

Innovative Technologien in der Schwerzerspannung von Guss- und Schmiedeteilen⁷

Dipl.-Ing. Frank Arnold

1 Einleitung

Die spanende Bearbeitung stellt einen wesentlichen Teil der Wertschöpfung am Produkt dar. Die dabei entstehenden Kosten nachhaltig zu senken ist aktuell eine wesentliche Forderung bei der technologischen Entwicklung in den Unternehmen. In der GWS GmbH Gröditz wird überwiegend die Schwerzerspannung im Bereich von Guss- und Schmiedekrusten durchgeführt. Ziel des Projektes war es, durch eine Optimierung bisher genutzter Technologien bei der Drehbearbeitung ein Produktivitätssprung zu erzielen. Speziell der Einsatz neuer bzw. weiterentwickelter mehrschneidiger Drehwerkzeuge, der Einsatz der Trockenbearbeitung, der Einsatz von Drehfrästechnologien sowie der Übergang zu Hybridverfahren gehörten zu den durchgeführten Arbeiten /Arn-12/.

2 Ausgangssituation

Als erster Schritt und Grundlage für die weiteren Untersuchungen wurden die aktuell im Unternehmen GWS GmbH vorliegenden technologischen Randbedingungen (Werkstoffe, Werkzeuge, Schneidwerkstoffe) und technologischen Einsatzparameter (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub) erfasst.

Besonderes Augenmerk kam den mechanischen Eigenschaften der Krusten, der Randschichten der Rohteile, zu. Werkstoffanalysen wurden durchgeführt. Die Annahme einer erhöhten Härte in den Randschichten fand sich nicht bestätigt. Insgesamt wurden deutlich höhere Härtewerte erwartet. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Grundmaterial und Kruste erkennen. Mitunter lagen die Härtewerte der Kruste sogar unterhalb der Härtewerte des Grundmaterials. Somit kann eine erhöhte Härte innerhalb der Randschichten als wesentliche Ursache für den Werkzeugverschleiß nicht bestätigt werden.

Zur Ermittlung der tatsächlichen und spezifischen Schnittkräfte wurden mit den Werkstoffproben Bohrversuche durchgeführt. Als Vorgehensweise wurde ein 2-stufiges Versuchsprogramm mit Vorbohren und anschließendem Aufbohren gewählt. Die Ermittlung der k_c -Werte und der Konstanten der Kienzle-Gleichung wurden in umfangreichen Versuchsreihen durchgeführt. Es muss erwähnt werden, dass nicht für alle Werkstoffproben plausible Konstanten ermittelt werden konnten. Die Gründe hierfür sind in den extrem ungünstigen Anschnittbedingungen des Bohrwerkzeuges auf der Kruste zu finden.

3 Entwicklung von Drehwerkzeugen mit mehreren Schneiden

Der technische Lösungsansatz für die Bearbeitung dieses Arbeitspaket ist die Schnittaufteilung auf mehrere Schneiden an einem Werkzeug. Dadurch soll die

⁷ Das Projekt wird über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi gefördert

Belastung verteilt und längere Standzeiten der einzelnen Wendeschneidplatten (WSP) ermöglicht werden.

In einem ersten Schritt wurden umfangreiche theoretische Betrachtungen, FEM-Analysen (Abbildung 1 und 2) und praktische Erprobungen vorgenommen. Zu ermitteln waren die Einflüsse auf die Spanbildung und –ablauf, die entstehenden Spannungen an den Einzelschneiden und die Stabilität des Gesamtwerkzeuges unter Berücksichtigung der wechselnden Schnittbedingungen. Variiert und untersucht wurden u.a. die Geometrie der einzusetzenden WSP, die Werkzeugeinstellwinkel, die Werkzeugneigungswinkel und die konstruktive Gestaltung der Kontaktflächen zwischen den Einzelhaltern.

