

Leistungspotenziale beim Walzenschleifen

Prof. Dr.-Ing. Bahman Azarhoushang¹, Baron Maximilian Riedesel zu Eisenbach²

Die Weiterentwicklung neuer Walzen geht einher mit stetig steigenden Anforderungen an Qualität und Kosten. Insbesondere der Einsatz schwer zerspanbarer Werkstoffe und Beschichtungen in Verbindung mit engen geometrischen Toleranzen stellt den Schleifprozess oft vor große Probleme. Beim Walzenschleifen sind die Kontaktzone und die Kontaktlänge wegen der überdimensionalen Abmessungen der Walze und der eingesetzten Schleifscheibe deutlich größer als normale Außenrundscheifprozesse, was eine große Wärmequelle und somit einen Wärmestau zur Folge hat. Für einen effizienten Schleifprozess ist die geeignete Wahl der Prozessparameter, Schleifstrategie sowie Schleif- und Abrichtwerkzeuge von entscheidender Bedeutung.

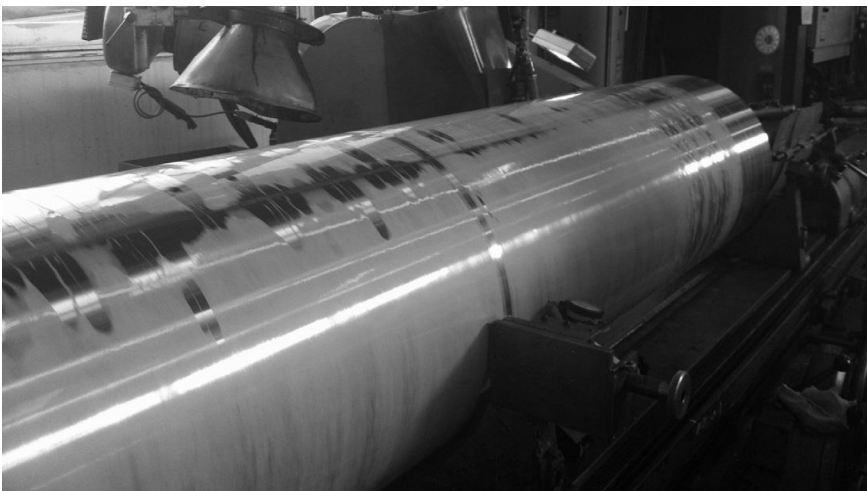


Bild 1: Der Versuchsaufbau

1. Einleitung

Der Markt des Walzenschleifens umfasst eine unglaublich breite Palette von Anwendungen, wie z.B. Rollen für kleine Maschinen mit einem Durchmesser von nur 100 - 200 mm bis zu Walzen für die Metallindustrie, die bis zu 300 t wiegen können. Übliche Werkstoffe für Walzen sind Stahl, Gusseisen, Aluminium, Gummi, Keramik und Polymere. Großen Walzen mit einer Walzenlänge bis 12.000 mm und einem Durchmesser bis 3.500 mm sind sehr Zerspanungsintensive Werk-

stücke [1].

Je nach Walzenart und Anwendung werden unterschiedliche Materialien und Abmessungen verwendet. Die Einsatzgebiete setzen hohe Anforderungen an die Walzenqualität bezüglich Rundlauf, Parallelität, Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächengüte. Die Hauptansprüche an die Oberfläche der Walzen sind in der Regel eine Oberfläche ohne Komma, Vorschub- und Rattermarken. Im Sonderfall, besonders in der Folienindustrie, sind extrem feine und gleichmäßige Oberflächen mit bestmöglicher Oberflä-

