

VERBESSERUNG DER SCHMIEDESTÜCKEIGENSCHAFTEN DURCH STRAHLEN

E. Doege und W. Bender

*Forschungsstelle Gesenkschmieden, Universität Hannover,
Bundesrepublik Deutschland*

ABSTRACT

The effect of shot peening will be very important in the future, particular for forged pieces of plain carbon steel. This paper includes investigations about the roughness, the microhardness, X-ray determination of residual stresses and the fatigue strength of forged specimens, made of plain carbon steel with 0,45 % C.

KEYWORDS

Shot peening; plain carbon steel; roughness; microhardness; X-ray determination, fatigue strength.

EINLEITUNG

Das Strahlen von gegossenen Pkw-Pleueln und - Kurbelwellen wirkt sich positiv auf die Festigkeitseigenschaften aus. Diese Kenntnis führte in der Gießereiindustrie dazu, das Strahlen zur Steigerung der Bauteilfestigkeit kontrolliert anzuwenden, da Gußteile aufgrund der Werkstoffkennwerte ohne diese Nachbehandlung nicht die gleichen Eigenschaften wie geschmiedete Bauteile erreichen.

Wenn jedoch Gußteile durch Strahlen dermaßen beeinflußt werden können, dann trifft dies auch auf geschmiedete Bauteile zu. Diese Möglichkeit zur Verbesserung der Eigenschaften von Schmiedestücken hat uns dazu veranlaßt, auf diesem Gebiet tätig zu werden.

Allgemein kann die gezielte Anwendung des Strahlens unter zwei Gesichtspunkten eingeordnet werden (Bild 1).

Die Konkurrenz anderer Fertigungsverfahren zwingt die Schmiedeiindustrie zu einer Kostenreduzierung. Diese kann man erreichen, wenn man kostenintensive Fertigungsverfahren weglassen oder reduzieren kann.

Ein Beispiel stellt die Wärmebehandlung durch Vergüten dar, die auch heute noch sehr oft vom Abnehmer der Schmiedestücke gefordert

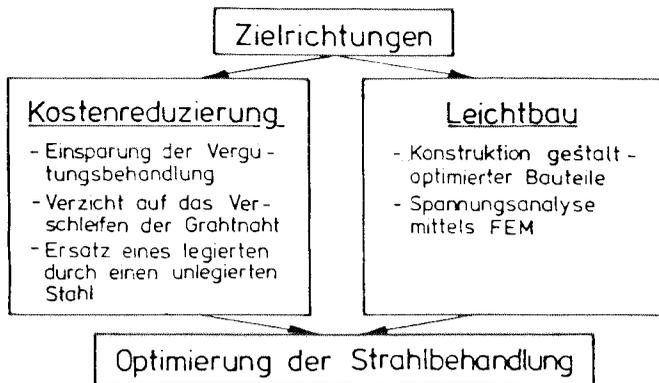


Bild 1. Zielrichtungen der Schmiedestückforschung

wird. Aus der Schmiedewärme gesteuert abgekühlte Bauteile sind jedoch in vielen Anwendungsfällen gleichwertig (Fascher, 1980). Im Hinblick auf das Strahlen weisen gesteuert abgekühlte Werkstücke infolge der größeren Verfestigungsfähigkeit auch eine größere Wirkung der Strahlbehandlung auf (Bild 2).

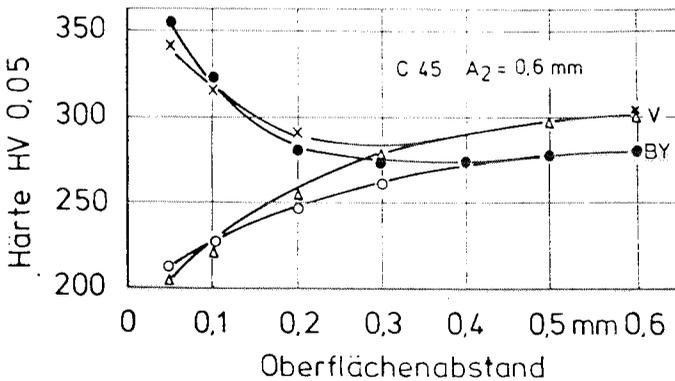


Bild 2. Einfluß der Strahlbehandlung auf die Härteverläufe am Rand nach unterschiedlicher Wärmebehandlung
 V = vergütet, $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$
 BY = aus der Schmiedewärme gesteuert abgekühlt, $R_m = 720 \text{ N/mm}^2$