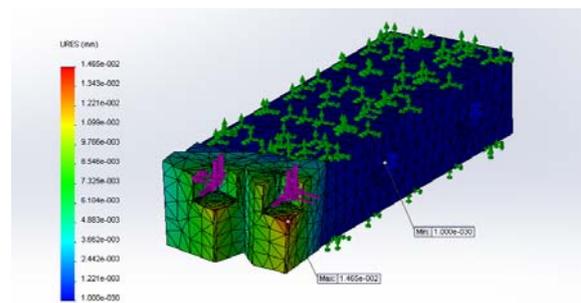
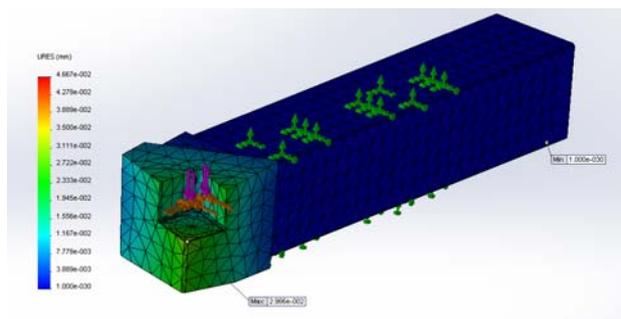


Abbildung 1: FEM-Analyse Referenzwerkzeug | **Abbildung 2: FEM-Analyse Variante 1**

Im Ergebnis der Entwicklung entstanden zwei Varianten mehrschneidiger Drehwerkzeuge. Beide Werkzeug-Varianten sind einstellbar, d.h. es wird eine flexible Schnittaufteilung ermöglicht. Nach umfangreichen Zerspanungsversuchen stellte sich als technisch beste Lösung der Einsatz der Variante 1 dar. Für die Trockenbearbeitung des Materials 42CrMo4 (1.7225) ergaben sich die in Tabelle 1 beispielhaft aufgezeigten Werte als prozesssicher anwendbar.

Tabelle 1: günstigste Einstellwerte Variante 1

Variante 1: Halter 1-1 und Halter 1-2	
WSP Halter 1-1	CNMM120416RM KCP25 (Insert 1-1)
WSP Halter 1-2	SNMM120416RM KCP25 (Insert 1-2)
Schnitttiefe a_p für Halter 1-1	3mm
Schnitttiefe a_p für Halter 1-2	3mm
Gesamtschnitttiefe für Variante 1	6mm
Vorschub f	0,54mm/U
Schnittgeschwindigkeit v_c	95m/min

Die Spanbildung mit diesen Einstellparametern war fertigungsgerecht, die entstehenden Temperaturen im Prozess unkritisch, die Oberflächenqualität erfüllte die Anforderungen. Die Führungsschneide schneidet mit dem Werkzeugeinstellwinkel von $\kappa_r = 95^\circ$ unter die Randschicht und entfernt diese. Dabei wirken die Unrundheiten des Rohteiles stark auf diese Schneide ein und diese verschleißt somit stärker. Die Folgeschneide mit dem Werkzeugeinstellwinkel von $\kappa_r = 75^\circ$ stellt die geforderte Oberflächengüte des Werkstückes sicher und unterliegt einem wesentlich geringeren Verschleiß.

4 Krustenerspannung als Trockenbearbeitung

Der konsequente Verzicht auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) bringt Probleme mit sich. Die für einen sicheren Zerspanvorgang notwendigen Funktionen wie Wärmeableitung und Spanlenkung, welche durch den KSS übernommen werden, müssen durch geeignete technologische Ansätze substituiert werden.

Angepasste Beschichtungen und veränderte Spanleitstufen für WSP wurden untersucht. Durch aufwendige Recherche und gemeinsame Analysen am Markt verfügbarer Beschichtungen und Spanleitstufengeometrien wurden durch die Projektpartner mehrere WSP verschiedener Anbieter, die speziell für den unterbrochenen Schnitt geeignet sind, ausgewählt. Insgesamt wurden 10 WSP von 7 Herstellern für weiterführende Untersuchungen herangezogen.

