

Die richtige Strategie für die Werkzeugüberwachung

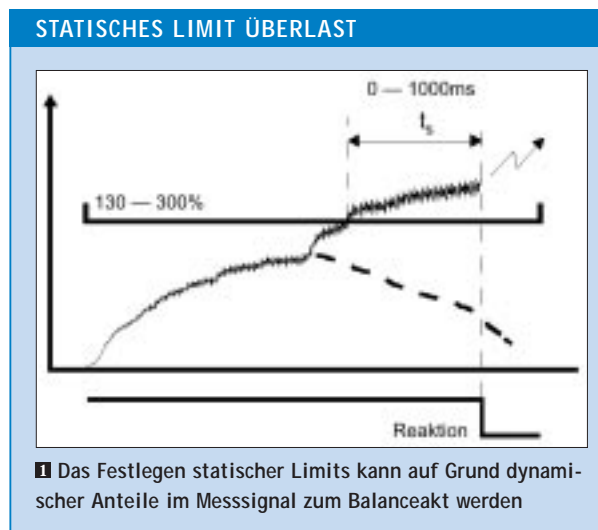
Eine Mehrmaschinenbedienung oder gar eine bedienerlose Schicht bedarf einer adäquaten Prozessüberwachung, sonst übersteigt der Schaden schnell den Nutzen. Die richtige Überwachungsstrategie ist dann gefunden, wenn Messwerterfassung, Schaltschwellen und Reaktionszeit genau auf den Prozess abgestimmt sind.

WERNER KLUFT

Wer die Fertigungssicherheit mit einem Werkzeug- und Prozessüberwachungssystem erhöhen will, muss den Sensor, dessen Positionierung sowie die Überwachungsstrategie sorgfältig auswählen. Typ und Positionierung des Sensors lassen sich im Wesentlichen aus der Art der Bearbeitung sowie den räumlichen und maschinentechnischen Rahmenbedingungen ableiten. Die Auswahl der richtigen Strategie setzt voraus, dass man sich über das zu beobachtende Ereignis im Klaren ist: Kollision zwischen Werkzeug und Maschine, Überlast, Verschleiß oder Bruch des Werkzeugs oder lediglich der Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück. Diese Ereignisse besitzen eine unterschiedliche Priorität, die sich aus dem Gefahrenpotenzial für Mensch, Maschine und Werkstück sowie auch aus wirtschaftlichen Aspekten ableiten lässt. Unter der Strategie eines Werkzeugüberwachungssystems versteht man das Zusammenspiel aus Messgröße (Kraft, Dehnung, Leistung, Drehmoment oder Schall), Messort (werkzeug- oder werkstückseitig, Maschinenbauteil, Achse), Messsignalaufbereitung (Verrechnung, Filterung und Arbeitswertermittlung), Schwellwertbildung (statische Muster oder dynamische Schwellen), Reaktion (Maschinenstopp, Vorschubreduzierung oder Zyklusende) und Reaktionszeit t_r .

Jede der oben genannten Gefahrensi-

tuationen spiegelt sich in unterschiedlicher Weise in der Messkurve wieder, die das so genannte Monitormodul des Über-



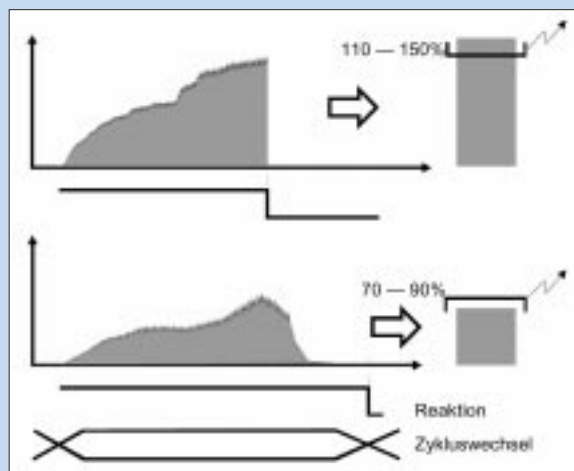
wachungssystems aus den erfassten Sensorsignalen aufzeichnet. Bei einem Werkzeugbruch etwa steigt die Schnittkraft innerhalb weniger Sekundenbruchteile je nach Anwendungsfall rapide an oder fällt ebenso schnell ab. Zunehmender Werkzeugverschleiß dagegen verursacht eine Veränderung der Messkurve mit einer geringeren Steigung. Mit der richtig gewählten Strategie lässt sich ein situationsgerechter Eingriff sicherstellen. Bei der Bearbeitung von Guss entstehen zum Beispiel größere, dynamische Schwankungen der Schnittkraft als bei Stangenmaterial, bedingt durch die raue Oberfläche oder

