

Entwicklung und Einsatz innovativer Technologien zur Bearbeitung schwerzerspanbarer Stahlwerkstoffe⁴

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 Forderung bei der technologischen Entwicklung in den Unternehmen. In der GWS GmbH Gröditz wird überwiegend die Schwerzerspannung im Bereich von Guss- und Schmiedekrusten durchgeführt. Durch Verbesserung bisher genutzten Technologien bei der Drehbearbeitung soll ein Produktivitätssprung erzielt werden, speziell durch Einsatz neuer bzw. weiterentwickelter Werkzeuge, Einsatz der Trockenbearbeitung, Einsatz von Drehfrästechnologien sowie dem Übergang zu Hybridverfahren, wie die zusätzliche thermische Nutzung eines Lasers an der Wirkstelle.

2 Analyse der technologischen Ausgangssituation

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

2.1 Bearbeitete Werkstoffe

Tabelle 1 zeigt einen Auszug der betrachteten Werkstoffe mit ihre Beschreibungen und Eigenschaften.

Tabelle 1: Zu bearbeitende Werkstoffe und deren Eigenschaften

Werkstoff	Bez.	Wst.-Nr.	Beschreibung	Eigenschaften
X45NiCrMo4	X45	1.2767	Werkzeugstahl	höchste Zähigkeit; hohe Verschleißfestigkeit
C35	C35	1.0501	unlegierter Baustahl	gute Zerspanbarkeit
21MnCr5	21	1.2162	Einsatzstahl	härtbar, hohe Oberflächenhärte, zäher Kern
56NiCrMoV7	V7	1.2714	Werkzeugstahl für Kalt- und Warmarbeit	gute Zähigkeit, gute Durchhärtbarkeit
18CrNiMo7-6	7-6	1.6587	legierter Einsatz- und Wälzlagerstahl	härtbar
X6CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	1.4571	Nichrrostender Austinitischer Stahl	gute Duktilität, schlechte Zerspanbarkeit, hohe Zähigkeit,
32CrNiMoV 12.3	12-3	1.6943	Sonderstahl für die Wehrtechnik	hohe Zähigkeit

2.2 Eingesetzte Werkzeuge

Als Werkzeughalter für Wendeschneidplatten werden die Typen PCBNR3232P19 und PSBNR3232P19 verwendet. Diese Klemmhalter bieten mit einem

⁴ über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme ZIM als Kooperationsprojekt vom BMWi gefördert

Schaftquerschnitt von 32x32 mm ausreichende Stabilität für die Schwerzerspannung. Mit diesen Werkzeughaltern ergibt sich ein Einstellwinkel $\kappa_r=75^\circ$.

Für die Drehbearbeitung der Werkstoffe nach Tabelle 1 werden vom Unternehmen Wendeschneidplatten von drei Herstellern mit jeweils zwei Grundformen (C, S) verwendet:

- Vandurit CNMM190616 XR V1325 und SNMM190616 XR V1325
- Kennametal CNMM190616 RM KCP25 und SNMM190616 RM KCP25
- Pramet CNMM190616 OR1 9235 und SNMM190616 OR1 9235

Die Wendeschneidplatten sind beschichtet und besitzen spezielle Spanleitstufen.

2.3 Eingesetzte Schnittwerte

In Tabelle 2 sind die durch die Datenaufnahme mittels Erfassungsbögen und Befragungen aktuell im Unternehmen eingesetzten Schnittwerte für die betrachteten Werkstoffe aufgeführt.

Tabelle 2: Auszug genutzte Schnittwerte im Unternehmen

Werkstoff	WS-Nr.	Plattenform	Hersteller	v_c [mm/min]	Vorschub [mm/U]
C45	1.0503	C	Pramet	110-130	0,5-0,8
X3CrNiMo13-4	1.4313	C	Pramet	60-70	0,5-0,6
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	C	Pramet	60-65	0,6
GS-20Mn5	1.6220	S	Pramet	80	0,7
30CrNiMo8V	1.6580	C	Pramet	50	0,8
18CrNiMo7-6	1.6587	S	Pramet	120-150	0,6-0,7
32NiCrMoV12.3	1.6943	C/S	Vandurit	50	0,8-1

Die durch das Unternehmen erfassten Schwankungen im Bereich der Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe verdeutlichen die Problematik der stochastischen Einflüsse durch

- die Ausprägung und Zusammensetzung der Randschicht und
- die Geometrie der Rohteile, d.h. der Unrundheit der Welle,

welche zu erheblichen Schwankungen der Schnittgeschwindigkeiten und Eingriffsbedingungen entlang der Werkzeugschneide führt. Diese Probleme werden unter anderem Gegenstand von Untersuchungen sein.

