

Beitrag zur Standfestigkeit der Punktschweisselektrode

Salähaddin ANIK ¹⁾

«In der Dünoblech verarbeitenden Metallindustrie ist der Anteil des Widerstandspunktschweissens sprunghaft angestiegen. Das Schweiessen mit gleichbleibender Qualitaet setzt eine hohe Anforderung an die Standfestigkeit der Punktschweisselektrode voraus. Neben den Schweisssparametern und dem Werkstoff für Schweisselektrode und Werkstück hat die Elektrodenform massgeblichen Anteil an der Qualitaet eines geschweissten Punktes.

Bei der heutigen industriellen Fertigung, in der das Widerstandspunktschweissen eingesetzt wird, spielt die Standfestigkeit einer solchen Schweisselektrode eine wichtige Rolle. Angestrebt wird, dass eine Schweisselektrode mindestens eine Schicht (8 Stunden) Dauernd im Einsatz bleiben kann, ohne dass sie nachgearbeitet werden muss, d.h. sie muss genügend grosse Standfestigkeit gegenüber einer grossen Punktfolge haben. Ausserdem ist es wichtig zu wissen, ob sich eine starke Qualitaetsaenderung des geschweissten Punktes bemerkbar macht, wenn sich die Elektrode in ihrer Geometrie leicht veraendert hat.

Da man die Form der Elektrode nicht nach jedem Arbeitstakt optisch nachprüfen kann, muss man versuchen, Messwerte zu finden, die Aufschlüsse darüber geben können, inwieweit eine Formveraenderung an der Elektrode stattgefunden hat.

Die Hauptaufgabe dieser Untersuchung besteht darin, Kriterien zu finden, die es gestatten, die Standzeit der Elektroden zu beurteilen. Ausser der Optischen Betrachtung der Elektroden nach einer bestimmten Punktzahl soll die Widerstandsüberwachung weiteren Aufschluss über Abnützung der Elektrodenarbeitsflaechen geben».

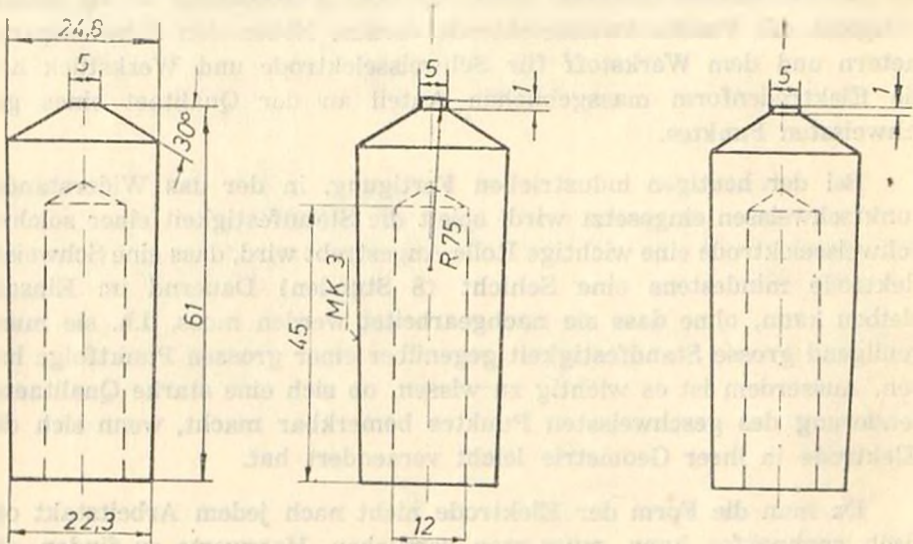
¹⁾ Technische Universitaet Istanbul Fakultaet für Maschinenbau Lehrstuhl für Technologie.

1 — VERSUCHSPLANNUNG

1.1. — Ziel der Arbeit

An den nachstehenden drei Elektrodenformen, siehe Bild. 1, sollen Verschleissuntersuchungen durchgeführt werden. Dazu sind zurachst die optimalen Schweissparameter für jede Elektrodenformen in einem Vorversuch zu ermitteln. Die Verschleissuntersuchungen werden dann mit konstant eingestellten Schweissparametern durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, ob man mit der Widerstandsmessung bei den Verschleissuntersuchungen mit dem Widerstandsmessgeraet eine Aussage über den Elektrodenverschleiss treffen kann.



Elektrode A

Elektrode B

Elektrode C

Bild. 1. — Elektroden für die Verschleissuntersuchungen.

Das Widerstandsmessgeraet kann zur nachweisbaren Einflussgrössenveraenderung der Elektrodenkontaktflaeche, des Oberflaechenzustandes von Elektroden und Werkstück, der Elektrodenkraft und des Nebenschlusses eingesetzt werden. Die Widerstandsmessung vor dem Schweiessen zeigt mit hoher Nachweisempfindlichkeit (1) Veraenderung

gen des Punkt durchmessers auf, die eine Variation der Elektrodenkraft zurückgehen.

Die Überwachung des Werkstückwiderstandes gibt nicht nur die Aenderung der Kraftverhaeltnisse, sondern auch die Aenderung Elektrodenkontaktflaeche wieder (1). Diese Widerstands-aenderung soll als Kriterium für den Elektrodenverschleiss ausgenutzt werden. Dazu ist zu untersuchen, inwieweit sich eine Aenderung der Punktqualitaet (Scherzugkraft, Streuung, Varianz) bei einer Widerstands-aenderung bemerkbar macht. Insbesondere soll versucht werden, eine Toleranzgrenze für den Widerstand anzugeben, innerhalb derer nach ein Schweißen mit genügender Punktqualitaet zu vertreten ist.

1.2. — Versuchselektroden

1.2.1. — Form und Abmessung

Form und Abmessungen der Elektroden für die Verschleissuntersuchungen sind in Bild. 1 dargestellt.

1.2.2. — Elektrodenwerkstoff

Qualitaet	:	2a
Legierung	:	Kupfer - Chrom
Haerte HB bei 20°C	:	140 - 160 kp/mm ²
Erweichungstemperatur	:	400 - 450 °C
Leitfaehigkeit bei 20°C	:	50 - 52 m Ωmm ²
Zugfestigkeit	:	45 - 55 kp/mm ²

1.3. — Versuchsbleche

1.3.1. — Probenabmessung

Die Proben für die Untersuchung der Elektrodenstandzeit wurden aus Ziehblechen der Abmessung 2000×1000×1,5 mm auf der Schlag-schere geschnitten. Die Proben für unsere Versuche hatten folgende Abmessungen, Bild. 2.

Laenge	:	200	mm
Breite	:	30	mm

Dicke : 1,5 mm

Überlappungslaenge : 30 mm

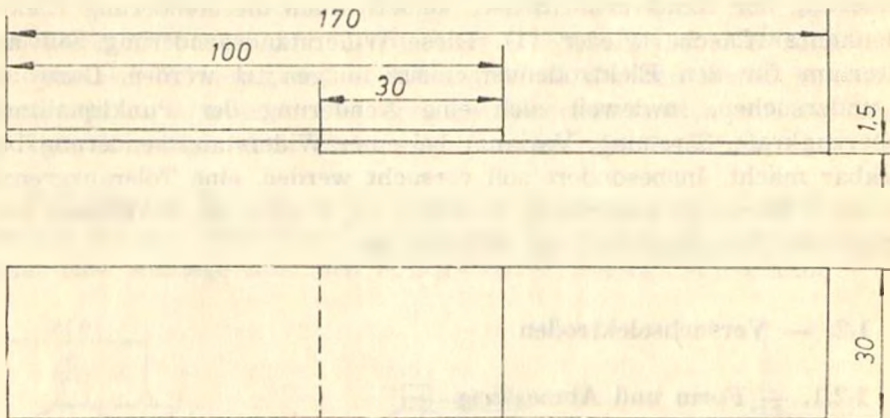


Bild. 2. — Abmesung der Scherzugproben.

1.3.2. — Werkstoff

Der Werkstoff der Versuchsbleche war St 1303, DIN 1623, Blatt 1, 1972.

Die Oberflaechenbeschaffenheit im angelieferten Zustand war glatt mit einem Mittenrauhwert von höchstens $0,6 \mu\text{m}$ und beidseitig mit einer Ölschicht versehen.

Stahlsorte : Blech aus weichem unlegiertem Stahl

Kurzname : St 13

Werkstoffnummer : 1.0333

Desoxidationsart : U

Kohlenstoffgehalt : 0,10 %

Zugfestigkeit : 270 - 370 N / mm²

Bruchdehnung : 32 %

Haerte (HRB) : 57

1.3.3. — Oberflächenbehandlung

Um eine genau definierte Oberfläche, was für den Übergangswiderstand von Bedeutung ist, zu bekommen, wurde eine Oberflächenbehandlung durchgeführt. Hierzu wurden die geschnittenen Bleche in einer Ultraschall-Reinigungsanlage mit Kaltreiniger gereinigt, mit Alkohol abgewaschen und in einem warmen Luftstrom getrocknet.

1.4. — Messgrössen

1.4.1. — Überwachung der Prozessparameter

Bei der Untersuchung der Elektrodenstandzeit sollen folgende Prozessparameter überwacht werden.

- a) Schweisstrom
- b) Elektrodenkraft

Die Überwachung der einzelnen Grössen dient dem Zweck der Kontrolle der eingestellten Parameter.

Für die Schweisstrom ist eine Toleranzgrenze von $\pm 0,1$ kA vorgegeben. Liegt der gemessene Stromwert ausserhalb dieser Toleranzgrenze, so muss er nachgestellt werden. Durch Schwankungen im Druckluftnetz kann sich eine Aenderung der Elektrodenkraft einstellen. Um eine Aenderung der Elektrodenkraft feststellen zu können, wird der dynamische Kraftverlauf während des Schweissens von Zeit zu Zeit Oszillograph aufgezeichnet und bei gegebenem Anlass die Elektrodenkraft korrigiert.

