

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Maschinenbau



Institut für Produktionstechnik und spanende Werkzeugmaschinen

Leitung Prof.Dr.-Ing. H. Schulz

Diplomarbeit:

**Steigerung der Bohrlochqualität beim Bohren und Reiben mit erhöhten
Schnittgeschwindigkeiten in verschiedenen Stählen**

Vorgelegt von

Mohruni, Amrifan S.

Betreut von

Dipl.-Ing. Andreas K. Emrich

Dipl.-Ing. Leping Zhu

Darmstadt, im Sommer 1998



Diplomarbeit
für
Herrn cand.-ing. Mohruni Amrifan S

Thema: Steigerung der Bohrlochqualität beim Bohren und Reiben mit erhöhten Schnittgeschwindigkeiten in verschiedenen Stählen

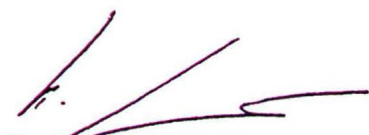
Die bislang am Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen und anderorts durchgeführten Versuche zeigen für die Verfahren Bohren und Reiben ein eindeutiges Entwicklungspotential im Hinblick auf erhöhbbare Fertigungsgenauigkeiten und reduzierbare Hauptzeiten. Unter dem Stichwort Komplettbearbeitung bei hohen Schnittgeschwindigkeiten und gleichzeitig hoher Präzision sollen die der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung eigenen Vorteile auch für das Bohren und Reiben erschlossen werden.

An den Stahlwerkstoffen 58CrMoV4 und 42CrMo4V sind Bohr- und Reibversuche mit erhöhten Schnittgeschwindigkeiten durchzuführen. Die Technologieparameter Schnittgeschwindigkeit und Vorschub, sowie Art und Menge der Kühlschmierung sind mit dem vorrangigen Ziel zu variieren, bei hoher Prozeßsicherheit die Qualität der erzeugten Bohrungen zu verbessern. Daneben sind auch verschiedene Werkzeuggeometrien zu untersuchen und die folgenden Größen zu optimieren:

- Spanabfuhr in Abhängigkeit der Technologieparameter und Kühl-/Schmierart
- Durchmessertoleranz
- Rundheit
- Zylinder-Formabweichung
- Oberflächengüten

Für die Versuche werden Bohrwerkzeuge (Durchmesser 6.0 ... 16.0 mm) und Reibahlen (Durchmesser 12.2 mm) eingesetzt.

Betreuer: Dipl.-Ing. Andreas K. Emrich, Dipl.-Ing. Leping Zhu
Beginn der Arbeit: 14.05.1998
Abgabe der Arbeit:



(Prof. Dr.-Ing. H. Schulz)

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung der vorliegenden Diplomarbeit unterstützt haben.

Herrn Prof.Dr.-Ing. H. Schulz danke ich für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit am Institut für Produktionstechnik und spannende Werkzeugmaschinen.

Herrn Dipl.-Ing. Andreas.K.Emrich und Dipl.-Ing. Leping Zhu danke ich für die engagierte und verständnisvolle Betreuung und motivierende Unterstützung bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig, nur mit Hilfe der angegebenen Literatur und dem Betreuer bei der Sprachkorrektur angefertigt habe.

Darmstadt, im Sommer 1998

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Hochgeschwindigkeitsbohren	1
1.2 Problemstellung	2
2. Theoretische Grundlagen	3
2.1 Das Bohren	3
2.1.1 Bohren mit Spiralbohrern	4
2.1.2 Bohren mit Wendeschneidplatten	6
2.2 Zerspankräfte, Schnittmomente und Leistung	7
2.3 Spanbildung und Spanarten	11
2.4 Verschleiß	14
2.5 Schneidstoffe für Bohrwerkzeuge	15
2.6 Beschichtungen	17
2.7 Kühlschmierstoffe	18
3. Versuchseinrichtungen	20
3.1 Versuchsmaschine	20
3.2 Versuchswerkzeuge	21
3.3 Versuchswerkstoffe	22
3.4 Meß- und Analyseverfahren	22
3.4.1 Werkzeugverschleißmessung	23
3.4.2 Zerspankraftmessung	24
3.4.3 Bestimmung der Form- und Durchmesserabweichung	25
3.4.4 Bestimmung der Oberflächenrauheit	26
4. Versuchsdurchführung	29
5. Versuchsauswertung	31
5.1 Variation der Schnittparameter	32
5.2 Variation der Beschichtung	36
5.3 Variation des Werkstückstoffs	41
5.4 Variation der Bohrergeometrie	49
6. Zusammenfassung und Ausblick	60
Literaturverzeichnis	

Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheiten
α	Freiwinkel	[°]
β	Keilwinkel	[°]
γ	Spanwinkel	[°]
κ	Einstellwinkel	[°]
A	Spanungsquerschnitt	[mm ²]
a_e	Schnittbreite	[mm]
a_p	Schnitttiefe	[mm]
b	Spanungsbreite	[mm]
d	Durchmesser	[mm]
d_o	Durchmesser Oben	[mm]
d_m	Durchmesser Mitte	[mm]
d_u	Durchmesser Unten	[mm]
F_a	Aktivkraft	[N]
F_p	Passivkraft	[N]
F_c	Schnittkraft	[N]
F_z	Kraft in Vorschubrichtung	[N]
f_λ	Neigungswinkelfaktor	[-]
f_r	Formfaktor	[-]

Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheiten
f_h	Spandickefaktor	[mm]
f_r	Faktor für Spanwinkleinfluß	[-]
f_{st}	Stumpfungsfaktor	[-]
f_{sv}	Schneidstoff- und Schnittgeschwindigkeitseinfluß	[-]
H	Hebelarm	[mm]
h	Spanungsdicke	[mm]
$k_{cl,1}$	Bezugsschnittkraft	[N/mm ²]
k_c	spezifische Bezugsschnittkraft	[N/mm ²]
Mz	Moment um Bohrerlängsachse	[Nm]
N	Drehzahl	[U/min]
Rmax	maximale Rauhtiefe	[µm]
Rz	gemittelte Rauhtiefe	[µm]
Ra	Mittenrauhwert	[µm]
Wt	Wellentiefe	[µm]
VB	Verschleißmarkenbreite	[µm]
VBmax	maximale Verschleißmarkenbreite	[µm]
vf	Schnittgeschwindigkeit	[m/min]
z	Schneidenzahl	[-]

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 2.1: Verfahrensvarianten beim Bohren (nach DIN 8589)	4
Abbildung 2.2: Spiralbohrer mit Kegelschaft (nach DIN 1412)	5
Abbildung 2.3: Flächen, Schneiden und Schneidecken am Spiralbohrer nach DIN 6581	5
Abbildung 2.4: Schneidengeometrie des Spiralbohrers nach DIN 6581	6
Abbildung 2.5: Wendeschneidplattenanordnung an einem Bohrer	7
Abbildung 2.6: Zerspankräfte am Spiralbohrer	8
Abbildung 2.7: Zerspankräfte beim Bohren über dem Radius $r=0$ bis zu $r=d/2$	10
Abbildung 2.8: Wirkzonen bei der Spanentstehung	12
Abbildung 2.9: Phasen der Spanentstehung beim Bohren	13
Abbildung 2.10: Spanformen beim Bohren	14
Abbildung 2.11: Eigenschaften verschiedener Schneidstoffe-schematisch	16
Abbildung 2.12: Unterteilung der wichtigsten Kühlschmierstoffe nach DIN 51385	19
Abbildung 3.1: Bearbeitungszentrum BAZ 325 der Fa. IXION	20
Abbildung 3.2: Meßmikroskop Fa. Leitz am Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen.	23
Abbildung 3.3: Typischer Kraft- und Momentenverlauf beim Bohren.	24
Abbildung 3.4: 3D-Koordinatenmeßmaschine im Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen TU Darmstadt.	25
Abbildung 3.5: Position der Durchmesserbestimmung	26
Abbildung 3.6: Ausdruck einer Oberflächenmessung	27
Abbildung 3.7: Oberflächen-Meßgerät Perthometer S8P im Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen TU Darmstadt.	27
Abbildung 5.1: Einfluß der Schnittgeschwindigkeitssteigerung auf den Standweg.	33
Abbildung 5.2: Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf der Oberflächengüte.	34
Abbildung 5.3: Vergleich der Formabweichung.	34
Abbildung 5.4: Vergleich der Durchmesserabweichung	35