Die ausgewählten WSP wurden auf ihre Verschleißentwicklung in der Trockenbearbeitung hin untersucht. Ein Auszug der Versuche ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Auszug Versuchstabelle alternative WSP

Nr.	Werkstoff	Kr. / Gm. [K/M]	WSP	Schnitt.	Vorschub- geschwindigkeit	Durch- messer	Spannungs- dicke	Schnitt- geschwindigkeit	Oberfl.	Leistung	Bemerkungen
				ap [mm]	vf [m/min]	d [mm]	h [mm]	vc [m/min]	Rz [µm]	[A]	
1	X22CrMoV121	K	1	7	0,044	207,7	0,77	35,89	27,4	18	
2	X22CrMoV121	G	1	7	0,044	193,7	0,77	33,47	27,7	18	
3	X22CrMoV121	K	2	7	0,044	200,7	0,77	34,68	28,8	23	schlechter Lauf (Teil 1 und 2)
4	X22CrMoV121	G	2	7	0,044	186,7	0,77	32,26	25,1	25	schlechter Lauf (Teil 1 und 2)
5	X22CrMoV121	K	3	7	0,044	200,7	0,77	34,68	28,1	28	ruhiger Lauf
6	X22CrMoV121	G	3	7	0,044	186,7	0,77	32,26	27,9	20	ruhiger Lauf
7	X22CrMoV121	K	4	7	0,044	200,7	0,77	34,68	27,2	20	ruhiger Lauf
8	X22CrMoV121	G	4	7	0,044	186,7	0,77	32,26	28,1	20	Fließspan

Abbildung 3 stellt die Entwicklung der Schnittleistung P_c an der Drehspindel im Krustenschnitt und im Grundmaterialschnitt bei unterschiedlichen Vorschüben für die Trockenbearbeitung bei einer Schnitttiefe von $a_p=7\text{mm}$ gegenüber.

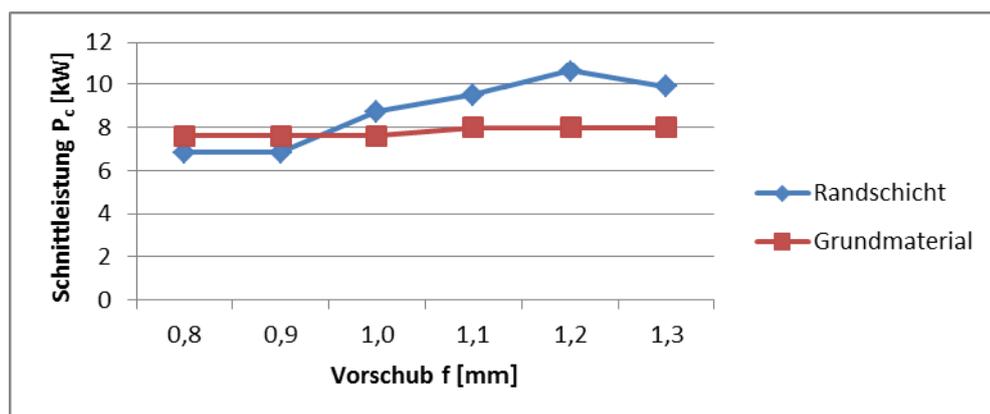


Abbildung 3: Leistungsaufnahme Drehspindel

Die Leistungsaufnahme des Antriebes überstieg in keinem Versuch einen Wert von 50% der maschinenseitig maximal verfügbaren Leistung, somit ist selbst unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Maschine eine sichere Bearbeitung möglich. Der Nachweis der Eignung der Maschine auch für den gestiegenen Leistungsbedarf bei der Trockenbearbeitung wurde somit geführt.

