

# UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES DES SCHLAGVERDICHTENS AUF DIE TRIBOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN VON METALLOBERFLÄCHEN

P. PETERKO <sup>1</sup>, C. HABERSOHN <sup>2</sup>, C. LECHNER <sup>2</sup>, H. KAMINSKI <sup>3</sup>, M. JECH<sup>1</sup>, F. BLEICHER <sup>2</sup>

## 1 EINLEITUNG – RANDBEDINGUNG

### Kurzinformation:

Das Schlagverdichten ist eine Oberflächen-Bearbeitungstechnik mittels eines CNC geführten Hammers zur Erhöhung der Materialhärte und zum Einbringen von Druckeigenspannungen in Oberflächen. Um die Vorteile des Schlagverdichtens bezüglich Reibung und Verschleiß im Detail verstehen zu können, werden die entsprechenden Effekte anhand von Tribometerversuchen erforscht. Diese Ergebnisse sollen die Grundlagen liefern, um durch den Schlagverdichtungsprozess Oberflächen hinsichtlich der gewünschten Anwendung bzw. Anforderung zu optimieren.

### Inhalt:

In den heutigen tribologischen Systemen sind die verwendeten Werkstoffe und vor allem deren Oberflächen maßgeblich mitbestimmend, ob ein System den Belastungen standhält und die geforderte Lebensdauer erreicht. Um diese zu optimieren, kommen in der Industrie Oberflächenbearbeitungstechniken immer stärker zum Einsatz. Das Schlagverdichten ist eine Technik vergleichbar etwa mit dem Kugelstrahlen oder Laser-Schock-Peening. Im Gegensatz zu den anderen Methoden wird hier jedoch ein Kugelhammer über das Werkstück geführt, wobei der Hammer mit einer bestimmten Energie auf die Oberfläche schlägt und damit eine definierte Tiefenwirkung erzielen kann. Dadurch kann die Härte gesteigert und Druckeigenspannungen eingebracht werden. Ebenso ist eine definierte Strukturierung (z.B. Glättung, Ripplets) der Oberfläche möglich.

Durch die Oberflächenbearbeitung des Schlagverdichtens soll die tribologische Funktionalität der Oberflächen hinsichtlich Reibung als auch Standzeit von Bauteilen verbessert werden. Dies macht es notwendig, die grundlegenden Effekte des Schlagverdichtens auf die Oberfläche von Materialien zu erforschen.

---

<sup>1</sup> AC<sup>2</sup>T research GmbH – Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie, Viktor-Kaplan-Str.2, 2700 Wiener Neustadt, A

<sup>2</sup> Institut für Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie - WWWT Wien – Favoritenstraße 9, 1040 Wien

<sup>3</sup> Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik - IFT Wien – Karlsplatz 13, 1040 Wien

## 2 VERSUCHSAUFBAU

In der gegenständlichen Arbeit wird das Verschleißverhalten unter dem Einfluss unterschiedlicher Schlagverdichtungsbearbeitungen ermittelt. Die Versuche werden der Norm DIN 51834-2 mit Kugel-Scheibe-Geometrie angelehnt. Als Indikator (Prüfkörper) für das Verschleißverhalten wurden 100Cr6 Standard-Kugeln mit einem Durchmesser von 10 mm verwendet. Als Gegenkörper kommen Stahlscheiben mit unterschiedlich schlagverdichteten Oberflächen zum Einsatz.

Das Schlagverdichten bietet eine sehr große Anzahl an einstellbaren Parametern, wie etwa dem Abstand zwischen den einzelnen Einschlägen, der Frequenz oder der Vorschubgeschwindigkeit des Hammers über dem Werkstück. In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich die Schlagdistanz variiert. Die Schlagdistanz ist der Weg, den der Hammer während der Beschleunigung bis zum Aufschlagen auf die Oberfläche zurücklegen muss und daher direkt proportional mit der Schlagenergie. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einfluss von 4 unterschiedlichen Schlagenergien mit einer Referenzoberflächenbearbeitung verglichen:

Probebezeichnung	Schlagdistanz
0	Referenz
1	klein
2	mittel
3	groß
4	sehr groß

*Tabelle 1: Übersicht zu den eingesetzten Gegenkörpern (oberflächenbearbeitete Stahlscheiben)*

Da die Prüfkörper (Standardkugeln) und sämtliche anderen Prüfeinstellungen für die Tribometerversuche identisch sind, können Unterschiede im Verschleißverhalten nur aufgrund der durch das Schlagverdichten veränderten Oberflächen zustande kommen. Somit kann ein Zusammenhang zwischen den eingestellten Schlagparametern und den tribologischen Eigenschaften gefunden werden.