Eine weitere Möglichkeit zur Kostenreduzierung bei der Schmiedestückherstellung betrifft den Abgratvorgang. Manche Abnehmer verlangen, daß die Schmiedestücke nach dem Schmieden, Entgraten, Wärmebehandeln und Reinigungsstrahlen im Gratnahtbereich längsverschleifen werden. Dieser meist von Hand ausgeführte Arbeitsgang stellt einen großen Kostenfaktor dar. Untersuchungen in

unserem Hause haben gezeigt, daß das Verschleifen der Gratnaht nach dem Strahlen sehr negative Auswirkungen haben kann (Bild 3).

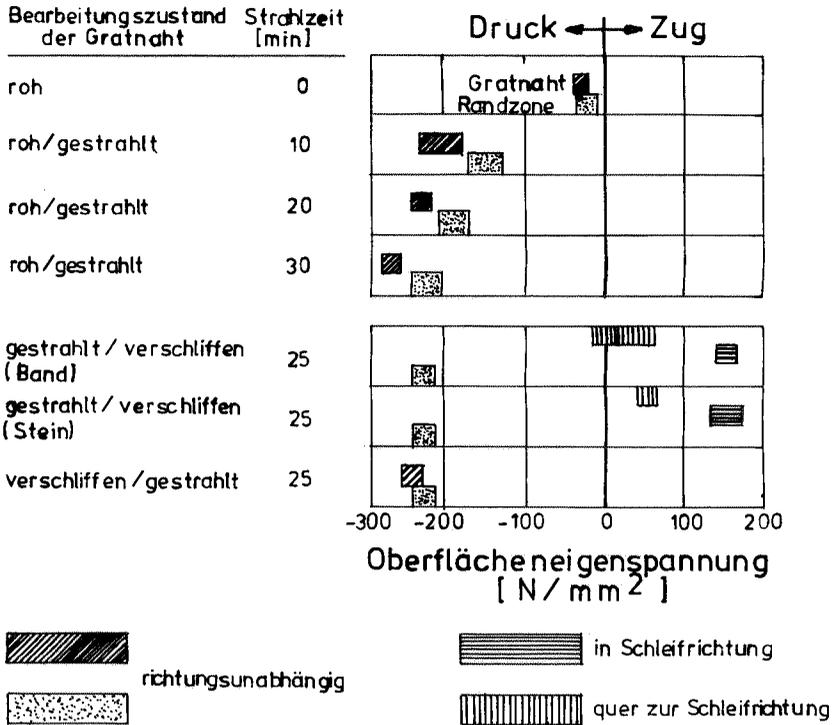


Bild 3. Einfluß des Bearbeitungszustandes auf die Oberflächeneigenspannung im Gratnahtbereich geschmiedeter Bauteile (Schmidek, 1981)

Bei unverschliffenen Bauteilen werden die bereits im Rohzustand vorhandenen geringen Druckeigenspannungen in Abhängigkeit von der Strahlzeit stark erhöht.

Werden dagegen die Bauteile nach dem Strahlen verschliffen, so treten speziell in der Schleifrichtung große Zug-Eigenspannungen auf.

Die vorhandenen Druck-Eigenspannungen, die an den Bauteilen ermittelt wurden, die zuerst im Gratnahtbereich verschliffen und danach gestrahlt wurden, weisen die gleiche Größenordnung auf wie die nicht verschliffenen, aber gestrahlten Teile.

Ein zweiter Grund, das Festigkeitsstrahlen vermehrt anzuwenden, ist der Leichtbau. Infolge der Energiepreisssteigerung sind die Automobil-Hersteller gezwungen, die Fahrzeugmassen zu reduzieren. Die Gestaltoptimierung ist dabei ein wichtiger Beitrag.

Die Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung von Bauteilen sind in Bild 4 dargestellt.

