

Handbuch für das

Schleifen und Polieren

5. erweiterte und neu bearbeitete Auflage
von Dr.-Ing. Walter Burkart
mit 335 Bildern und 18 Tabellen



EUGEN G. LEUZE VERLAG · D 7968 SAULGAU/WURTT.

Vorwort zur fünften Auflage

Die letzte, die 4. Ausgabe, des Handbuches für das Schleifen und Polieren stammte aus dem Jahre 1974. In diesen 10 Jahren sind eine Anzahl Herstellerfirmen verschwunden. Manches ist überholt, Verfahren werden nicht mehr angeboten, Maschinen und Zubehörteile nicht mehr gefertigt. Das wurde alles in der neuen Ausgabe berücksichtigt.

Dafür sind neue Wege gegangen, neue Verfahren, Hilfsmittel und Maschinen entwickelt worden. All das wurde in mühevoller Arbeit sorgfältig recherchiert und in die vorliegende 5. Auflage aufgenommen.

Die 5. Auflage stellt nun wieder den neuesten Stand der Technik dar.

Januar 1985

Dr. Ing. Walter Burkart

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage

Autoren bemühen sich meist, im Vorwort nachzuweisen, welch dringendem Bedürfnis das vorliegende Buch abhelfen, bzw. welche vorhandene Lücke es schließen soll. Ich könnte mir vorstellen, daß einige Kapitel dieser Arbeit manchem Praktiker sogar unangenehm sind, wenn der Finger auf Veraltetes gelegt oder dem Einkäufer ein offenes Wort gesagt wird, denn Neues einzuführen, ist immer lästig und bringt zunächst nur Arbeit und Ärger mit sich. Auch ist es für alte Praktiker unbequem, wenn sie begrifflich umlernen sollen. Das ist aber mit ein Zweck dieser Schrift, denn gerade mit den Begriffen „Schleifen“ und „Polieren“ ist in der Praxis noch viel Verwirrung verbunden, was indessen nicht weiter verwunderlich ist, denn selbst in der neuesten einschlägigen Fachliteratur werden diese Begriffe immer wieder durcheinander geworfen.

Januar 1954

Dr. Ing. Walter Burkart

I. Teil Die Theorie des Schleifens und Polierens

1. Die Theorie des Schleifens

Um später die Vorgänge des Schleifens und Polierens besser beurteilen zu können oder um zu entscheiden, warum ich gerade dieses Verfahren einsetze, um zu einem optimalen Ergebnis zu kommen, ist es notwendig, zunächst die Theorie kennenzulernen und damit einen Blick in das Unsichtbare zu tun, in die Vorgänge, die sich unserem Auge entziehen und die nur mit dem Mikroskop oder Elektronenmikroskop erfaßt werden können. Gerade diese mikrochemischen und mikrophysikalischen Vorgänge aber entscheiden den Erfolg oder Mißerfolg unseres Handelns. Es mag sein, daß diese Kapitel über die „theoretischen Vorgänge“ für den Praktiker etwas schwierig sind und es Mühe kostet, sich diese Dinge, die man — wie gesagt — mit dem bloßen Auge nicht sieht, vorzustellen. Trotzdem ist aber gerade diese Kenntnis wichtig und erleichtert später die Entscheidung und Handlung in der Praxis.

Jeder Werkmeister, Kabinettmeister, Abteilungsleiter oder leitender Ingenieur ist geradezu verpflichtet, seinen Betrieb zu rationalisieren und zu modernisieren. Durch neue Verfahren oder Hilfsmittel können die Leistungen und bisher erzielten Effekte erhöht werden. Um dies zu erreichen ist es aber wichtig zu wissen, an welcher Stelle und auf welche Weise Änderungen, Verbesserungen vorgenommen, neue Verfahren oder zumindest Probeversuche eingesetzt werden müssen. Je genauer der zuständige Mann die molekularen bzw. mikrophysikalischen Vorgänge beim Schleifen und Polieren, beim Entfetten oder bei der Vorbehandlung kennt, je genauer er die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitsverfahren, des Schleifens einerseits und des Polierens andererseits kennt, desto eher wird er kritische Punkte in seiner Fertigung aufspüren und entsprechende Maßnahmen ergreifen können.