Last	200 N
Probentemperatur	50°C
Schwingungsweg	1,0 mm
Prüfdauer	120 min
Bewegungsform	oszillierend

*Tabelle 2: Prüfeinstellungen für Tribometeruntersuchungen*

Zur möglichst feinen Auflösung der durch das Schlagverdichten erreichten Veränderungen im tribologischen Verhalten, wird zusätzlich zur optischen Verschleißermittlung das Verschleißvolumen mittels kontinuierlicher Verschleißbestimmung basierend auf der Radio-Isotope-Concentration-Methode (kurz RIC) ermittelt. Um einen direkten Vergleich zur konventionellen Verschleißmessung nach DIN 51834-2 zu ermöglichen wurden ebenfalls die Kugeln als Prüfkörper herangezogen, sprich mit Isotopen besetzt.

### 3 MATERIALEIGENSCHAFTEN

In Abhängigkeit zu den eingestellten Schlagparametern können Veränderungen der Oberflächeneigenschaften an der Rauheit und an der Härte festgestellt werden.

Der Rauheitsparameter  $R_a$  wird sowohl längs, als auch quer zur Bearbeitungsrichtung gemessen. Es ist anzunehmen, dass mit zunehmender Schlagdistanz eine höhere Schlagenergie eingebracht und damit eine höhere plastische Verformung hervorgerufen wird. Bei geringer Schlagdistanz werden daher die Rauheits-Spitzen geglättet, indem das Material in die Täler verschoben wird, während bei hoher Schlagdistanz neue Vertiefungen hervorgerufen werden. Geht bei hoher Schlagdistanz der Effekt der Glättung verloren, verhält sich die Rauheit ausgedrückt durch den  $R_a$ -Wert demnach direkt proportional zur Schlagdistanz (Abbildung 1). Die Rauheit aller bearbeiteten Stahlscheiben ist jedoch geringer als die der Referenz-Stahlscheibe. Während die Oberfläche der Referenz-Stahlscheibe der einer gefrästen Oberfläche entspricht, erreichen die durch Schlagverdichten behandelten Oberflächen durchaus die Qualität geschliffener Proben.

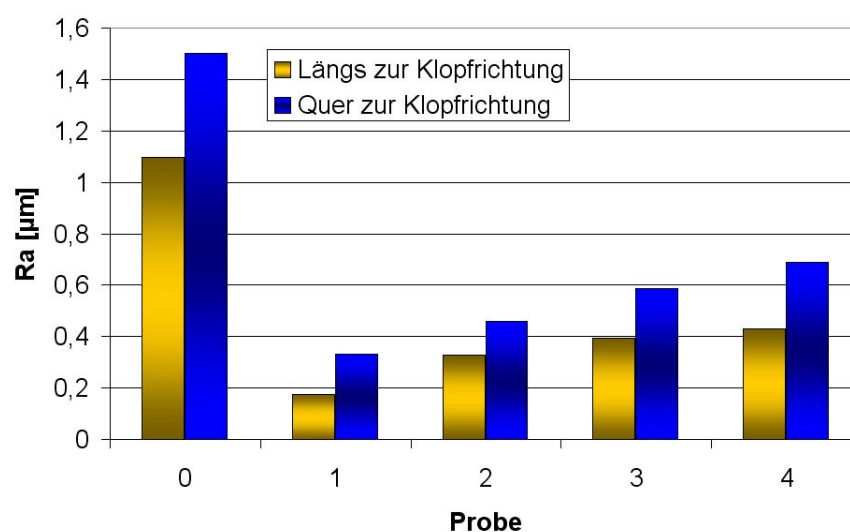


Abbildung 1: Rauheitsparameter  $R_a$  der durch Schlagverdichten bearbeiteten Stahlscheiben

An der Referenz-Probe erkennt man einen unterschiedlichen Rauheitswert, je nachdem, ob entlang der vorliegenden Fräsrichtung oder quer zur Fräsrichtung gemessen wird. Der Effekt der Fräsrichtung ist ebenso in den mittels Schlagverdichten bearbeiteten Oberflächen zu erkennen, wobei eine Verminderung der Rauheit abhängig von der eingestellten Schlagdistanz zu beobachten ist.