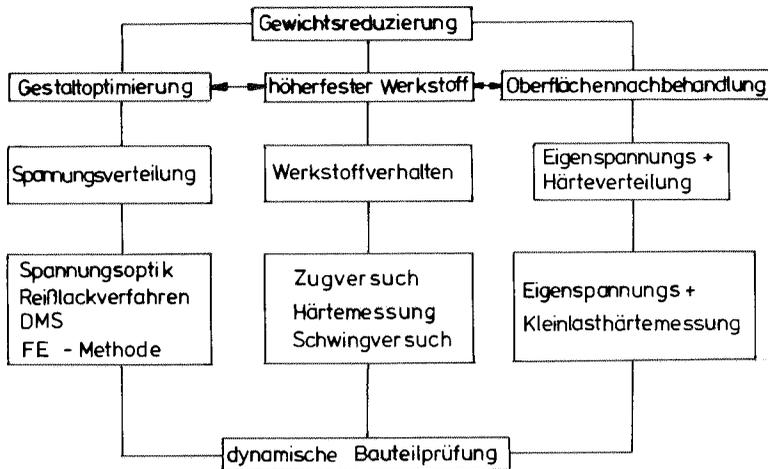


Bild 4. Möglichkeiten und Vorgehensweise zur Gewichtsreduzierung geschmiedeter Bauteile (Doege u.a. 1980)

Eine wichtige Voraussetzung ist die Ermittlung der tatsächlichen Spannungsverteilung z.B. mittels der Finite-Element-Methode (FEM), mit deren Hilfe die Bereiche bestimmt werden können, an denen Querschnitte verringert und damit Massen eingespart werden können. Die unter Belastung auftretenden Verformungs- bzw. Spannungszustände werden aus Bild 5 deutlich.

Auch hier kann das Festigkeitsstrahlen ein wesentlicher Beitrag sein.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde speziell der Einfluß des Strahlmittels auf den unlegierten Kohlenstoffstahl C 45 untersucht. Im Rahmen dieses Vortrages kann nur ein kleiner Teil der gesamten Ergebnisse dargestellt werden.

UNTERSUCHUNGEN ZUM STRAHLMITTELEINFLUSS

Die Schwingfestigkeit geschmiedeter Bauteile wird in der Hauptsache durch die Gestalt, den Oberflächenzustand (Randhärte, Rauheit, Eigenspannungen) und die Werkstofffestigkeit beeinflusst. Im folgenden sollen die Wirkungen dargestellt werden, die sich beim Strahlen mit Stahlguß-Strahlmitteln der Nennkorngrößen $d = 0,8 \text{ mm}$, $1,0 \text{ mm}$ und $1,2 \text{ mm}$ auf den Oberflächenzustand ergeben.

Die Verteilung der Korngrößen sind Bild 6 und die Strahlparameter der Tabelle 1 zu entnehmen.

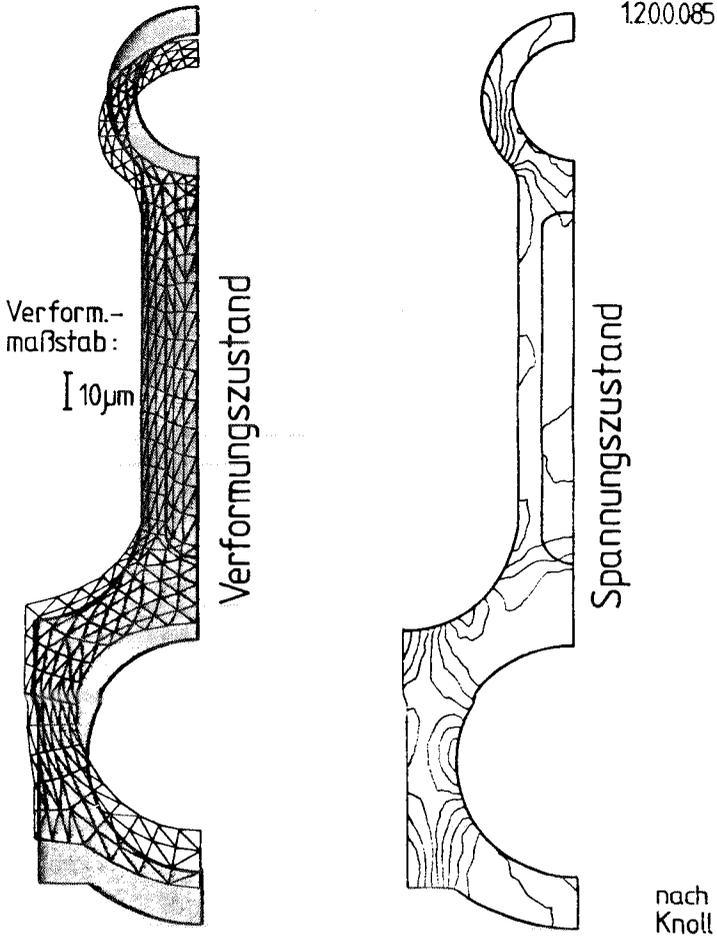


Bild 5. Verformungs- und Spannungszustände (FEM)
nach (Knoll u. Peeken, 1978)