1.4.2. — Widerstand

Mit der Widerstandsmessung vor der Stromauslösung der vorhandene Übergangswiderstand festgestellt werden, der in der Anfangsphase des Schweissprozesses für die Waermeeinbringung in die Werkstücke massgebend ist.

Da der Übergangswiderstand unter anderem abhaengig von der Grösse der Elektrodenarbeitsflaeche, von der Elektrodenkraft und von der Oberflächebeschaffenheit der Elektrode und der Werkstücke, kann eine Aenderung dieser Einflussgrössen durch eine Widerstandsmessung festgestellt werden.

Bei unseren Versuchen geht es darum, mit Hilfe der Widerstandsmessung den Elektrodenverschleiss aufzuzeigen und eine Toleranzgrenze für den Widerstand zu finden, innerhalb derer ein sicheres Schweißen möglich ist.

Dazu sind die anderen Einflussgrößen konstant zu halten, was in gewissen Grenzen gegeben ist.

1.4.3. — Mikroskopische Untersuchungen

Ziel der mikroskopischen Untersuchungen soll sein, Veränderungen an der Elektroden spitze anhand des Elektrodenabdruckes an den geschweissten Blechen festzustellen.

Nach einer gewissen Anzahl von Schweisspunkten werden Proben entnommen, an denen durch die Punktmitte ein Makroschliff durchgeführt wird. Zum Ausmessen der Schweisslinse wird die geschliffene Fläche angeätzt. Unter dem Messmikroskop werden dann folgende Größen ausgemessen.

- a) Linsendurchmesser
- b) Elektrodenarbeitsflächendurchmesser
- c) Elektrodeneindrucktiefe

1.5. — Probenentnahme zur Bestimmung der Scherzugkraft erfolgt einmal zu Beginn und dann nach jeweils 50 durchgeführten Schweissungen. Dabei wird eine Probenanzahl von fünf Versuchsblechen je Probenentnahme als angemessen betrachtet.

Die Probenentnahme zum Ausmessen des Elektrodenabdruckes erfolgt ebenfalls nach jeweils 50 durchgeführten Schweisspunkten. Diese Proben sollen spritzerfrei und mit dem genauen Stromwert verschweisst worden soll.

2. — VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

2.1. — Durchführung der Schweissungen

Zu Beginn der Schweissungen steht jeweils das Einstellen der aus den Vorversuchen gefundenen parameter für die Elektroden A, B und C. Zunaechst werden die Versuche mit der Elektrode A durchgeführt.

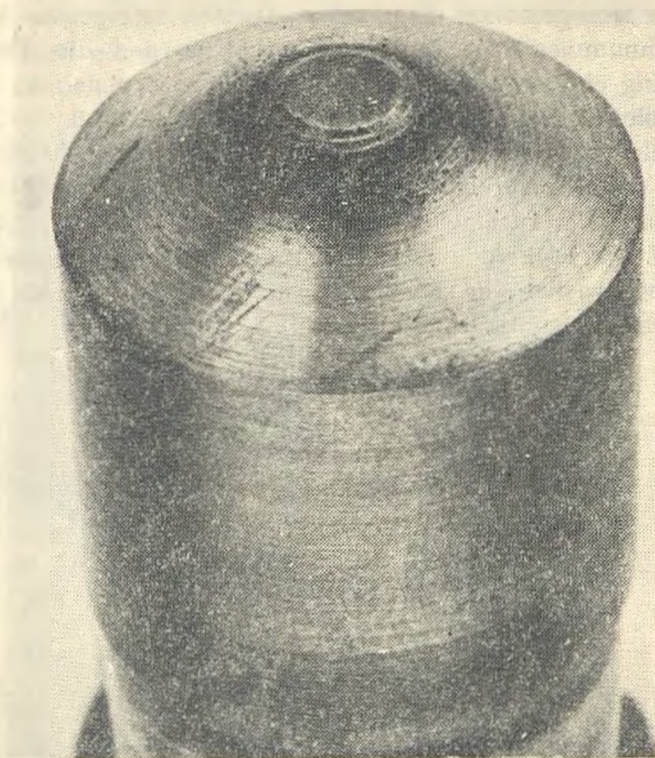


Bild. 3. — Obere Schweisselektrode nach 950 Schweissungen (Form A).

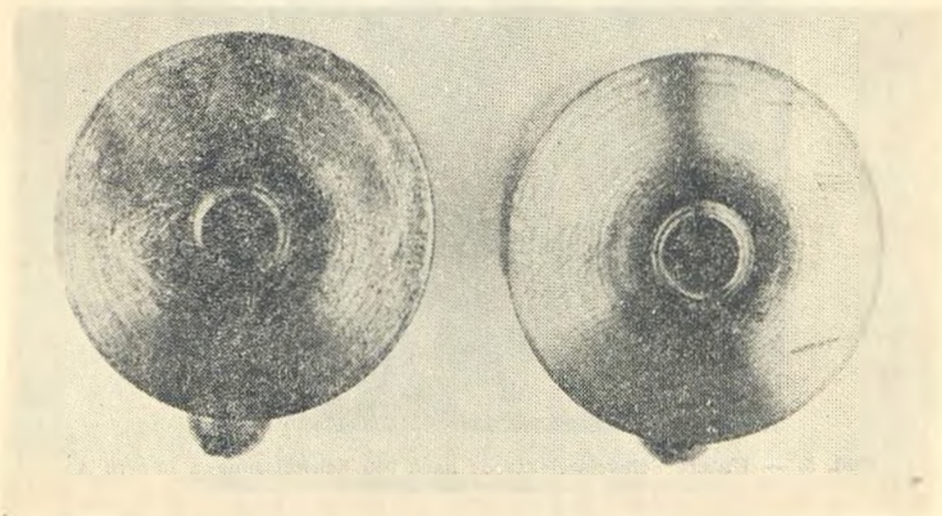


Bild. 4. — Schweisselektrodenpaar nach 950 Schweissungen (Form A).

Mit der neuen Elektrode werden zunäcchst fünf Scherzugproben-geschweisst. Gemessener Schweisstrom und Übergangswiderstand werden in ein Messprotokoll eingetragen. Danach erfolgt das Verschweissen der durchnummerierten Proben. Hierbei werden die Proben in eine Vorrichtung eingelegt, damit der Schweisspunkt genau in der Mitte der Versuchsbleche liegt. Schweisstrom und Taktzeit, d.h. die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schweissungen werden registriert und ebenfalls in das Messprotokoll eingetragen. Nach jeweils 50 Erfolgten Schweissungen werden wieder fünf Scherzugproben hergestellt. Die Versuche mit der Elektrode A wurden nach 950 durchgeführten Schweissungen abgebrochen, da häuefig Spritzer auftreten und die Elektrode schon ziemlich laediert aussah (Bild. 3, 4 und 5).

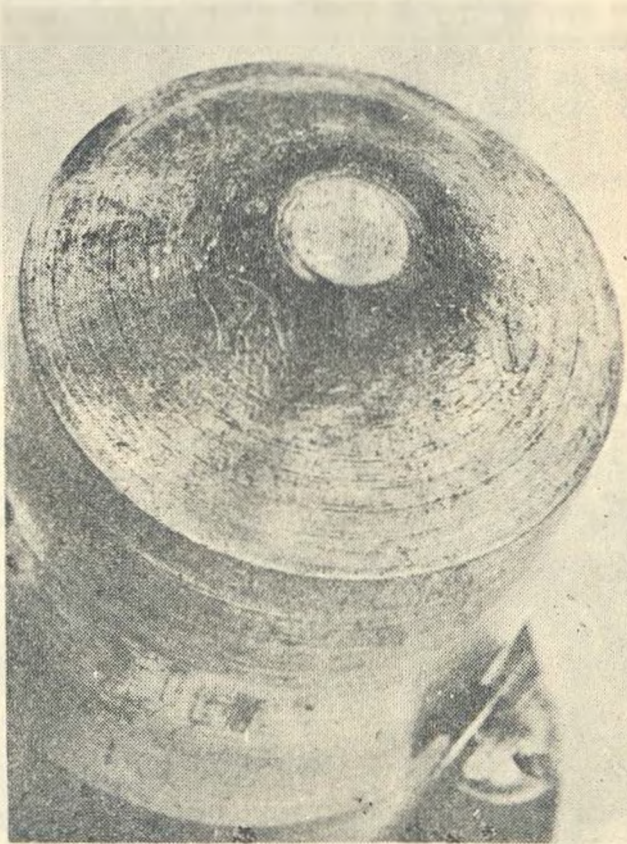


Bild. 5. — Untere Schweisselektrode nach 950 Schweissungen (Form A).

Die Standzeitversuche mit den Elektroden B (Bild. 6) und C (Bild. 7) wurden analog zu den Versuchen mit der Elektrode A durchgeführt. Hierbei wurden aber schon die Versuche nach 250 Schweissungen wegen obiger Gründe abgebrochen (Bild. 8, 9, 10 und 11).

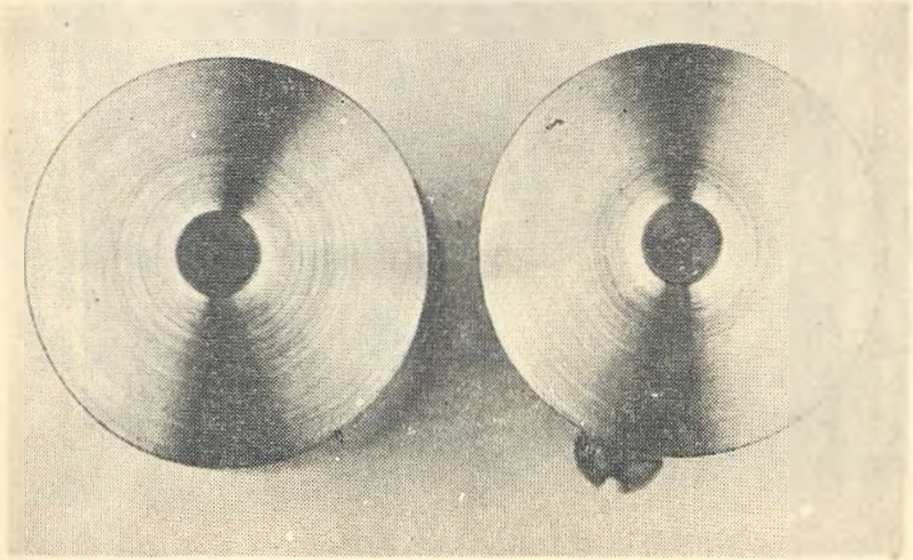


Bild. 6. — Schweisselektrodenpaar (Form B).