chengüte, z.B. $Ra < 0,005 \mu\text{m}$ und $Rz < 0,015 \mu\text{m}$, erforderlich [2]. Dort wird die Walzenoberfläche auf Fertigmaß geschliffen, superfiniert und spiegelhochglanzpoliert. Wegen der großen Materialvielfalt und der unterschiedlichen Abmessungen der Walzen werden unterschiedliche Schleifmittel, vom Korund bis hin zu CBN und Diamant, sowie unterschiedliche Bindungen, vor allem Keramik und Kunstharz, verwendet. Die Abmessungen der Schleifscheibe, d.h. Durchmesser und Breite, sind sowohl abhängig von der Abmessung der Walze, als auch von dem Maschinentyp. Bis heute wurden nur wenige Berichte über das Walzenschleifen veröffentlicht. Die Walzenhersteller besitzen durch ihre langjährige Erfahrung das Haupt-Know-how über diese Prozesse, was normalerweise Firmenintern gehalten wird. Aber auch die Schleifmittelhersteller wollen den Prozess ständig optimieren, um die hohen

¹KSF Institut, Hochschule Furtwangen University, Leiter des Instituts
²Bärhausen GmbH & Co.KG, Geschäftsführer

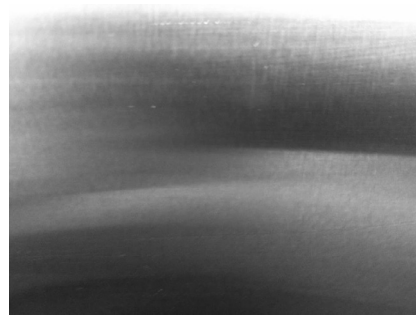
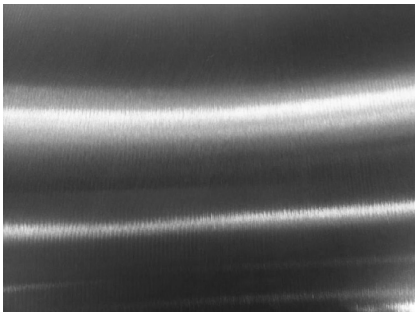


Bild 2: Die geschliffene Oberfläche nach dem Schrumpfen (links) und nach dem Schlichten (rechts)

Marktanforderungen zu erfüllen und die steigende Nachfrage in Bezug auf die Qualität und die Produktionszeit der Walzen bedienen zu können.

Aufgrund ihrer Tätigkeiten als Anwendungsleiter und Geschäftsführer eines deutschen Schleifscheibenherstellers und dadurch ihre Kontakte mit den Walzenherstellern konnten die Autoren gute Kenntnisse über den Prozess „Walzenschleifen“ gewinnen. Unterschiedliche Walzen (mit verschiedene Materialien und Abmessungen) könnten durch Prozess- und Werkzeugoptimierung deutlich effizienter geschliffen werden. Dadurch wurden höhere Zerspanungsraten, kürzere Schleifzeiten (teilweise Reduzierung bis 75 %) und in der Regel verbesserte Rundlauf und Oberflächenrauheit erreicht. Um die Walzen mit den geforderten Qualitäten in kurzer Zeit bearbeiten zu können, wurde eine maßgeschneiderte Schleifstrategie für jede Walze (je nach Abmessung und Material) entwickelt. Zunächst wird durch konkrete Beispiele die Methodik zur Produktivitäts- und Qualitätssteigerung beim Walzenschleifen erläutert.

2. Optimierung des Prozesses

Das Schleifen ist wegen der undefinierten Schneiden und den zahlreichen im Prozess beteiligten Faktoren sehr komplex und schwer beherrschbar. Die

Optimierung des Spanbildungsprozesses ist das Hauptziel der Forschung und Entwicklung in der Schleiftechnologie. Durch die Optimierung des Spanbildungsprozesses werden sich der Energieverbrauch bzw. die Energieumsetzung reduzieren und die thermische Beeinflussung und die Verformungen des Werkstückes verringern.