3 Untersuchung der Eigenschaften der Guss- und Schmiedekrusten

Das Wissen um die Beschaffenheit der Randschichten stellt den wesentlichen Ansatzpunkt für Verbesserung der Bearbeitung dar. Für die Untersuchungen der Guß- und Schmiedekrusten wurde folgende Herangehensweise gewählt:

1. Makrohärtemessung,
2. Mikrohärtemessung und Gefügeuntersuchungen,
3. Bohrversuche zur Ermittlung der Materialkennwerte sowie
4. Drehversuche.

3.1 Makrohärtemessung

Der in der Randschicht vermutete erhöhte Härtewert, welcher für den hohen abrasiven Werkzeugverschleiß beim Drehen der Guss- und Schmiedestücke verantwortlich zeichnen soll, wurde im Schritt 1 durch eine Makrohärtemessung untersucht. Dafür wurden jeweils Messungen auf der Probenoberfläche, der Kruste, und zum Vergleich am Grundmaterial durchgeführt.

Tabelle 3: Makrohärteprüfung der Versuchswerkstoffe

Werkstoff	WS-Nr.	Härte [HV30]	
		Grundmaterial	Kruste
X45NiCrMo4	1.2767	323; 323	331
C35	1.0501	144; 147	149; 149
21MnCr5	1.2162	140	140
18CrNiMo7-6	1.6587	160; 159	146; 144
40CrNiMo8.6.4	1.2738	339; 337	277
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	137; 137	144; 155

Die Ergebnisse entsprachen nicht den Erwartungen, da deutlich höhere Härtewerte erwartet wurden. Somit kann eine erhöhte Härte innerhalb der Randschichten als wesentliche Ursache für den Werkzeugverschleiß nicht bestätigt werden.

3.2 Gefügeuntersuchungen und Mikro Härteprüfung

Um diese Ergebnisse der Makrohärtemessung zu verifizieren wurde eine Untersuchung des Gefüges mit Mikro Härteprüfung durchgeführt. Dabei wurden zwei konkrete Zielstellungen verfolgt:

- Sichtbarmachen der anhaftenden Oberflächenschicht und Bestimmung der Schichtdicke und
- Gefügevergleich zwischen oberflächennahen Bereichen und Probenmitte (Grundmaterial) zur Ermittlung der Zerspanungsbedingungen.

Ein Auszug der Befunde der Gefügeuntersuchungen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Auszug der Gefügebefunde

Probe	WS-Nr.	Gefügebefund	Besonderheit
V7	1.2714	vergütungsähnliches Gefüge feine Zementit-/ Carbideilchen in feinkörniger ferritischer Matrix	Hinweise auf Entkohlung am Rand
7-6	1.6587	ungleichmäßiges, stellenweise zeilig ausgebildetes ferritisch-perlitisches Gefüge	im Ferrit punktförmig eingelagerte Carbide, in perlitischen Bereichen Zementit stellenweise eingeformt
1.4571	1.4571	Gussdendriten, austentische Matrix mit geringen Mengen an δ -Ferrit und σ -Phase	δ -Ferrit und σ -Phase durch Farbätzung in alkalischer Kaliumpermanganat- lösung identifiziert
C35	1.0501	normalisiertes ferritisch-perlitisches Gefüge	keine Hinweise auf Randentkohlung, Einschlüsse
12-3	1.6943	vergütungsähnliches Gefüge feine Zementit-/ Carbideilchen in feinkörniger ferritischer Matrix	Hinweise auf Entkohlung am Rand

Die Oberflächenschichten (Krusten) der untersuchten Proben weisen unterschiedliche Stärken auf. Doch auch innerhalb einer jeden Probe kommt es lokal zu unterschiedlichen Stärken, was wegen des unterbrochenen Schnitts mit den verbundenen Kraftspitzen beim Eintritt sehr problematisch für die Schnittbedingungen ist. Die Schichten sind vielfach mit Rissen und Poren durchzogen.

