

Einfluss charakteristischer Werkstoffeigenschaften auf die Werkstückrandschicht und Spanbildung bei dem Hochgeschwindigkeitsdrehen

Vom Fachbereich Produktionstechnik
der
UNIVERSITÄT BREMEN

Zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Philippe Pouteau

Gutachter: Prof. Dr.-Ing.habil. Peter Mayr
Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Keßler

Tag der mündlichen Prüfung: 20.04.2009

Forschungsberichte aus der Stiftung Institut für Werkstofftechnik
Bremen

Band 50

Philippe Pouteau

**Einfluss charakteristischer Werkstoffeigenschaften
auf die Werkstückrandschicht und Spanbildung bei
dem Hochgeschwindigkeitsdrehen**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9015-3

ISSN 1437-7659

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Stiftung Institut für Werkstofftechnik (IWT) in Bremen, Hauptabteilung Werkstofftechnik. Die durchgeführten Untersuchungen wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens großzügig durch die deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mayr, dem ehemaligen geschäftsführenden Direktor des IWT Bremen, danke ich für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit, sein stetes Interesse am Fortgang der Untersuchungen und die Begutachtung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch als amtierender Leiter des Institutes danke ich für seine Unterstützung im Rahmen meiner Promotion.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Kessler für seine fachlichen Hinweise und die Begutachtung sowie den anderen Mitgliedern des Prüfungsausschusses Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Ekkard Brinksmeier, Herrn Dr.-Ing. André Walter, Frau Dr.-Ing. Brigitte Clausen und Herrn Yavuz Öztürk.

Weiterhin gilt ein ganz besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Hoffmann und Herrn Dr.-Ing. Thomas Lübben für die Betreuung, die ergiebigen wissenschaftlichen Diskussionen, die kritische Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Hinweise.

Ebenso danke ich allen Mitarbeitern des IWT, die diese Arbeit unterstützt haben. Persönlich möchte ich mich jedoch bei Herrn Prof. Dr. Phil. Hermann Vettors für sein Engagement und seine Unterstützung, bei Frau Karin Busch und ihren Mitarbeitern für die Metallographie, bei Herrn Norbert Kunert und seinen Mitarbeitern für die Werkstatt, bei Herrn Priv.-Doz. Dr.-Ing. Thomas Hirsch und Herrn Dipl.-Ing. Radik Safin für den Röntgenlabor und bei allen Mitarbeitern der Hauptabteilung Fertigungstechnik des IWT für die Zusammenarbeit bedanken.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern, bei meiner Frau Anna und bei meiner Tochter Alicja für die moralische Unterstützung bedanken.

Philippe Pouteau

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	III
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Kenntnisse	3
2.1 Charakteristische Komponenten des Drehens	3
2.2 Definitionen der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	5
2.3 Werkstoffeinflüsse auf die Zerspanbarkeit.....	7
2.3.1 Zerspanbarkeit	7
2.3.2 Werkstoffeinflüsse.....	8
2.4 Spanbildung und Spanarten bei der Zerspanung	11
2.5 Spanbildungsmechanismen bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	15
2.5.1 Mechanischer Ansatz.....	15
2.5.2 Thermo-mechanischer Ansatz	16
2.6 Spananalyse.....	18
2.7 Randzonenbeeinflussung des Werkstücks beim Drehen	18
2.7.1 Härte und Gefüge.....	19
2.7.2 Eigenspannungen	20
2.7.3 Rekristallisationsverhalten nach einer Verformung	26
3 Aufgabenstellung.....	30
3.1 Problemstellung.....	30
3.2 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	30
4 Versuchseinrichtungen und Analysegeräte	33
4.1 Versuchsmaschinen	33
4.2 Probenform.....	34
4.3 Werkstoffauswahl	35
4.4 Untersuchungsmethoden	37
4.4.1 Zugversuche nach DIN EN 10 002.....	37
4.4.2 Laser-Flash Methode	37
4.4.3 Metallographische Untersuchungen und Bildanalyse.....	38
4.4.4 Härte- und Ultramikrohärteprüfungen.....	39
4.4.5 Röntgenographische Untersuchungen.....	40

5	Verhalten reiner Metalle beim Außenlängsdrehen	42
5.1	Zerspankräfte	43
5.2	Untersuchungen an der Werkstückrandzone	45
5.2.1	Resultierende Oberflächenänderung	45
5.2.2	Randzonengefüge nach der Zerspanung	49
5.2.3	Abschätzung des Verformungsgrades in der Randzone des Armco	53
6	Außenlängsdrehen der Kohlenstoffstähle	57
6.1	Gefügeeinstellung	57
6.2	Zerspankräfte	59
6.3	Härteänderung nach der Bearbeitung	61
6.4	Eigenstressungen im Ferrit	63
7	Einfluss der Vergütungsfestigkeit bei 42CrMo4 auf die Spanbildung	66
7.1	Einstellung definierter Wärmebehandlungszustände	66
7.2	Zerspankräfte	67
7.3	Spanuntersuchungen	68
7.4	Randzonengefüge nach der Zerspanung	72
7.5	Härtmessungen an der Oberfläche	72
7.6	Eigenstressungen	74
8	Hochgeschwindigkeitszerspannung der Knetlegierung 7075	78
8.1	Einstellung definierter Wärmebehandlungszustände	78
8.2	Zerspankräfte	79
8.3	Spanbildung	80
8.4	Werkstückoberfläche	81
9	Weitere Versuchswerkstoffe	86
10	Diskussion	90
10.1	Einfluss der Werkstofffestigkeit auf die Übergangsschnittgeschwindigkeit	90
10.2	Einfluss der thermophysikalischen Eigenschaften auf die Übergangsschnittgeschwindigkeit	92
10.3	Einfluss des Leistungsfaktors auf die Übergangsschnittgeschwindigkeit	93
10.4	Statische Zerspankraft	94
10.5	Zusammenhang zwischen Oberflächeneigenstressungen und Übergangsschnittgeschwindigkeit	96
11	Zusammenfassung und Ausblick	98
12	Literaturverzeichnis	101