Probe	0	1	2	3	4
HV	~530	~550	~610	~580	~590

Tabelle 3: gemittelte Härtewerte an der Oberfläche der Stahlscheiben

Aufgrund des Schlagverdichtens kann eine Steigerung der Oberflächenhärte nachgewiesen werden. Mittels UCI-Messungen (Ultrasonic-Contact-Impedance) wird bei den bearbeiteten Stahlscheibe eine Steigerung der gemittelten Härte im Bereich von ~4 % bis ~15 % beobachtet. Die Härtewerte unterliegen einer relativ hohen Streuung (Abbildung 2), was auf die Inhomogenität des gewählten Werkstoffes bzw. auf das Vorhandensein einer körnigen Struktur zurückgeführt werden kann.

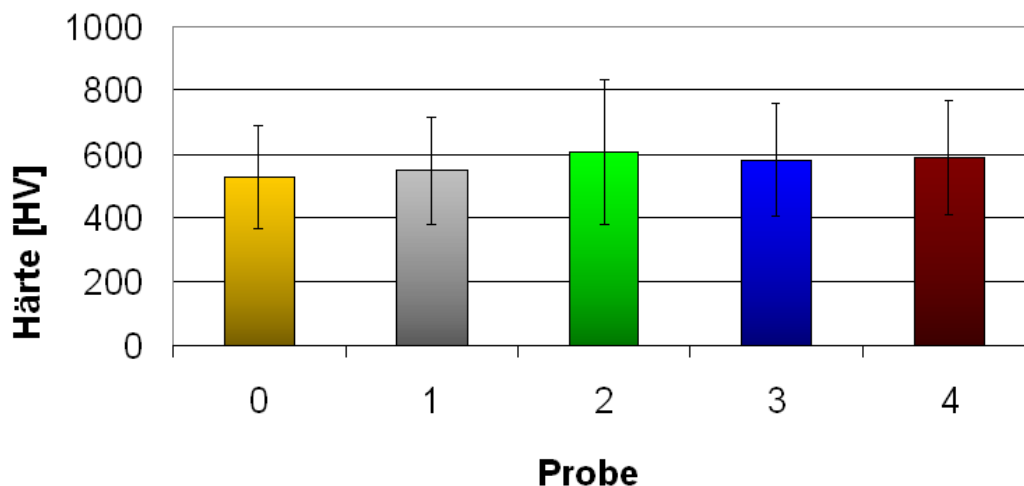
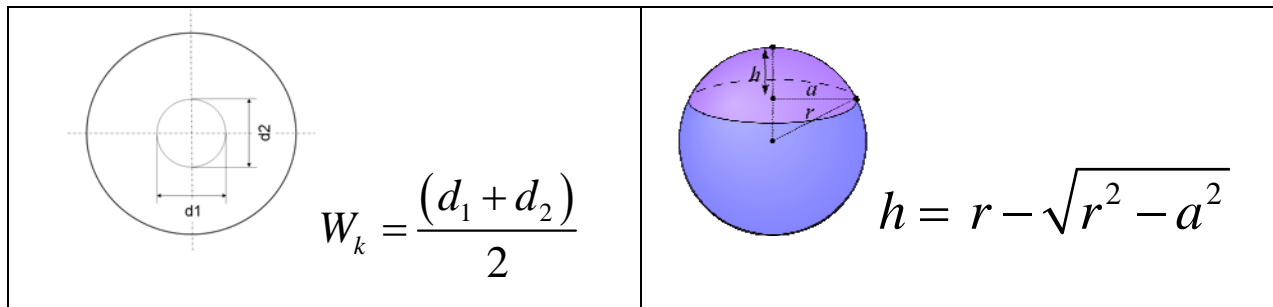


Abbildung 2: Vickershärte [HV] an der Oberfläche der Stahlscheiben

## 4 VERSCHLEIßVERSUCHE UND -EIGENSCHAFTEN

### Optische Verschleißbestimmung

Die optische Verschleißbeurteilung basiert auf Messungen des Durchmessers der Verschleißzone  $w_k$  und anschließende Umrechnung in entweder ein Volumen oder in eine Verschleißhöhe  $h$ , wobei eine ideale Kugelkalotte als Verschleißgeometrie angenommen wird.



