

## Merkmale – Vorteile – Nutzen

Drehmoment-gesteuerte Gewindefertigungsautomaten

### **Praxisgespräch über Merkmale, Vorteile und Nutzen mit drehmomentüberwachten Gewindefertigungsautomaten**

- zur prozesssicheren Gewindefertigung, Formen und Schneiden
- zum eindrehen von Gewindeeinsätzen (Ensat/Helicoil)
- zum kontrollierten eindrehen von Schrauben und Stiften
- zum Senken und Aufbohren

### **Inhaltsverzeichnis**

1.	Praxisgespräch im Hause <b>microtap GmbH</b> .....	2
1.1.	Wissenswertes zur Gewindefertigung .....	2
1.2.	Bruchvermeidung durch Drehmomentüberwachung / WinPCA.....	3
1.3.	Kaltverschweißen durch Bewegung vermeiden .....	4
1.4.	Entspannen nur im Bedarfsfall .....	4
1.5.	Qualitätsauswertung und Sonderprogramme .....	5
1.6.	Bruchmoment als Gewindebohrerkennzeichnung .....	6
1.7.	Kraftneutraler Lageausgleich statt zwangsgeführter Spindel .....	7
1.8.	Durchgangsgewinde statt Grundgewinde.....	8

## 1. Forum zum Praxisgespräch im Hause microtap GmbH

### 1.1. Wissenswertes zur Gewindefertigung

Dem Gewinde, das meist als einer der letzten Arbeitsgänge angebracht wird, wird in der Fertigung relativ geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Vor allem bei kleinen Durchmessern kommt es jedoch sehr häufig zu einem Gewindebohrerbruch. Die **microtap** GmbH aus Taufkirchen bei München hat eine drehmomentüberwachte Gewindefertigungseinheit entwickelt, durch die Werkzeugbruch verhindert wird und das aktuelle Arbeitsmoment gesteuert und angezeigt wird. Da die Qualitätskontrolle schon „während der Bearbeitung“ stattfindet, ist kein zusätzliches Prüfequipment mehr nötig. Die Einheit ist gleichzeitig „das Fertigungs-Equipment um die besten Prozessparameter für eine prozesssichere Fertigung sicherzustellen.

„Zunächst hat man die Gewindetabellen auf Erfahrungswerten erstellt und dann die Formeln darum herum gestrickt. Deshalb kann man die meisten glatt vergessen.“

Dieses Urteil fällt Klaus Maximilian Müller, Geschäftsführer des Gewindefertigungsmaschinenherstellers **microtap** aus Taufkirchen. Und Mitarbeiter ergänzen: „Wir konnten bisher noch keine Tabelle finden, in der das aufgeführte Drehmoment mit der Realität übereinstimmt.“ Begründet werden die Aussagen durch Erfahrungen, die die Taufkirchener mit ihren Gewindefertigungsmaschinen gesammelt haben, aber auch vom Markt immer wieder bestätigt wird.

Die Problematik des Gewindeschneidens ist in jedem metallverarbeitenden Betrieb bekannt: Vor allem bei kleinen Gewindedurchmessern kommt es häufig zum Bruch des Bohrers. „Rein mechanische Gewindeschneidmaschinen funktionieren wie eine Bohrmaschine. Der Strom wird auf den Stator gebracht und der Rotor dreht sich dann mit voller Leistung, egal ob der Gewindebohrer sie verträgt oder nicht. Bei der geringsten Überschreitung des Bruchmoments reißt der Bohrer dann ab.“

Eine konventionelle Gewindebohrmaschine stellt immer das maximale Drehmoment zur Verfügung, beispielsweise 30 Nm' mit dem dann sowohl ein M30 wie auch ein M3 geschnitten wird. „Diese Maschine interessiert es doch nicht, wie es dem Gewindebohrer geht und ob dabei die Späne ordentlich die Schneide verlassen“, wird plastisch festgestellt.