Die Ergebnisse der Mikrohärtemessung decken sich mit den Gefügebefunden. Einen Auszug der ermittelten Werte gibt Tabelle 5. Die gemessenen Werte im eigentlichen Material entsprechen Werten, die für ferritisch-perlitisches, GKZ-ähnliche und vergütungsähnliche Gefüge typisch sind. Nur vereinzelt treten erhöhte Härtewerte um 500 HV_{0,2} an der direkten Oberfläche auf. Die darunter liegenden Bereiche, sowohl Kruste als auch eigentliches Grundmaterial weisen deutlich geringere Härten auf. Der Härteabfall wird verstärkt, wenn der Werkstoff randentkohlt und/oder an Legierungszusätzen verarmt ist.

Tabelle 5: Auszug der Ergebnisse der Mikrohärtemessung

Probe	WS-Nr.	Ergebnisse der Härtemessung
8.6.4	1.2738	Randschicht: 565 HV _{0,2} danach Härteabnahme auf 290...310 HV _{0,2} (Linie 1) Härte in der Mitte 360...370 HV _{0,2} (Linie 2)
42	1.7225	Randschicht: 538 HV _{0,2} Linie 1: Härteabnahme auf 260 HV _{0,2} Linie 2: 330...350 HV _{0,2}
8.6	1.2312	Randschicht: 414 HV _{0,2} Linie 1: 250...280 HV _{0,2} Linie 2: 350...370 HV _{0,2}
V7	1.2714	sehr weiche, poröse Randschicht < 100 HV _{0,2} (Linie 1) Linie 2: 270...390 HV _{0,2}
C35	1.0501	geringe Härte, gleichmäßiger Verlauf über gesamte Probe Bereich: 140...160 HV _{0,2}
12-3	1.6943	Randschicht: 150 HV _{0,2} Linie 1: 230...300 HV _{0,2} Linie 2: 350...380 HV _{0,2}

3.3 Bohrversuche zur Ermittlung der Materialkennwerte

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.

Zur Aufnahme der Vorschubkraft F_z und des Bohrmomentes M_z wurden ein 4-Komponenten-Dynamometer, Typ 9272, der Firma Kistler verwendet. Durchgeführt wurden die Bohrversuche auf einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine Mikromat 4V. Folgende Kenngrößen wurden ermittelt:

- maximale Schnittkraft pro Zahn F_{cz}
- Zeitpunkt t_F von F_{cz}
- Tiefe s_F innerhalb der Bohrung von F_{cz}

Anhand des Verlaufes der Schnittkraftkurve ließen sich maximale Werte für F_{cz} während des Kurvenanstieges detektieren. Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine resultierende Schnittkraftkurve.

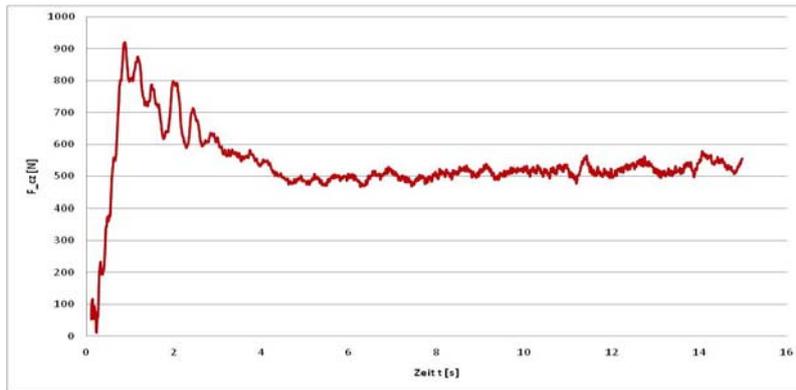


Abbildung 1: resultierende Schnittkraftkurve

Die Ermittlung der k_c -Werte erfolgte nach Bestimmung der Mittelwerte von M_z auf rechnerischem Wege nach Kienzle/Victor und wurde durch die graphische Möglichkeit der k_c -Wert-Ermittlung nach Kienzle/Victor kontrolliert. Mittels der Gleichungen (1) und (2) wurden zunächst die Konstanten für die Kienzle-Gleichung berechnet.