Da das Schleifen in der weitaus größten Mehrzahl der Fälle den vorbereitenden Arbeitsprozeß für das sich anschließende Polieren darstellt, muß zunächst den Vorgängen beim Schleifen größte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Gerade hier werden aber in der Praxis immer in Unkenntnis der Vorgänge in und auf der Oberfläche manche Fehler begangen.

Betrachten wir uns zunächst einmal das Schleifen der Metalle:

1.1 Das Schleifen der Metalle

Beim Schleifen von Metallen handelt es sich nach allgemeiner Ansicht ausschließlich um einen spanabhebenden Vorgang. Die allgemein anerkannte Definition des Schleifens lautet: „Das Schleifen ist ein spanabhebendes Bearbeitungsverfahren, bei dem durch eine Vielzahl harter Kristalle (Schleifkörner) undefinierter Geometrie ein Werkstoffabtrag erzielt wird.“

Wir kennen alle die Vorgänge auf einer Drehbank. Das Schneidwerkzeug, der Drehmeißel, wird so angesetzt, daß seine Spitze in die Metalloberfläche eindringt und durch die Drehung des Werkstückes laufend Material abnimmt. Das Material hebt sich in der bekannten Form der Spanlocken oder Drehspäne ab.

In gleicher Weise stellt sich der Vorgang des Schleifens dar, nur mit dem Unterschied, daß das Werkstück nicht wie auf der Drehbank gedreht wird und der Drehmeißel stillsteht, sondern umgekehrt: beim Schleifen wird das Werkstück festgehalten und der Drehmeißel in Form der einzelnen Schleifkörner (Kristalle undefinierter Geometrie), z. B. als Schleifscheibe oder -band oder als Schleif- oder Bürstpaste über das Werkstück hinweggezogen; d. h. jedes Schleifkorn wirkt einem Drehmeißel gleich, und je nach Größe und Härte des Schleifmittels wird mehr oder weniger Material von der zu bearbeitenden Unterlage abgehoben.

Es lassen sich unter dem Mikroskop die meist spiralförmigen Drehlocken deutlich erkennen. Je kleiner das Korn, desto feiner die Späne und desto flacher die erzeugten Schleiffrillen.

Es wird also nach der Definition des Schleifens durch harte Körper Material aus der Metalloberfläche spanend abgetragen.

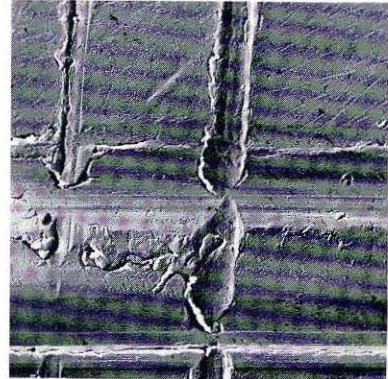
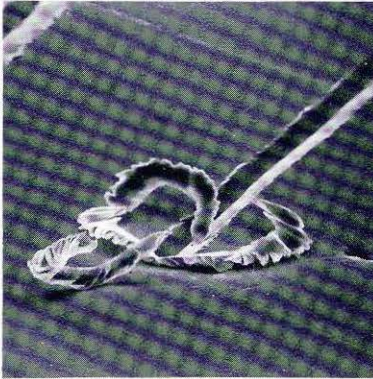


Abb. 1 (links): Schleifspur mit Schleiflocke auf gehärtetem Silberstahl, Original-Vergrößerung 1950 \times . Abb. 2 (rechts): Schleifspuren auf Stahl, Original-Vergrößerung 3600 \times .

