.

Im Fall des Hochgeschwindigkeitsfräsens muss in Verbindung mit der Härte des zu bearbeitenden Materials unbedingt auch die Zähigkeit betrachtet werden. Beide Merkmale werden durch spezielle Geometrien der empfohlenen Fräswerkzeuge adressiert. Treten beide Merkmale getrennt voneinander auf, kann somit durch korrekte Auswahl des Fräswerkzeuges eine optimale Lösung gefunden werden. Problematisch ist die Bearbeitung von Werkstoffen, die bei hoher Härte gleichzeitig eine hohe Zähigkeit aufweisen. Hier müssen Kompromisse bei der Werkzeugauswahl gemacht werden, die ein gewisses Know-how auf der Anwenderseite voraussetzen. Im Extremfall ist das Material durch Hochgeschwindigkeitsfräsen nicht zu bearbeiten.

Eine weitere Einschränkung für das Hochgeschwindigkeitsfräsen gegenüber der funkenerosiven Senkbearbeitung besteht im realisierbaren Verhältnis von Tiefe zu Breite einer Kavität. Ähnlich ist die Situation in Bezug auf das Verhältnis der Tiefe einer Kavität im Punkt des Radius ihrer Innenkanten. Die Problematik wächst mit kleiner werdendem Radius und verschlechterter Zugänglichkeit.

Grundsätzlich erfordern beide Merkmale Fräswerkzeuge mit einem grossen Aspektverhältnis (Verhältnis von Länge zu Durchmesser). Dabei ist die Komplexität dieses Fertigungsproblems von vielen Faktoren abhängig; dazu zählen die Härte und Zähigkeit des Materials, die Bearbeitungssituation (Späneabfuhr, Schmiermittelzufuhr), die Qualität des Fräswerkzeuges, die Qualität der Werkzeugspannung (Rundlauf), die Bearbeitungsstrategie usw.

Obwohl die Hersteller von Fräswerkzeugen heute eine ständig wachsende Auswahl hervorragender Werkzeuge für derartige Fertigungsprobleme anbieten, bleibt ihre Anwendung dennoch problematisch. Aus der Erfahrung lassen sich pauschal und ohne besondere Berücksichtigung der oben genannten Faktoren folgende Grenzwerte für das maximale Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser eines Werkzeuges angeben: Bis zu einem Verhältnis von L/Ø = 10 verläuft der Fräsprozess in der Regel prozesssicher. Bearbeitungen bei einem Verhältnis von L/Ø = 10...15 sind ohne weiteres möglich, erfordern aber erhöhte Aufmerksamkeit auf der Anwenderseite. Ab einem Verhältnis von L/Ø = 15 ist spezielles



Grafik 1: Vergleich der Betriebskosten von Fertigungsmitteln Schweiz–China. (Grafik: GF AgieCharmilles)

Know-how erforderlich, um das Fertigungsproblem wenn überhaupt erfolgreich zu lösen.

Verfügt die Kavität über ausreichend Anzug, sind schlanke konische Werkzeughalter, konische Fräswerkzeuge oder Fräswerkzeuge mit einem zylindrischen Schneidteil und einem konischen Schaft eine ausgezeichnete Lösung. Im Fall guter Zugänglichkeit zu den Radien einer Kavität bedeutet der Einsatz fünfachsiger Maschinen zum Anstellen des Werkstückes eine praktikable Alternative.

Im Extremfall bleibt aber lediglich der Einsatz der funkenerosiven Senkbearbeitung zur Lösung eines derartigen Fertigungsproblems. Alternativ dazu kann eine Kombination beider Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen, wobei mittels funkenerosiver Senkbearbeitung diejenigen Partien nachbearbeitet werden, die durch Hochgeschwindigkeitsfräsen nicht realisierbar waren.

Potentiale zur Reduktion und/oder Rechtfertigung von Betriebskosten

Bereits seit mehreren Jahren spürt der Werkzeug- und Formenbau zunehmenden Druck auf die Kosten zur Herstellung von Werkzeugen und Formen. Dies insbesondere, weil Verfügbarkeit und Qualität von Werkzeugen aus Ländern mit dramatisch niedrigeren Fertigungskosten sich eindeutig verbessert haben. Da exzellente Maschinentechnologie und gute Fachkräfte heute weltweit zur Verfügung stehen, reichen sie alleine nicht mehr als Differenzierungsmerkmal aus. Erfolgreiche Betriebe des Werkzeug- und Formenbaus in Hochlohnländern haben deshalb erfolgreich ihre exzellente Kompetenz noch weiter ausgebaut, neue kundenorientierte Geschäftsmodelle entwickelt und die Betriebskosten der Fertigungsmittel ausreichend unter Kontrolle gebracht, um ihrer Kundschaft interessante und in der Gesamtbetrachtung wettbewerbsfähige Angebote machen zu können.