$$k_{2c} = \left(\frac{\lg\left(\frac{M_{z2}}{M_{z1}}\right)}{\lg\left(\frac{v_{f2}}{v_{f1}}\right)} \right) - 1 \quad (1)$$

$$k_{1c} = \frac{B \cdot M_{z2}}{(d_a^2 - d_v^2) \cdot z \cdot \left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^{k_{2c}} \cdot f_{22}^{k_{2c}+1}} \quad (2)$$

Der k_c -Wert selbst wurde mittels Gleichung (3) in Abhängigkeit von M_z und v_f berechnet.

$$k_{c1,2} = \frac{B \cdot M_{z2}^{k_{2c}}}{v_{f2} \cdot (d_a^2 - d_v^2)} \quad (3)$$

Über die Kienzle-Gleichung (4) wurde schließlich der k_c -Wert in Abhängigkeit der Konstanten k_{1c} und k_{2c} sowie $h(v_{f2})$ berechnet.

$$k_c = k_{1c} \cdot h(v_{f2})^{k_{2c}} \quad (4)$$

Die Versuche wurden in mehreren Messreihen durchgeführt. Exemplarisch für die vollständige Auswertung sind in Abbildung 2 die maximalen Schnittkräfte dargestellt. Diese Abbildung zeigt für mehrere Proben eine sehr weite Streuung der maximalen Schnittkräfte, was sich auf die stark inhomogenen Eingriffsbedingungen zurückführen lässt.

