



Bei innovativen Techniken wie HSC wird eine möglichst umfassende Detektion des Werkzeugzustandes angestrebt.

Bild: Auerbach/Hennecke

Automatische Werkzeugsteuerung erkennt Verschleiß und Bruch

Ganzheitliche Automatisierungslösungen beim Spanen sind ohne eine effiziente Funktionsüberwachung der Werkzeuge nicht realisierbar. Den Nachteilen konventioneller Kontrollsysteme wirken digitale automatische Werkzeugsteuerungen (AWS) entgegen, die sich an der Drehzahländerung orientieren. Sekundäre Störeffekte werden ignoriert, Schnittleistungswerte zusätzlich optimiert.

HORST NIKISCH



Die fortschreitende Automatisierung von Werkzeugmaschinen macht es in zunehmendem Maße erforderlich, Lösungen für die selbsttätige Überwachung der Werkzeuge in den Fertigungsprozess zu integrieren. Das gilt besonders im Bereich der spanenden Fertigung. Für die Überwachung hinsichtlich Schneidenbruch oder Total-

bruch sowie der zulässigen Belastung von Zerspanungswerkzeugen ist bereits eine Reihe von Produkten auf dem Markt verfügbar, die auch unter Einwirkung der vom Bearbeitungsvorgang verursachten Störungen erfolgreich angewendet werden [1].

Automatische Werkzeugsteuerungen (AWS) sind Systeme zur Verschleiß- und Bruchkontrolle, die sowohl für eine schnell wechselnde Kleinserien- und Einzelfertigung auf Bearbeitungszentren als auch für Großserien und in Taktstraßen verwendbar sind. Einer ihrer Vorteile besteht darin, dass keine komplizierten und langwierigen Einstellungen oder Programmierungen erforderlich sind. Diese Systeme sind vom ersten Anschnitt an in vollem Umfang aktiv, benötigen keine Lernschnitte oder Musterfertigungen und können deshalb bereits ab einer Losgröße von Eins wirtschaftlich sein.

Eine eingebaute adaptive Regelung verarbeitet aufgenommene Prozessdaten und optimiert dazu passend die Schnittleistung. Vorübergehende Prozessstörungen aufgrund von Spanunregelmäßigkeiten oder Inhomogenitäten des Werkstoffes werden auto-

matisch ausgegletet und schalten nicht sofort die Maschine ab. Im Gegensatz dazu werden echte Werkzeugschäden nicht ausgegletet. AWS bezeichnet praktisch das Überwachen der Bearbeitungsqualität im laufenden Schnitt.

Grenzwerte sind definiert relativ zu Nominalwerten

Wie jedes Überwachungssystem arbeitet auch AWS mit sogenannten Grenzwerten, deren Überschreitung bestimmte Reaktionen auslöst. Das Wesentliche ist jedoch, dass die Grenzwerte nicht in absoluten Werten definiert werden, zum Beispiel in x kN für die Bearbeitungskraft, sondern relativ zu Nominalwerten, also Δx . Daraus ergibt sich, dass es unwesentlich ist, auf welchem Niveau ein Bearbeitungsprozess vonstatten geht und dass es lediglich auf die Abweichung vom aktuellen Status ankommt. Man benötigt deshalb kein Arbeitsmuster, mit dem man die aktuellen Bedingungen vergleichen müsste, also auch keine Lernschnitte.

Um eine geeignete Größe zur Überwachung eines Zerspanprozesses zu gewinnen, greift man auf dessen

Dipl.-Ing. Horst Nikisch ist Inhaber der Nikisch Systemtechnik in 28865 Lilienthal. Tel. (0 42 98) 20 44, Fax (0 42 98) 20 80.