Zur Ermittlung von Rauheit, Verfestigung und Eigenspannungen fanden zylindrische Proben Verwendung, die unter definierten Verhältnissen auf den Stirnseiten mit Strahlmitteln beaufschlagt wurden. Die Untersuchungen zur Schwingfestigkeit wurden an geschmiedeten Rundproben mit der Kerbzahl $\alpha_K = 1$ im Biegeversuch durchgeführt (Bild 7).

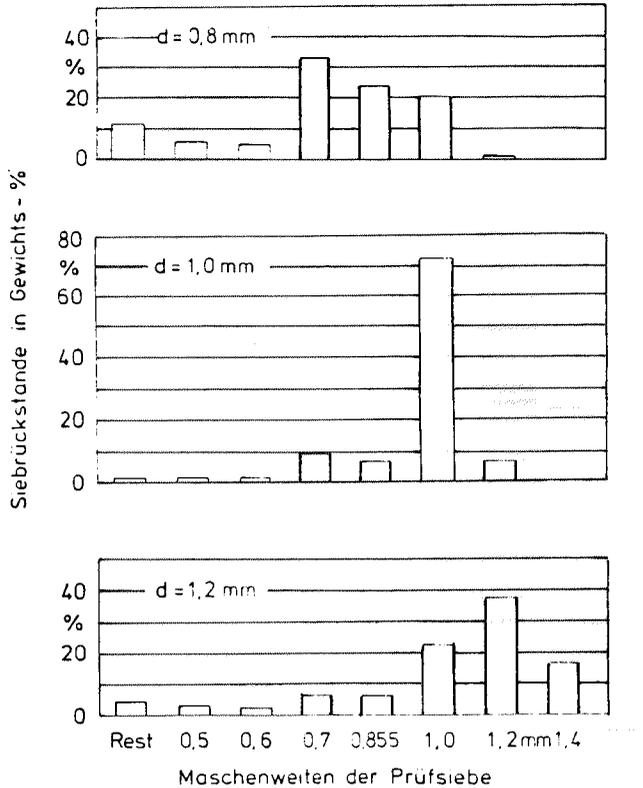


Bild 6. Siebanalysen der verwendeten Stahlguß-Strahlmittel

TABELLE 1 Maschinen- und Versuchsdaten

Maschinenart	Trägerwagen-Maschine
Anzahl der Schleuderräder	1
Durchmesser des Schleuderrades	495 mm
Drehzahl des Schleuderrades	2.250 min^{-1}
Abwurfgeschwindigkeit	80 m/s
Abstand Schleuderrad/Probe	420 mm
Umdrehungsgeschwindigkeit der Probe	60 min^{-1}

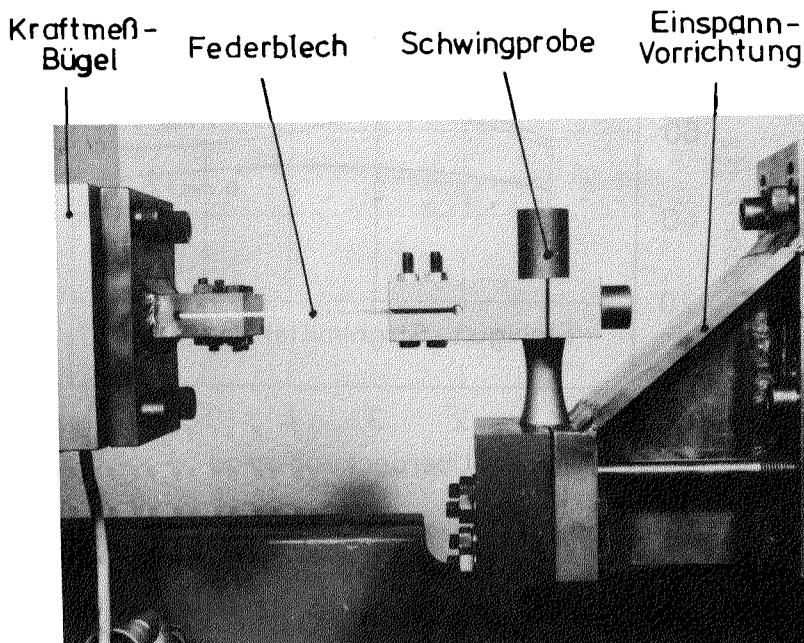


Bild 7. Einspannvorrichtung der Biegewechselproben in einer 60-kN-Horizontal-Schwingprüfmaschine

