

3. Bohren

3.1 Allgemeines

Bohren ist ein spanendes Verfahren mit ein- oder mehrschneidigen (meist 2schneidigen) Werkzeugen zur Herstellung von Durchgangs- und Sacklöchern. Das Werkzeug steht mit sämtlichen Schneiden im Eingriff und führt i. a. die Dreh- und Vorschubbewegung aus. Nach DIN 8589 unterscheidet man beim Bohren, Senken, Reiben in

- Plansenken
- Rundbohren (Bohren ins Volle, Kernlochbohren, Aufbohren, Schäbbohren, Rundreiben)
- Schraubbohren (Gewindebohren)
- Profilbohren (Profilbohren ins Volle, Profilaufbohren, Profilsenken, Profilreiben)
- Formbohren (Unrundbohren)
- Handbohren.

Das Bohren ist sicherlich eines der ältesten Zerspanverfahren. Schon in der Steinzeit wurden Tiefbohrverfahren für die Herstellung von Aufnahmen für Hammerstiele in Steinhämmern entwickelt. Das Bohren weist einige besondere Merkmale auf und ist daher nach wie vor eines der kompliziertesten Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide.

Beim Bohren

- fällt die Schnittgeschwindigkeit in der Bohrermitte auf Null (hohe Anforderungen an die Zähigkeit des Schneidstoffs)
- wird der Spänetransport mit zunehmender Bohrtiefe immer schwieriger (durch Spänestaus kann die Oberfläche durch Späne aufgerissen werden; durch Reibung der Späne wird das Drehmoment erhöht [Bruchgefahr])
- treten mit zunehmender Bohrtiefe Schwingungen auf
- wird mit zunehmender Bohrtiefe die Kühlschmiermittelzufuhr schwieriger
- ist die Herstellung der Schneidgeometrie aufwendig (z. B. Tieflochbohrer, 3schneidige Vollhartmetallbohrer)

3.2 Bohren ins Volle mit Spiralbohrern (Wendelbohrern) aus HSS

Seit dem 19. Jahrhundert werden Spiralbohrer zum Bohren ins Volle eingesetzt. Zuerst wurde Werkzeugstahl und später (seit 1906) Schnellarbeitsstahl als Schneidstoff verwendet. Neuere Entwicklungen gehen in Richtung von beschichtetem Schnellarbeitsstahl, Vollhartmetall und Wendeschneidplattenwerkzeugen. Schnellarbeitsstahl (HSS) als Schneidstoff für Spiralbohrer hat nach wie vor mit über 90% den größten Anteil. Hartmetallwerkzeuge weisen eine

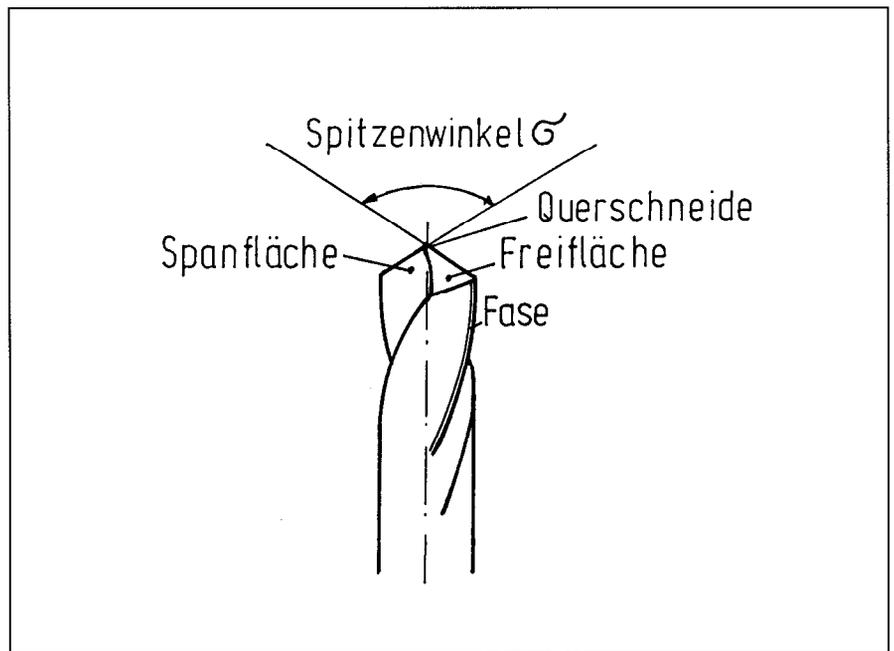


Bild 51: Wichtige Kenngrößen am Spiralbohrer

steigende Tendenz in der Anwendung auf.

Die maximale Bohrtiefe liegt bei Spiralbohrern üblicherweise bei $5-10 \cdot d$. Beim Bohren über $5 \cdot d$ muß entspänt werden. Standzeitkenngröße beim Bohren ist üblicherweise der Standweg bzw. die Standlänge. Damit ist die Summe aller gebohrten Lochtiefen pro Nachschliff gemeint (übliche Standwege liegen bei $2-5$ m).

Für die Stahlbearbeitung werden Spiralbohrer mit $16-30^\circ$ Drall- und ca. 118° Spitzenwinkel eingesetzt (Typ N nach DIN 1836, Farbkennzeichnung blau) (s. a. Bild 51). Zur Reduzierung der Reibung sind Spiralbohrer nach hinten $0,2-0,8\%$ verjüngt. Bei tiefen Löchern verwendet man Bohrwerkzeuge mit innerer Kühlmittelzufuhr. Das Kühlschmiermittel gelangt direkt zur Schnittstelle und spült die Späne nach außen. Aufgrund der hohen spezifischen Anforderungen an den Schneidstoff, insbesondere bei großen Bohrtiefen, werden hauptsächlich die HSS-Sorten S 6-5-2 und S 6-5-2-5 eingesetzt.

Die geometrischen Größen der Spiralbohrer, die sogenannten technischen Lieferbedingungen, sind in DIN 1414 zusammengefaßt. Die Schneidteilbegriffe sind in DIN 1412 und DIN 6581 genormt (s. a. Bild 51).

3.2.1 Verschleißformen

Folgende Verschleißformen treten an Spiralbohrern auf

- Eckenverschleiß
An der Schneidenecke tritt die größte Reibgeschwindigkeit auf. Dies führt dort zu einem verstärkten abrasiven

Verschleiß, wodurch sich der Eckenradius vergrößert

- Freiflächenverschleiß
Der Freiflächenverschleiß ergibt sich durch Reibung der neu gebildeten Werkstückoberfläche an der Freifläche des Bohrers
- Querschneidenverschleiß
Neben abrasivem Verschleiß kommt es zu Werkstückstoffverschweißungen und teilweise zur plastischen Deformation der Querschneide (Vorschubkräfte zu hoch)
- Fasenverschleiß
An den Fasen treten die größten Umfangsgeschwindigkeiten beim Bohrer auf. Durch Reibung an der Bohrungswand ergeben sich Schneidkantenverrundung der Nebenschneide, Ausbrüche an den Fasen, Aufschweißungen und Durchmesserabnahme des Bohrers.