Die Abb. 1 zeigt die Ritzspur auf einer gehärteten Stahlprobe zusammen mit der Schleif- oder Spanlocke. Abb. 2 stellt eine elektronenmikroskopische Aufnahme dar, aus der man deutlich erkennen kann, daß beim Schleifen von Metallen, dort, wo die Späne aus der Oberfläche herausgehoben werden, zwar Riefen oder Furchen entstehen, daß das Metall aber unter dem Druck des Schleifkorns plastisch geworden ist. Die Ränder der Schleifspur sind verhältnismäßig glatt, werden jedoch durch eine Schleifriefe kreuzende Ritzspur plastisch wieder teilweise zuge- drückt oder zugeschmiert. Das Schleifkorn hat das Metall weichgemacht, beim Spanen teilweise zur Seite gedrückt und auf diese Weise zu Wällen aufgeworfen. Über die praktische Ausführung des Schleifens und der dabei heute angewandten Schleifmittel geben die speziellen Kapitel Aufschluß. Grundsätzlich kann die Einwirkung des Schleifkornes auf das zu bearbeitende metallische Werkstück auf drei verschiedene Arten erfolgen:

- a) als starr gebundenes Korn in Form von Schleifscheiben oder schmirgelbelegten Scheiben bzw. Schleifbändern,
- b) als lose gebundenes Korn in Form von Schleifpasten,
- c) als loses Korn ohne Bindung beim Läppen, Einschleifen etc.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: beim Schleifvorgang wird Material von der Oberfläche abgehoben und Kratzer, Schleifspuren erzeugt; je feiner nun das Schleifkorn, desto flacher und feiner die Schleifspuren.

Auf eine Tatsache sei jedoch aufmerksam gemacht, die in der Praxis häufig übersehen wird und zu Beanstandungen führt: Es kommt wesentlich darauf an, auf welcher Unterlage das Schleifkorn befestigt ist bzw. wie fest es gebunden ist. Auf einer Holzscheibe aufgeleimt zum Beispiel wird ein Korn wesentlich schärfer schneiden und tiefere Riefen erzeugen als ein Korn gleicher Korngröße, jedoch auf Filz aufgeleimt. 180er Korn auf einem Band wirkt wesentlich schärfer und zügiger als das gleiche Korn in einer Schleifpaste. Ein Band der Körnung 180 wird auf einer harten Kontaktscheibe gröber arbeiten als auf einer weichen Scheibe.

Ein wesentliches Problem beim Schleifen ist naturgemäß die Gleichmäßigkeit der Riefen, das läßt sich aber nur erzielen, wenn die Schleifkorngröße ebenfalls möglichst gleich ist. Bei dieser Gelegenheit kann der Fachmann nicht nachdrücklich genug ermahnt werden, die entsprechenden Hilfsmittel, also Bänder, losen Schmirgel, Schleifpasten und dergleichen genauestens zu prüfen, denn hier gibt es mitunter erhebliche Qualitätsunterschiede, die sich natürlich auch im Preis ausdrücken. Der billigste Einkauf ist nicht immer der beste.

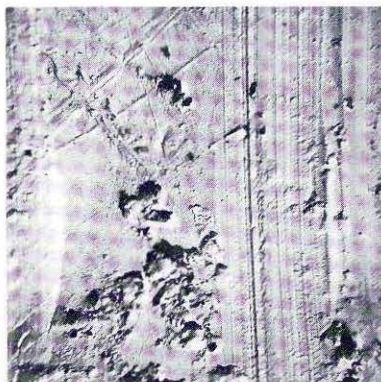


Abb. 3: Messing mit Lunkern, Original-Vergrößerung 2500 ×

Häufig treten auch Klagen nach dem Polieren auf, daß die Oberfläche keinen gleichmäßig hochglänzenden Eindruck macht. Das kann daher kommen, daß die Metalloberfläche von vornherein Lunker und Poren aufweist (siehe Abb. 3), die durch das Schleifen nicht genügend bzw. vollständig entfernt wurden, oder es kann auch sein, daß sich Schleifkorn in die Oberfläche eingedrückt hat.