OBERFLÄCHENFEINGESTALT

Werden die Rohteile vor dem Schmieden nicht unter Schutzgas erwärmt, so tritt infolge einer Reaktion des Kohlenstoffs mit den Bestandteilen der umgebenden Atmosphäre eine Randentkohlung der oberflächennahen Zone auf. Die Größe dieser Zone läßt sich durch die Wärmebedingungen beeinflussen. Für unsere Untersuchung wurden Entkohlungstiefen von $s = 0,2 \text{ mm}$ und $s = 0,4 \text{ mm}$ gewählt und dem entkohlungsfreien Zustand gegenübergestellt.

Bei dem Stahlguß-Strahlmittel mit einem mittleren Korndurchmesser von $d = 0,8 \text{ mm}$ (Bild 8) kann eine eindeutige Abhängigkeit der Rauheit R_z sowohl vom Überdeckungsgrad als auch von der Entkohlungstiefe festgestellt werden. Zunächst nimmt die Rauheit über dem Überdeckungsgrad leicht zu. Danach fällt die Rauheit wieder ab. Dies ist auf eine Einebnung der Rauigkeitsspitzen zurückzuführen. Bei großer Entkohlungstiefe tritt die Abnahme der Rauheit erst bei größeren Überdeckungsgraden auf - wenn gleiche Randhärten verglichen werden -, da hier eine größere Verformung zur Erzielung der notwendigen Kaltverfestigung nötig ist.

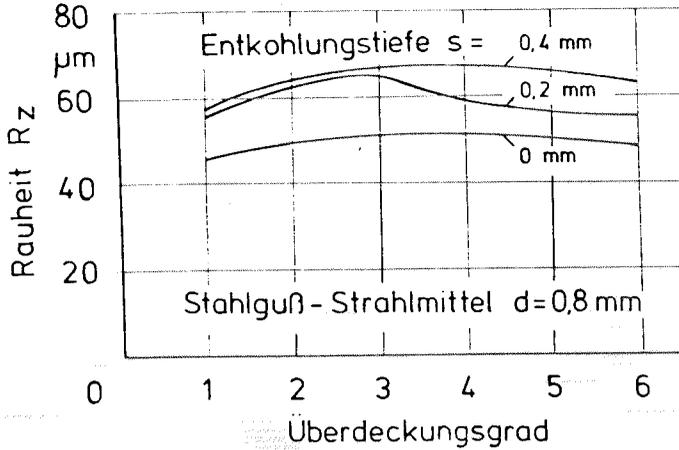


Bild 8. Einfluß des Überdeckungsgrades auf die Rauheit R_z bei unterschiedlicher Entkohlungstiefe; Stahlguß-Strahlmittel $d = 0,8 \text{ mm}$

VERFESTIGUNG DER RANDZONE

Zur Ermittlung der Verfestigung wurden Messungen mit einem Kleinsthärtemeßgerät durchgeführt. Die Tiefenverteilung der Härte wurde mit einem Mindest-Oberflächenabstand von $l = 0,1 \text{ mm}$ und einer Schrittweite von $0,1 \text{ mm}$ im Querschliff ermittelt.

Aus dem bereits gezeigten Bild 2 wird deutlich, daß nach Strahlen mit Stahlguß-Strahlmittel der Härteabfall infolge der Randentkohlung nicht nur ausgeglichen, sondern wesentlich über die Kernhärte angehoben wird.