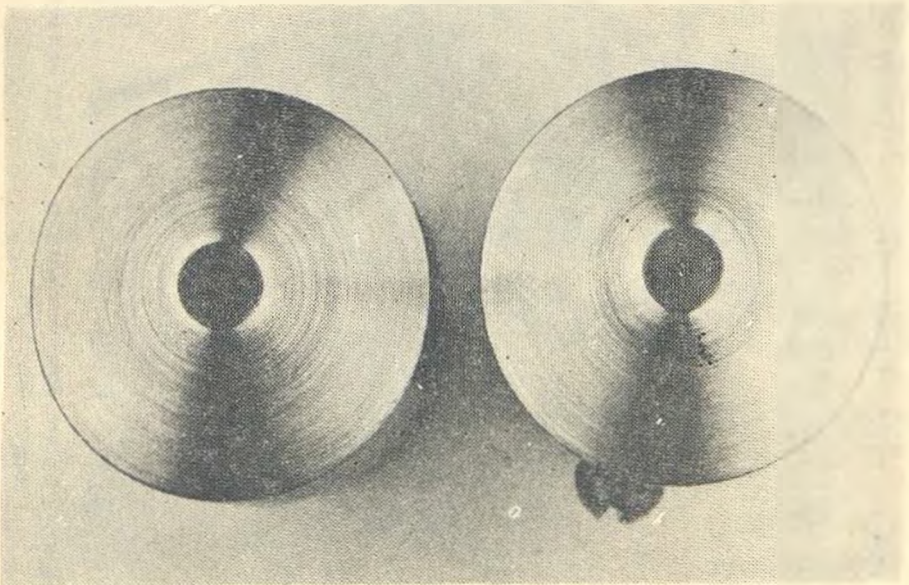


Bild. 7. — Schweisselektrodenpaar (Form C).

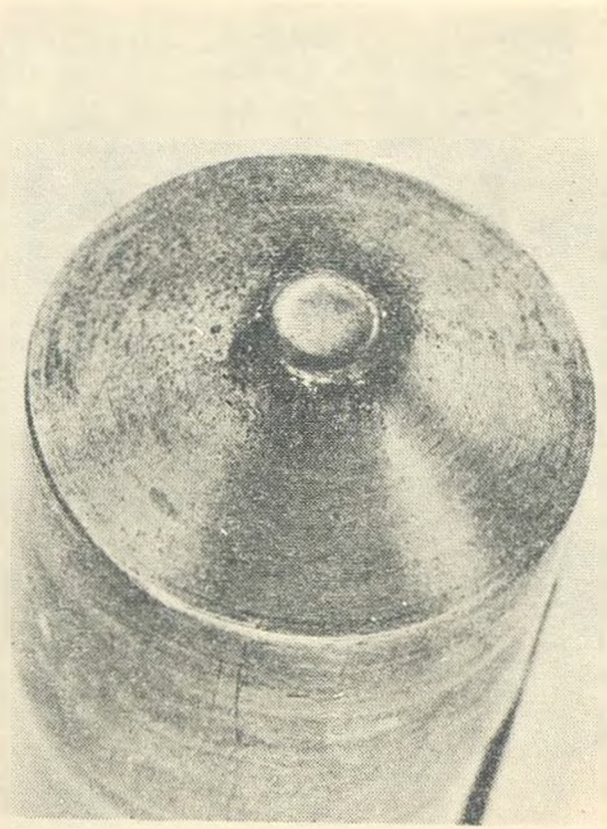


Bild. 9. — Untere Schweisselectrode nach 350 Schweissungen (Form B).

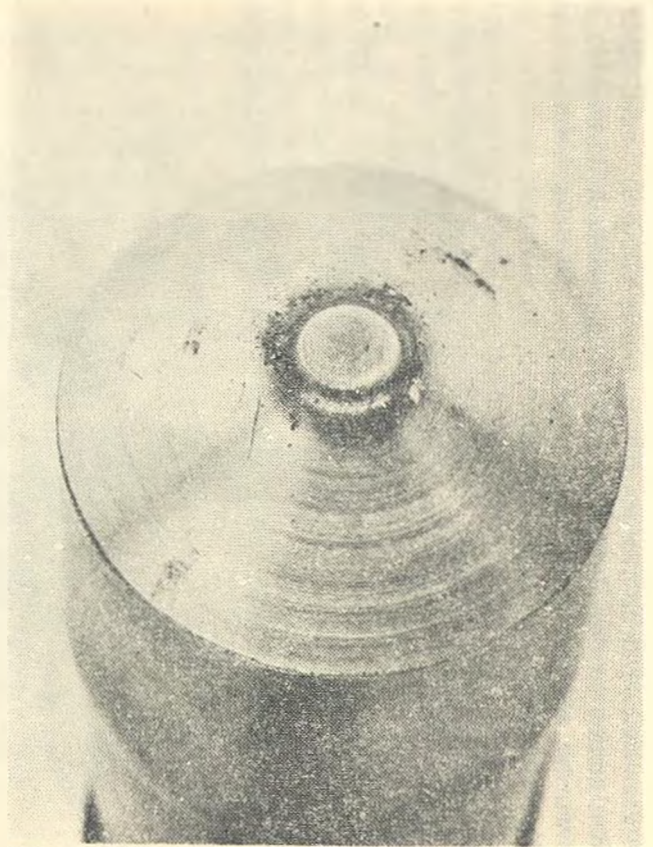


Bild. 8. — Obere Schweisselectrode nach 250 Schweissungen (Form B).

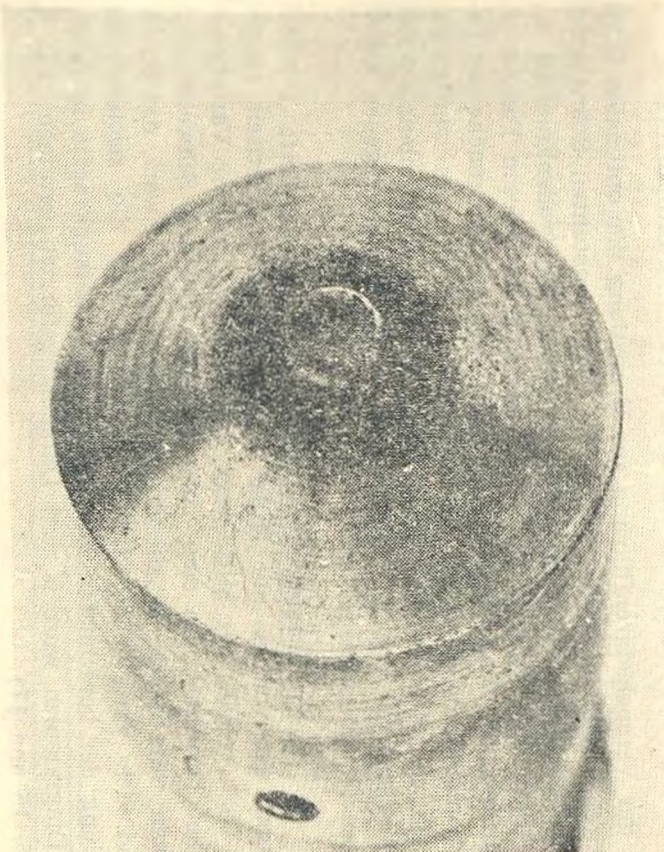


Bild. 11. — Untere Schweisselectrode nach 250 Schweissungen (Form C).

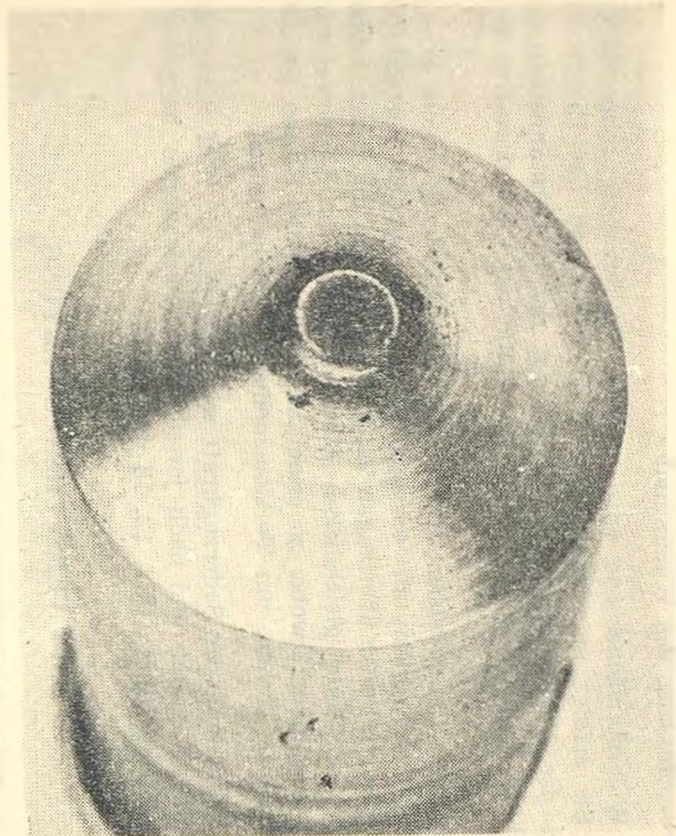


Bild. 10. — Obere Schweisselectrode nach 250 Schweissungen (Form C).