Die Abb. 4 zeigt einen Kaltbandstahl, der mit einer Fiberbürste bearbeitet wurde unter Verwendung von Schmirgelpaste mit Schleifkorn 250. Die Schleifkörner, die sich in die Oberfläche des Stahls eingedrückt haben, sind deutlich zu sehen. Es ist

3. Die Theorie des Polierens

Mindestens genau so wichtig wie die Kenntnisse der Vorgänge beim Schleifen der einzelnen Werkstoffe ist das Studium des Poliervorganges. Letzten Endes hängt die Politur nicht allein vom richtigen Polieren und dem einwandfreien, möglichst auf die Verhältnisse zugeschnittenen Poliermittel ab, sondern stellt maßgeblich ein Resultat des vorhergehenden Schleifprozesses dar. Jeder aus der Branche kennt ja den Satz: „Gut geschliffen ist halb poliert“.

Normalerweise schließt sich dem Schleifvorgang das Polieren an. Je mehr man sich um die Vorgänge des Polierens bemüht, und je mehr man die Veränderungen während des Polierens zu erfassen glaubt, desto mehr erkennt man, daß sich eine ganze Anzahl von Einzelphasen vollzieht, die ineinandergreifen und sich überlagern. Der Vorgang des Polierens erscheint also außerordentlich verwickelt und kompliziert und ist noch keineswegs geklärt. Im Gegenteil, die These des Engländer *Beilby*, auf die wir noch zurückkommen, rückt wieder in den Vordergrund. Sehen wir von einer Vielzahl von Theorien über den Poliervorgang ab, so stehen sich im wesentlichen zwei Ansichten gegenüber:

Nach der einen Auffassung besteht zwischen Schleifen und Polieren überhaupt kein Unterschied, da das Polieren als ein ins ultramikroskopische getriebener Schleifvorgang angesehen wird. Bis zur Erzielung äußersten Hochglanzes wird Material abgenommen und bis zuletzt werden noch — allerdings nur einzelne — Kristalle aus der Oberfläche herausgebrochen. Als Beweis für diese Ansicht wird angeführt, daß selbst beim Wischen mit feiner Watte noch Teilchen aus der Oberfläche herausgerissen werden.

Die andere Ansicht ist die, daß beim Polieren keine Substanz mehr abgetragen wird, sondern daß unter dem Druck des Polierkornes in Verbindung mit der durch die Polierscheibe erzeugten Temperaturerhöhung ein Schmelzen der obersten Schicht eintritt und dadurch — analog dem Flammenpolieren bei den Kunststoffen — eine amorphe, polierte Oberfläche entsteht (*Beilby*-Schicht). Zur Unterstützung dieser Auffassung wird angeführt, daß derartige amorphe Oberflächen u. a. eine höhere Korrosionsbeständigkeit und ein anderes elektrisches Potential aufweisen, als dies bei Oberflächen mit geordnetem Kristallgefüge der Fall ist.

3.1 Das Polieren der Metalle

Der Vorgang beim Polieren von Metallen bzw. der Zustand einer Metalloberfläche nach dem Polieren wurde am „Institut für angewandte Physik“ der Universität Hamburg durch *Prof. Dr. H. Raether* eingehend erforscht.

Ein von *Raether* entwickeltes Verfahren gestattet es, mit Hilfe von Elektronenstrahlen, welche mit etwa 50 000 Volt beschleunigt werden, die oberste Schicht einer polierten Metalloberfläche in einer Tiefe von etwa 10—20 Å ($1 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{ cm} = 10^4 \text{ Å}$) abzutasten und deren Kristallzustand zu analysieren. Gerade diese Schicht ist aber maßgeblich für eine Beurteilung der Vorgänge beim Polieren. Für die Untersuchungen wurden Metalle und Edelmetalle herangezogen, die sowohl kalt mit dem Polierstahl als auch in der Praxis an der Schwabbelnscheibe unter entsprechenden Temperaturerhöhungen poliert wurden.