Lunker. Dies kann, bei falsch gewählter Strategie, zu unerwünschten Maschinenstopps führen. Genervte Maschinenbediener lösen dieses Problem, indem sie das Überwachungssystem einfach abschalten. Als Basis für die Werkzeugüberwachung ist zunächst dem System der Idealzustand der Bearbeitung in einem ›Teach-In-Verfahren‹ als Referenz mitzuteilen. Dazu wird, unter Einsatz eines arbeitsscharfen Werkzeugs, beim ersten Werkstück eines Loses das Messsignal für jeden Bearbeitungszyklus vom Monitormodul aufgezeichnet. Die während der Bearbeitung der folgenden Werkstücke aufgezeichneten Messsignale werden dann mit diesem, auf 100 Prozent normierten, Messsignal verglichen.

Statische Schaltschwellen genügen bei gleichbleibenden Schnitttiefen

Kann der Bediener von weitgehend gleich bleibenden Schnitttiefen und damit Schnittkräften ausgehen, etwa beim Vollbohren, Aufbohren, Gewinden sowie Reiben, aber auch beim Drehen von Stangenmaterial oder vorgedrehten Schnitten, eignen sich so genannte statische Limits für den Schutz vor Maschinenkollisionen, Überlast oder Werkzeugbruch. Statische Limits sind Schaltschwellen, die oberhalb oder unterhalb des Referenzsignals angebracht sind, je nachdem, ob die Folge von

STATISCHES ARBEIT-LIMIT



Das Unterdrücken dynamischer Störsignale bedingt eine längere Reaktionszeit

Werkzeugbruch zu einer steigenden Belastung des Werkzeugs führt (Typ Überlast), oder zu einer fallenden (Typ Unterlast). Die einzelnen Limits liegen in der Regel zwischen 0 und 300 Prozent. Verletzt das Sensorsignal ein Limit, reagiert das Monitormodul direkt, oder in Kombination mit anderen Limitreaktionen, mit einer Meldung an die SPS und bewirkt so den Maschinenschnellstopp oder die Aufforderung zum Werkzeugwechsel. Neben der Limitlage ist die Schaltzeit t_s , das bestimmende Merkmal einer Überwachungsstrategie. Die Schaltzeit hängt vom eingesetzten Sensor und vom Erkennungsziel ab. So ist bei einer Maschinenkollision im Gegensatz zu einem Werkzeugverschleiß eine sofortige Reaktion erwünscht.

Bild 1 zeigt ein statisches Limit vom Typ Überlast. Für das Erkennen von Maschinenkollisionen und auch Werkzeug- oder Maschinenüberlast wird gewöhnlich ein Limit bei 300 Prozent und eine Reaktionszeit von 0 ms gewählt. Gilt es einen

sche Anwendungen sind das Drehen von Guss- oder Schmiedeteilen im Erstschnitt oder das Aufbohren von vorgegossenen Bohrungen. Außerdem bewirkt die rohe Werkstückoberfläche erhebliche Schwankungen der Schnitttiefen und damit auch des statischen Signalkurvenverlaufs. Sind die Limitlagen nicht ausreichend weit vom Normalsignal entfernt oder ist die Reaktionszeit zu klein gewählt, können diese Spitzen und Signalkurvenveränderungen zu ungewollten Reaktionen führen. Viele Maschinenbediener fühlen sich bei der kniffligen Positionierung der Schaltschwellen, die einem Balanceakt gleicht, überfordert.

