



**Erhöhung der Verschleißbeständigkeit durch partielle  
Integration von Hartmetallinserts mithilfe der  
KE-Mehrpulstechnik**

Name:                    Nicolas Stefan Stocks  
Geboren am:            22.01.1993 in Lüdinghausen

# Dissertation

zur  
Erlangung des akademischen Grades  
Doktoringenieur  
(Dr.-Ing.)

Gutachter:                    Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Füssel  
   Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner

Tag der Einreichung:        23.09.2020

Tag der Verteidigung:       28.07.2021

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	xii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik und Wissenschaft</b>	<b>5</b>
2.1 Sinterhartmetalle auf Basis von Wolframmonokarbid und Kobalt . .	5
2.1.1 Einführung und Einteilung . . . . .	6
2.1.2 Aufbau und Herstellung . . . . .	6
2.1.3 Materialeigenschaften und Anwendungen . . . . .	11
2.2 Stoffschlüssiges Fügen von Hartmetall und Stahl . . . . .	15
2.2.1 Allgemeine Einführung . . . . .	15
2.2.2 Fügen mittels Löten . . . . .	17
2.2.3 Fügen mittels Widerstandsschweißen . . . . .	18
2.2.4 Sonstige Verfahren . . . . .	21
2.3 Kondensatorentladungsschweißen . . . . .	24
2.3.1 Verfahrenstechnische Grundlagen . . . . .	25
2.3.2 Kurzzeitschweißen mit hoher Wärmestromdichte . . . . .	27
2.3.3 Prozessführung mithilfe der KE-Mehrpulstechnik . . . . .	32
<b>3 Zielsetzung und Vorstellung des Lösungskonzeptes</b>	<b>35</b>
3.1 Vereinzelung von Leiterplatten-Mehrfachnutzen . . . . .	35
3.2 Partielle Integration von Hartmetallinserts . . . . .	39
<b>4 Versuchsrandbedingungen und -auswertung</b>	<b>44</b>
4.1 Bauteile und Werkstoffe . . . . .	44
4.1.1 Versuchsbauteile und Buckelgeometrie . . . . .	44
4.1.2 Verwendete Werkstoffe . . . . .	46

---

4.2	Versuchsanlage . . . . .	48
4.3	Hochgeschwindigkeitsaufnahmen . . . . .	50
4.4	Prüf- und Bewertungsmethoden . . . . .	51
4.4.1	Metallographische Werkstoffuntersuchung . . . . .	51
4.4.2	Quasistatische Festigkeitsprüfung . . . . .	52
4.4.3	Chromatisch-konfokale Abstandsmessung . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Versuchsplanung</b>	<b>54</b>
5.1	Anforderungen an Fügeverbindung und -prozess . . . . .	54
5.2	Schweißbereichsermittlung KE-Mehrpulstechnik . . . . .	55
5.3	Erweiterung des Prozessverständnisses . . . . .	56
5.4	Zielgerichteter Ergebnistransfer in die Serienanwendung . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Versuchsergebnisse und Auswertung</b>	<b>60</b>
7.1	Schweißbereichsermittlung KE-Mehrpulstechnik . . . . .	60
7.2	Validierung der Schweißmöglichkeit an erhöhtem Stichprobenumfang	66
7.2.1	Veranschaulichung der Reproduzierbarkeit . . . . .	66
7.2.2	Dynamischer Einsinkwegverlauf als Überwachungsmöglichkeit	68
7.3	Metallographische Untersuchung . . . . .	72
7.3.1	Werkstoffkombination: Kaltarbeitsstahl/Hartmetall . . . . .	73
7.3.2	Werkstoffkombination: Unlegierter Baustahl/Hartmetall . . . . .	87
7.3.3	Vergleichsschweißung: Artgleiche Werkstoffe . . . . .	94
7.3.4	Zusammenfassung . . . . .	97
<b>8</b>	<b>Erweiterung des Prozessverständnisses</b>	<b>100</b>
8.1	Mechanismen der Oberflächenaktivierung . . . . .	100
8.1.1	Metallverdampfung . . . . .	101
8.1.2	Plastische Verformung . . . . .	105
8.1.3	Schmelzen . . . . .	109
8.1.4	Zusammenfassung . . . . .	111
8.2	Theoretische Einordnung der Fügeverbindung Hartmetall und Stahl in das System der Fügeverbindungen . . . . .	113
<b>9</b>	<b>Ergebnistransfer in die Serienanwendung</b>	<b>116</b>
9.1	Verschleiß der Werkzeugaktivelemente . . . . .	117
9.2	Beschreibung der Prozessumgebung . . . . .	120

---

9.3	Standmengenermittlung . . . . .	121
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung der Erkenntnisse und Ausblick</b>	<b>126</b>
10.1	Erkenntnisse zur KE-Mehrpulstechnik als Schweißmöglichkeit . . . .	127
10.2	Erkenntnisse zur Erweiterung des Prozessverständnisses . . . . .	129
10.3	Erkenntnisse zum Ergebnistransfer in die Serienanwendung . . . . .	130
10.4	Ausblick . . . . .	131
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>132</b>
	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>151</b>
	<b>Anlagen</b>	<b>154</b>