3.2.2 Leistungsberechnung

Ähnlich wie beim Drehen läßt sich auch beim Bohren eine Faustformel zur Leistungsberechnung angeben:

$$P_M = d \cdot f \cdot v_{cm} / 48 \text{ (kW)}$$

$$P_M = \text{Antriebsleistung (kW)}$$

$$d = \text{Bohrungsdurchmesser (mm)}$$

$$f = \text{Vorschub (mm/U)}$$

$$v_{cm} = \text{mittlere Schnittgeschwindigkeit (m} \cdot \text{min}^{-1}\text{)}$$

Beispiel:

$$d = 18 \text{ mm}, f = 0,2 \text{ mm}, v_{cm} = 12 \text{ m/min}$$

$$P_M = 18 \cdot 0,2 \cdot 12 / 48$$

$$P_M = 1 \text{ kW}$$

In bestimmten Fällen lassen sich mit hartstoffbeschichteten (TiN-)Bohrern höhere Standmengen oder höhere Schnittwerte erreichen *Bild 52*). Nach dem Ersteinsatz wird jedoch die verschleißhemmende Schutzschicht auf der Freifläche durch Nachschleifen entfernt. Dies führt erwartungsgemäß zu Standzeitreduzierungen (ca. 50%) gegenüber dem Ersteinsatz. Durch den geringeren Reibungskoeffizienten der TiN-Beschichtung treten beim Bohren von Stahlwerkstoffen mit beschichteten Bohrern häufig lange Fließspäne auf. Hier sind ggf. Optimierungen der Schneidengeometrie, angepaßt an die Beschichtung, durchzuführen.

3.2.3 Anschliffform

Das Arbeitsergebnis beim Bohren hängt wesentlich von der gewählten Anschliffform ab. Folgende Spitzenanschliffe werden hauptsächlich verwendet:

- Kegelmantelanschliff

Dieser Anschliff ist bei Spiralbohrern der häufigste. Die Freifläche ist dabei Teil eines Kegelmantels. Die sog. Querschneide entsteht als Durchdringungslinie der beiden Schleifkegel. Der besondere Vorteil des Kegelmantelschliffs ist seine leichte Herstellung. Im Zentrum ist die Schnittgeschwindigkeit gleich Null. Der Spanwinkel nimmt zur Bohrermitte hin ab und wird stark negativ. Es kommt daher zu erhöhter Reibung und zum Drücken, wodurch hohe Vorschubkräfte entstehen. Durch spezielle Anschliffe, wie dem Auspitzen, wird die Querschneide verkleinert und der Spanwinkel am Übergang der Querschneide zu den Hauptschneiden günstiger gestaltet.

- Kreuzschliff
- Spiralanschliff.

In DIN 1412 sind die standardisierten Anschliffformen A bis E genormt; wie z. B. korrigierte Hauptschneide oder ausgepitzte Querschneide mit facettierten Schneidecken (Fasen am Umfang schützen die Schneidenecken vor frühzeitigem Verschleiß vor allem bei harten Werkstoffen).

Bezogen auf den Kegelmantelanschliff sollen die Wirkungen der Schneidengeometrie erläutert werden (s. a. *Bild 51*):

- Freiwinkel α :
Ein großer Freiwinkel hemmt den Verschleißzuwachs, führt aber andererseits zum Rattern. Üblich sind $7-10^\circ$ am Außendurchmesser und ca. 25° beim Übergang Hauptschneide zur Querschneide.
- Keilwinkel β :
Große Keilwinkel ergeben stabile Schneidekeile und erhöhen die Standlänge.

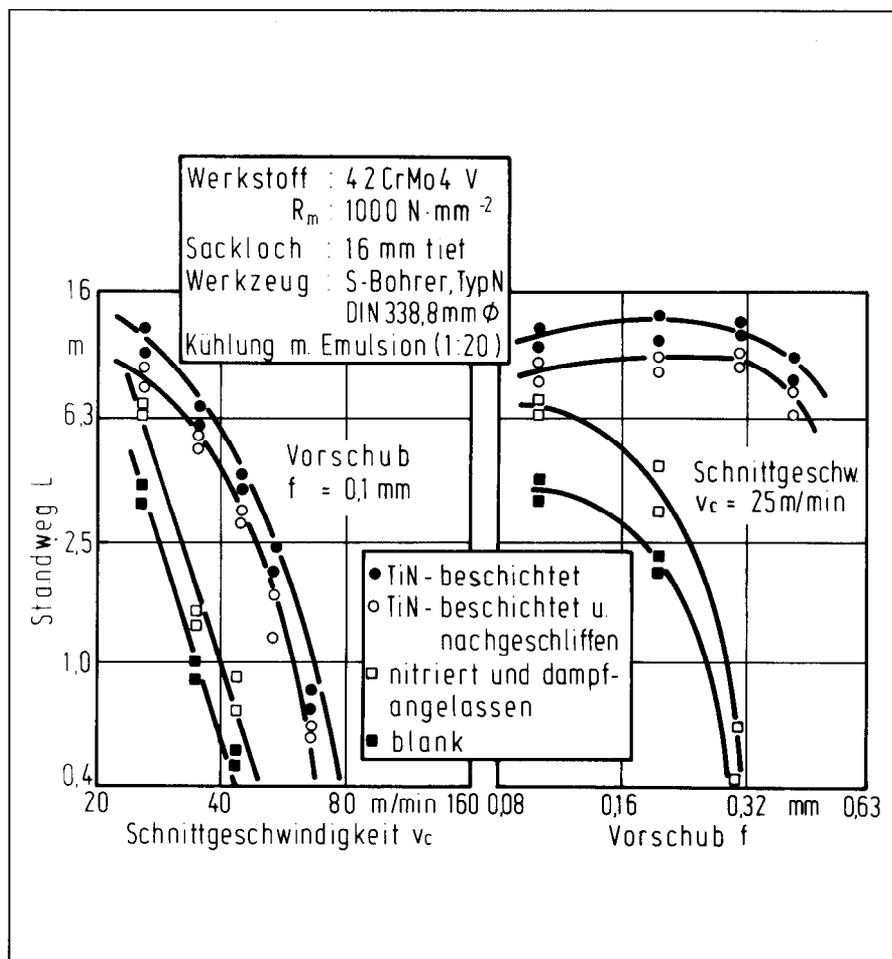


Bild 52: Standweg von Spiralbohrern

- Spanwinkel γ :
Mit größer werdendem Spanwinkel wird der Spanablauf besser und die Schnittkräfte werden geringer.
- Drallwinkel δ :
Der Drallwinkel hat den stärksten Einfluß auf die Größe des Spanwinkels. Ein großer Drallwinkel ergibt einen großen Spanwinkel. Der Späne-transport wird durch den Drallwinkel beeinflusst.
- Spitzenwinkel σ :
Die Zerspanarbeit wird durch einen kleinen Spitzenwinkel auf eine größere Schneidenlänge verteilt. Je härter der Werkstoff, desto kleiner ist der Spitzenwinkel.