### Merkmale – Vorteile – Nutzen

Drehmoment-gesteuerte Gewindefertigungsautomaten

#### 1.2. Bruchvermeidung durch Drehmomentüberwachung

So muß der Anwender sich bisher beim Gewindefertigen auf Gefühl, Erfahrung und Tabellen verlassen. Eine Kontrollmöglichkeit, um das optimale Schnittergebnis bei größtmöglichen Standzeiten zu erreichen, war nicht möglich. „Die Zusammenhänge beim Gewindebohren sind äußerst komplex,“ erläutert der Geschäftsführer.

„Vorbohrdurchmesser, Schnittgeschwindigkeit, Schneidengeometrie und Beschichtung, Kühlschmiermittel und Werkstoff und vieles mehr spielen hier eine Rolle. Mit Gefühl ist da wenig zu machen. Wir bieten mit unserer Maschine erstmals die Möglichkeit, durch eine Drehmomentüberwachung ein optimales Gewinde herzustellen. Da sich die eigentliche Bearbeitung dem Auge des Betrachters entzieht, haben wir die PC – Auswerte- und Steuersoftware **WinPCA** entwickelt, die den Gewindeschnitt als Graph und Gauß'sche Kurve „sichtbar“ macht. Die Weiterentwicklung **WinPCA3** wurde spezifisch als „Screening und Analyse-Software“ ausgelegt, mit dem heute als „Tapping-Torque-Test“ bekannten Produkt die Entwicklung von SchmierKühlStoffen sowie optimalen bzw. angepassten Gewindewerkzeugen weltweit die entsprechenden Parameter entwickelt werden.

Geringste Veränderungen, beispielsweise der Schnittgeschwindigkeit oder der Schmiermittelmenge werden im Graph erkennbar. Somit sind dem Maschineneinrichter oder der Arbeitsvorbereitung die Mittel in die Hände gelegt, das optimale Werkzeug und auch das geeignetste Schmiermedium für eine optimierte Fertigung, angepasst der spezifischen Anwendung, selbst zu ermitteln.“

In engster Zusammenarbeit mit namhaften Herstellern von Gewindewerkzeugen und Schmiermitteln hat die microtap diese neue PC-Screening-Software **WinPCA3** für Windows entwickelt. Bereits schon jetzt arbeiten über 70 Gewindewerkzeug- und Schmiermittelhersteller international mit diesem System überaus erfolgreich.

Nachstehend die Einsatzmöglichkeiten der **WinPCA3**:

- die Fertigungsparameter zu optimieren, im Hinblick auf gewünschte Werkzeugstandzeiten im Schichtbetrieb und auf lehrenhaltige Gewinde
- den Gewindeschnitt nach Drehmoment und Tiefe zu analysieren und in Statistiken auszuwerten und festzuhalten
- über einen Anstieg des Drehmoments durch abgenutzte Gewindebohrer, fehlendes Schmiermittel etc. mögliche Fehlerquellen (z.B. die Gefahr der Kaltverschweißung) rechtzeitig zu erkennen
- durch die Einhaltung definierter Grenzwerte für das minimale bzw. maximale Drehmoment die zulässige Ausformung des Gewindes sicherzustellen
- den Einfluß von Geometrie und Beschichtung unterschiedlicher Werkzeuge sowie von verschiedenen Schmiermitteln auf den Schneidvorgang zu testen, dies auch für den reibungsintensiven Rücklauf
- eine direkte Gut-/Schlecht-Selektierung nach den vorher bestimmten Bearbeitungs-Verfahrensparametern

### Merkmale – Vorteile – Nutzen

#### Drehmoment-gesteuerte Gewindefertigungsautomaten

Mit der neuen Auswertesoftware WinPCA und einem PC kann die Qualität statistisch überwacht, ausgewertet und per Drucker protokolliert oder mit anderen Programmen weiterverarbeitet werden. Die WinPCA vereinfacht die Entwicklung und Optimierung von Werkzeugen und SchneidKühlMitteln sowie die Festlegung der optimalen Einstellparameter für die Gewindefertigung. Und dies nicht nur für den Schnitt, sondern auch für den Rücklauf.