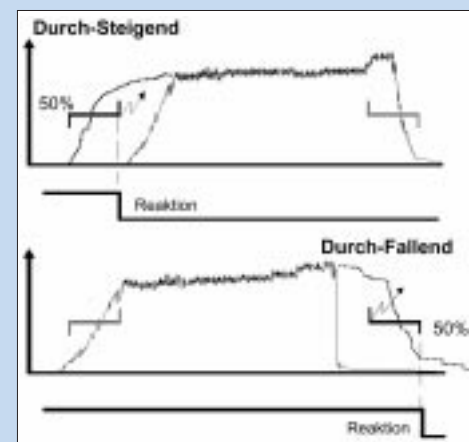
Arbeitswert-Grenzen für die Gussbearbeitung

Abhilfe versprechen die sogenannten Arbeit-Limits (Bild 2). Verfolgt wird hierbei nicht die aktuelle Last während eines Bearbeitungszyklus, sondern der sogenannte Arbeitswert, also die Fläche unterhalb der Sensorsignalkurve. Auch hier liegt nach einem Teach-in ein 100-Prozent-Normal-Arbeitswert bei arbeitsscharfem Werkzeug vor. Im Vergleich zum Sensorsignal erfahren die Schwankungen des Arbeitswerts eine wesentliche Dämpfung. Störsignale von Lamellenbildung und Spanabfuhr

sind vollständig unterdrückt, während Einflüsse von Schnitttiefenschwankungen bei Rohschnitten gemindert werden. Chargenbedingte Lastschwankungen von Werkstück zu Werkstück lassen sich jedoch auch mit einem Arbeitswert nicht unterdrücken.

Der Nachteil von Arbeit-Limits: Die Reaktionszeit auf Werkzeugbruch ist deutlich länger als bei den Limits vom Typ Über- oder Unterlast. Steigt nach einem Werkzeugbruch die Werkzeugbelastung, so erreicht der Arbeitswert das Limit Arbeit-Überlast erst relativ spät, jedoch meist vor dem Zyklusende. Wird bei Werkzeugbruch die Werkzeugbelastung kleiner, so erreicht der Arbeitswert das Limit bis zum Zyklusende nicht. Sinnvoll ist der Einsatz der Arbeits-Limits für die Werkzeugbrucherkenkung von Bohrwerkzeugen, die eine schnelle Reaktion nicht zwingend erfordert. Auch für die Werkzeugverschleißerkennung ist das Arbeit-Limit Ar-

DURCH-LIMIT



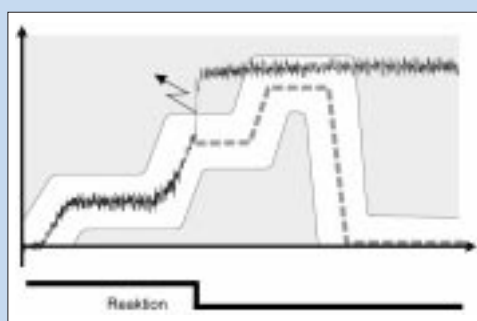
Einfach zu handhaben, resistent gegen dynamische Anteile im Messsignal und geeignet zum Schutz von Folgewerkzeugen

beit-Überlast sehr gut geeignet, da ein stabiler Messwert am Zyklusende vorliegt.