Die exakte Einhaltung der Schneidengeometrie beim Nachschleifen ist unabdingbare Voraussetzung zur Erzielung einwandfreier Bohrungen. So ergeben sich bei ungleich langen Schneidkanten zu große Bohrungen. Haben die Schneidkanten ungleiche Winkel zur Bohrerachse, so daß nur eine Schneidkante arbeitet, so wird die Bohrung ungenau. Im Extremfall können ungleich lange Schneidkanten und ungleiche Winkel, also beide Fehler zusammen, zu einseitiger Werkzeugbeanspruchung und zu Löchern mit Übermaß führen.

3.2.4 Optimierung von Schneidengeometrien

Verbesserungen der Zerspanbarkeit lassen sich auch durch angepaßte Werkzeugprofile erreichen. *Bild 53* (links) zeigt ein Profil für Stähle im Festigkeitsbereich von 500–1000 N/mm². Spanraum und Spanwinkel sind so ausgelegt, daß auch bei tiefen Bohrungen eine gute Spanabfuhr gewährleistet ist. Für Werkstoffe mit höherer Festigkeit (800–1200 N/mm²) sind verstärkte Profile entwickelt worden (*Bild 53*, rechts). Im folgenden soll beispielhaft über Fortschritte bei der Optimierung von Schneidengeometrien bei Spiralbohrern für Ölkanalbohrungen in Kurbelwellen berichtet werden. Aus Hochschuluntersuchungen ist bekannt, daß sich durch Variation auf der Werkstoffseite die Standzeit der Werkzeuge positiv beeinflussen läßt. In *Bild 54* ist der Freiflächenverschleiß von Bohrern nach der Bearbeitung von Werkstoffen gleicher Festigkeit (ca. 220 HB) aufgetragen. Man erkennt, daß gesteuert abgekühlte Stähle (BY) in Zusammenhang mit höherem Schwefelgehalt (Ck 45 mod. BY) oder einer Sonderdesoxidation (Ck 45 Sond. BY) zu einem besonders geringen Verschleiß führen. Die vergüteten Stahlsorten (z. B.

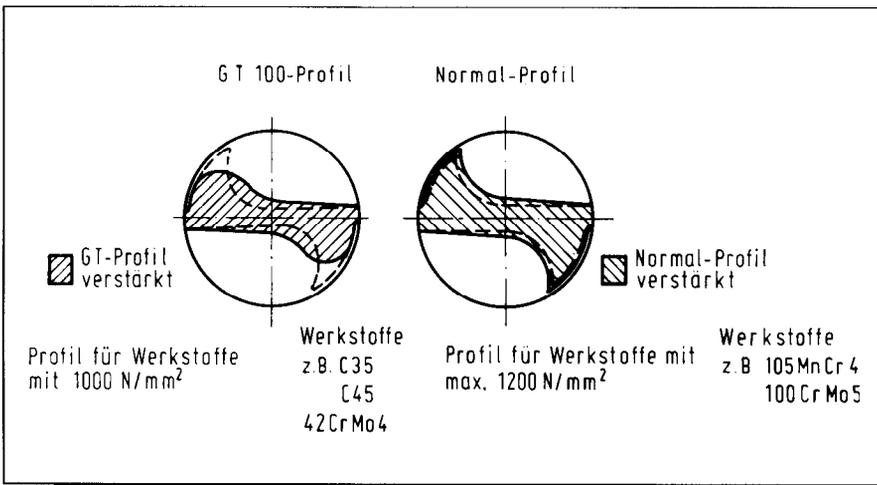


Bild 53: Profilloptimierung an Spiralbohrern

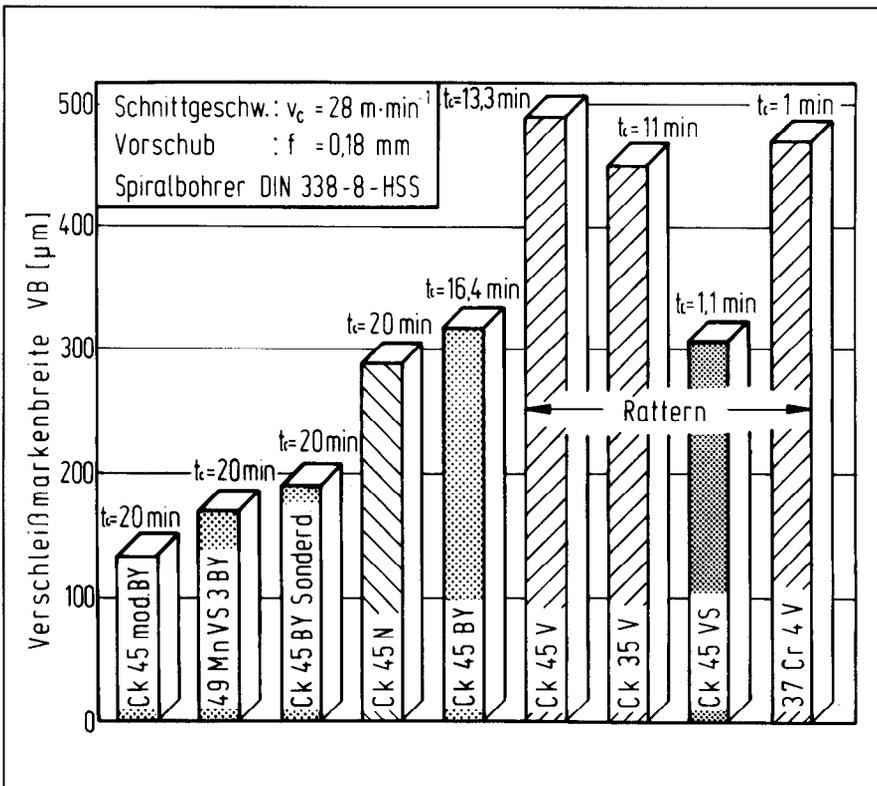


Bild 54: Vergleich des Bohrerverschleißes

Ck 45 V) haben nicht die vorgegebene Standzeit von $T = 20 \text{ min}$ erreicht. Die Bohrer waren bereits vorher zum Erliegen gekommen; im Falle des 37 Cr 4 V bereits nach 1 min.