Beim Walzenschleifen sind die Kontaktzone und die Kontaktlänge wegen der überdimensionalen Abmessungen der Walze und der eingesetzten Schleifscheibe deutlich größer als normale Außenrundscheifprozesse, was eine große Wärmequelle und somit einen Wärmestau zur Folge hat. Deswegen sollte, um die thermische Schädigungen zu vermeiden und gleichzeitig eine akzeptable Abtragsrate zu erreichen, die erzeugte Schleiftemperatur durch eine optimierte Schleifscheibe und einen effektiven Materialabtrag reduziert werden. Eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Realisierung eines effektiven Materialabtrages mit einer minimierten Bearbeitungstemperatur bei einer Spanbildung besteht daher im Erreichen einer optimalen Spandicke. Hierbei spielen die Spezifikation der Schleifscheibe, die Mikrostruktur der Schleifscheibe und die Schleif- und Abrichtparameter eine große Rolle. Durch Reduktion der auftretenden Bearbeitungskräfte und -temperaturen können bedeutende Verbesserungspotentiale erreicht werden.

Neben der Schnittgeschwindigkeit, dem Vorschub und der Zustellung ist das Geschwindigkeitsverhältnis q_s einer der wichtigsten Schleifparameter beim Walzenschleifen. Damit wird angegeben, um wie viel die Werkstückgeschwindigkeit v_w (m/s) langsamer ist als die Schnittgeschwindigkeit v_c (m/s). Die Kinematik des Schleifprozesses verändert sich in Abhängigkeit von q_s . Die Kontaktzeit zwischen einem beliebigen Punkt auf der Werkstückoberfläche und der Schleifscheibe reduziert sich mit der Abnahme des Geschwindigkeitsverhältnisses. Daraus resultieren ein verbesserter Selbstschärfeeffekt der Körnungen sowie eine Verringerung der Bearbeitungstemperatur. Nachteilig ist die die Erhöhung der Oberflächenrauheit und die Erzeugung von Rattermarken, dies ist vor allem bei einem sehr geringen Geschwindigkeitsverhältnis $q_s < 30-40$ je nach Werkstückmaterial und Werkstückabmessung möglich. Deswegen ist es empfehlenswert, ein geringes Geschwindigkeitsverhältnis für das Schrumpfen und ein großes q_s für das Schlichten zu wählen. Durch diese Methodik wird es möglich, die erzeugten Bearbeitungskräfte und -temperaturen während des Schrumpfens zu reduzieren und während des Schlichtens die Oberflächenrauheit und den Formfehler zu reduzieren. Das Abrichten der Schleifscheiben spielt für das Prozessergebnis eine wesentliche Rolle. Schleifscheiben sollen einerseits fein abgerichtet werden, um eine feine Oberfläche zu erzeugen. Andererseits soll verhindert werden, dass die Scheiben durch Abrichten zu stumpf werden, da durch stumpfe Scheiben während der Bearbeitung eine höhere Druck- und Temperaturbeanspruchung, als Zerspanung erzeugt wird. Die Oberflächenstruktur des Werkstückes kann wesentlich effektiver

Schleifscheibe	35A 46 J 7 V50W der Firma Bärhausen GmbH Form1; 750 x 95 x 305
Schleifbedingungen vor der Optimierung: Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 18$ m/s Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 75$ Zustellung, $a_e = 5 - 10$ μ m Vorschub, $v_{fa} = 215$ mm/min bezogene Zeitspanvolumen, $Q'_w = 2,46$ mm ³ /(mm.s)
Schleifbedingungen, Schruppen Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 20$ m/s Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 60$ Zustellung, $a_e = 20 - 30$ μ m Vorschub, $v_{fa} = 425 - 870$ mm/min
Schleifbedingungen, Schlichten Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 25$ m/s Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 100$ Zustellung, $a_e = 5 - 10$ μ m Vorschub, $v_{fa} = 215 - 270$ mm/min
Abrichtbedingungen vor der Optimierung (Vielkornabrichter)	Zustellung, $a_{ed} = 30$ μ m Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 60$ μ m Überdeckungsgrad, $U_d = 5$
Abrichtbedingungen, Schruppen	Zustellung, $a_{ed} = 20$ μ m Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 40$ μ m Überdeckungsgrad, $U_d = 2-3$
Abrichtbedingungen, Schlichten	Zustellung, $a_{ed} = 20$ μ m Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 40$ μ m Überdeckungsgrad, $U_d = 4-6$
Kühlschmierstoff	Emulsion- 3% Öl
Abrichtwerkzeug	CVD Abrichtplatte, 5 Stäbchen 0,8 x 0,8 x 5 mm