Die Auswertung der optisch ermittelten Verschleißhöhe lässt erkennen, dass der Verschleiß an der Standardkugel aufgrund der Bearbeitung an der Oberfläche des Gegenkörpers steigt.

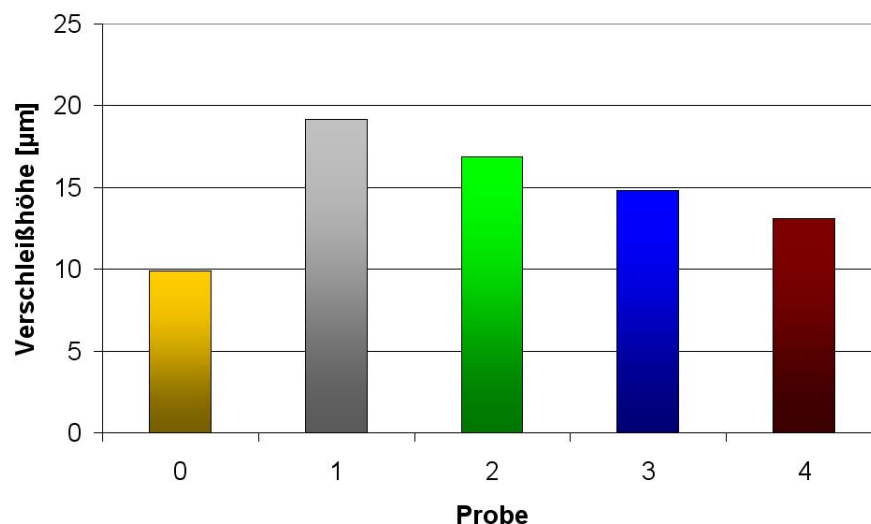


Abbildung 3: Verschleißhöhe an Standardkugeln in Abhängigkeit von den bearbeiteten Stahlscheiben (Proben) mittels optische Verschleißbestimmung

## Kontinuierliche Verschleißbestimmung

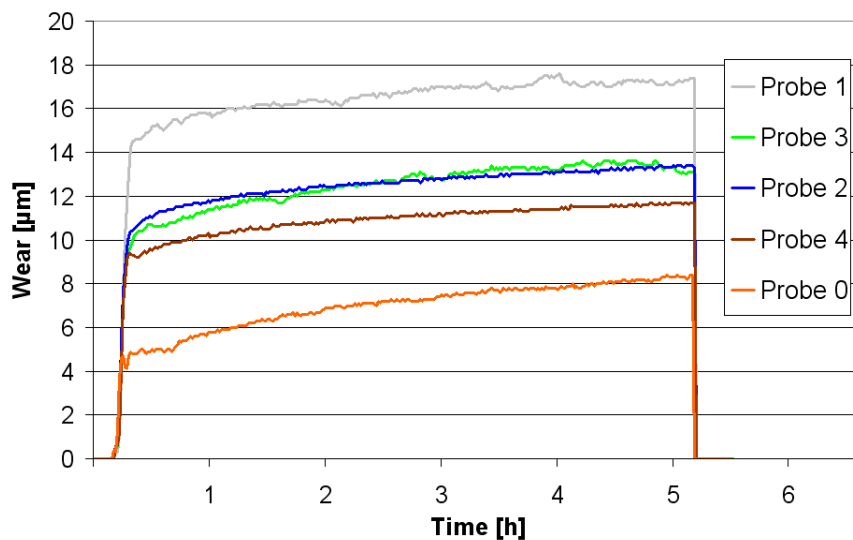


Abbildung 4: kontinuierliche Verschleißmessung mittels RIC an den Standardkugeln in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitung des Gegenkörpers

Die mittels RIC kontinuierlich gemessenen Verschleißwerte (Abbildung 4) stellen das Verschleißverhalten der Kugeln gegenüber den bearbeiteten Oberflächen während der Beanspruchung dar. Somit ist es möglich, zwischen Einlaufverschleiß und Konstantverschleiß zu unterscheiden. Dies ist hilfreich, um den Einfluss des Schlagversichtens auf das Verschleißverhalten des Tribosystem charakterisieren zu können.