Problematisch beim stark unterbrochenen Schnitt ist die hohe Schneidenbelastung beim Eintritt der Schneide in die Randschicht. Diese stoßartige Beanspruchung führt zu sehr hohen Kraftspitzen. Eine Möglichkeit die bei der Trockenbearbeitung auftretenden hohen Schneidenbelastungen zu verringern stellt eine Dämpfung der auftretenden Kräfte durch eine, abweichend vom Hersteller, mit geeigneten Materialeigenschaften ausgestattete Unterlageplatte dar. Hierfür wurden verschiedene theoretisch geeignete Materialien in praktischen Zerspanungsversuchen getestet und bewertet (Tabelle 3).

Tabelle 3: Untersuchungen zur Dämpfungswirkung von Unterlageplatten (Auszug)

Versuch	Plattenmaterial	Maximale Schnittkraft	Mittelwert (N)	Mittelwert Schnittkraft	Mittelwert (N)	Maximalwert Abweichung absolut	Mittelwert (N)	Mittelwert Abweichung absolut	Mittelwert (N)	Mittelwert Abweichung	Mittelwert [%]
		Fc		Fc		[N]		[N]		[N]	
10	AL6060	11177	11296	9194	9228,5	3448	3643,5	622	641	7,1	7,3
9		11415		9263		3839		660		7,5	
4	GGG50	11071	11203,5	9197	9138,5	3687	3170	683	711	7,7	7,95
3		11336		9080		2653		739		8,2	
8	S235	10370	10507,5	8474	8424,5	2975	3591	636	657	7,9	8,3
7		10645		8375		4207		678		8,7	
11	original HM	10190	10398,33	8270	8615	3853	3743,67	586	688,33	7,5	8,37
12		10007		8356		3685		630		8	
2		10998		9219		3693		849		9,6	
6	Guss	11127	11283,5	9339	9197	3852	4641	686	756	7,7	8,75
5		11440		9055		5430		826		9,8	

Aus der Kombination der Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen konnte eine effektive und prozesssichere Technologie für die Trockenbearbeitung im Unternehmen abgeleitet werden. Als Beispiel lässt der Einsatz der WSP SNMM190616-R7 (Beschichtung 5635, Spanleitstufe R7) eine Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit um 47% bei vergleichbarem Verschleiß für die Bearbeitung eines Werkstückes aus 1.4542 in der Trockenbearbeitung zu. Der Verzicht auf KSS bei der Zerspanung der Guss- und Schmiedekrusten ist somit möglich und wirtschaftlich sinnvoll.

5 Voruntersuchungen zum Einsatz neuer Zerspantechnologien

Es wurden Möglichkeiten und Auswirkungen neuer Konzepte in der Schwerzerspanung untersucht. Erster Ansatz war der Einsatz des Drehfräsen durch Integration der notwendigen Komponenten in eine vorhandene Drehmaschine.

Nach Recherchen hinsichtlich der theoretischen Möglichkeiten und daraus abgeleiteten Integrationsanforderungen an die umzurüstende Drehmaschine wurde ein Gesamtkonzept für den Einsatz des orthogonalen Drehfräsen erstellt. Als Vorschubeinheit in axialer und radialer Richtung dient die maschineninterne Supporteinrichtung. Dieses Konzept wurde mit einem Versuchsstand auf seine technische Umsetzungsfähigkeit hin untersucht.

Die Komponenten des Versuchsstandes wurden an einer Drehmaschine im Unternehmen GWS GmbH montiert (Abbildungen 4 und 5). Mit dem eingerichteten Versuchsstand wurden Zerspanungsversuche durchgeführt und eine Technologie erarbeitet. Im Ergebnis der Versuche konnte die einfache Integrationsmöglichkeit der notwendigen Komponenten an eine vorhandene Drehmaschine nachgewiesen werden. Sowohl die ausgewählten Komponenten als auch die ausgewählte Drehmaschine erwiesen sich als für die Bearbeitung stabil und unempfindlich gegenüber den durch den Spanbruch entstehenden mechanischen Belastungen und entstehenden Temperaturen. Für die Werkzeuganstellung erwies sich ein Versatz um $e=0,5xDF$ Fräser als wirtschaftlich geeignetste Einstellung.