Tabelle 1: Parameter der Schleifversuche

SCHRUPPEN	
Abrichten	Zustellung, $a_{ed} = 20$ μ m Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 40$ μ m Überdeckungsgrad, $U_d = 2$
Schleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 20$ m/s Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 60$ Zustellung, $a_e = 30$ μ m Vorschub, $v_{fa} = 870$ mm/min
SCHLICHTEN	
Abrichten	Zustellung, $a_{ed} = 20$ μ m Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 40$ μ m Überdeckungsgrad, $U_d = 5$
Schleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 25$ m/s Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 100$ Zustellung, $a_e = 7$ μ m Vorschub, $v_{fa} = 770$ mm/min

durch Abrichten von Schleifscheiben mit rotierenden Abrichtern beeinflusst werden als mit stehenden Abrichtern. In den Fällen, wo die Verwendung eines rotierenden Abrichters nicht möglich ist, sollte eine Abrichtplatte (aus CVD oder MKD Diamantstäbchen)

statt der herkömmliche Einkorn- oder Vielkorndiamant verwendet werden. Da durch den Einsatz von Abrichtplatten die Mikrostruktur der Schleifscheibe wesentlich genauer und einfacher beeinflusst werden kann. Die Autoren haben den Schleif-

prozess der verschiedenen Walzen mit unterschiedlichen Abmessungen, Durchmesser von 200 mm bis zu 2.000 mm und Länge von 500 mm bis 6.000 mm, und Materialien wie weich und gehärteter Stahl, Hartguss, Grauguss, Hartchrom, Stellite, Molybdän, Gummibezüge, CFK, Chromoxyd und HVOF (WC-CoCr) Beschichtungen erfolgreich in den letzten drei Jahren optimiert. Die Methodik zur Produktivitäts- und Qualitätssteigerung beim Walzenschleifen wird im nächsten Teil der Veröffentlichung durch zwei konkrete Beispiele erläutert.

2.1. Stahl Walzen

Die Untersuchungen wurden auf einer Rundscheifmaschine der Firma MWM (Bild 1) durchgeführt. Die Rauheit der Werkstücke wurde mit einem Rauheitsmessgerät vom Typ „MarSurf PS1“ der Firma Mahr GmbH gemessen. Die Durchführung der Schleifuntersuchungen erfolgte an Versuchswerkstücken aus St 52 (Ø 555 x 2.840 mm). Das Ziel des Projekts war die Bearbeitungszeit der Walze mit einem Aufmaß von 0,3 mm zu reduzieren, sowie eine Rauheit $R_t < 3$ μ m und einen Rundlauf < 10 μ m zu erreichen. Die in der Mitte eingesetzte Lünette diente zur Stabilitätserhöhung und zur Vermeidung von Rattermarken. Aufgrund der eingesetzten Schleifscheibe (EKW, Körnung 46, relativ weich und offen) und eines Vielkornabrichters, konnte keine hohe Abtragsrate und kein sicherer Prozess erreicht werden. Das Verhalten der Scheibe, d.h. die erzeugten Schleifkräfte und Schleiftemperaturen, hat sich immer wieder nach dem Abrichten geändert. Dadurch musste die Scheibe oft mit unterschiedlichen Überdeckungsgraden U_d und Zustellungen a_{ed} abgerichtet werden. Ansonsten hätten thermische Schädigungen bis hin zum Schleifbrand entstehen können. Außerdem bestand die Gefahr,

dass aufgrund der hohen Schleifkräfte Rattermarken und Formfehler auftreten.