Bei gestuften Werkzeugen sind Signalmuster zu betrachten

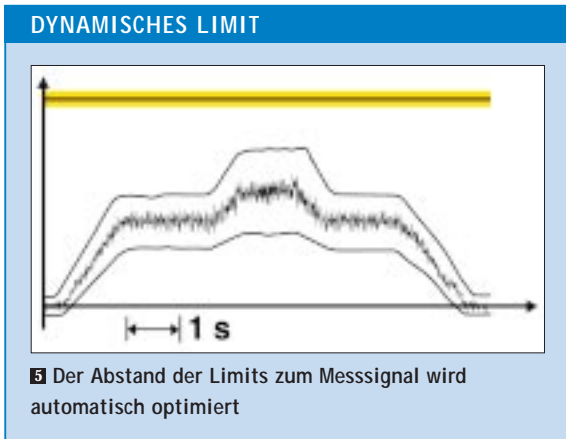
Signalmuster-Limits (Bild 3) oberhalb und unterhalb einer im Teach-in gespeicherten Signalmusterkurve setzt man in erster Linie bei gestuften Werkzeugen wie Räumwerkzeugen und Stufenbohrern ein. Sie sind besonders geeignet, wenn der PLC beim Wechsel von einer Bearbeitungsstufe auf die nachfolgende kein Signal zur Zyklusumschaltung vorliegt, weil das NC-Programm selbst über die Position des Stufenwechsels keine Informationen

STATISCHES SIGNALMUSTER-LIMIT



Das Signalmuster ist im Teach-in vor der Bearbeitung festzulegen

hat. Das Festlegen von Limitlage und Reaktionszeit bei Signalmuster-Limits weist denselben Schwierigkeitsgrad wie bei den Limits vom Typ Überlast und Unterlast auf.