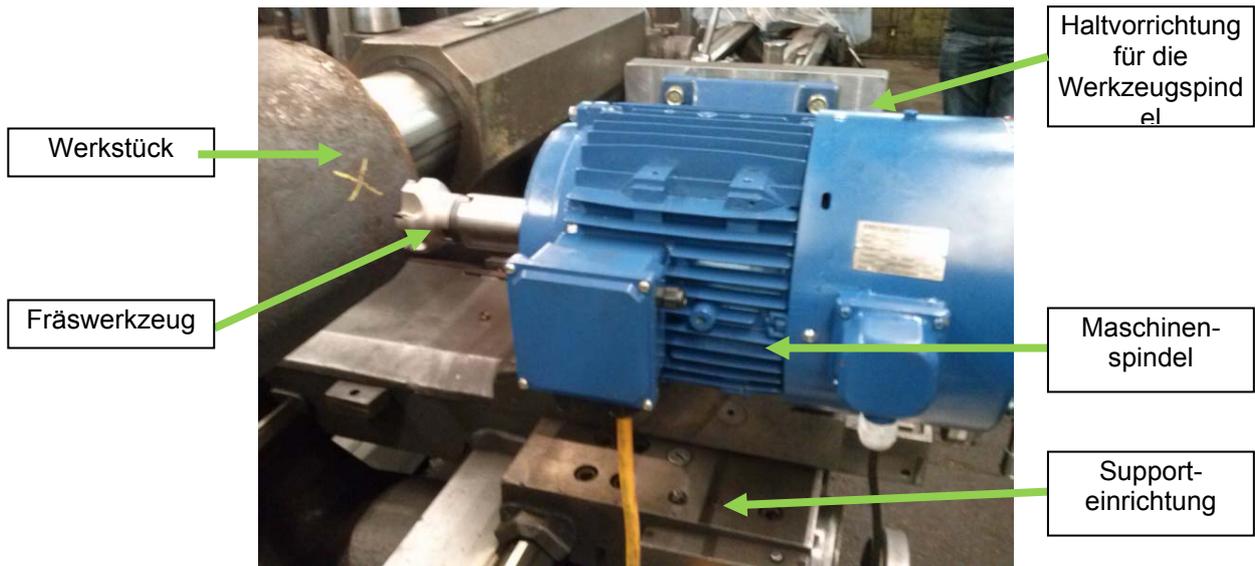


Abbildung 4: Versuchsstand orthogonales Drehfräsen

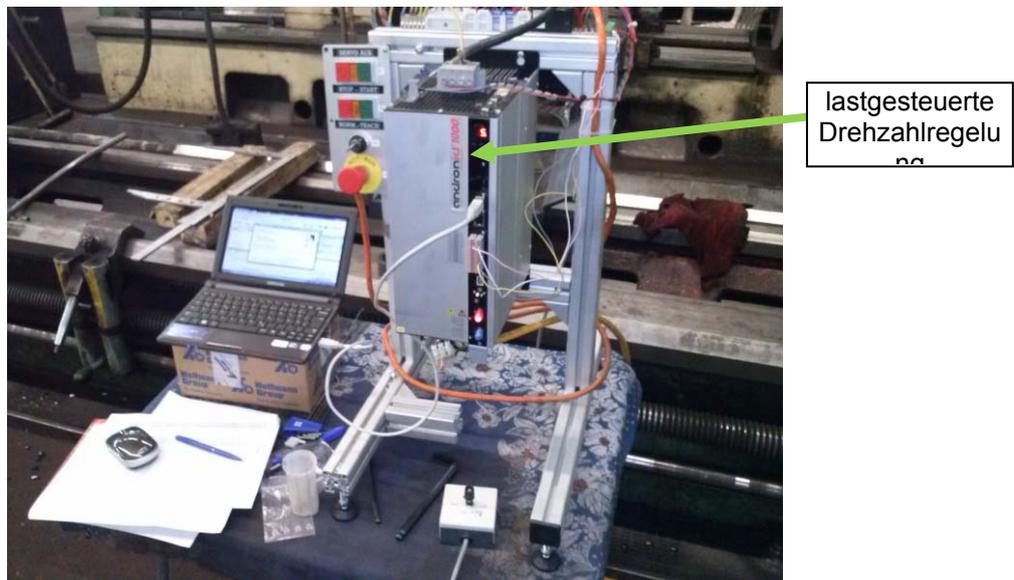


Abbildung 5: Komponente zur Drehzahlregelung am Versuchsstand orthogonales Drehfräsen

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand zur Verbesserung der Zerspanungsbedingungen war die laserinduzierte Warmzerspanung, bei welcher mittels eines Hochleistungslasers die Wirkzone lokal erhitzt wird. Bei diesem hybriden Fertigungsverfahren wird durch Zufuhr thermischer Energie die Festigkeit der oberflächennahen Randschicht herabgesetzt, sodass die erforderlichen Schnittkräfte der Bearbeitung reduziert werden.

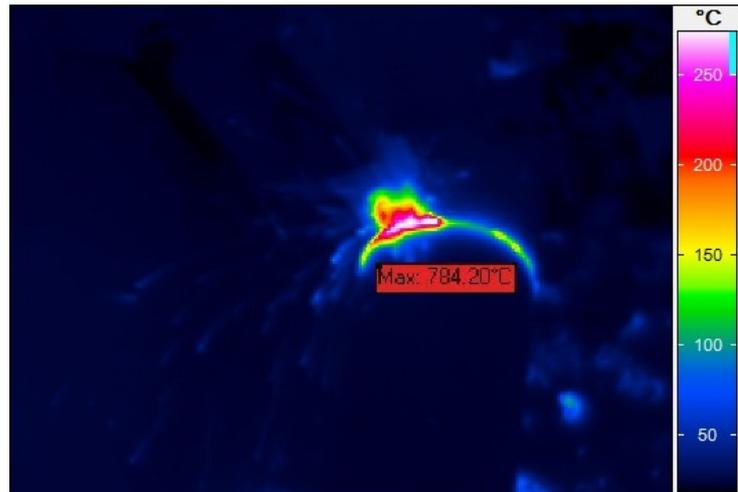
Für das laserunterstützte Drehen wurde eine Schrägbett CNC-Drehmaschine WMW Niles DFS2/2 mit einem DILAS DL040S Hochleistungslaser mit 4kW Laserleistung umgerüstet (Abbildung 6). Der Laserkopf wurde an dem Werkzeugschlitten montiert und der Laserstrahl direkt auf die Zerspanstelle ausgerichtet. Eine Laseroptik am Laserkopf mit einer Brennweite von 130mm erzeugte eine Laserspotgröße von 1mm x 1,5mm. Der Einsatz von Zusatzeinrichtungen wie eine Gaszufuhr, Wärmebildkamera und Kraftmessungssensorik waren für die Durchführung und

Analyse notwendig. Bei einem Einsatz eines Lasers der Gefahrenklasse 4, gelten nach DIN EN 60825 besondere Arbeitsschutz und Laserschutzrichtlinien, welche bei diesem Versuch umgesetzt wurden.

Die Versuche zum laserunterstützten Drehen wurden an einem freiformgeschmiedeten Werkstück aus 34NiCrMo6 vergüteten Stahl durchgeführt. Diese Versuchsprüflinge wiesen herstellungsbedingt die für den Versuch erwünschte schwerzerspannbare Schmiedekruste auf, so dass bei der Zerspanung dieser Randschicht mit Schnitttiefenschwankungen bis zu 3mm zu rechnen war.