#### 1.3. Kaltverschweißen durch Schmierung & Bewegung vermeiden

microtap entwickelte dazu eine Gewindefertigungsmaschine, in der ein drehmomentüberwachter Antrieb arbeitet. Über einen Meßwiderstand wird der Strom gemessen und über eine aufwendige Elektronik die Stromspannung geregelt. „Das Prinzip ist relativ einfach,“ erklärt Carl Kolbeck. Den Spannungsabfall und damit auch das Drehmoment kann man messen und beeinflussen.“ Das Drehmoment wird dabei zusätzlich ausgewertet, überwacht und angezeigt.

Der Clou an dem Gerät ist jedoch die Drehmomentbegrenzung. Wird beim Gewindeschneiden ein vorab eingestelltes Drehmoment erreicht, schaltet der Antrieb in Sekundenbruchteilen die Drehrichtung um, womit der Bohrer ein Stück zurück gedreht wird, um dann einen neuen Anlauf zu starten. „Ein Bruch des Werkzeuges ist damit ausgeschlossen, stellt Klaus M. Müller fest.

Das Herz der Maschine, der Antrieb, wird bei microtap selbst hergestellt. Der Antriebsrotor ist gleichzeitig Arbeitsspindel, d.h. Rotor, Spannfutter und Werkzeug liegen auf einer Achse. „Die geringe rotierende Masse und die schnelle Elektronik reagieren im Millisekundenbereich“, verrät Klaus Max. Müller, „wenn die Elektronik das maximale Drehmoment erkennt, dreht der Rotor schlechtestenfalls noch neun Winkelgrade, bis er steht.“ Vorteilhaft ist diese schnelle Reaktion auch bei einer Grundlochberührung des Bohrers. Denn die konventionelle Maschine mit Rutschkupplung zeigt auch hier besonders bei kleinen Durchmessern große Schwächen. „Bis eine Rutschkupplung bei M 2 reagiert, ist der Bohrer längst ab,“ weiß Dipl. Ing. Carl Kolbeck aus Erfahrung.

„Der Antrieb ist immer in Rotation, sodaß die gefürchtete Kaltverschweißung auch bei geringer Schmierung nicht auftritt.“

#### 1.4. Entspannen nur im Bedarfsfall

Die microtap - Maschine bleibt jedoch bei einer Drehmomentüberschreitung nicht einfach stehen. „Der Motor ist ständig in Bewegung, somit tritt keine Kaltverschweißung auf,“ gibt Carl Kolbeck Einblick, „er dreht sofort eine Umdrehung zurück und setzt wieder neu an. Wenn beim dritten Versuch an der gleichen Stelle keine neue Tiefe gewonnen werden kann, fährt der Bohrer ganz heraus. War die Ursache beispielsweise ein Spannklemmer, ist der nach dem einmaligen Zurückdrehen wieder frei und die Maschine schneidet weiter. War jedoch die Vorbohrung nicht tief genug und es kam dadurch zu einer Grundlochberührung, reversiert die Maschine an dieser Stelle drei Mal, dann wird das Teil als Schlechtteil ausgeschieden. Die Maschine zeigt dann die Ist - Tiefe an. Darüber hinaus sind sämtliche Parameter, wie Zustellweg, Anschnittkraft, maximales und minimales Drehmoment, Tiefe und Drehzahl direkt an der Maschine ablesbar oder über eine Schnittstelle von einem PC einlesbar. „Der Kunde kann so seine Qualität ständig protokollieren“, erläutert Carl Kolbeck.

### Merkmale – Vorteile – Nutzen

Drehmoment-gesteuerte Gewindefertigungsautomaten

#### 1.5. Qualitätsauswertung und Sonderprogramme

##### **Die Maschine überwacht ständig vier Qualitätskriterien:**

- über den Zustellweg kann die Teilehöhe kontrolliert werden
- über eine definierte Anschnittkraft wird sichergestellt, daß das Werkzeug richtig „anbeißt bzw. einformt“
- Soll- und Ist - Tiefe werden verglichen
- die maximale Drehmomentbegrenzung erkennt beispielsweise einen zu geringen Vorbohrdurchmesser, während über das Mindestdrehmoment ein zu großer Vorbohrdurchmesser erkannt wird, was zu einem fehlerhaften Gewindebild führt.