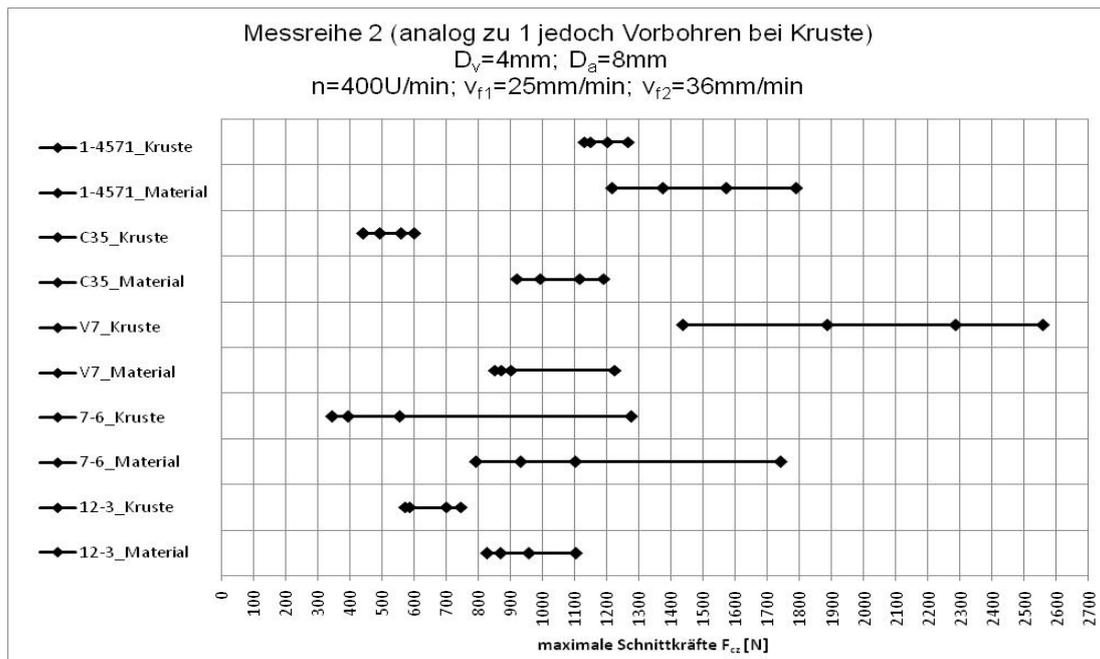


Abbildung 2: maximale Schnittkräfte in Messreihe 2

Nach der Ermittlung der maximalen Schnittkräfte wurden die Konstanten für die k_c -Werte ermittelt. Es muss erwähnt werden, dass nicht für alle Werkstoffproben plausible Konstanten ermittelt werden konnten. Tabelle 6 zeigt einen Auszug der Ergebnisse der k_c -Wertermittlung für die untersuchten Werkstoffproben. Bei den Werkstoffproben C35 und V7 waren durch die Krustenbohrserien keine k_c -Konstanten gemäß der Definition zu ermitteln. Die Gründe hierfür sind in den schwierigen Anschnittbedingungen für das Bohrwerkzeug zu finden. Die Ermittlung der k_c -Werte für diese Materialien ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Tabelle 6: Auszug der durch Bohrversuche ermittelten k_c -Werte

Probe	WS-Nr.	Bohrserie	$v_{f1,2}$ [mm/min]	$k_{c1,2}$ [N/mm ²]	Konstanten		k_c [N/mm ²]
					k_{2c}	k_{1c} [N/mm ²]	
21	1.2162	Kruste	25	4577,7	-0,24	1948,9	4194,7
		Kruste	36	4194,7			
		Material	25	4952,2	-0,35	1405,7	
		Material	26	4353,5			
8.6.4	1.2738	Kruste	25	5281,896	-0,28	1922,0	4762,9
		Kruste	36	4762,906			
		Material	25	4576,241	-0,24	1966,5	
		Material	26	4197,394			
C35	1.0501	Material	25	3812,374	-0,20	1889,0	3548,1
		Material	26	3548,089			
7-6	1.6587	Kruste	16	5791,175	-0,30	1750,5	4709,3
		Kruste	32	4709,330			
V7	1.2714	Material	16	4499,765	-0,14	2537,3	4075,5
		Material	32	4075,538			

Mit den ermittelten Materialkennwerten können für die Zerspanung Berechnungen durchgeführt werden um die zu erwartenden Kräfte bei Änderung von

Bearbeitungsparameter sicher vorhersagen zu können. Die Gleichungen (5) und (6) bilden nach der durch Bohrversuche erfolgten praktischen Ermittlung der Materialkennwerte die Grundlage für weiterführende Berechnungen von Kräften, Leistungen, Temperaturen und Oberflächengüten. Diese wiederum bilden ein Restriktionsfeld, im welchem sich technisch sinnvoll umsetzbare Lösungen zur Verbesserung der Schwerzerspanung bewegen müssen.

$$F_c = A * k_c * K_{ver} = a_p * f * k_{lc} * h^{k_{av}} * K_{ver} \quad (5)$$

$$P_c = F_c * v_c \quad (6)$$

4. Untersuchungen zur Einsatz von Werkzeugen mit mehreren Schneiden

Neben den bisher verwendeten Werkzeugen und Wendeschneidplatten (WSP) werden neue, krustenzerspanungstaugliche Werkzeuge und WSP mit angepassten Beschichtungen und veränderten Spanleitstufen untersucht. Das Vorgehen zur Entwicklung von Werkzeugen mit doppelter Schneide wurde in Kooperation mit dem Unternehmen in folgende Stufen gegliedert:

1. Untersuchung der WSP für stark unterbrochenen Schnitt,
2. Entwicklung und Test von Werkzeugen mit mehreren Schneiden.

3.4 Stufe 1

Die Kombination von stabilen Schneidkantenausführungen und Spanleitstufen, welche die Geometrie einer WSP prägen, werden WSP stets weiter verbessert und weisen erhöhte Schlag- und Verschleißfestigkeiten auf. Durch eine aufwendige Recherche und Erfahrungen des Unternehmens konnten mehrerer WSP verschiedener Hersteller, die für den Einsatz im unterbrochenen Schnitt geeignet sind, gefunden und hinsichtlich empfohlener Schnitttiefe a_p und Vorschub f miteinander verglichen werden. Dabei wurden nur WSP berücksichtigt, welche in den aktuellen Produktkatalogen der Hersteller angegeben sind. Tabelle 7 stellt die WSP mit Beschichtung und Spanleitstufe je nach Hersteller zusammen.