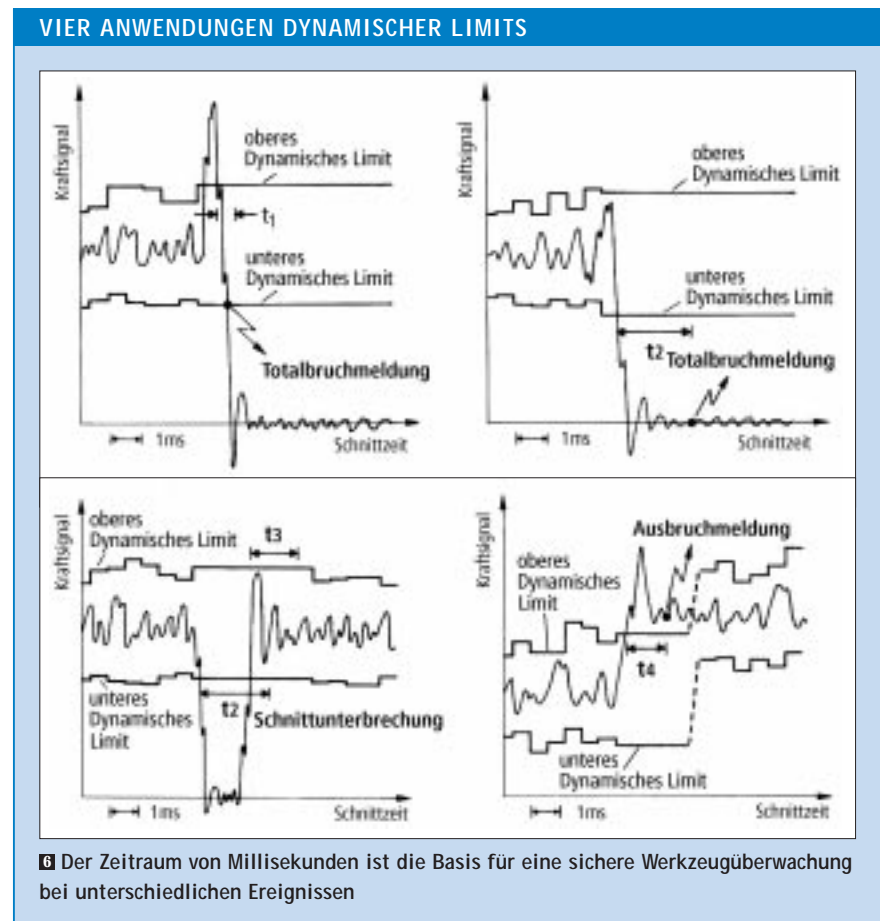


Die Durch-Limits (Bild 4) dienen vorrangig zum Erkennen eines Schaftbruchs von Bohr-, Gewindeschneid- und Reibwerkzeugen innerhalb eines Zyklus. Sie schützen damit auch zuverlässig den Bruch von Folgewerkzeugen. Durch-Limits werden beim Schnittbeginn und beim Schnittende gesetzt. Ihre Lage liegt bei 50 Prozent und erfordert keine Veränderung und deshalb auch keinen Balanceakt. Das Durch-Limit am Beginn des Bohrprozesses wird auf der Zeit- und Wegachse des Bohrvorgangs so positioniert, dass der Anstieg des Sensorsignals von unten nach oben das Durch-Limit quasi wie ein Tor durchlaufen muss. Die zweite Durchschwelle befindet sich auf der Weg- und Zeitachse am Ende des Bohrprozesses. Dort muss das Sensorsignal die Durchschwelle von oben nach unten passieren. Da Schnittanfang und Schnittende bei unbeschädigtem Werkzeug von der Maschinensteuerung in sehr engen Toleranzen vorgegeben sind, lassen sich die Limits hinsichtlich ihrer Länge und Lage auf der Zeit- und Wegachse sehr einfach festlegen. Durch-Limits erfordern, anders als die vorgenannten Limits, ein Durchschreiten des Messsignals. Erfolgt dieses Durchschreiten nicht im Durch-Limit, sondern davor, danach oder gar nicht, so wird zum zeitlichen Ende des Durch-Limits eine Reaktion ausgelöst. Beispiel: Bricht der Schaft eines Bohrwerkzeugs im Schnitt, so wird das Limit Durch-Fallend am Ende des Bohrzyklus nicht von oben nach unten durchschritten, da das Messsignal bereits vorher unterhalb des Niveaus dieses Limits abgefallen war. Der Bohrerbruch wird sicher mit dem Ende des Limits Durch-Fallend gemeldet. Kommt ein

gebrochenes Bohrwerkzeug mit verkürzter Länge zum Einsatz, so wird das Limit Durch-Steigend am Anfang des Bohrzyklus nicht durchschritten, da das Messsignal erst später ansteigt. Es erfolgt eine

Erkennung vor Beginn des Bohrprozesses, in diesem Fall mit dem Ende des Limits Durch-Steigend. Festigkeitsschwankungen des Werkstückstoffs und starke dynamische Signalanteile können hierbei nicht zu falschen Reaktionen führen. Dennoch ist es möglich, etwa ein Überlast-Limit zusätzlich zu setzen, um die Auswirkungen von Maschinenkollisionen oder starken werkzeugspezifischen Überlastsituationen zu minimieren. Die Lage eines solchen Überlast-Limits wird allerdings in Verbindung mit den Durch-Limits so hoch gewählt (etwa 200 bis 250 Prozent), dass ein langwieriger Einstellvorgang sicher vermieden wird. Auch bei vorgegossenen Bohrungen haben sich die Durch-Limits als anwenderfreundlich in der Praxis bewährt. Für das Erkennen eines Werkzeugbruchs beim Drehen von

Guss- und Schmiedeteilen im Rohschnitt sind so genannte dynamische Limits besonders geeignet, da sie nicht zu positionieren sind und den Bruch sehr schnell erkennen (siehe Bild 5). Die Ober- und Untergrenzen der dynamischen Limits passen innerhalb des gesamten Messbereichs in 5 ms flexibel einer Messsignalveränderung an. Sie folgen nicht nur beliebig vielen Lastwechseln innerhalb einer Werkstückumdrehung problemlos, sondern gleichen sich auch dem statischen Messsignal und den dynamischen Anteilen an. Steigt die statische oder dynamische Belastung des Werkzeugs, so vergrößern die Limits beim Mitlaufen den Abstand zum Messsignal automatisch auf einen angemessenen Wert und umgekehrt. Die Nachlaufzeit der dynamischen Limits von 5 ms führt dazu, dass ein schnelleres Signal, wie etwa bei Werkzeugbruch (Signalende innerhalb 1 bis 3 ms), ein Limit plötzlich durchkreuzt (Bild 6). Sobald das Messsignal ein dynamisches Limit erreicht, werden beide Limits eingefroren und gehen auf der Höhe, die sie zum Zeitpunkt der Berührung haben, in statische Limits über. Gleichzeitig beginnt das Überwachungsmodul mit einer hochauflösenden Analyse des Messsignals anhand von Vergleichsbetrachtungen.