Bei optimierter Auslastung der vorgängig beschriebenen modernen Fertigungsmittel sowie optimaler Kombination und Abstimmung der Fertigungsprozesse sind signifikante Kosten-

einsparungen oder besonders leistungsfähige Lösungen möglich. Im Hinblick auf die Betriebskosten eines Fertigungsmittels ist offensichtlich jeder Vergleich, bei dem die Personalkosten einen relevanten Anteil an den Gesamtbetriebskosten ausmachen, aus Sicht des europäischen oder nordamerikanischen Werkzeug- und Formenbauers zum Scheitern verurteilt. Dies insbesondere auch, weil niedrige Personalkosten zusätzlich die Auslastung der Fertigungsmittel positiv beeinflussen, d.h. durch Schichtarbeit eine sehr hohe Auslastung der Maschine bei extrem niedrigen Stundensätzen erreicht wird. Vergleichbare Konditionen lassen sich in Hochlohnländern nur durch vollständig beherrschte Fertigungsprozesse in Verbindung mit einer geeigneten Automation der Fertigungsmittel erreichen (Bild 1, Grafik 1). Zwar stellt die Grafik eine starke Verallgemeinerung der Situation dar, zeigt aber eindrücklich, dass Investitionen in nicht automatisierte Fertigungsmittel bei hohen Betriebskosten sich kaum amortisieren können. Die Grafik zeigt aber ebenso, dass geeignete automatisierte Fertigungsmittel in Europa und Nordamerika durchaus auch mit dem Wettbewerb aus Niedriglohnländern wettbewerbsfähig sind!

Um das zu erreichen, muss zweifellos die Infrastruktur im Unternehmen an die neue Situation anpasst und darauf ausgerichtet sein, teure Fertigungsmittel in Betrieb zu halten. Selbst komplexe Prozesse können heute automatisch und ohne direkte Überwachung durch einen Bediener ablaufen (Bild 2). Das Berufsbild und die Kompetenzen des Facharbeiters müssen sich auf diese Situation einstellen. Dazu gehören logistische Voraussetzungen wie die Bereitstellung von Werkzeugen, NC-Programmen und palettisierten Werkstücken in ausreichender Menge und Qualität. Standardisierung der Prozesse und Eingangsmaterialien sind dabei oft eine Voraussetzung, zumindest aber eine deutliche Vereinfachung.

Kombination von Technologien und Einsatz neuer Verfahren

Weitere Ansätze zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Werkzeug- und Formenbaus in Hochlohnländern liegen in der Ausschöpfung zusätzlicher technologischer Potentiale der bekannten Bearbeitungsprozesse oder in der Anwendung neuer Fertigungstechnologien. Unter diesen Aspekten lassen sich beispielsweise die folgenden Ansätze definieren:

- Die optimierte Kombination von bekannten Technologien, z.B. Hochleistungsfräsen (HPC), Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC), funkenerosives Senken (DEDM),
- der gezielte Einsatz fünfachsiger Bearbeitungszentren für die Freiformflächenbearbeitung (Bild 3),
- die Anwendung des Lasers als Bearbeitungswerkzeug zur Strukturierung von dreidimensionalen Oberflächen.

Die fünfachsige Fräsbearbeitung zur Erzeugung von Freiformflächen ist im Bereich der Turbomaschinen seit Jahren Stand der Technik, im Werkzeug- und Formenbau jedoch nur vereinzelt anzutreffen. Die Gründe dafür sind offensichtlich: Obwohl mit dieser Technologie viele geometrisch bedingte Bearbeitungsprobleme gelöst oder technisch interessante besondere Geometriemerkmale erzeugt werden könnten, erfordert diese Technologie besondere infrastrukturelle Rahmenbedingungen und Kompetenzen. Ohne geeignete CAM-Systeme und gut ausgebildete, motivierte Mitarbeiter ist die Beherrschung fünfachsiger Bearbeitungszentren nicht möglich. Diesbezüglich haben CAM-Systeme aber gerade in den vergangenen Jahren enorme Fortschritte erzielt, welche in Kombination mit erfahrenen Facharbeitern die Technologie durchaus realistisch und auf breiterer Ebene auch für die Fertigung von Einzelteilen einsetzbar macht. Eine Neubewertung des Einsatzes fünfachsiger Bearbeitungszentren im Werkzeug- und Formenbau ist deshalb durchaus empfehlenswert.

Oberflächenstrukturen auf Spritzgiessteilen aus ästhetischen oder funktionalen Gründen erlangen zunehmend Wichtigkeit. Solche Strukturen lassen sich durch die bereits beschriebene Kombination der Bearbeitungsverfahren Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC) für die Erzeugung geeigneter Strukturen auf der Elektrode realisieren. Durch den Einsatz fünfachsiger Bearbeitungszentren für die Elektrodenfertigung in Kombination mit DEDM-Anlagen, die über geeignete Auslenkstrategien verfügen, lassen sich einzigartige Resultate in technisch anspruchsvollen Spritzgiessformen realisieren. Aus dem Einsatz der Lasertechnik könnten in Zukunft weitere interessante Möglichkeiten zur Strukturierung von Freiformflächen auf Elektroden oder direkt in der Formoberfläche resultieren. Entsprechende Anlagen für die Freiformflächenbearbeitung sind derzeit aber noch nicht industrialisiert und etabliert.

Fazit

Der Werkzeug- und Formenbau in Europa und Nordamerika ist allen Kritikern zum Trotz auch zum heutigen Zeitpunkt wettbewerbsfähig bzw. hat sich durch Ausschöpfung technologischer Potentiale und intelligenter Dienstleistungskonzepte eine Marktposition geschaffen. Durch geeigneten Ausbau von Kompetenzen, Automation der Fertigungsmittel und Offenheit gegenüber neuen Entwicklungen kann diese Position gestärkt werden. Unsere Aufgabe und Chance als Maschinenhersteller liegt in enger Partnerschaft zu unseren Kunden mit dem Ziel, deren Bedürfnisse zu erkennen oder vorauszusehen und dafür geeignete und wirtschaftlich zu betreibende Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Beide Industrien – Werkzeug- und Formenbau sowie Werkzeugmaschinenbau – werden letztendlich von denselben Bedürfnissen getrieben und müssen deshalb in Zukunft mehr denn je in Partnerschaft zu optimalen Lösungen gelangen.