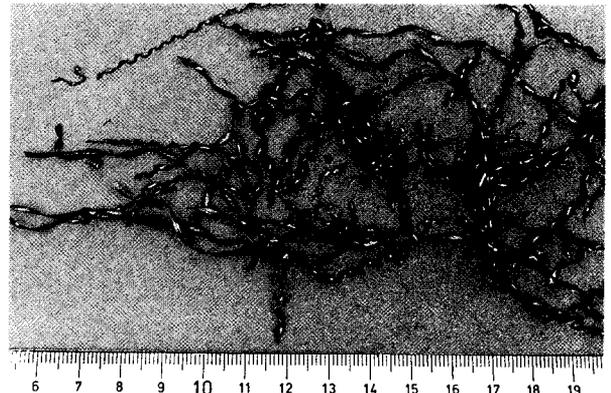
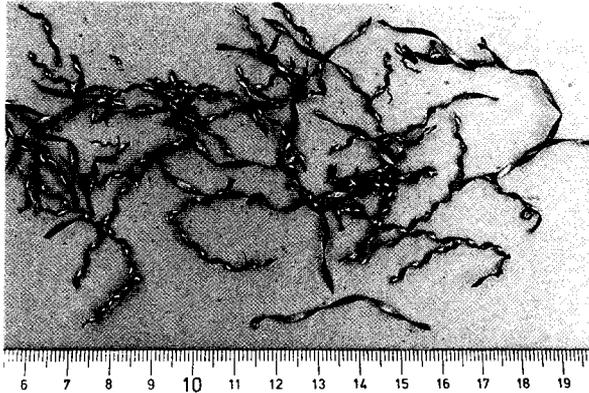
Bei Einsatz des Schmiedestahls C 38 mod. BY in der Serienfertigung von Kurbelwellen traten trotz eines relativ hohen Schwefelgehalts Späneprobleme bei der Herstellung von Ölkanalbohrungen auf (Bild 55). Die langen Bandspäne verhinderten die Zufuhr von Kühlschmiermittel an die Wirkstelle. Schon nach wenigen Bohrungen ergab sich ein hoher Fasenabrieb und es traten Werkstoffverklebungen auf. Auch TiN-beschichtete

Bohrer brachten keine Abhilfe (Bild 56). Durch Erhöhung des Vorschubes von $f = 0,08 \text{ mm}$ auf $f = 0,10 \text{ mm}$ wird der Span dicker und die Bruchneigung der Späne wird verbessert (ein dünner Span ist verformungsfähiger und bricht nicht so leicht). Zusätzlich wurde durch eine besondere Anschliff, dem sog. Spiralschliff (Spiral-Point) der Spanfluß günstig beeinflusst und ein besseres Verschleißverhalten erreicht. Es trat keine Aufbauschneidenbildung mehr auf. Dieser Anschliff erbrachte die gewünschte Standmenge von $n_{WT} = 80$ (dies entspricht einem Standweg von 10 m), (Bild 57).

Kurbelwellenbearbeitung

S=0,058%

S=0,047%



Werkstückstoff: C 38 mod. BY Arbeitsgang: Tieflochbohren Werkzeugmasch.: Transferstraße

Bild 55: Spanformen beim Tieflochbohren von Kurbelwellen

Unbeschichtet

Kurbelwellenbearbeitung

TiN-beschichtet

$n_{WT}=1$



Werkstückstoff: C 38 mod. BY Arbeitsgang: Tieflochbohren Werkzeugmasch.: Transferstraße

Bild 56: Verschleißformen an Tieflochbohrern

Konventionell
 $n_{WT} = 60$

Kurbelwellenbearbeitung

Spiral-Point
 $n_{WT} = 80$



Werkstückstoff: C 38 mod. BY Arbeitsgang: Tieflochbohren Werkzeugmasch. Transferstraße

Bild 57: Standmengenerhöhung durch optimierte Schneidengeometrie

3.3 Voll-Hartmetallbohrer

In jüngster Zeit haben Spiralbohrer aus Vollhartmetall (Beispiele s. *Bild 58*) zunehmende Bedeutung erhalten. Für Kurzlochbohrungen (max. $3,5 \cdot d$) im Bereich von 3 bis 20 mm ermöglichen derartige Bohrer ca. 4fach höhere Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten als Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl. Es gibt verschiedene Geometrieausführungen:

- 3schneidige Bohrer mit Kegelmantelanschiff
- 3schneidige Bohrer mit Sonderanschiff (z. B. M-Anschiff)
- 2schneidige Bohrer mit aktiver Querschneide.

Vollhartmetallbohrer besitzen aufgrund ihrer hohen Steifigkeit und der optimierten Schneidengeometrie sehr gute Zentriereigenschaften. Das Vorzentrieren kann daher entfallen. Bohrbuchsen sind nicht notwendig. Durch kürzere Fertigungszeiten wird weniger Maschinenkapazität benötigt und somit ergeben sich bei einer Gesamtbetrachtung Fertigungskostenvorteile für Vollhartmetallbohrer. Neben dem Zentrieren kann häufig ein Senken (Aufbohren) entfallen, da die erreichbaren Qualitäten und Genauigkeiten besser als bei HSS sind. Der

Einsatz von Vollhartmetallbohrern lohnt sich vor allen Dingen auf Bearbeitungszentren, wo jedes Werkzeug taktzeitbestimmend ist und kurze Hauptzeiten verlangt werden. Aufgrund ihres hohen Anschaffungspreises und des teilweise zeitaufwendigen Nachschleifens ergeben sich im direkten Werkzeugkostenvergleich zwischen HSS und HM nur selten Vorteile für die Vollhartmetallbohrer. Dort wo Anfasungen notwendig sind (z. B. Gewindekernloch) ist zu prüfen, ob ein zusätzliches Faswerkzeug (Kegelsenker) oder ein Vollhartmetallstufenbohrer verwendet werden soll.

Vollhartmetallbohrer benötigen für einen erfolgreichen Einsatz folgende Voraussetzungen:

- stabile Werkzeugspindel auch bei hohen Drehzahlen (Dreh- oder Frässpindellagerung)
- geringer Rundlaufehler (Richtwert: max. 0,02 mm bie 200 mm Auskrantung im Werkzeugzusammenbau)

Vollhartmetallbohrer für die Stahlbearbeitung werden auch wie HSS-Werkzeuge in TiN-Beschichtung angeboten. Zum Spannen der Werkzeuge eignen sich bei kleinen Durchmessern Spannzangen (Genauigkeitsausführung). Wegen der Gefahr des Durchrutschens sollten für

größere Durchmesser ab ca. 10 mm Schafformen mit Mitnahmefläche, z. B. nach DIN 1835, und entsprechende Spannfutter verwendet werden.

3.4 Hartmetall-Wendeschneidplattenbohrer

Kurzlochbohrer mit Hartmetall-Wendeschneidplatten werden im Durchmesserbereich ab $d = 12$ mm angeboten. Die Bohrungstiefe sollte $3 \cdot d$ nicht überschreiten. Es lassen sich — ähnlich wie bei den Vollhartmetallbohrern — deutlich höhere Schnittwerte als mit HSS-Werkzeugen realisieren. Die Anordnung der Wendeschneidplatten im Grundkörper sieht in der Regel wie folgt aus:

- eine Zentrumsschneide (hohe Zähigkeitsanforderungen an den Schneidstoff)
- eine außenliegende Schneide mit Schnittüberdeckung (hohe Anforderungen an die Warmhärte des Schneidstoffs).