##### **Entspanen / Spanklemmer / Wzg.-Standzeiten**

Klaus Max. Müller: „Der letzte Fall läßt sich nicht einmal durch eine Gewindelehre nachprüfen, sondern nur durch eine Längsschnittuntersuchung.“ Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Drehmomentüberwachung gegenüber einer konventionellen Maschine beim Entspanvorgang. „Häufig wird ja einfach das automatische Entspanen durchgeführt, also beispielsweise drei Mal pro Bohrvorgang entspannt,“ weiß Carl Kolbeck. „Aber entspanen heißt stoppen, eine Umdrehung zurück und wieder weiterbohren.“ Dieser Vorgang kann aber das Werkzeug sehr stark belasten, wenn etwa das Abschermoment beim Zurückdrehen größer wird als das Arbeitsmoment. „Die Frage ist einfach, wann ist es sinnvoll, zu entspanen. Und da gibt es nur einen Grund: wenn der Span die Schneide nicht ordentlich verläßt“, erläutert Klaus Max. Müller.

Die microtap - Maschine erkennt durch den Drehmoment - Anstieg die Verzwickung, stoppt und entspannt. Carl Kolbeck: „Damit erzielen wir sicherlich auch eine Standzeiterhöhung des Werkzeuges, das dann am längsten lebt, wenn das Drehmoment minimal und gleichförmig ist.“  
Zudem kann der Anwender anhand eines von Bohrvorgang zu Bohrvorgang stetig steigenden Momentes auf einen Werkzeugverschleiß schließen und rechtzeitig auswechseln.

Klaus Max. Müller weiß zudem einen weiteren interessanten Aspekt zu berichten: „Wir wissen von unseren Anwendern, daß sie sich jetzt häufig bessere Werkzeuge kaufen, während sie vorher wegen der äußerst kurzen Standzeiten und Werkzeugbruch vor allem auf den Preis geachtet haben.“

### 1.6. Bruchmoment als Gewindebohrerkennzeichnung

In seiner Diplomarbeit, die sich ausführlich mit der Gewindeschneid - Thematik beschäftigte, untersuchte Carl Kolbeck rund 13 Werkstoffgruppen von M2 bis M8 und verglich Formeln und Tabellenwerte mit gemessenen Werten.

Das Ergebnis: Die vorhandenen Tabellen und Formeln sind unzureichend. Eine Möglichkeit, das tatsächliche Drehmoment zu erfahren, hatte bisher kein Anwender - die Überprüfung fand nie statt." Carl Kolbeck machte sich dann an die Sisyphusarbeit, in langwierigen Versuchsreihen aus unzähligen Meßreihen die Abhängigkeit der einzelnen Parameter zu erkennen. Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine Tabelle für etwa 66 Prozent der Anwendungsfälle, in der in Abhängigkeit von Werkstoffkennwert, Durchmesser, Grund- oder Durchgangsgewinde die Werkzeuggeometrie, das Schneidöl, die Drehzahl und das nötige Drehmoment abgelesen werden kann. Dabei kam ein völlig überraschendes Ergebnis zutage: Nicht die Zugfestigkeit, sondern die Bruchdehnung eines Werkstoffes ist der maßgebliche Kennwert für die Größe des Drehmomentes beim Gewindefertigen.

Diese Daten können auch in einer Datenbank in der microtap - Maschine abgelegt werden, so daß der Anwender bei sich wiederholenden Produktionen, die optimierten Prozessparameter sicher abrufen kann.

Natürlich soll der Anwender mit einer microtap noch einige Versuche unternehmen, um ein anwendungsspezifisches Fertigungsergebnis zu erreichen.

Zunächst wird mit verschiedenen Werkzeugen und ansonsten unveränderten Parametern ein Gewinde erzeugt.