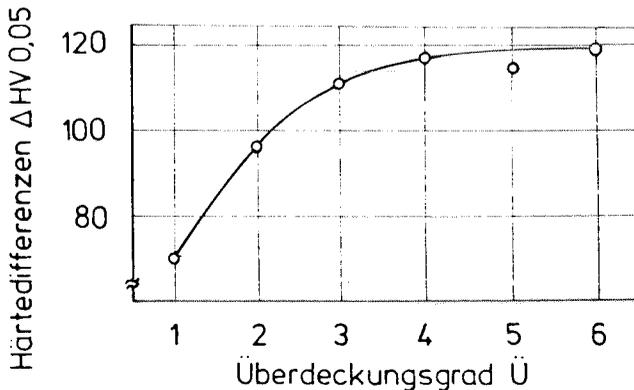


Bild 9. Abhängigkeit der in einem Oberflächenabstand $l=0,1 \text{ mm}$ gemessenen Härte differenzen zwischen dem ungestrahlten und dem gestrahlten Zustand; C 45, Stahlguß-Strahlmittel $d = 1,0 \text{ mm}$

Die Härte­differenzen bei einem Oberflächenabstand von $l = 0,1$ mm zwischen dem ungestrahlten und dem gestrahlten Zustand sind in Bild 9 dargestellt. Die Kurve steigt zunächst über dem Überdeckungsgrad an und nähert sich einem Grenzwert.

EIGENSPANNUNGEN

Für die Bauteilfestigkeit spielen auch die Eigenspannungen eine wesentliche Rolle. Durch die infolge der Strahl­be­handlung erzeugten Druck-Eigenspannungen können die Schmiedestücke eine größere äußere Belastung ertragen, bevor ein Anriß auftritt.

Wie aus den folgenden Bildern zu erkennen ist (Bilder 10 bis 12), tritt ein deutlicher Unterschied der Oberflächeneigenspannungen zwischen den nicht entkohlten und den entkohlten Zuständen auf. Eine eindeutige Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad ist nicht feststellbar.

Auch ein Vergleich der verwendeten Strahlmittel-Korngrößen zeigt keine Unterschiede (vgl. Bilder 10 bis 12).

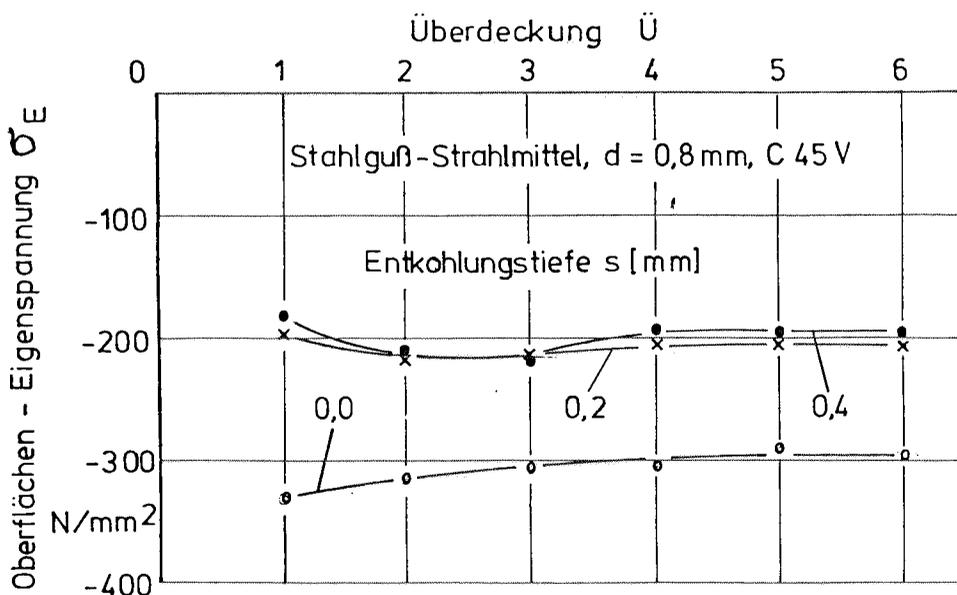


Bild 10. Abhängigkeit der Oberflächeneigenspannungen vom Überdeckungsgrad bei unterschiedlichen Entkohlungstiefen; Stahlguß-Strahlmittel $d = 0,8$ mm