Der Zeitraum von Millisekunden ist die Basis für eine sichere Werkzeugüberwachung bei unterschiedlichen Ereignissen

Das Signal oben links in Bild 6 zeigt den typischen Signalverlauf eines Totalbruchs. Der plötzliche Kraftanstieg kommt dadurch zu Stande, dass sich das Bruchstück auf Grund der Rotation des Werkstücks zwischen Werkstück und Werkzeug hindurchquetscht und damit das Werkzeug wegdrückt. Hat das Bruchstück das Werkzeug passiert oder wurde es zertrümmert, fällt das Sensorsignal auf 0 ab.

Dynamische Schaltschwellen arbeiten sehr effektiv

Der Signalverlauf oben rechts in Bild 6 zeigt ein typisches Bruchsignal bei einem sehr spröden Schneidstoff, wie beispielsweise Schneidkeramik. Der Kraftimpuls reicht nicht aus, um das obere Limit zu erreichen, so dass nur die untere Schwelle unterschritten wird. Ein ähnlicher Lastabfall ist in Bild 6 unten links dargestellt, der jedoch auf eine Schnittunterbrechung, beispielsweise durch Lunker oder Längsnuten, zurückzuführen ist. Der Signalabfall bei Schnittunterbrechungen ist im Ge-

gensatz zu einem plötzlichen Lastabfall bei Werkzeugtotalbruch deutlich kürzer als die Zeit einer Werkstückumdrehung und damit klar differenzierbar. Steigt das Messsignal also vor der Vollendung einer Werkstückumdrehung wieder auf dasselbe Niveau wie vor dem Lastabfall, wird das Zeitglied zurückgenommen, und die dynamischen Limits beginnen erneut, sich an das Messsignal anzupassen. Auch Ausbrüche an Drehwerkzeugen lassen sich mit den dynamischen Limits erkennen (Bild 6 unten rechts). Das Messsignal springt nach Berührung des oberen dynamischen Limits deutlich über dieses hinaus und bleibt auch nach einer Verweilzeit t_4 noch über dessen Niveau. Die Überwachungsstrategie zum Erkennen von Werkzeugbruch mit Hilfe dynamischer Limits erfordert zu keinem Zeitpunkt den Eingriff des Maschinenbedieners.

Weil die Werkzeugbruchererkennung maximal innerhalb der eingegebenen Schnittunterbrechungszeit abgeschlossen ist, gelingt es bei üblichen Drehzahlen von Guss- und Schmiedeteilen, den Vorschu-

bantrieb binnen einer Werkstückumdrehung nach dem Werkzeugbruch zum Stillstand zu bringen und Folgeschäden zu vermeiden. Die Werkzeug-Bruchererkennung mit dynamischen Limits fordert die Verwendung eines piezoelektrischen Kraftsensors, weil nur dieser über die Reaktionszeit des Messsignals verfügt. Dynamische Limits empfehlen sich auch für eine Überwachung bei Arbeitsgängen wie dem Drehen von Folgeschnitten, Stangenmaterial und vorgedrehten Werkstücken.

PROPER STRATEGY FOR TOOL MONITORING

Multi-machine operation or even an unmanned shift require adequate process monitoring, otherwise damage may soon exceed benefit. The proper monitoring strategy is found when measured value recording, control thresholds, and reaction time are perfectly tuned to the process

Dr.-Ing. Werner Kluft ist Geschäftsführer von Prometec, Aachen; www.prometec.com