An der Anzeige ist beispielsweise abzulesen, daß Gewindebohrer A 70 Ncm, Gewindebohrer B 100 Ncm und C 50 Ncm benötigt. Nach der Festlegung des Gewindebohrertypus wird der nächste Parameter, etwa die Drehzahl, durchgespielt. „So kann der Kunde selbständig seinen speziellen Anwendungsfall durchprobieren und die optimalen Prozessparameter erarbeiten,“ erläutert Carl Kolbeck.

### 1.7. Kraftneutraler Lageausgleich statt zwangsgeführter Spindel

In den Anwendungsbereichen konzentriert man sich bei microtap vor allem auf die problematischen Gewinde. „Wir treten nicht gegen Schnellgewinde an, sondern wir wollen Qualitätsgewinde erzeugen,“ erläutert Klaus Max. Müller. „Sehr schnell, aber Hauptaugenmerk ist die Qualitätskontrolle & -protokollierung sowie die Standzeitüberwachung.“

„Ein unproblematischer Stahl und ein unproblematisches Gewinde lassen sich mit einer konventionellen Maschine sicher einwandfrei herstellen,“ gibt Carl Kolbeck zu, „aber unsere Hauptkunden sind die Anwender, die Problemfälle haben.“ Beispielsweise der Kunde, der mit seinen Gewindebohrern ständig Probleme hatte, obwohl er vom Hersteller beraten wurde. „Der Grund für den Einsatz des falschen Gewindebohrers“ so erläutert Klaus Max. Müller, „war einfach der, daß der Vertreter an einem schräggenuteten Gewindebohrer mehr verdient hat als am geradegenuteten, und der Kunde „nur ein Werkzeug für alles“ anforderte.“

Nicht zuletzt, um für den Kunden Vergleichsmöglichkeiten hinsichtlich Preis und Qualität zu schaffen, hält Carl Kolbeck eine Kennzeichnung der Gewindebohrer mit dem Bruchmoment für sinnvoll. „Und wenn auf der Verpackung ein Bruchmoment von 50 Ncm angegeben ist, dann braucht der Kunde nur seine Maschine auf 45 Ncm zu begrenzen, damit das Werkzeug nicht mehr bricht.“

Kritisch wird es vor allem ab M4 und kleiner, da hier die Seele im Vergleich zum Durchmesser relativ stark abnimmt, und damit auch das Bruchmoment.

„Hier scheuen aber sicherlich viele Gewindebohrerhersteller zurück,“ bedauert Klaus M. Müller, „denn mit dem Bruchmoment hat der Kunde auch ein Merkmal für die gleichbleibende Qualität des Bohrers in der Hand.“

Ein Qualitätsmerkmal für die microtap - Maschine sieht Carl Kolbeck in dem kraftneutralen Lageausgleich. „Gewindebohrmaschinen mit Leitspindel haben einen Konstruktionsfehler mit eingebaut.“ Denn, so erläutert er, schneidet der Bohrer nicht im selben Moment dort das Gewinde an, wo auch bei der Leitspindel der Gewindegang ist, entstehen während des Fertigungsvorganges Reaktionskräfte in Z - Richtung, die dazu führen, daß der Gewindebohrer voreilen will oder sich gegen das Eindringen wehrt. Dadurch können Steigungsfehler entstehen. „Ein renommierter Gewindebohrerhersteller kam nach Untersuchungen mit unserer Maschine zu dem Ergebnis,“ erinnert sich Klaus Max. Müller, daß ein Gewindebohrertyp sich, bedingt durch die Auslegung für eine Maschine mit Leitspindel, quasi in das Werkzeug hineinzog. Er hat die Schneidengeometrie inzwischen geändert.“

Carl Kolbeck: „Der Gewindebohrer muß während des Bohrvorganges in Ruhe gelassen werden. Er soll sich durch das Material entsprechend seiner vorgegebenen Geometrie durcharbeiten und nicht nach der Geometrie einer Leitpatrone.“

Außerdem bewirkt der Verzicht auf mechanischen Zwangsvorschub noch einen Vorteil: Es entfallen jegliche Folgekosten für Verschleiß sowie für Umrüstzeiten der Leitpatrone: Werkzeugwechsel – fertig zur nächsten Bearbeitung.