2.2. — Messung des Widerstandes

Die Widerstandsmessung wird nur für die Scherzugproben durchgeführt. Sie erfolgt im zusammengefahrenen Zustand der Elektroden während der Vorpresszeit. Die Ergebnisse der Widerstandsmessung sind in Bild. 12, 13 und 14 innerhalb der einfachen Varianzanalyse dargestellt.

Nach dem Verschweissen wurden die Versuchsbleche einem Scherzugversuch unterworfen um festzustellen, welche max. Scherzugkraft der geschweisste Punkt übertragen kann. Dazu werden die freien Enden der Bleche mit einer gleichdicken Blechbeilage in die Universalprüfmaschine eingespannt, wobei zu beachten ist, dass die Bleche parallel zur Zugrichtung stehen, um Torsionsmomente auszuschalten.

Die Ermittlung der Scherzugkraft wird nur für die fünf Scherzugproben (die zu Beginn und nach jeweils 50 Schweissungen hergestellt wurden), durchgeführt (Bild. 12, 13 und 14).

3. — VERSUCHSAUSWERTUNG

3.1. — Versuchsergebnisse aus dem $5 \times 5 \times 3$ -Faktorenversuch

Bei der Versuchsdurchführung zur Ermittlung der optimalen Parameterstufen wurde festgestellt, dass bei einer konstanten Schweisszeit mit steigendem Strom und kleiner werdenden Elektrodenkräften erhebliche Spritzer auftraten. Dies bedeutet, dass mit diesen Parameterkombinationen die Schweissgrenze erreicht wurde. Die Versuche der Parameterkombinationen mit der nachst höheren Stromstufe wurden dadurch nicht mehr durchgeführt. Die gesamte Parameterkombination mit dem Schweissstrom (I_s) wurde aufgrund der worausgegangenen hohen Spritzeranzahl ausgelassen.

Die zu jeder Parameterkombination ermittelten Werte für die Scherzugkräfte wurden mit Hilfe eines Rechners statistisch ausgewertet. Dazu werden der Mittelwert, die Streuung und der Variationskoeffizient berechnet. Da eine Toleranzgrenze für den Schweissstrom zugelassen war, wurde für diesen ebenfalls der Mittelwert, die Streuung und der Variationskoeffizient berechnet. Für die zeichnerische Darstellung der berechneten Mittelwerte der Scherzugkräfte in räumlichen Diagrammen wurden zwei Darstellungsformen gewaehlt (Z. B. Bild. 15, 16 und 17).

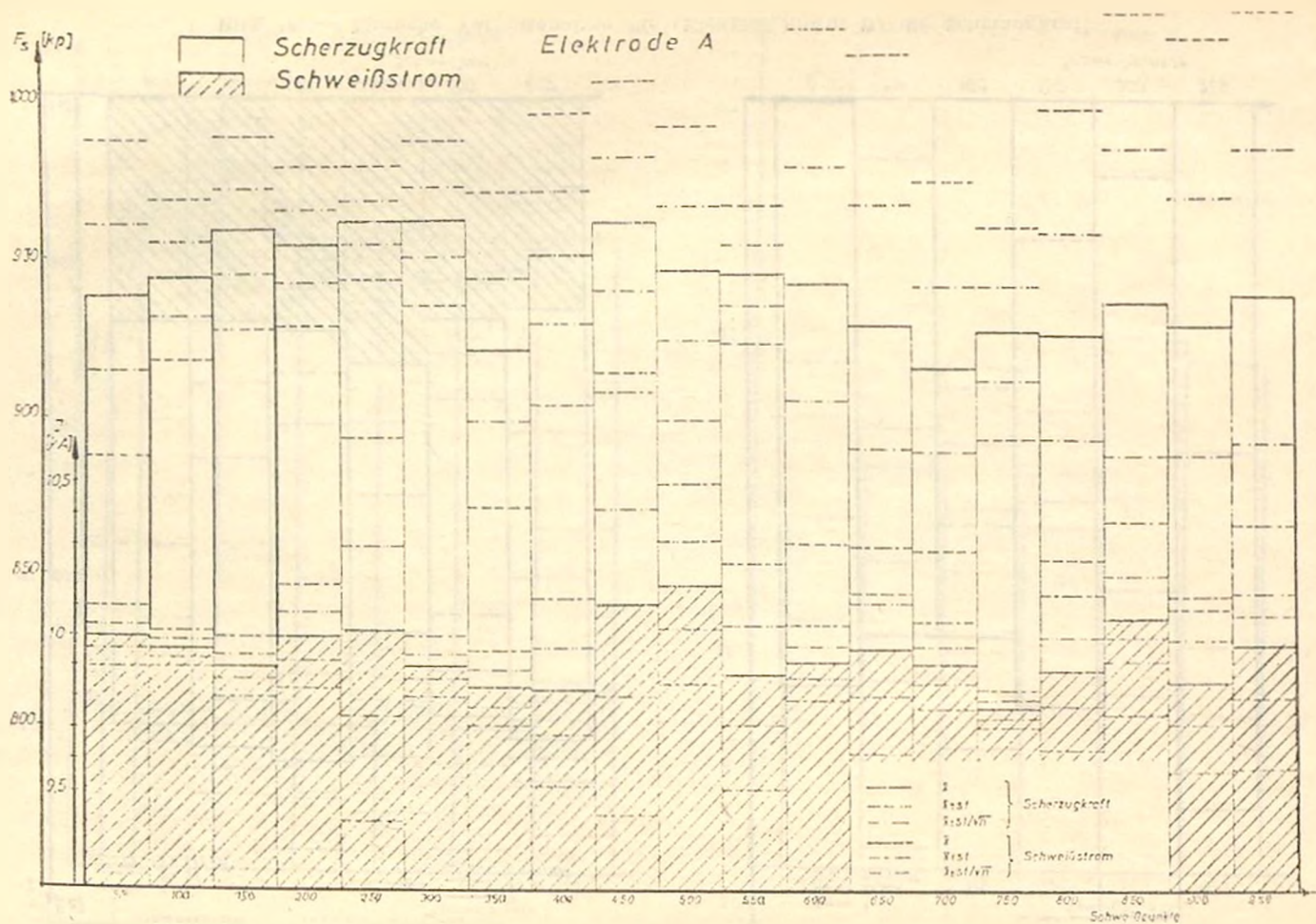


Bild. 12. — Einfache Varianzanalyse für (Elektrodenform A) die Scherzugkraft.

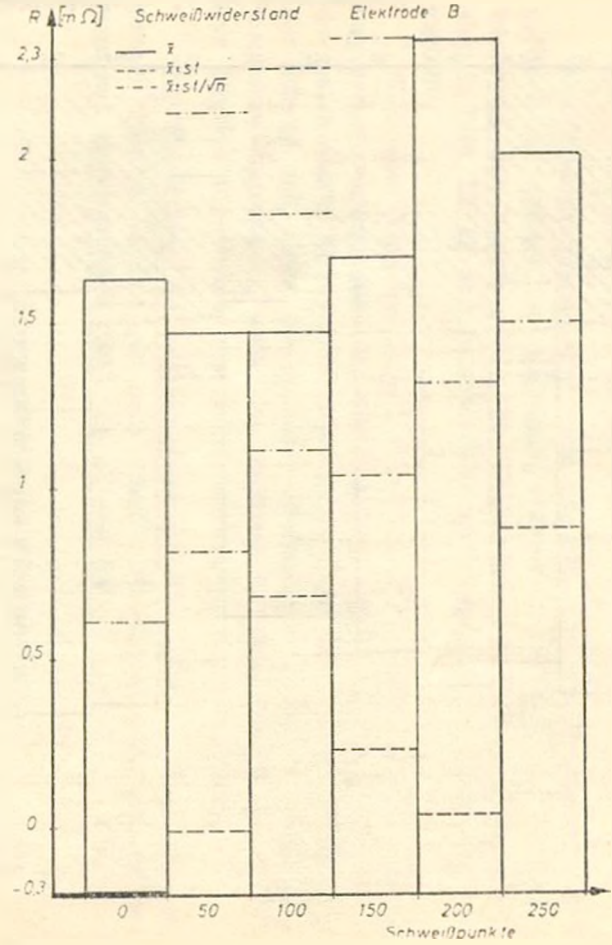
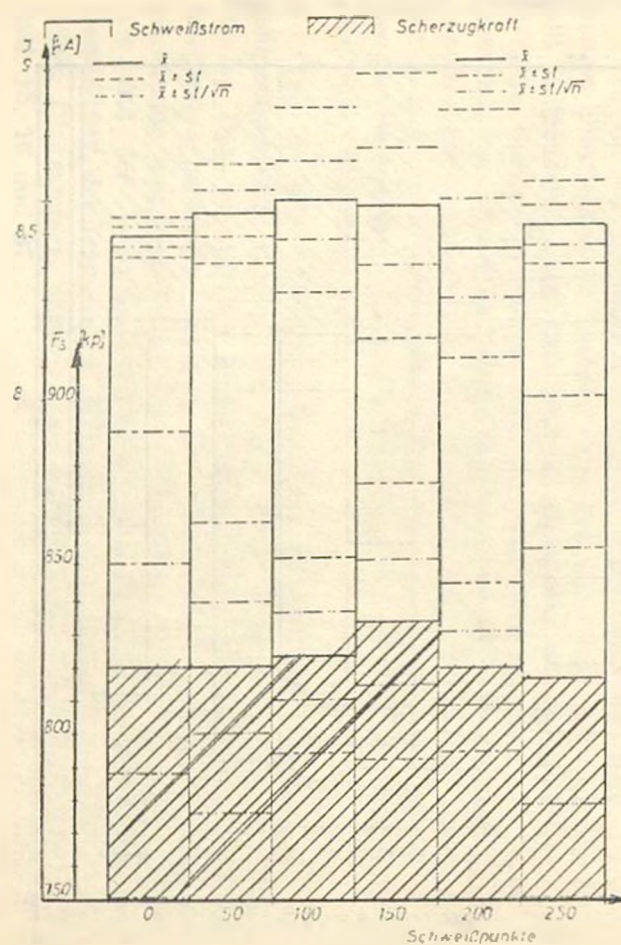


Bild. 13. — Einfache Varianzanalyse für (Elektrodenform B) die Scherzugkraft.

