

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	iv
Formelzeichen und Indizes	vii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	3
2.1 Anforderungsprofil im Werkzeug- und Formenbau	3
2.2 Oberflächen- und Randzonenkonditionierung.....	5
2.2.1 Oberflächenkonditionierung und Tailored Surfaces.....	5
2.2.2 Berechnung der theoretischen Rautiefe R_{th} in spanenden Prozessen....	7
2.2.3 Randzone und Eigenspannungen	8
2.3 Mikrozerspanung.....	11
2.3.1 Grundlagen der Mikrofräsbearbeitung	11
2.3.2 Hartzerspanung	12
2.3.3 Hartmetallzerspanung	14
2.3.4 Oberflächen- und Randzonenkonditionierung	15
2.3.5 Größeneffekte, Mindestspanungsdicke h_{min} und Ploughing	16
2.3.6 Werkzeugverschleiß.....	19
2.4 Herstellung von Zerspanwerkzeugen und Schneidkantenpräparation	22
2.4.1 Schneidstoffe Hartmetall und Werkzeugherstellung	22
2.4.2 Schneidkantengestalt und Charakterisierungsmodelle	24
2.4.3 Schneidkantenpräparation.....	27
2.4.4 Verfahren zur Schneidkantenpräparation	28
2.4.5 Potentiale konditionierter Schneidkantengestalt	32
2.4.6 Schneidkantenpräparation in der Mikrozerspanung	34
2.5 Werkzeugbeschichtungen, Verfahren und Entwicklungen.....	34
2.5.1 Plasmaätzverfahren für die Werkzeugvorbehandlung.....	35
2.5.2 Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)	37
2.5.3 PVD-Werkzeugbeschichtungen: TiN - TiAlN - TiAlSiN - TiAlTaN...41	
3 Motivation und Zielsetzung	47
4 Experimentelle Randbedingungen	49
4.1 Werkzeugmaschine: <i>Kern Microtechnik HSPC 2522</i>	49
4.1.1 Peripheriegeräte	50
4.1.2 Verschleißversuch mit iterativer Bestimmung der Zerspankräfte	50

4.2	Werkzeugkonditionierung mit geometrisch unbestimmter Schneide.....	51
4.2.1	Nassstrahlspananlage: <i>Restec GmbH Nocolis Technology WA 110-P</i> ..	51
4.2.2	Nassstrahlspananlage: <i>Graf Compact II Plus Automatik</i>	52
4.2.3	Abrasivmittel für Schneidkantenpräparation mittels NSS	53
4.3	PVD-Beschichtungsanlagen	53
4.4	Eingesetzte Fräswerkzeuge	56
4.5	Versuchswerkstoffe	58
4.5.1	Schnellarbeitsstahl 1.3395 (<i>ASP®2023</i>).....	58
4.5.2	Warmarbeitsstahl 1.2343	58
4.5.3	Hartmetalle	59
4.6	Statistische Versuchsplanung und ihre Auswertung	60
4.7	Messtechnik und Datenanalyse	61
4.7.1	Kraftmesstechnik und -auswertung	61
4.7.2	Nanoindentation: <i>Agilent Technologies G200</i>	63
4.7.3	Rauheitsanalyse: <i>Confovis Duo Vario & Nanofocus μsurf C</i>	63
4.7.4	Rasterelektronenmikroskop (REM): <i>Tescan Mira3 XM</i>	63
4.7.5	Rasterkraftmikroskop (AFM): <i>Veeco Instruments Dimension Icon Scanning Probe Microscope</i>	64
4.7.6	Röntgendiffraktometrie (XRD): <i>Bruker AXS Advanced D8</i>	65
4.7.7	Schichthaftungsanalyse: <i>Wolpert-Werke Dia-Testor 2Rc & CSM Instruments Revetester</i>	70
4.7.8	Schneidkantenvermessung: <i>Alicona EdgeMaster & LMI MikroCAD plus</i>	70
4.7.9	Digitale Mikroskopie: <i>Keyence VHX-5000</i>	71
4.8	Software.....	72
4.8.1	CAD & CAM	72
4.8.2	Geometrische Prozesssimulation (GP)	72
5	Analyse des Mikrofräsprozesses von gehärtetem Schnellarbeitsstahl	73
5.1	Analytische Betrachtung der Werkzeuggestalt im Mikrofräsprozess.....	73
5.1.1	Analytische Betrachtung der theoretischen Rautiefe R_{th} für das Mikrofräsen	74
5.1.2	Simulative Prognose der Oberflächenrauheit im Mikrofräsprozess.....	77
5.1.3	Analytische Betrachtung der maximalen effektiven Spannungsdicke h_{eff} auf Basis der Zerspanungsgrößen und der Werkzeuggestalt.....	80
5.1.4	Experimentelle Betrachtung des Eckenradius r_e	85
5.2	Prozessanalyse unter Berücksichtigung der Eingriffssituation	88
5.2.1	Prozesskraftanalyse in Abhängigkeit von den Schnittparametern und der effektiven Spannungsdicke h_{eff}	89

5.2.2	Einstellung der Oberflächenrauheit.....	92
5.2.3	Einbringung von Druckeigenspannungen durch Prozessauslegung	94
6	Modifikation von Mikrofräswerkzeugen für die Hartzerspanung....	101
6.1	Werkzeugmodifikation mittels Nassstrahlspanen.....	101
6.1.1	Wechselwirkung mit dem PVD-Beschichtungsprozess	101
6.1.2	Einstellung der Schneidkantengestalt an Analogiewerkzeugen	108
6.1.3	Transfer der Präparationsparameter auf Mikrofräswerkzeuge	112
6.1.4	Prozess- und Verschleißverhalten modifizierter Mikrofräswerkzeuge mit asymmetrischer Schneidkantengestalt.....	116
6.1.5	Anwendungsorientierte Schneidkantenkonditionierung zur Steigerung von Druckeigenspannungen in der Bauteilrandzone	121
6.1.6	Potentiale der Schneidkantenpräparation für die Hartmetallzerspanung	127
6.2	Werkzeugmodifikation durch hochenergetische Ätzverfahren.....	132
6.2.1	Grundlagenuntersuchung zum Materialabtrag	133
6.2.2	Präparation der Schneidkantenmikrogestalt	148
6.2.3	Einsatzverhalten modifizierter Mikrofräswerkzeuge	151
6.2.4	Identifikation weiterer Forschungsfragen	155
7	Potentiale moderner PVD-Beschichtungstechnik zur Verbesserung der Verschleißbeständigkeit bei Mikrofräswerkzeugen	157
7.1	Schichtsysteme und Beschichtungsergebnis.....	158
7.2	Leistungsbewertung im Standzeitversuch	162
7.2.1	Entwicklung der Zerspankraft F_z über die Einsatzzeit	162
7.2.2	Verschleißbetrachtung eingesetzter Werkzeuge.....	165
7.2.3	Abschließende Bewertung	169
8	Zusammenfassung und Ausblick	173
9	Literaturverzeichnis	179