Um die Walze mit der geforderten Genauigkeit in kurzer Zeit bearbeiten zu können, wurde eine optimierte Schleifscheibe eingesetzt und eine geeignete Schleif- und Abrichtstrategie entwickelt. Der Schleifprozess wurde in eine Schrupp- und eine Schlicht-Phase unterteilt (zweistufige Prozessführung). Ziel der Schruppphase war die Erreichung eines hohen Abtrags. In der Schlichtphase sollten Oberflächengüte, Maß- und Formgenauigkeit verbessert werden. Das verwendete Abrichtwerkzeug (CVD Abrichtplatte) und die Abrichtstrategie waren auch abhängig von dem Schleif-

kornmaterial, der Härte und dem Gefüge der Scheibe, sowie den qualitativen und wirtschaftlichen Anforderungen.

Um geeignete Abrichtparameter festzulegen, waren folgende Grundvoraussetzungen zu beachten: Das Abrichten mit kleinen Zustellungen und Vorschüben führt zu einer Verbesserung der Werkstückrauheit, jedoch kann die Schleifscheibe aufgrund der relativ kleinen Spanräume nach dem Abrichten nicht scharf genug sein, um den geforderten Abtrag in der Schruppphase zu realisieren. Dies hätte thermische Schädigungen auf der Werkstückoberfläche und Maß- und Formfehler zur Folge. Dagegen erzeugt das Abrichten mit großen Zustellungen und Vor-

schüben eine raue Schleifscheibe, die mit einem erhöhten Verschleiß und einer grob geschliffenen Oberfläche, aber reduzierten Bearbeitungskräften und -temperaturen verbunden ist. Deswegen sollten geeignete Abrichtparameter gefunden werden, die je nach Schruppen und Schlichten eine optimale Mikrostruktur auf der Scheibe realisieren können. Die Versuchsbedingungen sowie die Schleifscheibenspezifikation sind in Tabelle 1 angegeben. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurden folgende Schrupp- und Schlichtparameter ausgewählt (sh. unter Tabelle 1).

Anschließend wurde ein Teil mit ausgewählten Schrupp- und Schlichtparametern und ohne Ausfunkehüben geschliffen. Das bezogene Zeitspanvolumen, $(Q'_w = (a_e n_w d_w \pi) / 60)$, wurde beim Schruppen mit $10 \text{ mm}^3/(\text{mm.s})$ gegenüber $2,46 \text{ mm}^3/(\text{mm.s})$ vervierfacht. Die Bearbeitungszeit wurde um fast 85 % reduziert und es wurde ein Rundlauf von $5 \mu\text{m}$ und ein R_t von $2,8 \mu\text{m}$ erreicht. Das geschliffene Teil ist im Bild 2 dargestellt.

2.2. WC-CoCr. Walzen

Die Untersuchungen wurden auf einer CNC Rundschleifmaschine der Firma TOS (TOS HOSTIVAR BUB 50) (Bild 3) durchgeführt. Die Rauheit der Werkstücke wurde mit einem Rauheitsmessgerät vom Typ „MarSurf M400“ der Firma Mahr GmbH gemessen.

Die Durchführung der Schleifuntersuchungen erfolgte an Versuchswerkstücken aus WC-CoCr beschichtete (HVOF) Walzen ($\varnothing 300 \times 2.500 \text{ mm}$). Das Ziel des Projekts war die Bearbeitungszeit der Walze mit einem Aufmaß von $0,2 \text{ mm}$ zu reduzieren und eine Rauheit $R_a < 0,5 \mu\text{m}$ und eine Oberfläche ohne Vorschubspuren und Schrägmarken zu erreichen. Hier wurde auch eine Lünette in der Mitte der Walze eingesetzt um die Nachgiebigkeit und Ratter-