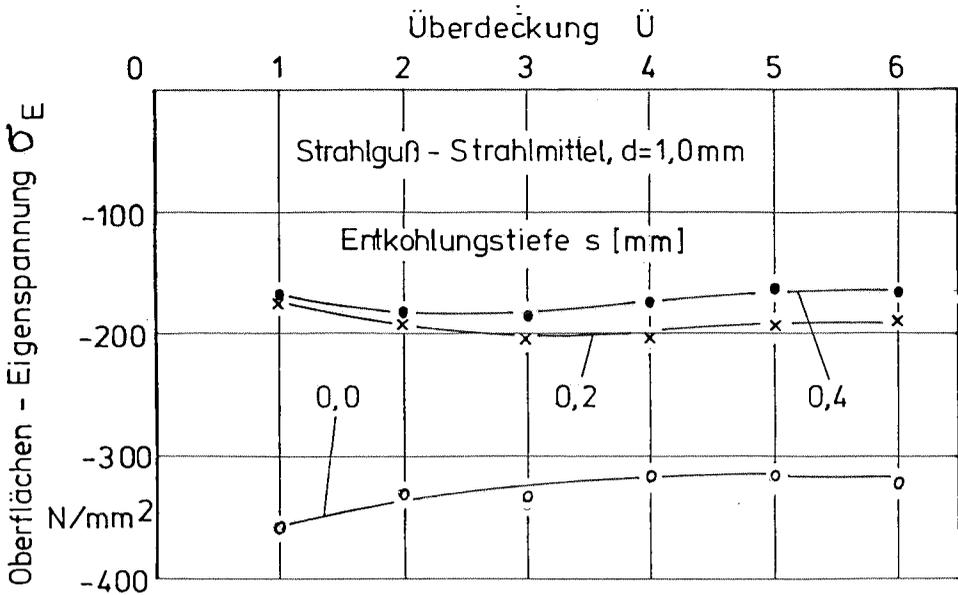


Bild 11. Abhängigkeit der Oberflächeneigenspannungen vom Überdeckungsgrad bei unterschiedlichen Entkohlungstiefen: Stahlguß-Strahlmittel $d = 1,0\text{ mm}$

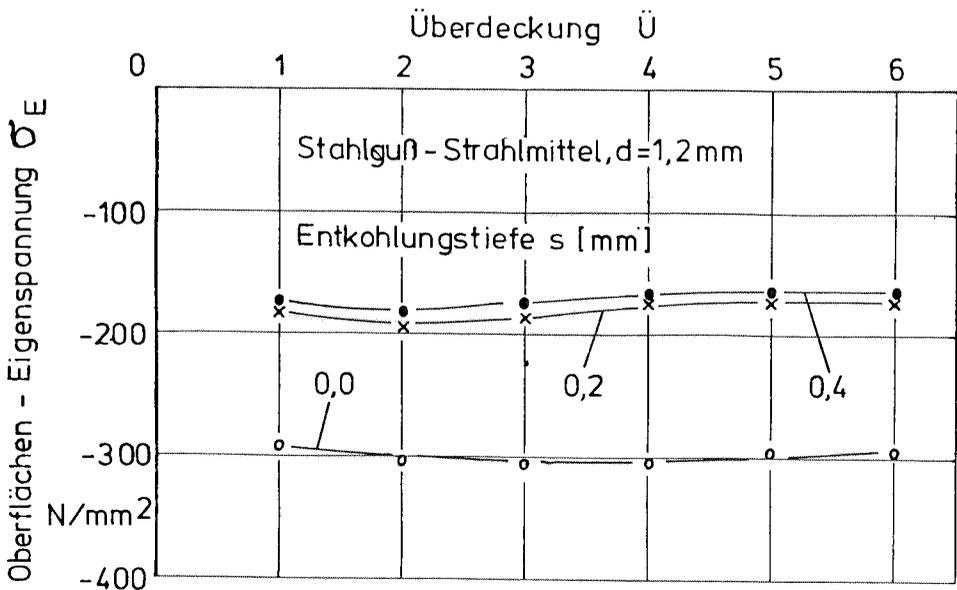


Bild 12. Abhängigkeit der Oberflächeneigenspannungen vom Überdeckungsgrad bei unterschiedlichen Entkohlungstiefen: Stahlguß-Strahlmittel $d = 1,2\text{ mm}$

Allerdings wird die Tiefenverteilung der Eigenspannung durch den Überdeckungsgrad geringfügig verändert, wie das Bild 13 zeigt.