Tabelle 7: alternative Wendeschneidplatten verschiedener Hersteller

Hersteller	Beschichtung	Spanleitstufe
tungaloy	T9035	TU
tungaloy	T9125	TUS
Ceratizip	CTCP125	R88
Mitsubishi	UH6400	HX
Kyocera	CA5525	PX
tungaloy	CA5525	PH
Walter	WPP30	NRR

Empfohlen wird WSP mit negativer Grundform zu verwenden. Diese sind für höhere Schnittkräfte, Schnitttiefen und Vorschübe ausgelegt. Da die gegebenen Bedingungen beim Zerspanen der Kruste keinen Verlass auf die empfohlenen a_p und f zulassen, müssen die WSP auf ihren Verschleiß und den tatsächlich möglichen

Schnittparametern untersucht werden. Bereits gemachte Erfahrungen seitens des Unternehmens bestätigten die Unregelmäßigkeiten bei der Zerspaltung der Randschichten. Die Ergebnisse waren, dass die WSP bei einem Werkstoff aber unterschiedlichen Losen auch unterschiedliche Standzeiten aufwiesen.

In den im Unternehmen durchgeführten Versuchsreihen wurden sowohl die aktuell im eingesetzten Wendeschneidplatten als auch alternative, von anderen Anbietern für den Einsatz in der Schwerzerspannung mit unterbrochenem Schnitt empfohlenen, Wendeschneidplatten untersucht. Ein Auszug der Versuche ist in Tabelle 8 dargestellt. Erweiterte Untersuchungen hierzu werden folgen.

Tabelle 8: 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]						
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

3.5 Stufe 2

Als Ansatz dient die Schnittaufteilung auf mehrere Schneiden an einem Werkzeug. Dadurch kann auch die Belastung auf mehrere Schneiden verteilt werden und längere Standzeiten sind erreichbar. Dieser Aufbau kann nach einer Recherche bei verschiedenen Werkzeugherstellern als noch nicht entwickelt und bewährt deklariert werden.

Es ist möglich zwei WSP auf einen Klemmhalter unterzubringen. Dieser Klemmhalter muss jedoch konstruiert werden. Dabei sind die technologischen Randbedingungen durch das Unternehmen gesetzt und einzuhalten. Diese Thematik ist Inhalt aktueller Arbeiten. Als besonders problematisch erweist sich die Unrundheit der Welle, wie in den Abbildungen 3 und 4 zu erkennen. Eine Schnittaufteilung in 2 Bereiche muss sicherstellen, dass die Schneiden sich kontinuierlich im Einsatz befinden.

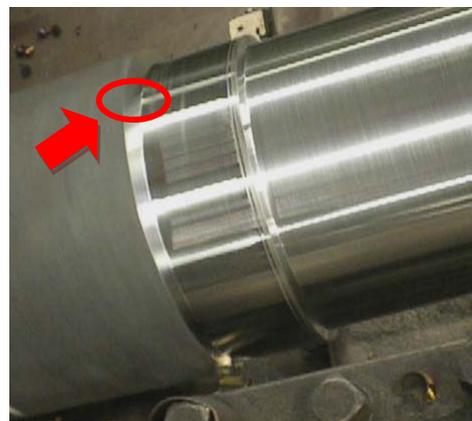
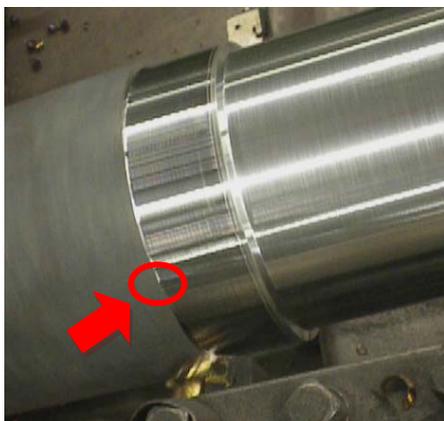


Abbildung 3: minimale Schnitttiefe (rote Markierung) | Abbildung 4: maximaler Schnitttiefe (rote Markierung)

5 Erarbeitung einer Technologie zur Trockenbearbeitung

Aus der Aufnahme des technologischen IST-Standes und der Auswertung der durchgeführten Materialuntersuchungen konnten erste Ansätze für eine effektive Technologie der Trockenbearbeitung abgeleitet werden. Hierfür sind mehrere Faktoren als maßgeblich ermittelt:

- Maschinenleistung,
- Werkzeugstandzeit,
- Bearbeitungszeit,
- Oberflächenqualität sowie
- Spanform.