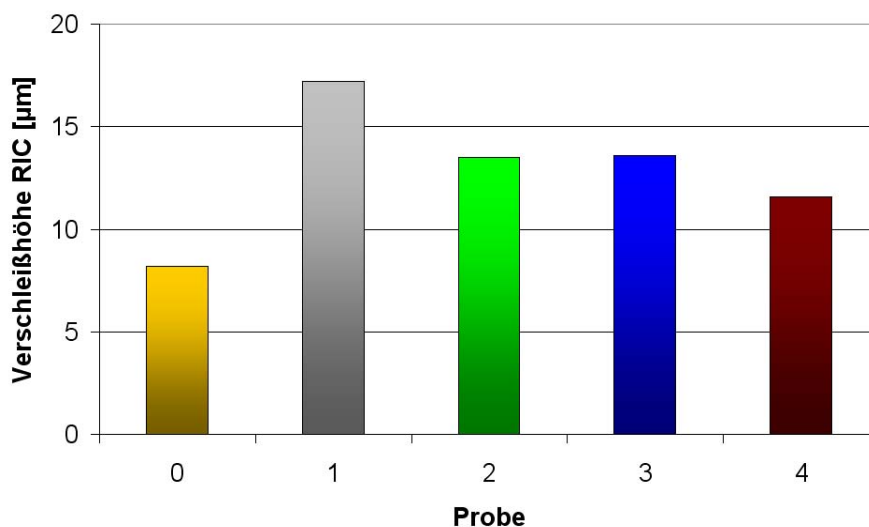


Abbildung 5: Gesamtverschleißhöhe der Standardkugel ermittelt mittels RIC

Die Verschleißhöhe am Ende der jeweiligen Versuche entweder ermittelt durch optische Verschleißbestimmung (Abbildung 3) oder durch kontinuierliche RIC

Messung (Abbildung 5) zeigen eine hohe Übereinstimmung, wodurch die Verschleißergebnisse als gesichert angesehen werden können.

Zusätzlich macht die kontinuierliche Messung (Abbildung 4) den Unterschied zwischen Einlaufverschleiß und Konstantverschleiß sichtbar. Beim Einlaufverhalten wächst der Verschleiß innerhalb der ersten wenigen Minuten sprunghaft an. Die Verschleißhöhe am Ende des Einlaufverhaltens ist ein maßgebliches Kriterium für die geometrische bzw. topographische Anpassung von Reiboberflächen. Das bedeutet, dass die Verschleißfläche der Kugel am Ende des Einlaufverhaltens sich so angepasst hat, dass durch diese Fläche die Last optimal auf den Gegenkörper übertragen werden kann. Ist der Gegenkörper sehr hart, kann erwartet werden, dass die Kugel einer starken Anpassung unterliegt, was mit starkem Einlaufverschleiß der Kugel einhergeht. Ist die Härte des Gegenkörpers etwas geringer, kommt es vermehrt zu einer Anpassung des Gegenkörpers durch Pflügen der Standardkugel, was anhand des geringeren Einlaufverschleißes der Kugel beobachtet werden kann.

Es lässt sich daher grundlegend feststellen, dass jene Standardkugeln einem erhöhten Einlaufverschleiß unterliegen, welche gegenüber den schlagverdichteten Oberflächen zum Einsatz kamen. Diese Erkenntnis stellt sich bereits in der Betrachtung des Gesamtverschleißes der Standardkugeln (Abbildung 3 und Abbildung 5) dar, ist aber nur deswegen gültig, weil der Einlaufverschleiß der dominante Effekt ist (Abbildung 4).