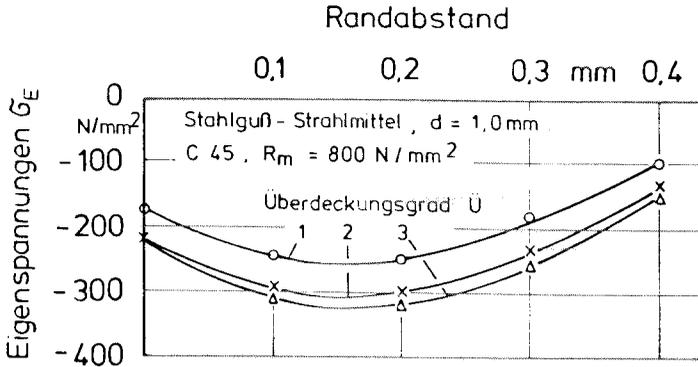


Bild 13. Tiefenverteilung der Eigenspannungen bei unterschiedlichen Überdeckungsgraden; Stahlguß-Strahlmittel $d = 1,0 \text{ mm}$

AUSWIRKUNGEN DER STRAHLBEHANDLUNG AUF DIE SCHWINGFESTIGKEIT

In Bild 14 ist dargestellt, wie sich der Überdeckungsgrad auf die Biegewechselfestigkeit auswirkt. Als Strahlmittel wurde auch hier Stahlguß-Strahlmittel mit einer Nennkorngröße von $d = 1,0 \text{ mm}$ verwendet. Die Biegewechselfestigkeit steigt zunächst an und fällt bei großen Überdeckungsgraden wieder ab. Bei einem Überdeckungsgrad von $\bar{U} = 3$ bis 4 tritt ein Maximum auf.

Der Abfall der Biegewechselfestigkeit bei großen Überdeckungsgraden ist auf eine Zerrüttung des Gefüges (Abbau der Eigenspannung) zurückzuführen.

Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, daß die Zunahme der Schwingfestigkeit in der Hauptsache durch die Steigerung der Randhärte und erst in zweiter Linie durch die Eigenspannungen bedingt ist.

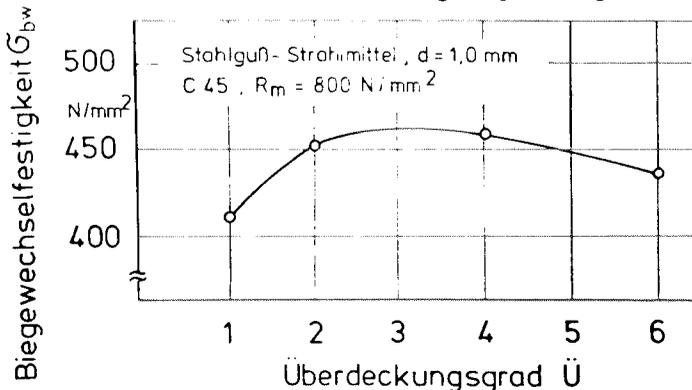


Bild 14. Abhängigkeit der Biegewechselfestigkeit vom Überdeckungsgrad; Stahlguß-Strahlmittel $d = 1,0 \text{ mm}$

ZUSAMMENFASSUNG

Wie die dargestellten Ergebnisse zeigen, kann die Schwingfestigkeit geschmiedeter Bauteile durch eine gezielte Strahlbehandlung stark verbessert werden.

In jedem Fall muß bei der praktischen Anwendung des Festigkeitsstrahlens auf eine exakte Einhaltung der Strahlparameter geachtet werden. Die heute in der Schmiedeindustrie meist verwendete Muldenbandanlage ist aufgrund der relativ großen Streuung wahrscheinlich nicht geeignet. Die Erfahrungen der Federnindustrie, die das Festigkeitsstrahlen bereits seit Jahrzehnten anwendet, zeigen einen großen Vorteil der Durchlaufanlagen zum vereinzelt Strahlen der Bauteile.

Von besonderer Wichtigkeit ist eine genaue Einhaltung aller Strahlparameter. Diese kann am einfachsten durch den Almentest überprüft werden. Rückschlüsse von dem gemessenen Almenwert auf die tatsächlichen Auswirkungen sind nach unseren Erkenntnissen jedoch nicht möglich, da hier der Werkstoff und die Entkohlung geschmiedeter Bauteile einen zu großen Einfluß besitzen.

SCHRIFTTUM

- Fascher, P. (1980). Untersuchungen über das gesteuerte Abkühlen aus der Schmiedewärme an unlegierten Kohlenstoffstählen. Diss., Hannover.
- Schmidek, B. (1981). Abgraten von Schmiedeteilen aus Stahl und Eigenschaften der Gratnaht. Diss., Hannover
- Doege, E., P. Herbst und G. Heuser (1980). Wege zur Gewichtseinsparung von Bauteilen. HFF-Bericht Nr. 6, Hannover, 12/1-12/8.
- Knoll, G. und H. Peeken (1978). VDI-Z. 120, 1157-1162.