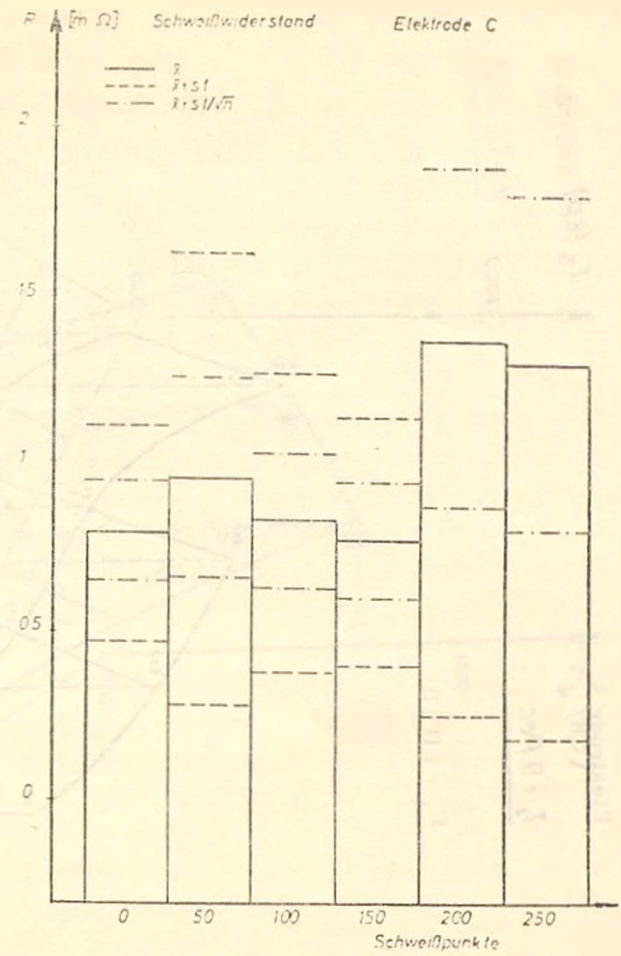
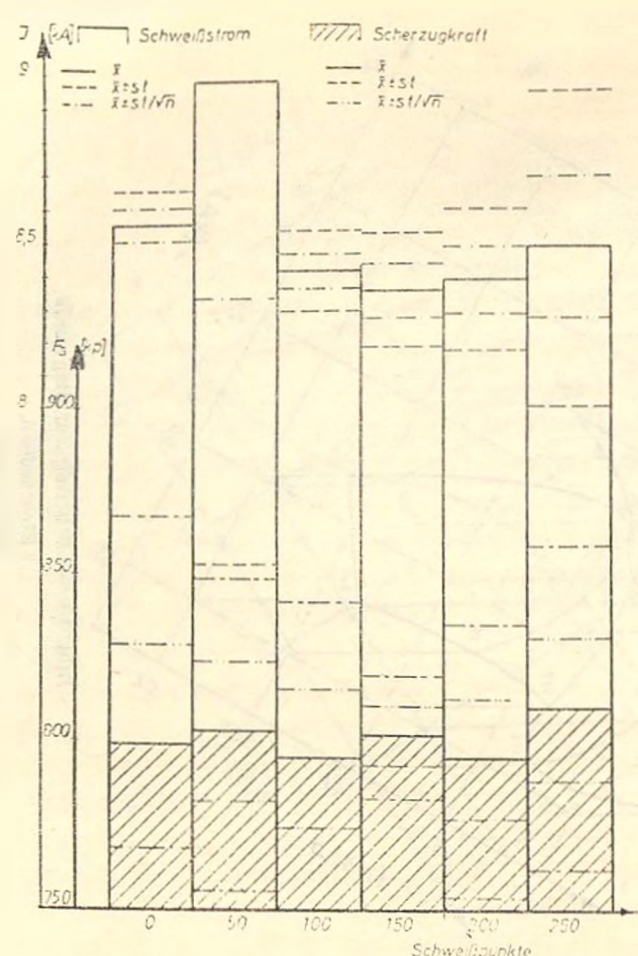


Bild. 14. — Einfache Varianzanalyse für (Elektrodenform C) die Scherzugkraft.

Elektrode A

$$F_3 = 3,5 \text{ kN}$$

$$F_s = f(T, I)$$

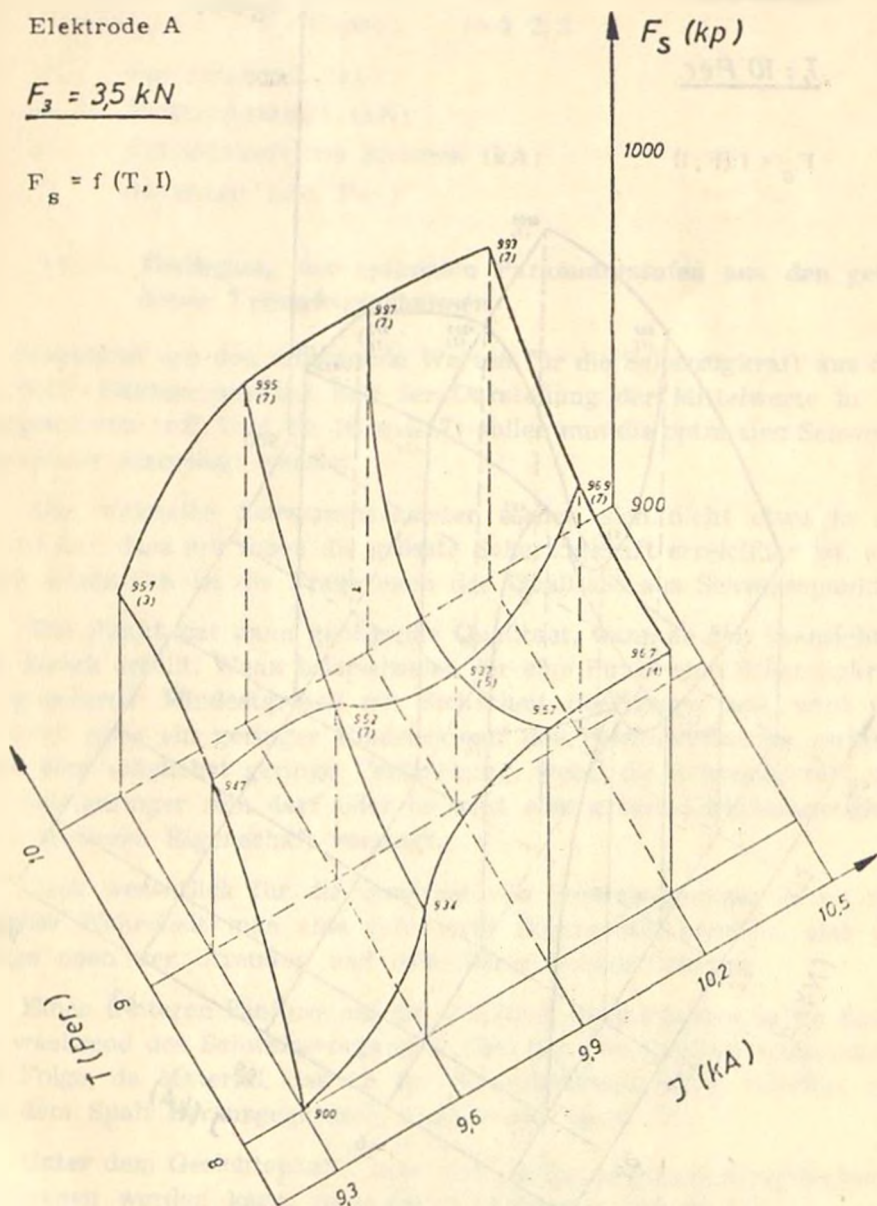


Bild. 15. — Scherungskraftdiagramm.