Ein Auszug aus den ermittelten Daten gemeinsam durchgeführter praktischer Zerspanversuche ist der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Versuchstabelle der Vorschubversuche für die Trockenbearbeitung

Nr.	Werkstoff	Kr. / Gm. [K/G]	Schnitt.	Vorschub	Drehzahl	Vorschub- geschwindig- keit	Durch- messer	Spanungs- dicke	Schnitt- geschwindig- keit	Spanungs- querschnitt	Weg	Oberfl.	Leistung
			ap [mm]	f [mm/U]	n [1/min]	vf [m/min]	d [mm]	h [mm]	vc [m/min]	A [mm ²]	[mm]	Rz [µm]	[A]
1	32NiCrMoV12-3	K	7	0,8	38	0,0304	279	0,77	33,31	5,6	300	17,9	18
2	32NiCrMoV12-3	K	7	0,9	38	0,0342	279	0,87	33,31	6,3	300	19,5	18
3	32NiCrMoV12-3	K	7	1,0	38	0,038	279	0,97	33,31	7	300	19,4	23
4	32NiCrMoV12-3	K	7	1,1	38	0,0418	279	1,06	33,31	7,7	300	23,6	25
5	32NiCrMoV12-3	K	7	1,2	38	0,0456	279	1,16	33,31	8,4	300	24,2	28
6	32NiCrMoV12-3	G	7	0,8	38	0,0304	265	0,77	31,64	5,6	300	18,8	20
7	32NiCrMoV12-3	G	7	0,9	38	0,0342	265	0,87	31,64	6,3	300	20,1	20
8	32NiCrMoV12-3	G	7	1,0	38	0,038	265	0,97	31,64	7	300	23,3	20
9	32NiCrMoV12-3	G	7	1,1	38	0,0418	265	1,06	31,64	7,7	300	23,2	21
10	32NiCrMoV12-3	G	7	1,2	38	0,0456	265	1,16	31,64	8,4	300	23,7	21
11	32NiCrMoV12-3	K	7	1,3	38	0,0494	279	1,26	33,31	9,1	300	27,5	26
12	32NiCrMoV12-3	G	7	1,3	38	0,0494	265	1,26	31,64	9,1	300	22,3	21

Exemplarische für die ermittelten Spanformen der durchgeführten Versuche sind die Abbildungen 5 und 6 zu sehen. Man erkennt die Problematik der unterschiedlichen Spanformen. Die Spanform ist also für die Technologie der Trockenbearbeitung wichtig und muss durch Anpassung der Technologie prozesssicher gestaltet werden.



Abbildung 5: Spanform Versuch 6, Tabelle 12



Abbildung 6: Spanform Versuch 12, Tabelle 12

Die stark unterschiedlichen Bearbeitungsbedingungen, sowohl zwischen einzelnen Losen als auch innerhalb der Lose, stellen hierbei ein zentrales Problem dar. Eine einheitliche Schnitttiefe als Grundlage für eine definiert beschreibbare Zerspanung liegt nicht vor.

Ausgehend von diesen Randbedingungen werden 2 Ansätze untersucht:

- Veränderung der geometrischen Eingriffsbedingungen durch Änderung des Schneideneingriffs,

- Verbesserung der Zerspanbedingungen durch Verringerung der Kraftspitzen im stark unterbrochenen Schnitt.