Grundlagen zurück, die durch die Antriebsgleichung Leistung ist gleich Drehmoment mal Drehzahl gegeben sind. Nach dieser Gleichung bewirkt eine Erhöhung des Schnittkraftbedarfs an der Werkzeugschneide unmittelbar eine Erhöhung des Drehmomentes, die ihrerseits zu einer entsprechenden Abnahme der Drehzahl führt, damit die Antriebsgleichung wieder erfüllt ist. Erst aufgrund der Drehzahländerung reagiert der Drehzahlregler und „schiebt“ die erforderliche Leistung „nach“, damit die Soll-drehzahl wiederhergestellt werden kann.

Beim AWS-Verfahren werden deshalb nicht absolute Werte von Kräften, Drehmomenten oder Leistungen gemessen, sondern deren sofortige Auswirkungen beobachtet. Das Δx des AWS-Verfahrens ist also das Δn der Drehzahländerung.

Diese Technik hat bedeutende Vorteile. Der wichtigste besteht darin, dass die Drehzahl entgegen anderen Prozessgrößen digital erfasst werden kann. Alle anderen Größen sind nur mit Analogsensoren und relativ großem technischen Aufwand für die Ausfilterung von Nutz- und Störsignalen mit entsprechendem Verlust an Genauigkeit ermittelbar.

Digitaltechnik ist sehr schnell und kann ohne nennenswert höheren Aufwand mit praktisch beliebiger Genauigkeit realisiert werden. Das ist wichtig, wenn geringste Störeinflüsse für einen Bearbeitungsprozess von Bedeutung sind, beispielsweise bei der HSC-Endbearbeitung.

Nur die Drehzahländerung wird als Parameter benötigt

Wenn man erkannt hat, dass sich die Summe aller Prozesseinflüsse in einer Drehzahländerung wiederfindet, ist es zur Analyse dieser Einflüsse ausreichend, die Ist-Drehzahl an der Werkzeugspindel zu erfassen. Die Drehzahländerung ist somit der einzige Prozessparameter, der für alle Steuer-, Regel- und Überwachungsvorgänge des AWS-Systems erforderlich ist. Den Zugang zur Ist-Drehzahl erhält man auf verschiedene Art, abhängig von Maschinen- und NC-Konfiguration, zum Beispiel über den Drehgeber oder direkt vom Bus. Weitere Komponenten sind nicht erforderlich.

Lediglich für die Kommunikation zwischen AWS und Maschine sind NC-Betriebssignale auszutauschen, die von der Steuerung ohnehin geliefert werden und keine zusätzlichen Anforderungen darstellen. Bild 1 gibt dazu

einen Überblick. Benötigt werden demnach:

- ▶ die Werkzeugnummer, die auch für den Werkzeugwechsler erforderlich ist,
- ▶ ein Spindel-signal, das die Vorschubfreigabe bewirkt,
- ▶ eine Vorschubbeeinflussung, die mit dem „Override“ gegeben ist und
- ▶ „Feed Hold“ – als Sondersignal vorhanden oder mit Override verknüpft.

Mit diesen wenigen Maßnahmen kann jede Maschine ohne bauliche Veränderungen und ohne Eingriffe in die NC-Programme in kurzer Zeit mit diesem System nachgerüstet werden.

Die obere Leiste in Bild 1 benennt die Prozessgrößen, die während des Bearbeitungsvorgangs beobachtet werden und ihren spezifischen Einfluss auf die Spindeldrehzahl haben. Die Ausgangspfeile weisen auf die verschiedenen Reaktionen, die mit der Verarbeitung dieser Signale erzeugt werden. Auf diese Zusammenhänge wird im folgenden näher eingegangen. Zunächst soll der Begriff Lasttoleranz erläutert werden.