Die geometrische Anordnung der Schneiden und ihre Geometrie ist meistens so ausgelegt, daß sich die Zerspankraftkomponenten in Betrag und Richtung möglichst ausgleichen. Aufgrund der engen Platzverhältnisse werden Lochplatten mit Schraubenklemmung einge-

Voll-Hartmetallbohrer

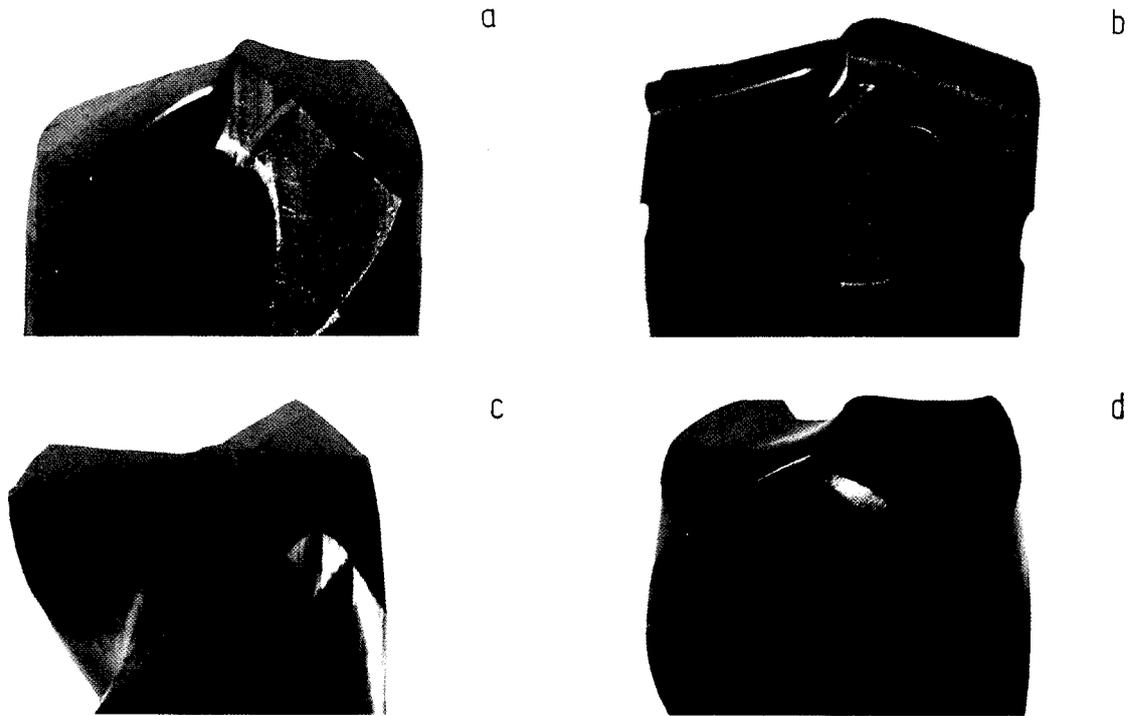


Bild 58: Ausführungen von Voll-Hartmetall-Bohrern für die Stahlbearbeitung

setzt. Wegen der Notwendigkeit, daß bei kleinen Bohrern ($d = 12\text{--}20\text{ mm}$) auch die Schneidplatten klein sein müssen, aber im Verhältnis dazu die Bohrungen in den Wendeschneidplatten immer größer werden, unterliegen diese Bohrer bzw. die eingeschraubten Wende-

schneidplatten einer hohen Bruchgefahr. Abhilfe schaffen hier spezielle hochkant eingesetzte Plattenformen mit einer vergrößerten Masse (s. a. *Bild 59*). Durch diese Bohrergeometrie konnte z. B. der Bruchanteil beim Vollbohren von geschmiedeten Kipphebeln in einer

Transferstraße deutlich reduziert werden.

Genauso wie bei allen Bohrwerkzeugen kommt es auch bei Wendeschneidplattenbohrern auf eine günstige Späneabfuhr an. Das *Bild 60* zeigt hierzu Beispiele aus der Pleuelbearbeitung. Beim Vorbohren ins Volle mit Wendeschneidplattenbohrern des kleinen Auges (Kolbenbolzenauge) traten ungünstige Band- und Fließspäne auf. Die Schnittdaten betragen $v_c = 120\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ und $f = 0,16\text{ mm}$. Durch Erhöhung des Schwefelgehalts beim verwendeten Schmiedestahl C 38 mod. BY in den Bereich von 0,060 bis 0,068% konnte das Problem gelöst werden. Die entstandenen kurzen Spanlocken sind für die automatisierte Fertigung in einer Transferstraße günstig.

Aufbohrwerkzeuge mit Hartmetallwendeschneidplatten sollten so ausgelegt werden, daß durch entsprechend angeordnete Wendeschneidplatten gleichzeitig mehrere Operationen (z. B. Fas- und Formvorgänge) in einem Schnitt durchgeführt werden können.

Genauso wie bei den Vollhartmetallbohrern benötigen Wendeschneidplattenbohrer stabile und steife Spindellagerungen. Eine innere Kühlschmiermittelzufuhr ist bei den schnell laufenden Hartmetallwerkzeugen Voraussetzung.

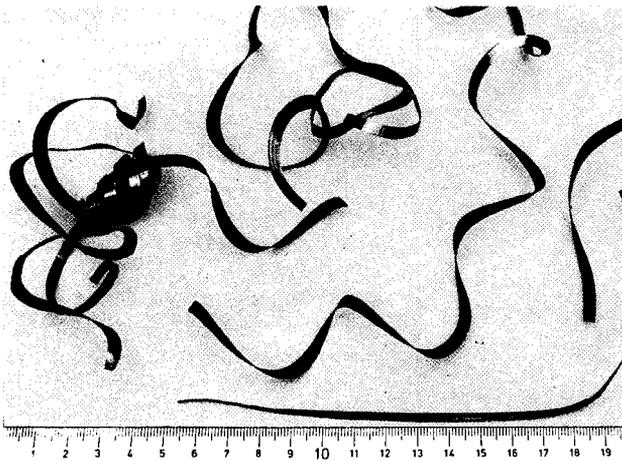


Bild 59: Kurzlochbohrer mit Wendeschneidplatten

S=0,030%

Pleuelbearbeitung

S=0,060%



Werkstückstoff: C 38 mod. BY Arbeitsgang: Vollbohren (kleines Auge)
 Werkzeugmaschine: Transferstraße

Bild 60: Einfluß des Schwefelgehalts auf die Spanformung

3.5 Tieflochbohren

Bei sehr großen Bohrtiefen ($l \geq 20 \cdot d$) werden spezielle Bohrverfahren eingesetzt. Bei geringen Bohrungsdurchmessern, z. B. Ölkanalbohrungen, werden vorzugsweise Einlippenbohrer verwendet. Die unsymmetrische Schneidenanordnung macht es notwendig, daß zusätzliche Führungsleisten zur Abstützung angebracht werden. Bei den Einlippenbohrern ist der Schneidteil aus Hartmetall und auf ein v-förmig gefalztes Rohr gelötet. Die Kühlschmiermittelversorgung erfolgt unter hohem Druck durch das Rohr und eine Bohrung mit Hartmetall-Schneidkopf von innen. Die Späne werden über den Spanraum zwischen Bohrungswand und Werkzeug abtransportiert. Dabei ist auf einwandfreie Filterung des Kühlschmiermittels zu achten. Das Anbohren erfolgt mit vorgezogenen Führungsbuchsen, die gleichzeitig das Kühlschmiermittel zum Werkstück hin abdichten.