Elektrode A

$F_1 = 3,5 \text{ kN}$

$F_s = f(T, I)$

Elektrode A

$T_1 = 10 \text{ Per.}$

$F_s = f(F, I)$

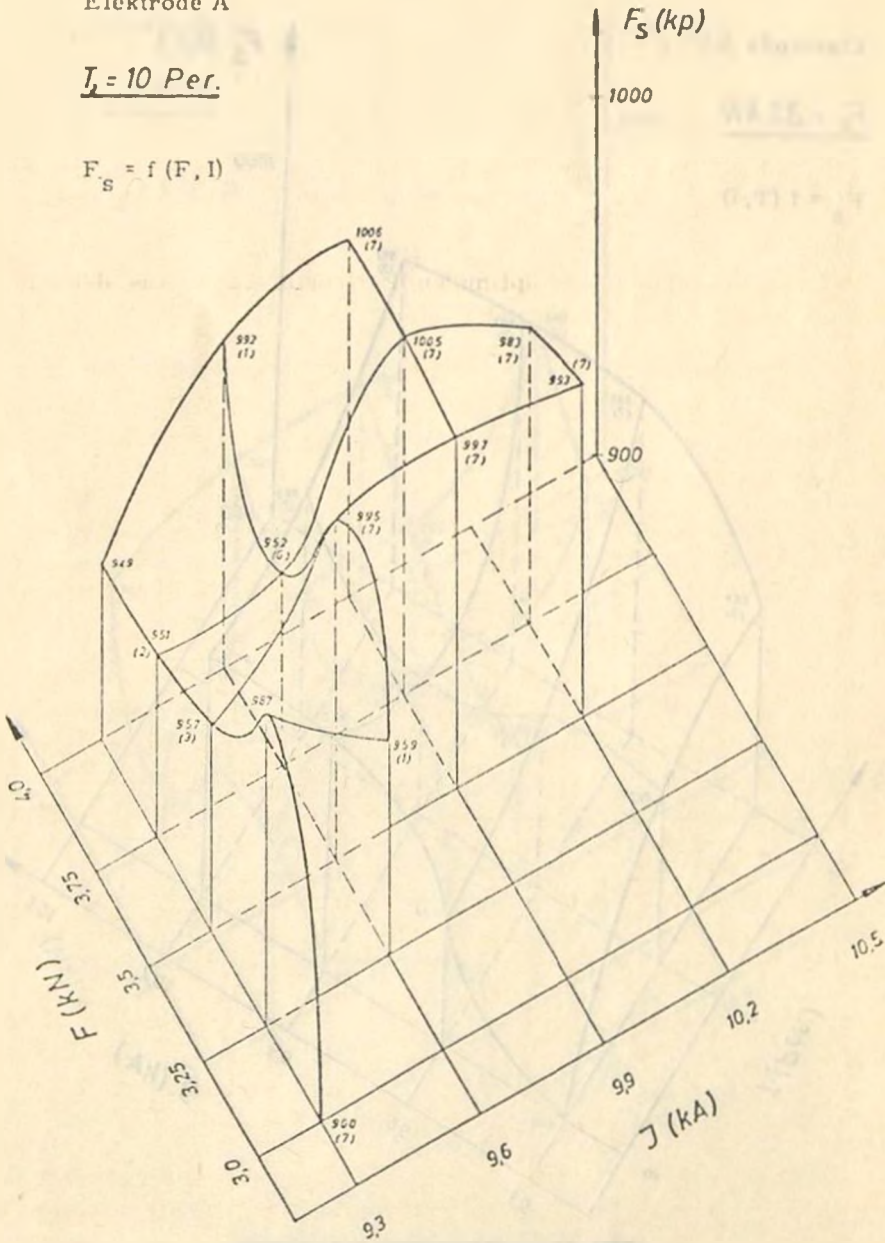


Bild. 17. — Scherzugkraftdiagramm.

$T_1 = 10 \text{ Per}$

$F_s = f(F, I)$

$$F_s = f(T, I), \quad F_n = \text{Const.}, \quad n = 1 \dots 5$$

$$F_s = f(F, I), \quad T_j = \text{Const.}, \quad j = 1, 2, 3$$

F_s : Scherzugkraft (kp)

F : Elektrodenkraft (kN)

I : Effektivwert des Stromes (kA)

T : Stromzeit (sec. Per.)

3.2. — Festlegung der optimalen Parameterstufen aus den gefundenen Versuchsergebnissen

Ausgehend von den ermittelten Werten für die Scherzugkraft aus dem $5 \times 5 \times 3$ -Faktorenversuch und der Darstellung der Mittelwerte in den Diagrammen (z.B. Bild. 15, 16 und 17) sollen nun die optimalen Schweißparameter festgelegt werden.

Die optimalen Schweißparameter stellen sich nicht etwa in den Form dar, dass mit ihnen die grösste Scherzugkraft erreichbar ist, sondern wesentlich ist die Frage nach der Qualitaet aus Schweisspunktes.

Ein Punkt hat dann genügende Qualitaet, wenn er den beabsichtigten Zweck erfüllt. Wenn beispielweise der eine Punkt eine Scherzugkraft vorgegebener Mindestgrösse mit Sicherheit übertragen soll, wird von anderen etwa ein geringer Eindruck auf der Belchoberflaeche verlangt oder eine möglichst geringe Verfaerbung, wobei die Scherzugkraft wesentlich geringer sein darf oder es wird eine grosse Gleichmaessigkeit einer weiteren Eigenschaft verlangt.

Ganz wesentlich für die Qualitaet von Schweisspunkten ist es, mit welcher Sicherheit man eine geforderte Eigenschaft erreicht, also die Frage nach der Streuung und dem Variationskoeffizienten.

Einen weiteren Einfluss auf die Qualitaet eines Punktes haben Spritzer waehrend des Schweissvorganges. Dies hat eine Qualitaetsminderung zur Folge, da Material, das an der Schweisslinsenbildung beteiligt ist, aus dem Spalt herausgequetsch, Lunher und Risse (2).

Unter dem Gesichtspunkt, dass eine genügend grosse Scherzugkraft übertragen werden kann, dass der Streubereich des Mittelwertes der Scherzugkraft von $\pm 5\%$ als gemessen angesehen wird, und dass waehrend des Schweissens keine Spritzer auftreten, erfolgt die Wahl der optimalen Parameter aus den Ergebnissen des $5 \times 5 \times 3$ -Faktorenversuchs.

Stell man für die Elektrode A fest, dass im Bereich der Schweisszeit $T_2=9$ Per. und $T_3=10$ Per. bei fast allen Parameterkombinationen erheblich Spritzer auftraten. Auch bei den Parameterkombinationen, wo keine Spritzer auftraten, kann man nicht eindeutig sagen, dass die Scherzugkrafte ein Optimum darstellen. Aus diesen Gründen wird eine Parameterkombination mit den Schweisszeiten (T_2) und (T_3) abgelehnt. Es bleibt also nur noch eine Parameterkombination mit der Schweisszeit $T_1=8$ Per. übrig. Geringe Spritzer treten hierbei erst mit hohem Strömen bzw. kleinen Elektrodenkrafte auf. Den günstigsten Wert hinsichtlich Scherzugkraft und Streuung Stellen die Parameterkombinationen $F_3 I_3 T_1$ und $F_3 I_4 T_1$ dar, mit $F_s=967$ kp, $s=8,09$ kp und $v=0,83$ %. Bei den Versuchen mit der Kombination $F_3 I_4 T_1$ trat jedoch ein Spritzer auf, so dass wir eher die Kombination $F_3 I_3 T_1$ als optimal ansehen. Auch die Nachbarkombinationen mit kleinerem Strom und kleineren bzw. grösseren Elektrodenkrafte sind spritzerfrei, womit man annehmen kann, dass sich die Kombination $F_3 I_3 T_1$ auf der spritzerfreien Seite befindet.

Beachtet man das Scherzugkraftdiagramm mit $F_3=3,5$ kN=Const (Bild. 16), so hat es den Anschein, dass sich der optimale Parameter noch zu einem etwas höheren Strom hin verschieben könnte.

Um dies festzustellen, wählten wir einen Schweissstrom von 10,0 kA und stellten bei $F_3=3,5$ kN und $T_1=8$ Per. 20 Schweissproben her, die anschliessend einem Scherzugversuch unterworfen wurden. Aus den ermittelten Scherzugkrafte wurden Mittelwert, Streuung und Variationskoeffizient berechnet. Es ergaben sich folgende Werte :

$$F_s=963 \text{ kp} , \quad s=7,75 \text{ kp} , \quad v=0,80 \%$$

Die Werte für die Scherzugkraft und für die Streuung liegen zwar geringfügig unter dem Wert aus der Parameterkombination $F_3 I_3 T_1$, aber man kan nicht sagen, das sich die Variationskoeffizienten unterscheiden.

Die Versuche zur Elektrodenstandzeit mit der Elektrode A werden nun mit folgenden Schweissdaten durchgeführt :

$$F=3,5 \text{ kN} , \quad I=10,0 \text{ kA} , \quad T=8 \text{ Per.}$$

Für die Elektrodenformen B und C wurden die Werte für Schweisszeit und Elektrodenkraft von Elektrodenform A übernommen. Lediglich

die Werte für den Schweißstrom wurden variiert. Die optimalsten Werte wurden hierbei mit einem Schweißstrom von 8,5 kA erzielt. Der Mittelwert der Scherzugkraft betrug 834 kp, die Streuung 6,51 kp und der Variationskoeffizient betrug 0,78 %.

Damit sind die optimalen Parameterkombinationen zur Untersuchung der Elektrodenstandzeit festgestellt.

Elektrode A : $F=3,5$ kN , $I=10,0$ kA , $T=8$ Per

Elektrode B und C : $F=3,5$ kN , $I=8,5$ kA , $T=8$ Per

3.2. — Versuchsergebnisse der Elektrodenverschleiss

Da der Elektrodenverschleiss mit Hilfe der Widerstandsmessung untersucht werden soll, und dieser sich letztlich auf die Scherzugkraft bemerkbar macht, müssen die anderen Einflussgrößen wie Elektrodenkraft, Schweißstrom und Schweißzeit konstant gehalten werden. Für die Schweißzeit und die Elektrodenkraft ist dies annähernd erfüllt.

Um den Einfluss des Elektrodenverschleisses oft die Widerstandsänderung zu untersuchen, werden die Ergebnisse aus den mikroskopischen Untersuchungen der Proben herangezogen. Die Ergebnisse sind in Bild. 18, 19 und 20 dargestellt.

Bei der Aussmessung des Elektrodenarbeitsflächendurchmesser traten insofern Schwierigkeiten auf, da man nicht genau feststellen konnte, wo der für die Widerstandsmessung massgebende Durchmesser abgegriffen werden sollte, weil durch den Kantenverschleiss kein eindeutiger Übergang zu erkennen war. Die Messergebnisse aus den mikroskopischen Untersuchungen sind somit mit einem Fehler unbekannter Grösse behaftet.

3.3.1. — Versuchsergebnisse mit der Elektrode A

Betrachtet man die Mittelwerte der Widerstandsmessung, die jeweils nach 50 Schweißproben ermittelt wurden, so ergibt sich über den gesamten Versuch eine Widerstandserhöhung von 155 % bei einem Variationskoeffizienten von 6,45 % zu Beginn und 53,55 % am Ende der Versuchsserie, wobei die Werte der Widerstandsmessung stark schwankten.