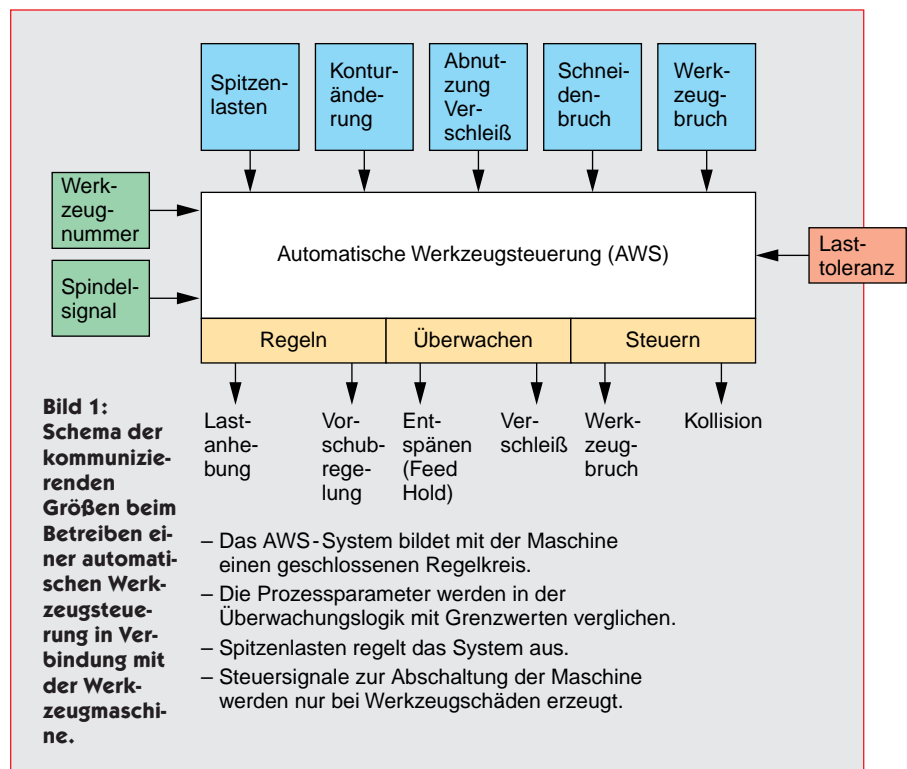
Es gibt keine Spindel, die in allen Drehzahlbereichen mit absoluter Genauigkeit läuft. Die Leerlauf-Charakteristik zeigt stets gewisse Schwankungen. Es handelt sich um eine Maschinenkonstante, in der alle Unregelmäßigkeiten der Antriebsstrecke von den Anschlussklemmen über Lagerung und Schmierung bis zur Werkzeugauf-

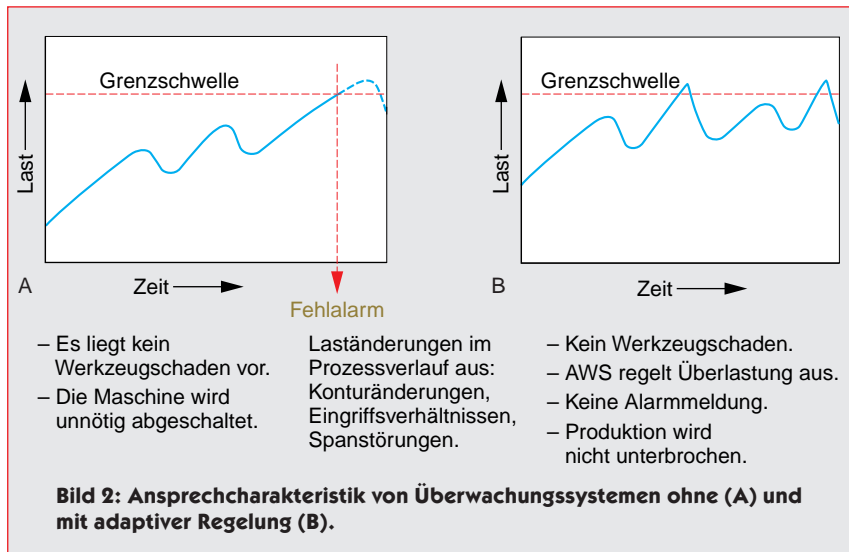
nahme enthalten sind. In der Praxis übersteigen die Schwankungen selten 1 % und liegen häufig im unteren Zehntel-%-Bereich. Die theoretische Untergrenze von AWS-Systemen liegt mit 0,015 % noch eine Größenordnung darunter.