### 1.8. Durchgangsgewinde statt Grundgewinde

Einen großen Einfluß auf die spätere Qualität des Gewindes haben jedoch auch Werkstoff und Gewindelochart. Beispiel: Bei Grauguß mit der Bruchdehnung  $A = 0$  hat die Geschwindigkeit auf das Ergebnis keinerlei Einfluß, während bei einem empfindlichen Stahl schon wenige Prozent Abweichung ausreichen, um ein erheblich schlechteres Ergebnis zu erzielen. Oder die Frage Durchgangs- oder Grundgewinde. Beim Durchgangsgewinde stellt sich, im Gegensatz zum Grundgewinde, ein stationärer Endwert ein.

„Die Frage, ob Durchgangs- oder Grundgewinde wird von den meisten Konstrukteuren völlig unterschätzt. Zu Unrecht,“ weiß Carl Kolbeck. „Denn beim Durchgangsgewinde wird der Span praktisch vor dem Werkzeug hergetrieben, er kann sich abrollen und weicht nach unten aus.“

Beim Grundgewinde wird der Span an der Schneide umgelenkt und durch die Spannung nach außen getrieben. „Aber ab einer Tiefe von rund  $1,5 \times D$  ist es mit dem ruhigen Drehmomentverlauf vorbei, das Drehmoment steigt potentiell an,“ erklärt er. Über die theoretischen Zusammenhänge haben sich die Gewindefertigungsspezialisten bei microtap ebenfalls Gedanken gemacht und sind zu einer interessanten Theorie gekommen. Über einer Tiefe von rund 1,5 mal Durchmesser hat der Gewindebohrer bereits einige Gänge geschnitten und das Werkzeug verschwindet jetzt in der fertigen Bohrung. Der Span kann somit nicht mehr an der glatten Zylinderwandung entlangrutschen, sondern findet ein Gewinde vor, an dem er nicht mehr gleiten kann und staucht zurück bis zur Spanentstehung. In diesem Moment wird das Arbeitsmoment merklich größer. Wird weiter gebohrt, knickt der Span ab und berührt die nachfolgende Schneide, von der er mitgenommen und eingeklemmt wird. Das Gewinde wird teilweise wieder zerstört. „Hier muß man rechtzeitig entspannen, das treibt natürlich den Zeitaufwand in die Höhe, der aber durch die hohe Gewindegüte mehr als kompensiert wird“, erläutert Carl Kolbeck. Und Klaus Max. Müller ergänzt: „Es ist Unsinn vom Konstrukteur, ein Grundgewinde utopisch tief vorzugeben. Am Brett ist das schnell gezeichnet, aber damit ist ein Fertigungsproblem in das Gewinde hineinkonstruiert. Und jeder Praktiker weiß: Nur die ersten drei Gewindegänge tragen die Last, alle restlichen tragen nur zur Beruhigung des Gewissens bei – die richtige Gewindefertigung vorausgesetzt.“

Dipl.-Ing. (EH) Carl Kolbeck: „Wir müssen bei der Maschineneinteilung von der überkommenen Leistungsbezeichnung nach Gewindedurchmessern endlich wegkommen, die Leistung einer Maschine muß in Newtonmetern angegeben werden. Denn M8 in Messing braucht 60 Ncm, in VA - Material aber 800 Ncm“. Das momentane Drehmoment wird ständig angezeigt.

Bei einem Drehmomentanstieg während der Bearbeitung, z.B. einer Spanverwicklung, stoppt die Maschine innerhalb von Sekundenbruchteilen und fährt zurück. Bei der jüngsten Entwicklung, einer automatisierten Gewindefertigungsmaschine, werden die Teile zugeführt, bearbeitet und in Gut - Schlecht - Teile sortiert. Die Daten werden protokolliert und können ausgedruckt werden.