Ein Bohrerbruch beim Einlippentieflochbohrer verursacht neben den reinen Werkzeugkosten auch hohe Folgekosten, z. B. Ausbrennen des abgebrochenen Bohrerteils oder im Extremfall kann das Werkstück, z. B. eine Kurbelwelle, nicht mehr weiter verwendet werden (Ausschuß). Zur Bohrerbruchüberwachung haben sich Leistungsmeßgeräte

bewährt. Bei den Einlippenbohrern deutet sich der Werkzeugbruch durch erhöhte Torsionskräfte am Bohrerschaft und eine damit verbundene Erhöhung der Antriebsleistung an. Durch Versuche lassen sich Leistungsgrenzwerte ermitteln, über die die Vorschubeinheit gestoppt und im Eilgang zurückgefahren wird. Bild 61 zeigt ein derartiges Bohrerbruchüberwachungsgerät mit Digitalanzeige für die aufgenommene Motorleistung in kW.

Neben dem Einlippentieflochbohren gibt es noch zwei weitere Tieflochbohrverfahren:

- Ejectorverfahren und
- BTA-Verfahren.

Das Ejectorverfahren läßt sich ab einem Bohrungsdurchmesser von 20 mm einsetzen. Die Kühlschmiermittelzufuhr und der Abtransport incl. Späne erfolgt durch zwei im Werkzeug liegende Kanäle. Beim BTA-Verfahren wird das Kühlschmiermittel von außen zwischen Bohr-

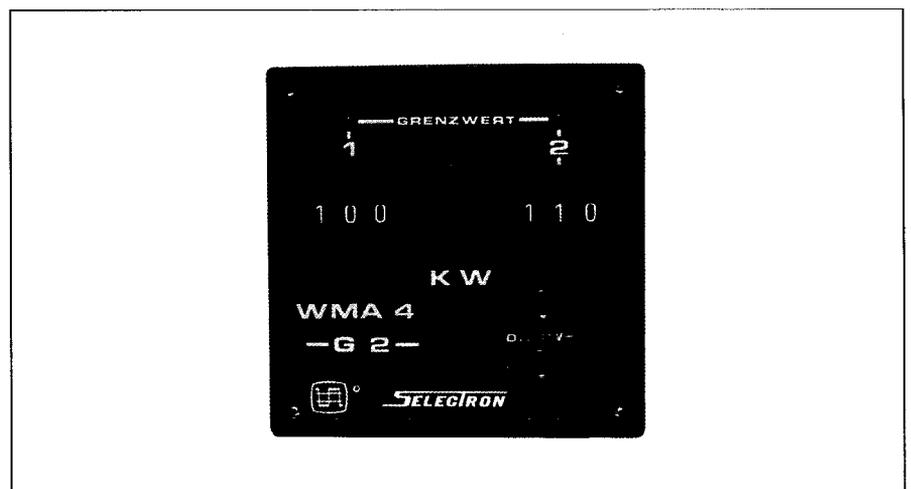


Bild 61: Leistungsüberwachung beim Bohren

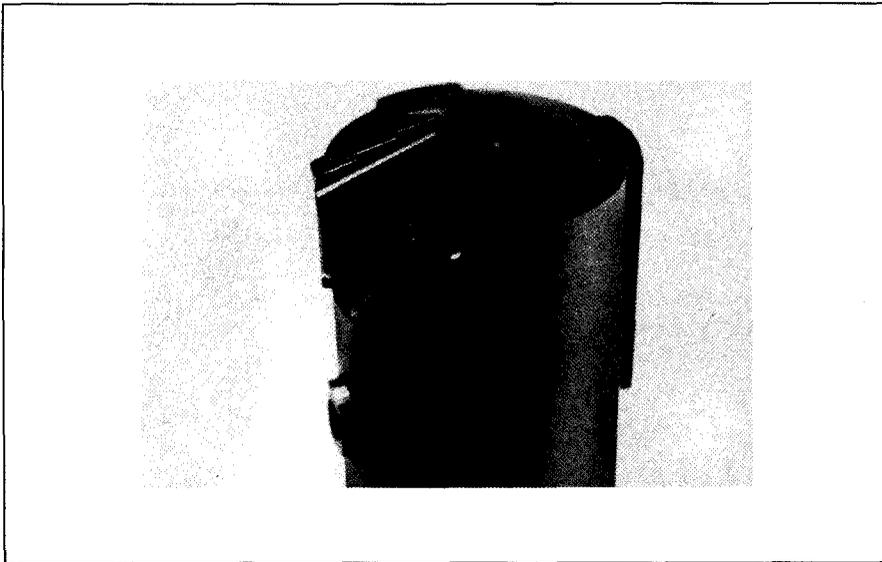


Bild 62: Tieflochbohrwerkzeug mit Wendeschneidplatte (BTA)

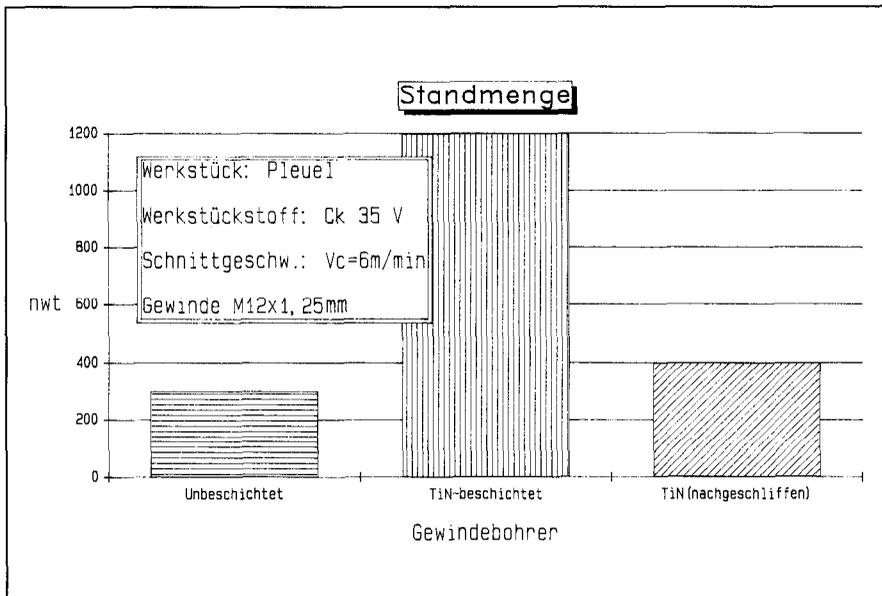


Bild 63: Standzeitoptimierung durch TiN-beschichtete Gewindebohrer

rohr und Bohrungswand zugeführt. Der Rückfluß geschieht zusammen mit den Spänen durch das Bohrungsrohr. Bild 62 zeigt ein BTA-Werkzeug zur Herstellung von Entlastungsbohrungen an Kurbelwellen in einer Operation. Die erreichbaren Oberflächengüten betragen $R_z \geq 25 \mu\text{m}$. Die Schneideinsätze und Führungsleisten sind geschraubt und daher leicht wechselbar.