Werkzeugmaschinengüte bestimmt die Empfindlichkeit

Es leuchtet ein, dass im Schwankungsbereich keine eindeutige Zuordnung zwischen Drehzahländerung und Laständerung bestehen kann. Somit bestimmt allein die Maschinengüte, mit welcher Empfindlichkeit die Prozessüberwachung betrieben werden kann. Außerhalb dieses Bereiches ist eine Drehzahländerung eine Laständerung, und demzufolge ist die Vorgabe einer Drehzahltoleranz gleichbedeutend mit der einer Lasttoleranz für die Ausführung der Bearbeitungsvorgänge. Diese Lasttoleranz wird dann ebenfalls in % angegeben, wobei die Höhe der eingestellten Drehzahl selbst keine Rolle spielt; es wird nur die Abweichung von einem gegebenen Nominalzustand kontrolliert.

Wie unterscheidet man aber zwischen normalen Lastanforderungen und Prozessstörungen? Dazu benötigt man eine ausgefeilte Logik, auf der auch die AWS-Überwachungsstrategie basiert.



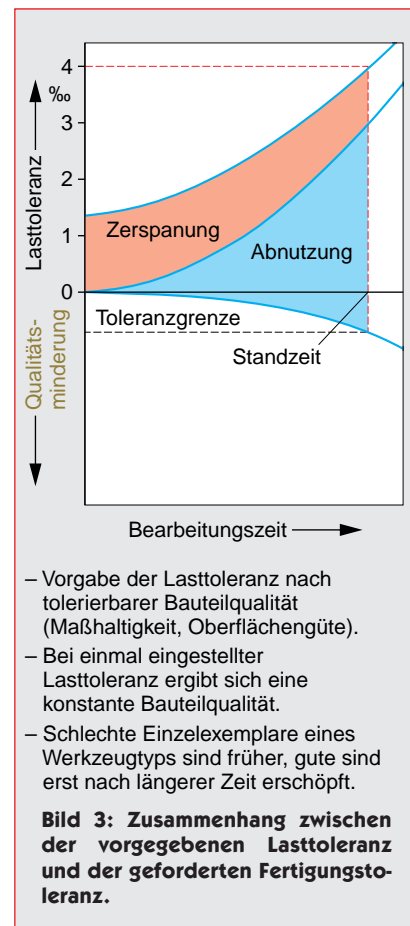


Folgender Zusammenhang gehört zu unserem Erfahrungsschatz: Bohren wir ein Loch und die Maschine verliert an Drehzahl (weil der Bohrer klemmt), dann verringern wir die Vorschubkraft, bis die Drehzahl wieder normal ist und setzen den Vorgang fort. Das Gleiche macht AWS. Noch bevor der Drehzahlregler die Abweichung erkannt und nachgeregelt hat, erkennt das System die Überschreitung der Lasttoleranz, reduziert den Vorschub auf ein vorgegebenes Maß und setzt ihn nach einer gewissen Haltezeit wieder auf Nominalvorschub zurück.

Höhersetzen des Grenzwertes wirkt dem Ziel entgegen

Bild 2 stellt diese Methode einer Werkzeugüberwachung ohne adaptive Regelung gegenüber. Dort wird das Überschreiten einer vorgegebenen Grenzschwelle als Werkzeugschaden interpretiert, bei dem zwangsläufig die Maschine abgeschaltet werden muss. Nun ist bekannt, dass eine höhere Lastanforderung viele Ursachen haben kann - nicht nur die eines irreparablen Werkzeugschadens. So können Spanunregelmäßigkeiten oder harte Materialstellen auftreten oder die Kontur und damit die Eingriffsverhältnisse des Fräasers ändern sich - das sind normale Umstände, die sich bei einer der nächsten Spindelumdrehungen von selbst aufheben und deshalb eine Produktionsunterbrechung nicht rechtfertigen. Dennoch ist dieses Verhalten von konventionellen Überwachungssystemen her bekannt und dann wird etwas praktiziert, das der Überwachungsfunktion entgegenwirkt: Man setzt die

Grenzschwelle höher und höher und das Überwachungssystem verliert seine Berechtigung schlechthin. Und so heißt es dann, eine produktionsgerechte Werkzeugüberwachung sei nicht möglich.