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung
α :	Grad	Freiwinkel
β :	Grad	Keilwinkel
ε :	Grad	Eckenwinkel
$\dot{\varepsilon}$:	s^{-1}	Dehnungsgeschwindigkeit
ε :	-	Dehnung
$\bar{\varepsilon}$:	-	Dehnungstensor
ε^e :	-	elastische Dehnung
ε^p :	-	plastische Dehnung
ε^T :	-	thermische Dehnung
γ :	Grad	Spanwinkel
φ :	Grad	Azimutwinkel
κ :	Grad	Einstellwinkel
λ :	Grad	Neigungswinkel
λ :	$10^{-10}m$	Wellenlänge
λ :	W/mK	Wärmeleitfähigkeit
ν_{hkl} :	-	Poissonsche Konstante der Atomebene {hkl}
θ :	Grad	Reflexions- oder Beugungswinkel
θ_0 :	Grad	Eigenspannungsfreier Reflexions- oder Beugungswinkel
ρ :	kg/m^3	Dichte
ρ_V :	m^{-2}	Versetzungsdichte
σ, σ^{ES} :	MPa	Eigenspannung
τ :	μm	Eindringtiefe
ψ :	Grad	Kippwinkel
A:	mm^2	Spanungsquerschnitt
a:	$10^{-10}m$	Gitterkonstante
a:	mm^2s^{-1}	Temperaturleitfähigkeit
A, L, l:	mm	Länge
A_0, L_0, l_0 :	mm	Ausgangslänge
A_α :	mm^2	Freifläche
A_γ :	mm^2	Spanfläche
a_p :	mm	Schnitttiefe

Formelzeichen und Abkürzungen

b:	mm	Spannungsbreite
b:	$\text{kJ}/(\text{m}^2\text{Ks}^{0,5})$	Wärmeeindringkoeffizient
b_v :	nm	Burgers-Vektor
CM:	-	Cermet
CBN:	-	Bornitrid
C_p :	kJ/kgK	spezifische Wärmekapazität
d:	10^{-10}m	Netzebenenabstand
d:	mm	Durchmesser
d_0 :	10^{-10}m	Eigenspannungsfreier Netzebenenabstand
Δd :	10^{-10}m	Netzebenenabstandsänderung
d_{hkl} :	10^{-10}m	Netzebenenabstand der Atomebene {hkl}
DIN:	-	Deutsches Institut für Normung e.V.
E_{hkl} :	MPa	Elastizitätsmodul der Atomebene {hkl}
f:	mm	Vorschub
F_a :	N	Aktivkraft
F_c :	N	Schnittkraft
F_d :	N	Drangkraft
F_f :	N	Vorschubkraft
$F_{\text{I,dyn}}$:	N	Dynamischer Anteil der Kraft
$F_{\text{I,stat}}$:	N	Statischer Anteil der Kraft
F_p :	N	Passivkraft
F_z :	N	Zerspankraft
G_s :	-	Segmentierungsgrad
h:	mm	Spannungsdicke
h,k,l :	-	Miller'sche Indizes
HG:	-	Hochgeschwindigkeit
HRC:	-	Rockwellhärte
HSC:	-	High Speed Cutting
HV:	-	Vickershärte
HWB:	Grad	Halbwertsbreite
I:	s^{-1}	Intensität der Rückstrahlung
k:	$\text{m}/\text{s}^{-0,5}$	Leistungsfaktor
$K_{c1,1}$:	N/mm^2	Hauptwert der spezifischen Schnittkraft
KG:	μm	Korngröße
L_v :	nm	Versetzungslänge
M_d :	Nm	Drehmoment

Formelzeichen und Abkürzungen

m_ψ :	Grad	Anstieg der Verteilung [$\theta=f(\sin^2\psi)$]
M_s :	$^{\circ}\text{C}$	Martensitstarttemperatur
n :	min^{-1}	Drehzahl
OFHC:	-	Oxide Free High Conductivity
P_c :	W	Schnittleistung
r_ξ :	mm	Eckenradius
R_e :	MPa	Streckgrenze
R_m :	MPa	Zugfestigkeit
RT:	$^{\circ}\text{C}$	Raumtemperatur
REM:	-	Rasterelektronenmikroskop
s_2, s_1 :	mm^2/N	Voigt'sche Elastizitätskonstanten
T:	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur
T_m :	$^{\circ}\text{C}$	Schmelztemperatur
v_c :	m/min	Schnittgeschwindigkeit
v_{HSC} :	m/min	Übergangsschnittgeschwindigkeit
v_{trans} :	m/min	Kriterium für v_{HSC}
W:	J	Wärme
WS:	-	Werkstück
WZ:	-	Werkzeug
x_v :	%	rekristallisierter Anteil
z:	mm	Tiefe