Diese Widerstandserhöhung von 155 % muss nun dadurch zustande gekommen sein, dass sich die Elektrodenarbeitsfläche verkleinert

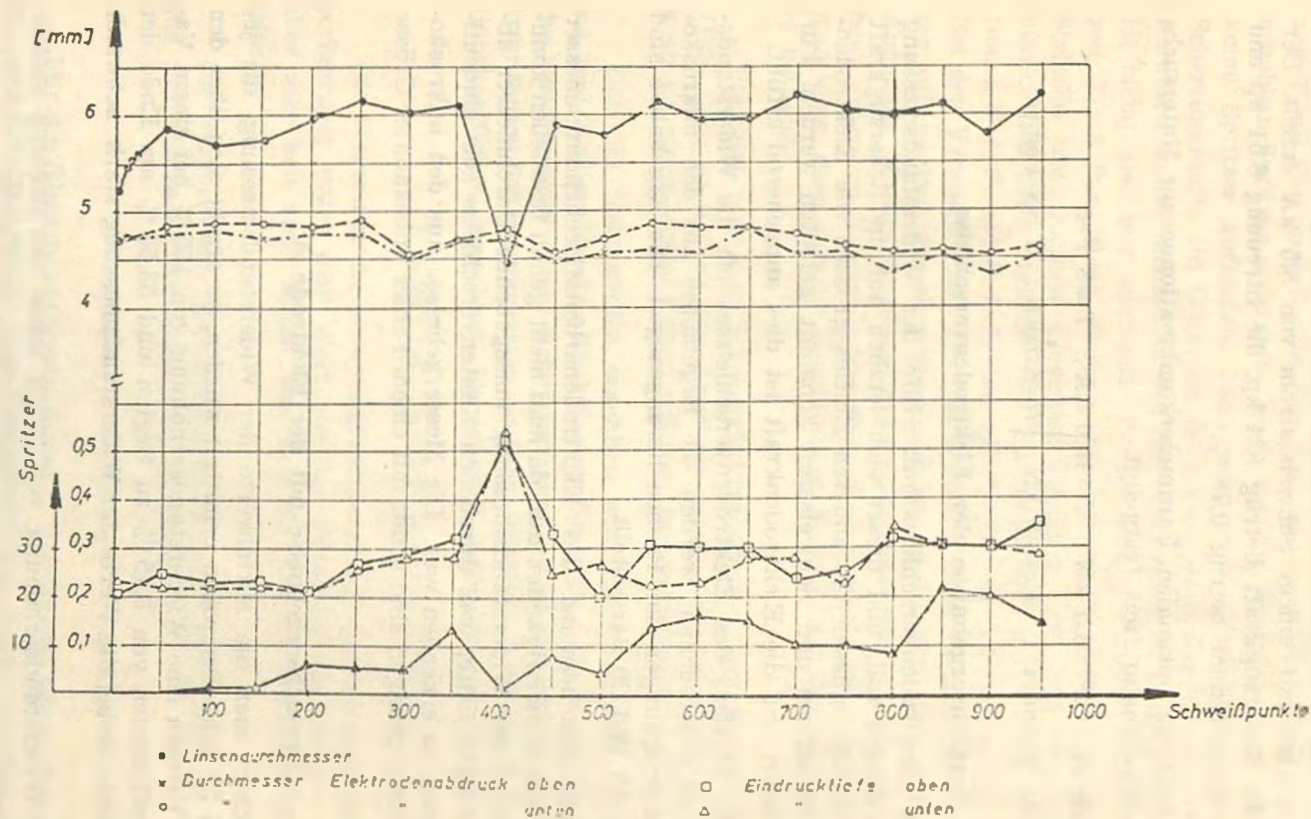


Bild. 18. — Graphische Darstellung der Messergebnisse aus den mikroskopischen Untersuchungen an der Elektrode A.

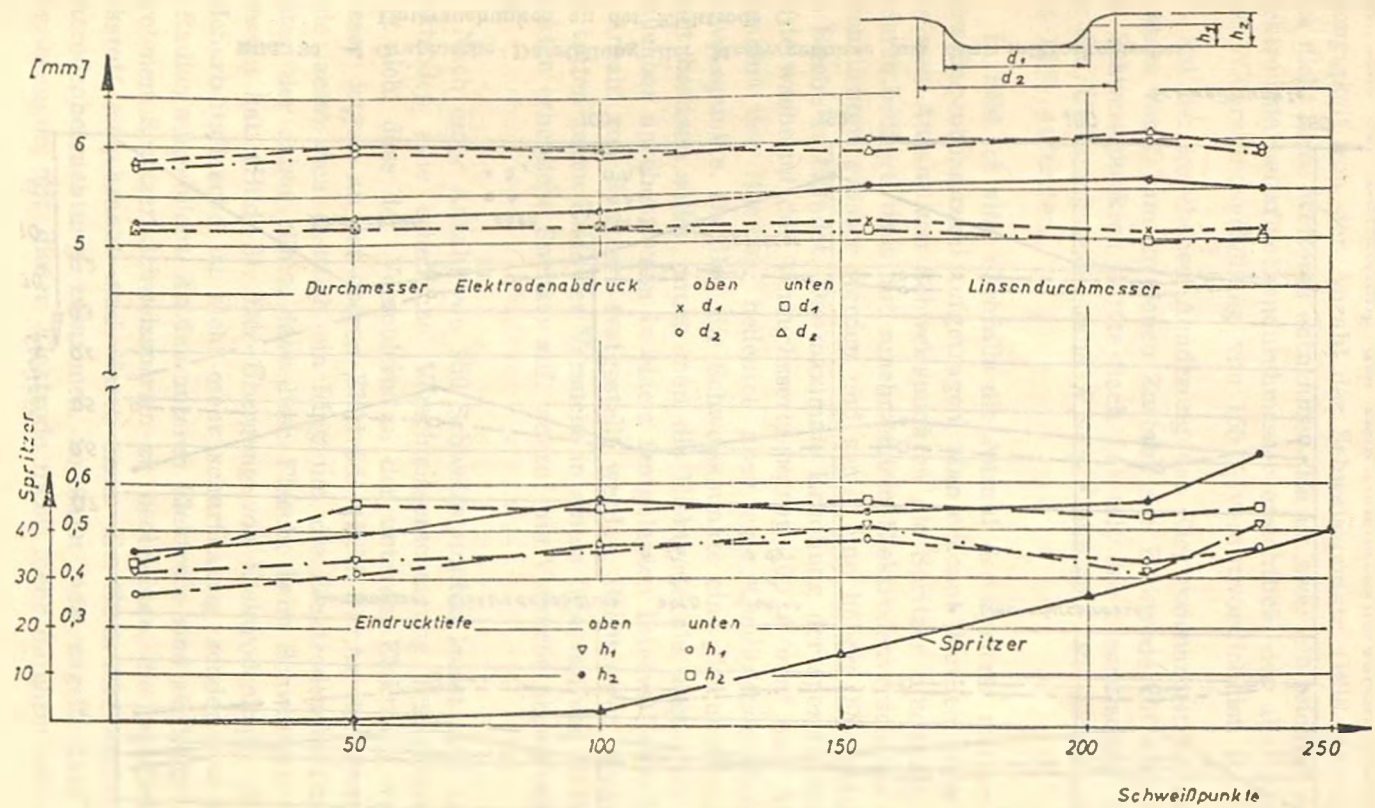


Bild. 19. — Graphische Darstellung der Messergebnisse aus den mikroskopischen Untersuchungen an der Elektrode B.

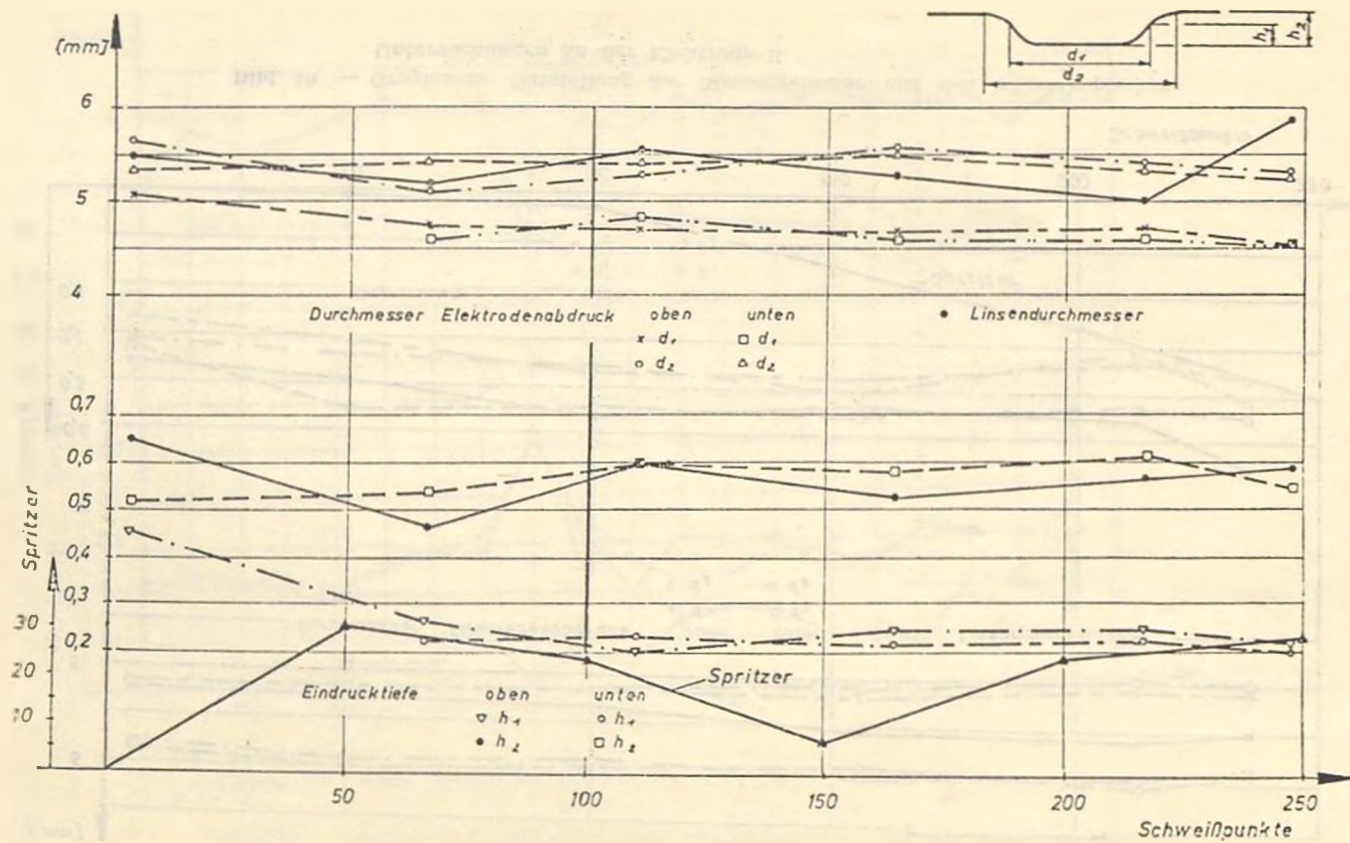


Bild. 20. — Graphische Darstellung der Messergebnisse aus den mikroskopischen Untersuchungen an der Elektrode C.

hat. Aus der Darstellung des Elektrodenabdruckdurchmessers in Abhaengigkeit von der Anzahl der Schweisspunkte (Bild. 18) kann man dies nicht ohne weiteres entnehmen. Es ist zwar ein leichter Abfall des Elektrodenarbeitsflaechendurchmesser ersichtlich, der aber niemals für eine Widerstandserhöhung von 155 % verantwortlich ist.