3.6 Gewindebohren

An Gewindebohrer werden sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der Zähigkeit des Schneidstoffs gestellt. Man verwendet daher fast ausschließlich

Schnellarbeitsstahl. Neben der Maßhaltigkeit wird — insbesondere bei Sicherheitsverschraubungen — eine hohe Anforderung an die Oberflächenqualität der erzeugten Flanken gestellt. Zur Herstellung von einwandfreien Gewindebohrungen ist zuerst der richtige Gewindebohrertyp festzulegen. Man unterscheidet Form A (extrem großer Anschnitt), B (Durchgangsloch) und C (Sackloch). So wird bei Typ B mit Schälanschnitt der Span in Vorschubrichtung aus der Bohrung gefördert, während bei Typ C der Span nach hinten, d. h. entgegen der Vorschubrichtung, aus der Bohrung läuft. Weitere Festlegungen betreffen den Anschnitt, Stollenzahl, Span- und Spiralwinkel, der bei Sacklochbohrun-

gen entscheidend für die Späneabfuhr ist. Bei größeren Tiefen beträgt der Rechtsdrall 35° bis 45° .

Bei qualitativ hochwertigen Bohrungen lassen sich mit TiN-beschichteten Werkzeugen deutliche Standmengenerhöhungen bei gleichzeitiger Verbesserung der Gewindequalität erreichen. Der niedrige Reibungskoeffizient der Hartstoffbeschichtung ermöglicht ein besseres Abgleiten des Spans. In Einzelfällen muß jedoch die Gewindebohrergeometrie diesen veränderten Spanablaufbedingungen neu angepaßt werden. In einem Anwendungsfall bei der Herstellung von Gewinden M 12 x 1,25 mm in geschmiedeten Pleuelstangen konnte durch Einsatz von beschichteten Bohrern die Standmenge im Ersteinsatz um 300% auf $n_{WT} = 1200$ Werkstücke erhöht werden (Bild 63). Nach dem Nachschleifen betrug die Standmenge $n_{WT} = 400$ Werkstücke. Eine generelle Umstellung von Gewindebohrern auf TiN-Beschichtung ist ohne kritische Prüfung der einzelnen Einsatzstellen nicht zu empfehlen. Es treten immer wieder Fälle auf, wo die sich ergebenden Späneprobleme nur schwer zu lösen sind oder die Gesamtwirtschaftlichkeit aufgrund der teilweise sehr hohen Beschichtungskosten nicht gegeben ist.

Zur Gewindebohrerüberwachung und zur Erkennung, ob eine Kernlochbohrung vorhanden ist, haben sich Überlastgewindebohrerfutter bewährt. Bei Werkzeugbruch oder beim Anlaufen auf ein Hindernis (z. B. fehlende Grundbohrung) rutscht das Futter bei Überschreiten eines bestimmten Drehmoments durch und über die Vorschubbewegung wird ein Federpaket im Gewindefutter zusammengedrückt. Diese axiale Wegveränderung kann zum Auslösen eines Schaltimpulses genutzt werden. Über einen im Gewindefutter integrierten Sender wird ein Überwachungsgerät aktiviert und die Bearbeitungsstörung angezeigt. So lassen sich fehlerhafte Gewinde frühzeitig und nicht erst bei der Bauteilendmontage entdecken.

3.7 Räumen

Ein Räumwerkzeug besteht aus einer Vielzahl hintereinanderliegender, in der Höhe ansteigender Schneiden. Der Vorschub pro Zahn entspricht der Höhendifferenz der Zähne untereinander. Die Schnittbewegung ist in der Regel linear. Geräumt werden Innen- und Außenflächen. In DIN 8589 Bl. 2 ist das Räumen nach Verfahren und Schnittbewegung definiert:

- Planräumen
- Rundräumen (Außen/Innen)
- Schraubräumen
- Formräumen (Außen/Innen)
- Ungeradräumen.

Die DIN 1415—1419 sowie DIN 5480 enthalten Hinweise zur Gestaltung der Werkzeuge. Beispiele von Räumbearbeitungen sind:

Pleuel räumen (Auge, Trennfläche/Verzahnung), Lagerdeckelaußen/innenkontur, Bohrungen in Antriebsrädern, Verzahnungen in Schieberädern, Keilnuten etc.

Für das Räumen sollte der Stahlwerkstoff zwischen 500 und 900 N/mm² Festigkeit haben. Zu geringe Festigkeiten führen zum Schmieren. Das Gefüge sollte perlitisch sein, damit sich ein eng zusammengerollter Span ergibt. Beim Räumen von Bohrungen ist unbedingt eine Vorbohrung erforderlich. Räumlängen liegen normalerweise im Bereich von 12 bis 160 mm (ca. 2facher Bohrungsdurchmesser). Dabei ist zu beachten, daß in der Schruppverzahnung mindestens immer drei Zähne gleichzeitig im Eingriff sind.

Als Schneidstoff wird üblicherweise Schnellarbeitsstahl (S 2-9-2, SC 6-5-2, S 6-5-2-5) verwendet. Die Härte reicht in der Regel mit 64 bis 66 HRC aus. Wichtig ist die Zähigkeit von Schnellarbeitsstahl beim unterbrochenen Räumschnitt. Der Einsatz von Hartmetall bzw. von Wendschneidplatten ist bisher auf wenige Einsatzbereiche beschränkt. In den Fällen, wo hochwertige Schmiedewerkstückstoffe mit Festigkeiten im Bereich von 1000 N/mm² geräumt werden müssen und die Verschleißfestigkeit von konventionellen Schnellarbeitsstahl nicht mehr ausreicht, ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- Verwendung von pulvermetallurgischem Schnellarbeitsstahl (ASP) oder
 - Verwendung von TiN-beschichtetem Schnellarbeitsstahl (PVD-Verfahren).
- Im letztgenannten Fall muß jedoch der Späneentwicklung besondere Bedeutung gewidmet werden. Durch die TiN-Beschichtung verringert sich bekanntlich der Reibungskoeffizient und es können ungünstige, lange Späne entstehen. Beim Räumen von Bohrungen führt dies zu Späneklemmungen und dem Ausbruch von Werkzeugzähnen. In

solchen Fällen sind Optimierungen der Schneidengeometrie erforderlich. Eine andere Maßnahme besteht darin, bereits vor dem Ersteinsatz des Werkzeugs die Spanfläche zu schleifen, d. h. die TiN-Schicht dort gezielt zu entfernen. Man erreicht damit folgende Vorteile:

An der verschleißbeanspruchten Freifläche bleibt die schützende Beschichtung erhalten. Der Spanabfluß erfolgt wie bisher über die unbeschichtete Spanfläche. Außerdem entfällt die ansonsten durch das Beschichten prinzipbedingte Schneidkantenverrundung. Durch das Schleifen der Spanfläche wird die Schneidkante scharfkantig.