**Abbildung 6: Versuchsaufbau
laserunterstützte
Zerspanung**



**Abbildung 7: Oberflächentemperatur, $P_L=4\text{kW}$,
34NiCrMo6, $v_c=50\text{m/min}$, $f=0,2\text{mm/U}$,
 $a_p=1-3\text{mm}$**

Bei der Versuchsdurchführung des laserunterstützten Drehens, konnten Oberflächentemperaturen bis zu 800°C am Werkstück erzeugt werden (Abbildung 7), wodurch sich messbare Entfestigungsvorgänge im Werkstoff einstellten.

Bei der Messung der Schnittkraft zeigte sich eindeutig, dass es beim Einschalten des Lasers zu einer messbaren Reduzierung der wirkenden Schnittkraft auf das Werkzeug kommt (Abbildung 8).

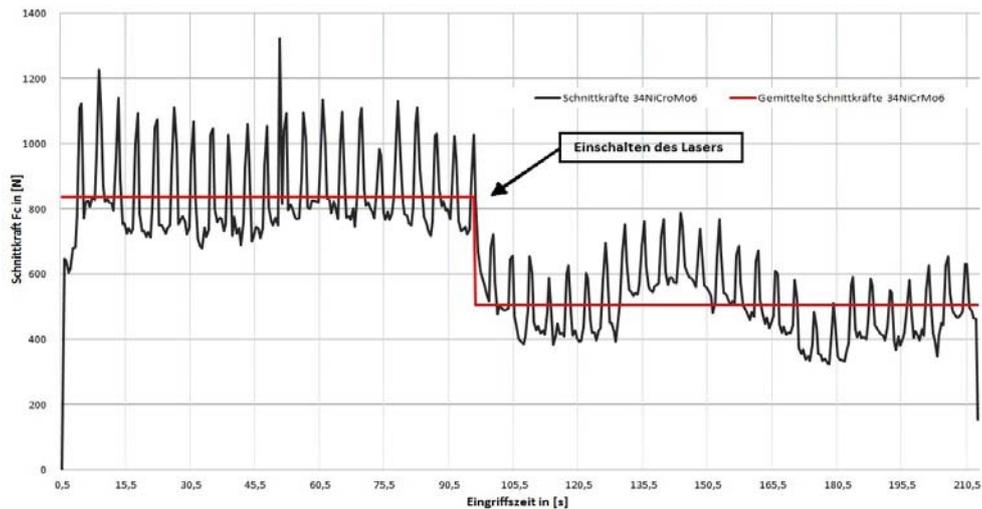


Abbildung 8: Schnittkraftmessung, $P_I=4\text{kW}$, 34NiCrMo6 , $v_c=50\text{m/min}$, $f=0,2\text{mm/U}$, $a_p=1-3\text{mm}$

6 Zusammenfassung

Der Einsatz mehrschneidiger Drehwerkzeuge in der Schwerzerspannung von Guss- und Schmiedekrusten kann zu einer deutlichen Effektivierung des Bearbeitungsprozesses beitragen. Die Trockenbearbeitung stellt durch ihr Umweltfreundlichkeit bei gleichzeitiger Kostensenkung auf der Unternehmensseite eine sinnvolle Alternative zur herkömmlichen KSS-Bearbeitung dar. Der Einsatz der Drehfrästechnologien sowie der Einsatz eines Lasers zur thermisch unterstützten Zerspannung konnten getestet und ihre Wirksamkeit bewertet werden.

Literatur

- /Arn-12/ Arnold, F.: Entwicklung und Einsatz innovativer Technologien zur Bearbeitung schwerzerspanbarer Stahlwerkstoffe. In: Nestler, A. Forschungsergebnisbericht 2012 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2012; S. 38-48