

Modellgestützte Endbearbeitung hartstoffbeschichteter Tiefziehwerkzeuge

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Dr.-Ing.

von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
genehmigte Dissertation

Dipl.-Ing. Sascha Rausch

aus

Werne

Tag der mündlichen Prüfung: 24.05.2016

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Wolfgang Tillmann
3. Gutachterin: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform. Petra Wiederkehr

Dortmund, 2016

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	xi
Formelzeichen	xiii
1 Einleitung und Motivation	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	3
2.1 Tribologisches System: Tiefziehen	3
2.1.1 Prozesskinematik	3
2.1.2 Tribologie	4
2.1.3 Verschleiß	7
2.1.4 Oberflächentopographie	9
2.2 Verschleißschutz von Tiefziehwerkzeugen	11
2.2.1 Thermochemische Diffusionsverfahren	12
2.2.2 Abscheideverfahren	12
2.2.3 Thermische Spritzverfahren	14
2.3 Nachbearbeitung von thermisch gespritzten Hartstoffschichten	17
2.3.1 Schleifen	18
2.3.2 Einsatzvorbereitung der Schleifwerkzeuge	24
2.3.3 NC-Formschleifprozesse	27
2.3.4 Polier- und Feinstbearbeitung	29
2.3.5 Oberflächenglättung und Kaltverfestigung	30
2.4 Modellierung und Simulation von Schleifprozessen	33
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	37
4 Experimentelle Randbedingungen	39
4.1 Versuchswerkstoffe	39
4.1.1 Vergütungs- und Kaltarbeitsstahl	39
4.1.2 Wolframschmelzkarbid-Eisen (WSC-Fe)	39
4.1.3 Wolframkarbid-Kobalt (WC-Co)	40
4.2 Werkzeuge	41
4.2.1 Schleifen und Polieren	41
4.2.2 Festklopfen	42
4.3 Versuchsmaschinen	43
4.3.1 Abrichtmaschine	43
4.3.2 Bearbeitungszentrum	44
4.4 Mess- und Analysetechnik	45
4.4.1 Prozesskraft	45
4.4.2 Oberflächenanalyse	45
4.4.3 Temperaturmessung	47
4.4.4 Eigenspannungsanalyse	47
4.5 Tribologische Untersuchungen	47

4.6	Statistische Versuchsplanung	48
4.7	Geometrisch-physikalische Schleifsimulation	49
5	Abrichten von Schleifstiften	53
5.1	Identifikation der Haupteinflussfaktoren auf den Abrichtprozess	56
5.2	Einfluss der Abrichtparameter auf den Schleifprozess	58
5.3	Einfluss der Korngröße beim Abrichten auf den Schleifprozess	66
6	Schleifen von Hartstoffschichten	69
6.1	Auswahl von Kornwerkstoff und Bindungssystemen	69
6.2	Einfluss der Prozessparameter beim Schleifen	73
6.2.1	Prozesskräfte	73
6.2.2	Oberflächenrauheit	75
6.3	Werkzeugverschleiß	77
6.4	Werkzeugabdrängung	81
6.5	Thermische Belastung	84
6.6	Eigenspannungen	89
6.7	Polierschleifen mit elastisch gebundenem Korn	91
6.8	Mehrstufige Schleifbearbeitung	96
6.9	Tribologische Eigenschaften der nachbearbeiteten Schichtsysteme	99
7	Festklopfen von Hartstoffschichten	109
7.1	Theoretische Zusammenhänge	109
7.2	Analyse der Prozessparameter beim Festklopfen	110
7.2.1	Bearbeitung des Substratwerkstoffs C45	113
7.2.2	Bearbeitung der WSC-Fe-Beschichtung	116
7.2.3	Bearbeitung der WC-Co-Beschichtung	124
8	Endbearbeitung von hartstoffbeschichteten Freiformflächen	129
8.1	NC-Formschleifen	129
8.1.1	Makroskopische Werkzeuggestalt für die Freiformbearbeitung	130
8.1.2	Einfluss der Anstellwinkel auf die Werkstücktopographie	131
8.2	Simulationsgestützte Analyse des NC-Formschleifprozesses	135
8.3	Optimierte Endbearbeitung von Freiformflächen	139
8.3.1	Simulationsgestütztes NC-Formschleifen	140
8.3.2	Festklopfen	144
9	Zusammenfassung und Ausblick	147
	Literaturverzeichnis	153