Versuche an geschmiedeten Pleuel aus BY-Material in der Praxis zeigen, daß durch beschichtete Verzahnungsräumwerkzeuge (Trennfläche großes Pleuelauge) Standmengenerhöhungen um 100% möglich sind.

Die üblichen Schnittgeschwindigkeiten beim Räumen von Schmiedeteilen betragen 3—8 m/min; die Spanwinkel liegen im Bereich von 15—22°; die Spannurdicken variieren von 0,1 mm (Schruppbereich) bis 0,025 mm (Schlichten). Als Kühlschmiermittel ist vorzugsweise Öl oder hochlegierte Emulsion zu verwenden. Aus Gründen einer wirtschaftlichen Aufarbeitung der Räumwerkzeuge sollte bei einer Verschleißmarkenbreite von ca. 0,2 mm das Werkzeug gewechselt werden. Abrundungen an den Ecken der Zahnschneiden deuten auf zu langen Werkzeugeinsatz hin.

Die erreichbaren Qualitäten beim Außen- und Innenräumen liegen bei IT 7—8. Die Oberflächengüten betragen $R_z = 6,3$ bis 25 μm .

Das Räumen ist nicht zuletzt auch aufgrund der teuren Werkzeuge ein Bearbeitungsverfahren, das sehr aufmerksam in der Fertigung beobachtet werden sollte. Bei schwierigen Räumaufgaben (z. B. Räumen von Bohrungen hoher Qualität) empfiehlt es sich, beim Werkzeughersteller vor Auslieferung der Werkzeuge eine Proberäumung durchführen zu lassen. Optimierungen der Werkzeuggeometrie und Schneidstoffsorte sollten in Zusammenarbeit mit renommierten Werkzeugherstellern erfolgen, die bei diesem äußerst komplexen Verfahren insgesamt die meiste Erfahrung besitzen.

3.8 Reiben

Reiben ist ein Aufbohrverfahren zur Herstellung maß- und formgenauer Bohrungen mit hoher Oberflächengüte. Mit Reibahlen lassen sich die ISO-Qualitäten IT 8 und IT 7, mit hohem Aufwand auch IT 6, erreichen. Die Lagegenauigkeit wird dabei von der Vorbearbeitung bestimmt. Die übliche Bearbeitungsreihenfolge für eine Paßbohrung lautet: (Voll)Bohren, Aufbohren (Senken), Reiben.

Zum Reiben werden bei kleinen Bohrungen nachschleifbare HSS- oder HM-Reibahlen verwendet. Der Hartmetall-Anteil ist mit 40% deutlich höher als bei den Spiralbohrern. Übliche Schnittgeschwindigkeiten von Reibahlen liegen bei 10 bis 18 m/min; Vorschub pro Zahn ca. 0,07 bis 1,2 mm. Zur Reduzierung des Polygoneffektes empfiehlt es sich, Werkzeuge mit ungleicher Teilung zu verwenden. Werkzeuge mit innerer Kühlschmiermittelversorgung ergeben eine bessere Späneabfuhr und höhere Oberflächenqualitäten. Eine wichtige Größe bei Reibahlen ist der Anschnitt. Der Anschnitt der Reibahle führt die Zerspannung durch. Ein kurzer Anschnitt mit Anschnittwinkel $> 45^\circ$ ist für Maschinenreibahlen allgemein üblich (besonders bei Grundbohrungen). Lange Anschnitte (z. B. Anschnittwinkel $< 45^\circ$ und 1° für Reibahlen mit Schälschnitt sind nur für Durchgangsbohrungen geeignet. Durch derartige Anschnittformen wird häufig versucht über das Reibwerkzeug noch eine Lagekorrektur der Bohrung durchzuführen, falls die Genauigkeit des Vorbohrens bzw. Senkens nicht ausreichend ist.

Reibahlen haben üblicherweise an der Freifläche eine Rundschliffase (Breite ca. 0,2 mm). Einerseits wird dadurch die Maßkontrolle erleichtert; andererseits wird dadurch die Standzeit gegenüber scharfkantigen Schneidkanten erhöht. Neben den mehrschneidigen Reibahlen werden einschneidige Werkzeuge mit zusätzlichen Stützleisten verwendet. Die Schneidmesser sind hierbei wie Wendschneidplatten austauschbar. Auch größere Bohrungen können durch Reiben hergestellt werden. Der Vorteil beim Reiben liegt darin, daß das endgültige Maß direkt im Werkzeug liegt und nicht wie z. B. beim Feindreihen bzw. Spindeln abhängig vom Nachgiebigkeitsverhalten des Werkzeugs, der Werkstückvorrichtungen und der Genauigkeit der Werkzeugmaschine ist.

3.9 Praktische Tips

Bohrprobleme

- Standlänge zu gering

- Schneide bricht aus

- Bohrer quietscht

- Bohrer bricht

- Lage der Bohrung nicht in Ordnung

- Durchmesser der Bohrung nicht in Ordnung

- Gewinde zu weit

- Gewinde zu eng

- Gewindebohrerbruch

- Gewindetiefe wird nicht erreicht

- Unsaubere Gewindeflanken

- Flankenspitzenausbruch

- Kaltverschweißung an den Flanken

- Wurrspan

Abhilfe

- Schnittgeschwindigkeit oder Vorschub zu groß
- intensiver kühlen
- besser entspänen
- Bohrergeometrie prüfen
- Wendeteil möglichst kurz halten
- Werkzeugspannsystem prüfen

- Vorschub verkleinern (beim Anbohren)
- Freiwinkel reduzieren

- Schneideckenverschleiß zu groß
- Fettgehalt des Kühlschmiermittels erhöhen

- Vorschub reduzieren
- Schneide zu stumpf
- Anschliff unsymmetrisch

- Vorzentrieren
- Bohrbüchse mit richtigem Abstand verwenden

- Bohrerdurchmesser überprüfen
- korrekten Anschliff verwenden
- Bohrer zu lange im Einsatz

- Kernloch zu groß
- Spanwinkel zu groß
- Spindelversatz von Kernloch- und Gewindestation
- Restgrat, Aufschweißungen am Werkzeug

- Kernloch zu eng
- Spanwinkel zu klein
- Flankendurchmesser zu gering

- falsche Schnittgeschwindigkeit
- Bohrer zu hart
- Spänestau in den Spannuten
- Bohrer stumpf

- Anschnitt am Bohrer zu lang
- Einstellmaß prüfen
- Drehmoment des Gewindefutters prüfen

- Spanwinkel zu klein
- Fettgehalt des Kühlschmiermittels zu gering

- Fettgehalt des Kühlschmiermittels zu gering

- Weichhaut am Werkzeug
- Gewindebohrer stumpf

- Spiralwinkel ändern
- Spanwinkel im Anschnitt verkleinern