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 5.5: Einfluß der Beschichtung auf den Standweg des Bohrers.	38
Abbildung 5.6: Einfluß der Beschichtung auf der Oberflächenrauheit R_{max}	38
Abbildung 5.7: Einfluß der Beschichtung auf der Oberflächenrauheit R_z	39
Abbildung 5.8: Einfluß der Beschichtung auf der Oberflächenrauheit R_a .	39
Abbildung 5.9: Vergleich der Formabweichung in Abhängigkeit von der Beschichtung	40
Abbildung 5.10: Vergleich der Durchmesserabweichung in Abhängigkeit von der Beschichtung.	40
Abbildung 5.11: Schneideckenbruch bei Werkzeug GAC30 bei 20. Bohrung	43
Abbildung 5.12: Werkstoffeinfluß auf den Standweg	44
Abbildung 5.13: Werkstoffeinfluß auf der Oberflächengüte R_{max} .	44
Abbildung 5.14: Werkstoffeinfluß auf der Oberflächengüte R_z	45
Abbildung 5.15: Werkstoffeinfluß auf der oberflächengüte R_a	45
Abbildung 5.16: Vergleich der Formabweichung (Oben) auf verschiedenen Werkstoff	46
Abbildung 5.17: Vergleich der Formabweichung (Mitte) auf verschiedenen Werkstoff	46
Abbildung 5.18: Vergleich der Formabweichung (Unten) auf verschiedenen Werkstoff	47
Abbildung 5.19: Vergleich der Durchmesserabweichung (Oben) auf verschiedenen Werkstoff	47
Abbildung 5.20: Vergleich der Durchmesserabweichung (Mitte) auf verschiedenen Werkstoff	48
Abbildung 5.21: Vergleich der Durchmesserabweichung (Unten) auf verschiedenen Werkstoff	48
Abbildung 5.22: Festgeklemmte Bohrer in der Bohrung bei Versuchsreihe mit kleinerer Bohrtiefe	50
Abbildung 5.23: Abgeplatzte A4(172d)-Beschichtung bei 150. Bohrungen bei Versuchsreihe mit kleinerer Zugfestigkeit	51
Abbildung 5.24: Verschleißverlauf bei A4 (HSDII/2) mit 4D-Bohrtiefe	52
Abbildung 5.25: Einfluß der Bohrgeometrie auf den Standweg	53
Abbildung 5.26: Vergleich der Oberflächengüte der Bohrwerkzeuge	54

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 5.27: Vergleich der Formabweichung	54
Abbildung 5.28: Vergleich der Durchmesserabweichung	55
Abbildung 5.29: Oberflächengüte bei der A4(HSDII/°) mit Sacklöchern	56
Abbildung 5.30: Formabweichung bei der A4(HSDII/2) mit Sacklöchern	56
Abbildung 5.31: Durchmesserabweichung bei der A4(HSDII/2) mit Sacklöchern	57
Abbildung 5.32: Momentenverlauf bei der A4(HSDII/2) mit Sacklöchern	58
Abbildung 5.33: Vorschubkraftverlauf bei der A4(HSDII/2) mit Sacklöchern	58
Abbildung 5.34: Zylinderrundheit bei der A4 (HSDII/2) mit Sacklöchern	59

1 EINLEITUNG

Ziel von Fertigungstechnik ist es, so zu fertigen, daß ein technisch und wirtschaftlich optimales Ergebnis entsteht. Wirtschaftliche Produktion bedeutet geringer Kostenaufwand, der von richtigem maschinellen Einsatz, niedrigem manuellen Arbeitseinsatz, richtigem Materialeinsatz und richtiger Organisation sehr stark beeinflusst wird. Zum technisch optimalen Ergebnis gehören ausreichende Qualität und hohe Flexibilität des Produktes.