Die Standardkugel als Prüfkörper erleidet demnach dann einen erhöhten Verschleiß, wenn die Oberfläche des Gegenkörpers durch Schlagverdichten bearbeitet und dadurch die Härte (Abbildung 2: Vickershärte [HV] an der Oberfläche der Stahlscheiben) gesteigert wurde. Die Oberfläche der Gegenkörper wurde daher durch das Schlagverdichten verschleißresistenter gemacht, was zu einem erhöhten Verschleiß der Standardkugeln geführt hat.

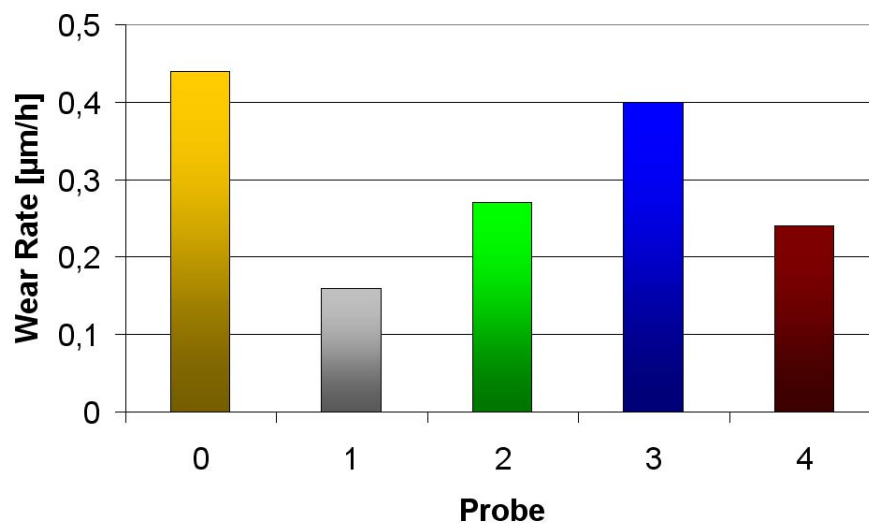


Abbildung 6: Konstantverschleißrate RIC

Dieser Zusammenhang kann auch an der Konstantverschleißrate (Abbildung 6) beobachtet werden, wodurch sich in weiterer Folge die optimalen Bedingungen für eine gesteigerte Lebensdauer des Tribosystems unabhängig vom Einlaufverschleiß untersuchen lassen.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen von tribologischen Untersuchungen wird der Einfluss des Schlagverdichtens als alternative Oberflächenbearbeitung hinsichtlich der Auswirkung auf das Verschleißverhalten untersucht. Als Verschleißindikator werden Stahl-Standardkugel gegenüber den mittels Schlagverdichten oberflächenbearbeiteten Stahlscheiben in einem Kugel-Scheibe Experiment verwendet. Die Verschleißbeurteilung erfolgt optisch nach dem jeweiligen Experiment als auch kontinuierlich mittels radioaktiver Isotope.

Als wichtiges Teilergebnis dieser Arbeit kann festgestellt werden, dass beide Verschleißmessmethoden eine hohe Übereinstimmung liefern, wobei die kontinuierliche Methode eine Unterscheidung von Einlauf- und Konstantverschleiß ermöglicht.

Damit kann gezeigt werden, dass der Einfluss des Schlagverdichtens der Scheibenoberflächen hauptsächlich im Einlaufverhalten der Prüfkugeln dominant ist, aber auch im Konstantverhalten nachgewiesen werden kann. Ein Vergleich mit den Härtesteigerungen, welche durch das Schlagverdichten auf den Scheiben erzielt wird, kann auf eine Verschleißschutzwirkung aufgrund des Schlagverdichtens geschlossen werden.

## 6 DANKSAGUNG

Die Forschungsergebnisse wurden aus dem österreichischen COMET-Programm im Rahmen des Förderprojektes Nr. 824187 gefördert und sind im „Exzellenzzentrum für Tribologie“ entstanden.

## 7 LITERATUR

- [1] Jech M., Wopelka T., Franek F., “Nano-sensitive wear measurement technique for oscillating test rig,” 6th International Colloquium Fuels (2007), Technische Akademie Esslingen (TAE), 2007
- [2] Ditroi F.. The thin layer activation method and its applications in industry. 324. 1997. Vienna, IAEA. TECDOC.