Schleifscheibe	D54 C75 BA3 – Bakelit-Körper der Firma Bärhausen GmbH Form1A1; D:750 T:30 X:5 H:304,8 H7
Schleifbedingungen vor der Optimierung: Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 20 \text{ m/s}$ Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 60$ Zustellung, $a_e = 5-10 \mu\text{m}$ Vorschub, $v_{fa} = 300 \text{ mm/min}$ bezogene Zeitspanvolumen, $Q'_w = 1,66 \text{ mm}^3/(\text{mm.s})$
Schleifbedingungen, Schruppen Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 30 \text{ m/s}$ Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 50$ Zustellung, $a_e = 15 - 25 \mu\text{m}$ Vorschub, $v_{fa} = 500 - 1000 \text{ mm/min}$
Schleifbedingungen, Schlichten Außenrundlängsschleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 30 \text{ m/s}$ Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 80$ Zustellung, $a_e = 5 - 10 \mu\text{m}$ Vorschub, $v_{fa} = 300 - 600 \text{ mm/min}$
Abrichtbedingungen	Zustellung, $a_{ed} = 50 \mu\text{m}$ Gesamte Abrichtzustellung, $a_{ed-total} = 0,5 \text{ mm}$ Abrichtvorschub, $v_{fad} = 600 \text{ mm/min}$
Kühlschmierstoff	Emulsion- 4% Öl

Tabelle 2: Parameter der Schleifversuche

SCHRUPPEN	
Schleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 30 \text{ m/s}$ Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 50$ Zustellung, $a_e = 20 \mu\text{m}$ Vorschub, $v_{fa} = 1000 \text{ mm/min}$
SCHLICHTEN	
Schleifen	Schnittgeschwindigkeit, $v_c = 30 \text{ m/s}$ Geschwindigkeitsverhältnis, $q_s = 80$ Zustellung, $a_e = 5 \mu\text{m}$ Vorschub, $v_{fa} = 500 \text{ mm/min}$

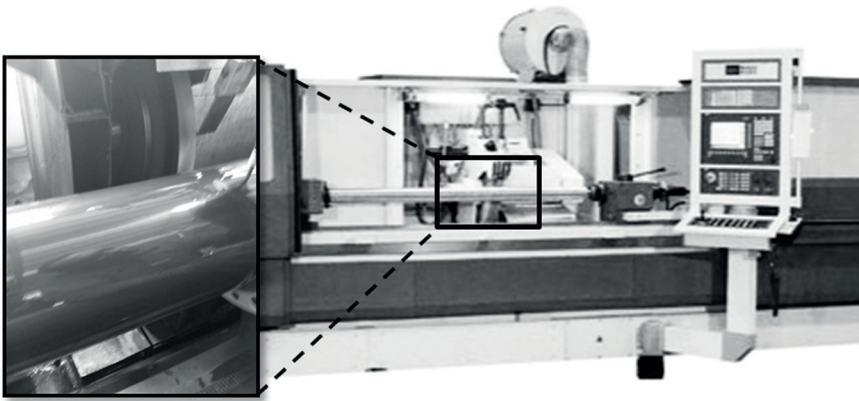
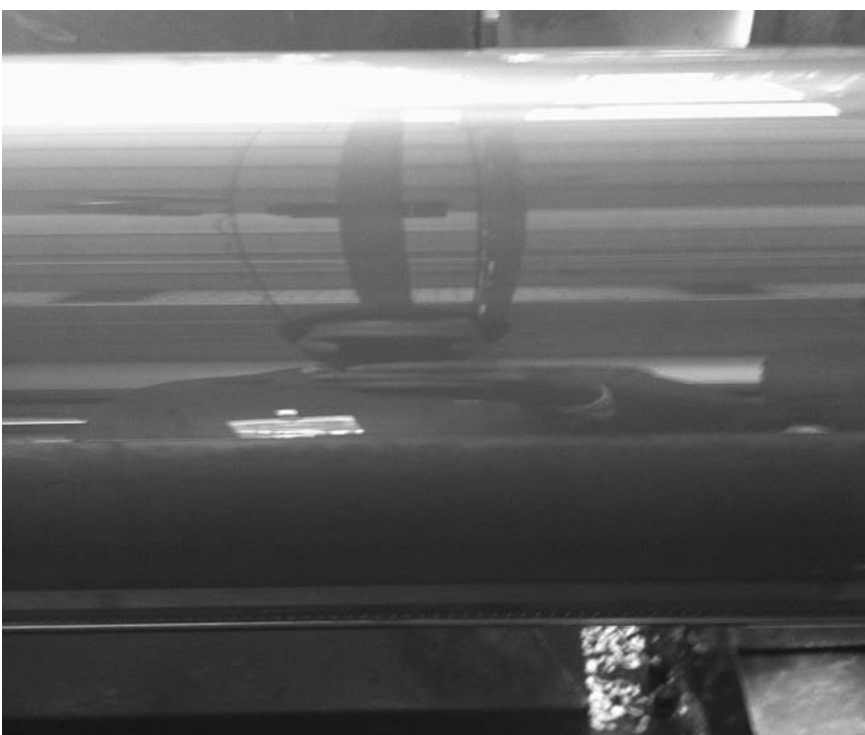