Das rechte Diagramm in Bild 2 verdeutlicht, wie AWS-Systeme diese Sachlage mit Hilfe von Diagnosen des Prozessgeschehens handhaben: Das Überschreiten der Grenzschwelle, also eine Drehzahlab senkung über den zugelassenen Betrag hinaus, führt wie beschrieben zu einer Reduktion des Vorschubs, und zwar mit dem Erfolg, dass sich die Belastungsdrehzahl infolge der verminderten Schnittleistung etwas „erholen“ kann.

War das Überschreiten nur von kurzer Dauer (Spanunregelmäßigkeit), so wird die Ursache während der Erholungsphase beseitigt sein und beim Rücksetzen des Vorschubs auf den Nominalwert nicht zu einer erneuten Überschreitung der Lasttoleranz führen. Der Prozess läuft somit ohne Fehlermeldung, also in diesem Falle auch ohne einen Fehlalarm auszulösen, ungestört weiter. Diese Vorgänge können sich beliebig oft bis zum Ende der Bearbeitungsstrecke wiederholen, wie in Bild 2 angedeutet ist.

Wenn die Vorschubreduktion auf der ersten Stufe nicht ausreicht und auch beim reduzierten Vorschub die Lasttoleranz überschritten wird, kann auf eine zweite Stufe heruntergeschaltet werden. Weitere Vorschubreduktionen vorzugeben wäre nicht sinnvoll. Bei anhaltenden Störungen setzt deshalb AWS das Signal „Feed Hold“, um ein Freischneiden des Werkzeugs zu ermöglichen. Wenn dann nach dem Wiederanschneiden die Lasttoleranz abermals überschritten wird, ist offensichtlich, dass es sich um einen irreparablen Schaden handelt. Erst jetzt wird ein Fehlersignal ausgegeben. Normalerweise wird mit diesem Signal gleichzeitig der Vorschub abgeschaltet, aber es sind auch andere Verknüpfungen denkbar.

Die Schäden an der Schnittfläche des Werkzeugs führen zu einem permanenten Überschreiten der Lasttoleranz, wenn der Schadeneinfluss größer als der Toleranzwert ist. Weil der Schaden die Bearbeitungsqualität mindert, besteht ein Zusammenhang zwischen der vorgegebenen Lasttoleranz und der geforderten Fertigungstoleranz.