1.1 Hochgeschwindigkeitsbohren

Das HSC-Bohren ist, im Gegensatz zum HSC-Drehen und Fräsen, eine Schruppbearbeitung. Dem Hauptzeitgewinn durch Vervielfachung von Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit stehen beim HSC-Bohren erhebliche Probleme bei der Spanabfuhr entgegen, insbesondere bei Sacklöchern. In der Serienfertigung konkurriert das HSC-Bohren mit der mehrspindigen Bearbeitung. Dabei wird u.U. eine verlängerte Hauptzeit zugunsten einer wesentlich größeren Flexibilität in Kauf genommen, womit der Aufwand auf der Maschinenseite reduziert und die Flexibilität verbessert wird.

Innengekühlte Werkzeuge, die eine Voraussetzung für eine effektive HSC-Bearbeitung sind, benötigen Hochdruck-Drehdurchführungen (mind. 50 bar), große Kühlschmierstoffmengen und Feinstfilter ($< 20 \mu\text{m}$).

Im Verlauf der Zeit gewinnen das Bohren und das Reiben neben dem schon fast klassischen Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungsverfahren Fräsen immer mehr an Bedeutung, dabei stellt sich die Frage, ab wann man von Hochgeschwindigkeitsbohren und -reiben sprechen kann. Im Rahmen des am Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen PTW der TU Darmstadt laufenden Forschungsverbundprojektes „HSD-Hochgeschwindigkeitsbohren und -reiben mit hoher Präzision“ wurde die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung als „HSD“ $\geq$ „D“ $\times 2$ festgelegt, d.h. die klassischen Werte sollten um mindestens den Faktor zwei übertroffen werden.

Das Bohren mit hohen Schnittgeschwindigkeiten bereitet größere Schwierigkeiten, wie schon erwähnt: Ein Grund ist der Transport der noch dazu im ununterbrochenen Schnitt anfallenden Späne aus der Tiefe der Bohrung durch die Spannuten des Werkzeuges. Außerdem kann die anfallende Wärme nicht so schnell mit dem Span abgeführt werden wie beim Fräsen oder Drehen, sondern wird von diesem teilweise an die Bohrungswand und den Bohrer abgeben. Der Einsatz einer Innenkühlung (IK), wobei der Kühlschmierstoff (KSS) durch das Werkzeug direkt an die Wirkstelle im Grund der Bohrung gebracht wird, kann hier in vielen Fällen Verbesserungen bringen, zumal die auftretende Spülwirkung den Spänetransport stark unterstützen kann. In vielen Fällen ist das HSC-Bohren ohne eine Innenkühlung nicht realisierbar, z.B. bei der Bearbeitung einer Titanlegierung. Aus diesem Grund ist die zwar angestrebte trockene Hochgeschwindigkeitsbearbeitung beim Bohren zur Zeit noch nicht Stand der Technik.

1.2 Problemstellung

Im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren ist das Hochgeschwindigkeitsbohren eines der jüngeren Verfahren im Bereich Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Aus diesem Grund soll dieses Verfahren im Hinblick auf die Standzeit und die Qualität der Bohrungen optimiert werden. Die Qualität wird durch die Oberflächengüte (R_{max} , R_z , R_a , W_t), die Rundheit, die Durchmesser und die Zylinderformabweichung bestimmt.

Im Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit wurden Bohrversuche mit variierten Technologieparametern wie Schnittgeschwindigkeit und Vorschub am Vergütungsstahl 42CrMo4V und am 58CrMoV4 durchgeführt. Darüber hinaus sollten Bohrer mit verschiedenen Geometrien und Beschichtungen von unterschiedlichen Herstellern untersucht werden.