Bild 3: Der Versuchsaufbau

marken zu vermeiden. Eine kunstharzgebundene Diamantschleifscheibe wurde eingesetzt und der Schleifprozess wurde in eine Schrupp- und eine Schlichtphase unterteilt (zweistufige Prozessführung). Um die Scheibe auszuwuchten und die Rundheitsabweichungen zu beseitigen wurde die BA-90 Abricht-Maschine der Fa. Bärhausen als Abrichtwerkzeug mit einer integrierten SiC keramikgebundene Abrichtscheibe (Körnung 320) eingesetzt. Die Haltezeit an die beiden Walzenenden wur-

Bild 4:
Die geschliffene Oberfläche nach dem Schlichten



de von 3 s auf 1 s reduziert. Die Versuchsbedingungen sowie die Schleifscheibenspezifikation sind in Tabelle 2 angegeben. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurden folgende Schrupp- und Schlichtparameter ausgewählt (sh. unter Tabelle 2). Anschließend wurde ein Teil mit ausgewählten Schrupp- und Schlichtparametern und mit zwei Ausfunktüben geschliffen. Das bezogene Zeitspanvolumen wurde beim Schruppen mit $12 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ gegenüber $1,66 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ versiebenfacht. Die Bearbeitungszeit wurde um fast 65 % reduziert und es wurde eine Oberfläche ohne Vorschub-

spuren und Schrägmarken mit einem Ra von $0,34 \mu\text{m}$ erreicht. Das geschliffene Teil ist im Bild 4 dargestellt.

Zusammenfassung

Zur Produktivitäts- und Qualitätssteigerung beim Walzenschleifen wurden optimierte Schleifscheiben entwickelt und systematische Untersuchungen durchgeführt. Das Walzenschleifen kann durch einen effizienten Spanbildungsprozess, mit möglichst niedriger Wärmeentwicklung und Kraftenerzeugung und damit möglichst geringer Randzonenbeeinflussung und Formfehler, optimiert werden. Neben der Spezifikation der Schleifscheibe sind die Abricht- und Schleifparameter für die Prozessoptimierung entscheidend. Das Geschwindigkeitsverhältnis q_s ist einer der wichtigsten Schleifparameter beim Walzenschleifen. Anhand der Prozessoptimierung konnte die Bearbeitungszeit, die Oberflächenrauheit, der Formfehler und die Markierungen (Vorschubspuren und Schrägmarken) auf der geschliffenen Oberfläche deutlich verbessert werden.

Literatur

- [1] <http://www.waldrich-siegen.de/> PRODUKTE ProfiGrind - Schleifen
- [2] <http://www.wilhelm-bauer.de/start/schleifen.php>
- [3] P. S. Haller; GR_ Walzenbezug der Zukunft – heute schon realisiert, voith-paper_twogether3.
- [4] E. Müller; Beschichtungslösungen für die Papier- und Druckindustrie; Hochglanzpoliert oder mit Milliarden von Näpfchen, Sulzer Technical Review 4/2006.
- [5] <http://www.zecher.com/>
- [6] M. Weck, C. Brecher; Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, 6. Auflage, Springer Verlag.