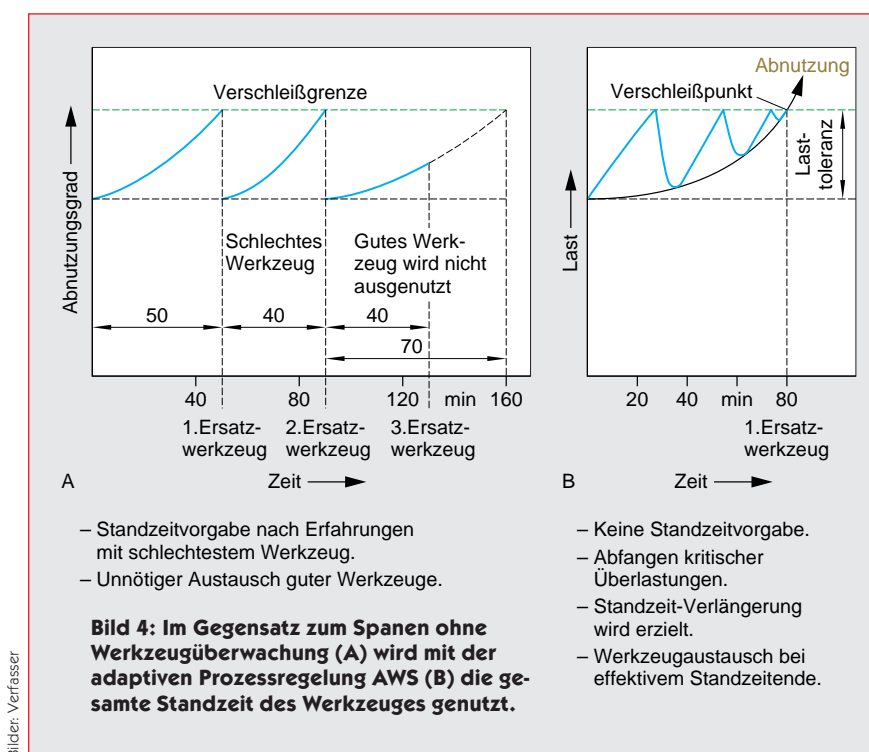
Bild 3 stellt diesen Zusammenhang dar, wobei Abnutzung als Sammelbegriff für alle Einflüsse an der Schnittfläche steht. Würde man dieses Diagramm auf einen Fräsvorgang anwenden, so könnte die Toleranzgrenze in der Maßhaltigkeit der Bearbeitungsfläche bestehen und man erkennt, dass bei höheren oder niedrigeren Anforderungen an diese nur die Lasttoleranz entsprechend verschoben werden muss.

Beim Erreichen der Fertigungstoleranz ist das Werkzeug unbrauchbar geworden – sei es wegen natürlicher Abnutzung oder wegen eines anderen Defekts. Mit der Festlegung der Lasttoleranz wird also gleichzeitig der zulässige Verschleiß des Werkzeugs definiert.

Zeitpunkt zum Wechsel wird vom System angezeigt

Eine Vorgabe der Standzeit ist damit überflüssig geworden. Es ist bekannt, dass Werkzeuge von unterschiedlicher Qualität sind und Standzeitvorgaben selten der Wirklichkeit entsprechen. AWS-Systeme sind in der Lage, dem Rechnung zu tragen und den richtigen Zeitpunkt zum Wechseln des Werkzeugs anzuzeigen. Was das für die Praxis bedeutet, zeigt Bild 4. Mit einem Sortiment gleicher Werkzeuge wurde ein Stahlblock unter gleichen Schnittbedingungen abgefräst. Das beste Werkzeug hatte eine Standzeit von etwa 70 min, wogegen das schlechteste nur 40 min hielt; der Mittelwert lag bei 50 min.

Man wiederholte dann die Versuche mit eingeschaltetem AWS-System, und es zeigte sich, dass die Standzeiten deutlich länger waren. Zwar ergaben sich auch hier Abweichungen aufgrund von Exemplarstreuungen, das gesamte Zeitniveau war jedoch nach oben verschoben. Das ist ein direkter Einfluss der adaptiven Regelung, mit der Lastspitzen abgefangen werden. Das Risiko des vorzeitigen Verschleißes sinkt. Entscheidend ist außer diesem Nebeneffekt, dass mit der vorgegebenen Last-



Bilder: Verfasser

toleranz der Verschleißzeitpunkt jedes Werkzeugs ermittelt werden kann und ein unnötiger Austausch nicht verschlissener Werkzeuge wegfällt. Zusammengefasst bedeutet das: weniger Werkzeugwechsel je Schicht als üblich, weniger Ersatzwerkzeuge und weniger Produktionsstillstand bei automatischer Einhaltung des Qualitäts-

standards. Ausschussproduktion und Nacharbeit lassen sich vermeiden. Mit weiteren Wirtschaftlichkeitseffekten befasst sich Teil II dieser Ausführungen, der in MM 8 erscheinen wird.

Literatur
 [1] Möglichkeiten der Standzeitüberwachung an CNC-Werkzeugmaschinen. Maschinenmarkt 104 (1998) 44, S. 30-34.