Im Einzelnen konnte auf Grund dieser Untersuchungen festgestellt werden, daß bei Annäherung an die Oberfläche eines polierten Metalls neben der Desorientierung der Kristalle, diese immer kleiner werden, bis zu einer Größe von wenigen Elementareinheiten (5—10 Å). Mit anderen Worten, durch den Poliervorgang wird das zunächst ungestörte Kristallgefüge eines Metalls nach der Oberfläche zu immer weitgehender zertrümmert. Sichtbar kann dies durch sogenannte Elektroneninterferenzaufnahmen gemacht werden.

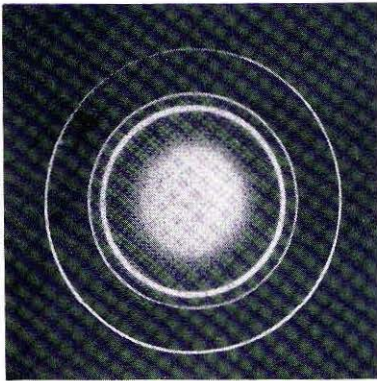


Abb. 19: Scharfe Interferenzringe

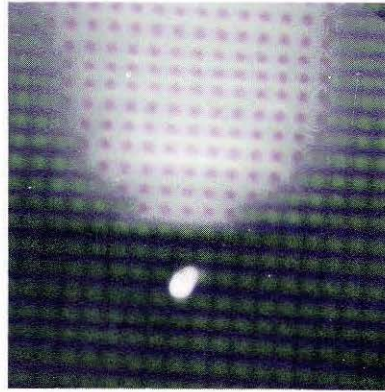


Abb. 20: Verwaschene Interferenzringe

Relativ grobe Kristalle wie sie also in tieferen Schichten (10—20 Å) vorhanden sind, ergeben verhältnismäßig scharfe Interferenzringe, wie Abb. 19 von Aluminium zeigt.

Der feinkristalline Zustand dagegen, wie er an der Oberfläche vorliegt, zeichnet sich durch verbreiterte, verwaschene, diffuse Beugungsringe, sogenannte „Halos“ aus. Abb. 20 zeigt eine Kupfer-(Messing)-Oberfläche.

Um diese Erkenntnisse anschaulich darzustellen, sei in Abb. 21 eine schematische Darstellung gegeben, die einen Schnitt durch eine polierte Metalloberfläche zeigt. Wie man deutlich erkennen kann, wird also beim Polieren, im Gegensatz zum spanabhebenden Vorgang des Schleifens, die Oberfläche in einer Tiefe von einigen Å feinst zertrümmert, und die Kristalltrümmer vom Schleifen her stehengebliebener Spitzen und Grate füllen unter dem Druck der Polierschwabbel und des Polierkornes die daneben liegenden Rillen und Riefen, soweit dies möglich ist, aus. Durch die plastische Verformbarkeit der Metalle ist es möglich, daß vor allem beim Polieren mit Hilfe der Schwabbelnscheibe durch die dabei auftretenden Arbeitstemperaturen ein gewisses Fließen einzelner Teile der Oberfläche eintritt.

E. Brüche, der die Schleif- und Poliervorgänge eingehend unter dem Elektronenmikroskop untersucht hat, kommt auf Grund seiner Beobachtungen zu der Überzeugung, daß sich bei Metall der technische Schleif-, Einschleif- und Verschleißvorgang im Bereich der tausendstel Millimeter, also im elektronenmikroskopischen Gebiet abspielt. Hier verhalten sich die Metalle wie plastische Stoffe. In dieser Dimension herrschen Kräfte, die über die harten Körner der Schleifscheibe oder über lose Körner eines Polierpulvers wirken und solche Flächendrucke ausüben, daß das Metall (auch der härteste Stahl) plastisch verformt wird und ausweicht. Brüche gibt diesem Bereich die Bezeichnung „Mikro-Hochdruckphysik“. Als Beweis