5.1 Ansatz 1

Da der Einstellwinkel κ_r positiv ist, muss die Werkzeugschneide bei jedem Schruppschritt die Randschicht durchdringen. Die Unrundheit der Rohteile (siehe Abbildungen 3 und 4) sowie die ermittelten problematischen Randschichten führen zu unvorhersagbaren Zerspanungsbedingungen. Der unterbrochene Schnitt ist nicht beherrschbar und die Belastung für die Schneide sehr hoch. Aufgrund dessen wird ein negativer κ_r als Untersuchungsgegenstand gewählt. Die Werkzeugschneide kann schon beim ersten Schnitt direkt unter die Randschicht ansetzen und es kommt nicht mehr zum direkten Kontakt mit der Randschicht selbst.

5.2 Ansatz 2

Problematisch beim stark unterbrochenen Schnitt ist die hohe Schneidenbelastung beim Eintritt der Schneide in die Randschicht. Diese Belastung führt zu einem unkontrollierten, spontanen Ausbruch der Schneide wie in Abbildung 7 festgehalten.



Abbildung 7: Schneidenausbruch

Eine Möglichkeit die bei der Trockenbearbeitung auftretenden hohen Schneidenbelastungen zu verringern stellt eine Dämpfung der auftretenden Kräfte dar. Diese kann durch eine mit geeigneten Materialeigenschaften ausgestattete Unterlage für die WSP erreicht werden. Bereits durchgeführte Untersuchungen zu den Dimensionen der auftretenden Kraftspitzen führten nach Auswertung der gemessenen Kraftsignale zu einem stoßartigen Anstieg der Kraft auf bis zu 260% vom mittleren Wert. In Abbildung 9 ist ein exemplarischer Kraftverlauf dargestellt. Die obere schwarze Kurve zeigt das tatsächliche Signal mit den Kraftspitzen, die untere grüne Kurve zeigt einen mittleren Signalverlauf, welcher aus dem oberen Signal abgeleitet wurde. Die Orte maximaler Stoßbelastung sind rot hervorgehoben.

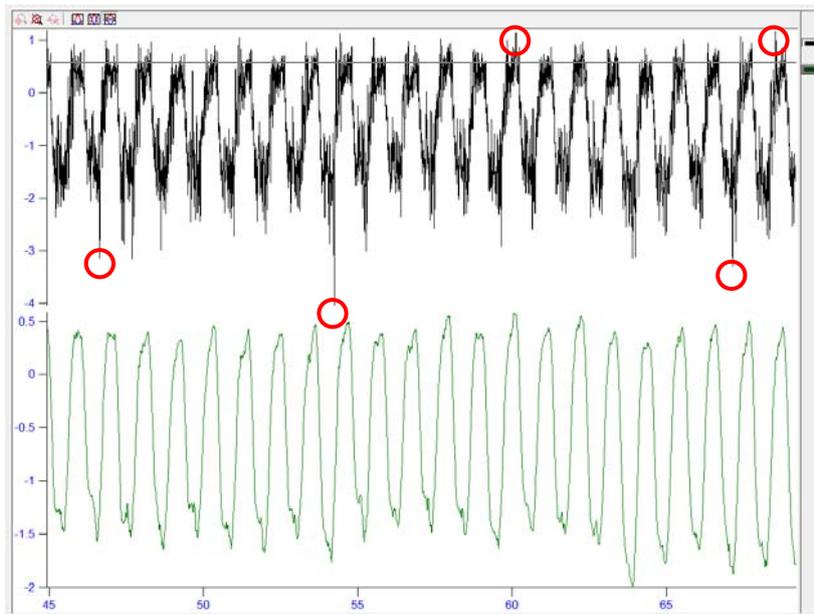


Abbildung 8: Auswertung Kraftverlauf Bearbeitung Randschicht

Diese auftretenden Kraftspitzen sind maßgeblich für Schneidenausbrüche verantwortlich und durch Auslegung der Technologie für die Trockenbearbeitung zu verringern. Durch die Verringerung der Kraftspitzen wird ein deutlich positiver Effekt auf die Standzeit der einzelnen Schneiden erwartet. Die praktische Umsetzung dieses Ansatzes ist aktuell Gegenstand der Untersuchung.

6 Ausblick

Die weiterführenden Arbeiten konzentrieren sich auf die bereits genannten Punkte sowie den Einsatz von Drehfrästechnologien und die Untersuchung von Möglichkeiten hybrider Technologien durch die Nutzung eines Lasers an der Wirkstelle.