Bei der gegebenen Aenderung des Elektrodenarbeitsflaechendurchmessers von 5 mm im neuen Zustand der Elektrode auf 4,43 mm nach 894 Schweisspunkten dürfte nach (4) mit der theoretischen Beziehung für den Übergangswiderstand $R_a = cp^{-n}$ nur eine Widerstandsänderung von 14 % auftreten.

In Bild. 18 sind ebenfalls die Anzahl der Spritzer mit wachsender Schweissprobenanzahl aufgetragen. Man erkennt deutlich, dass ab einer gewissen Anzahl von Schweisspunkten die Spritzer zunehmen. Dies ist dadurch bedingt, dass mit zunehmendem Elektrodenverschleiss die spez. Stromdichten grösser werden und somit eine höhere Energiezufuhr in die Bleche stattfindet. Die maximale Erhöhung der spezifischen Stromdichte waehrend der Versuchsserie betrug 100 A/mm² bzw. 19 %. Die Zunahme der Spritzer bedeutet aber eine Qualitaetsminderung der Schweisspunkte. Da aber die Schweisspunkte eine gleichbleibende. Qualitaet besitzen sollen, muss man die Elektrode als abgenutzt und unbrauchbar ansehen, wenn in einem festgelegten Intervall eine bestimmte Anzahl von Spritzern festgestellt werden. Bei unseren Untersuchungen traten gegen Ende der Versuche in einem Intervall von 50 Schweisspunkten erhebliche Spritzer auf, worauf die Versuche abgebrochen wurden.

Nach einer Anzahl von 950 Schweisspunkten laesst sich an beiden Elektroden eine erhebliche Verschleisserscheinung feststellen. Dabei zeigt sich, dass der Verschleiss an der unteren Elektrode wesentlich grösser ist als an der oberen Elektrode (Bild. 5). An der oberen Elektrode laesst sich deutlich ein Ring um die Elektrodenoberflaeche erkennen der daher rührt, dass diese Flaeche beim Schweiessen mit aufgesessen hat (Bild. 3). Der Übergang von Elektrodenkegel zur Elektrodenarbeitsflaeche ist nicht mehr scharfkantig, sonderin es hat sich ein Radius ausgebildet. An den unteren Elektrode sind als Folge der aufgetretenen Spritzer Schweissperlen zu beobachten, die im Elektrodenwerkstoff eingebrannt sind. Fasst man die Eindrücke der optischen Elektrodenbetrachtung zusammen, so kann man sagen, dass weitere Schweissungen mit dieser Elektrode nicht mehr durchführbar sind.

3.3.3. — Versuchsergebnisse mit der Elektrode B

Bei der Aussmessung des Elektrodenarbeitsflächendurchmessers traten insofern Schwierigkeiten auf, da man den Zapfenübergang infolge der Kantenabrundung nicht genau feststellen konnte und der Elektrodenkegel sich auf den Blechen abgestützt hat. Aus den Darstellungen des Elektrodenabdruckmessers und des Linsendurchmessers über der Anzahl der Schweisspunkte kann man keine Veraenderung dieser Grössen erkennen. Da aber eine Widerstandserhöhung von 43 % festgestellt wurde, ist diese auf andere Einflüsse, z.B. Verschmutzung der Elektrodenoberflaechen, zurückführen. Die Bestimmung des Elektrodenverschleisses mit Hilfe da Widerstandsmessung führt hier nicht zum Ziel.

Aus der Darstellung der Elektrodeneindrucktiefe über Anzahl der Schweisspunkte laesst sich eine Zunahme der Eindrucktiefe erkennen. Da aber die Qualitaet eines Schweisspunktes je nach Verwendungs Zweck auch von Eindrucktiefe abhaengt, kann man ab einer gewissen Eindrucktiefe die Elektrode als unbrauchbar ansehen.

In Bild. 19 sind ebenfalls die Anzahl der Spritzer mit wachsender Schweisspunktanzahl eingetragen.

Man erkennt deutlich, dass einer gewissen Anzahl von Schweisspunkten die Spritzer zunehmen. Dies bedeutet aber eine Qualitaetsminderung der Schweisspunkte. Da aber die Schweisspunkte eine gleichbleibende Qualitaet besitzen sollen, muss man die Elektrode als abgenutzt und unbrauchbar ansehen, wenn in einem festgelegten Intervall eine bestimmte Anzahl von Spritzern festgestellt werden. Bei unseren Untersuchungen traten in dem Schweissintervall von 200 - 250 Punkten 40 Spritzer auf, so dass die Standzeitversuche mit der Elektrode B nach 250 Schweissproben abgebrochen wurden.

Von der Elektrode B wurden nach 250 Schweissproben fotografische Aufnahmen angefertigt, die zur optische Beurteilung der Elektrodenarbeitsflaechen dienen (Bild. 8 und 9). Nach einer Anzahl 250 Schweissungen sind an beiden Elektroden schon deutliche Verschleisserscheinungen festzustellen. Auch hierbei zeigt sich, dass der Verschleiss an der unteren Elektrode wesentlich grösser ist als an der oberen Elektrode. An den Kanten der Elektrodenarbeitsflaechen hat sich ein erheblicher Radius gebildet, der durch den 1 mm Starke Absatz noch begünstigt wurde. Infolge der starken Elektrodeneindringtiefe hat der Elektrodenkegel mitgetragen, das an dem dunklem Ring um die Elektrodenarbeitsflaechen

zu erkennen ist. An der unteren Elektrode sind als Folge der aufgetretenen Spritzer Schweissperlen zu erkennen, die im Elektrodenbetrachtung zusammen, so kann man auch hier sagen, dass weitere Schweissungen mit dieser Elektrode nicht mehr durchbar sind. Bei einer Haertemessung im Zentrum der Elektrodenarbeitsflaeche wurde eine Haerte HB von 130 kp/mm^2 gemessen. Dies bedeutet ein Haerteabfall von 18 kp/mm^2 , was auf eine Starke Erwaermung der Elektrodenarbeitsflaechen zurueckzufuehren ist. Die Elektrode hat also ihre urspruengliche Standfestigkeit verloren und ist auch aus diesem Grunde unbrauchbar geworden.

3.3.3. — Versuchsergebnisse mit der Elektrode C

Aus der Darstellung (Bild. 20) des Elektrodenabdruckmessers und des Linsendurchmessers ueber der Anzahl der Schweisspunkte laesst sich keine Veraenderung dieser Groessen erkennen. Auch mit Hilfe eines Korrelationstests zwischen dem Linsendurchmesser und dem Schweisswiderstand kann man keine eindeutige Aussage ueber den Zusammenhang beider Groessen treffen.

Ueber die gesamte Versuchsreihe ergibt sich eine Widerstandserhoehung von 73% , die aber nicht allein auf den Elektrodenverschleiss zurueckzufuehren ist.

Die Eindruecktiefen auf Blechoberflaeche durch das Einsinken der Elektroden ist bei diesen Versuchen relativ gross. Da die Qualitaet eines Schweisspunktes je nach Verwendungszweck auch von der Eindringtiefe abhaengt, kann man ab einer gewissen Eindruecktiefe die Elektrode als unbrauchbar ansehen.

In Bild. 20 sind ebenfalls die Anzahl der Spritzer mit wachsender Schweisspunktzahl eingetragen. Hierbei treten von Anfang an starke Spritzer auf, die zwar waehrend des Versuches etwas abfallen aber gegen Versuchsende wieder anstiegen. Dies ist darauf zurueck zufuehren, dass mit zunehmendem Elektrodenverschleiss die spezifische Stromdichte groesser wird und somit eine hoehere Energiezufuhr in die Bleche stattfindet. Die maximale Erhoehung der spezifischen Stromdichte waehrend der Versuchsreihe betrug 255 A/mm^2 . Da aber die Schweisspunkte eine gleichbleibende Qualitaet besitzen sollen, muss man die Elektrode als abgenutzt und unbrauchbar ansehen, wenn in einem festgelegten Intervall eine bestimmte Anzahl von Spritzern auftreten.

Nach einer Anzahl von 250 Schweisspunkten sind an beiden Elektroden erhebliche Verschleisserscheinungen festzustellen. Wie bei den anderen Elektrodenformen ist auch hierbei der Verschleiss an der unteren Elektrode erheblich grösser als an der oberen Elektrode. An den Kanten der Elektrodenarbeitsflaechen hat sich ein grosser Radius ausgebildet, was durch den 1 mm hohen Absatz sehr begünstigt wird. Infolge der grossen Elektrodeneindringtiefe hat der Elektrodenkegel bei der Schweissung mit auf dem Blechrand aufgesessen. Dies ist an dem dunklen Ring um die Elektrodenarbeitsflaechen zu erkennen. An der unteren Elektrode sind als Folge der aufgetretenen Spritzer Schweissperlen zu erkennen, die im Elektrodenwerkstoff eingebrannt sind.

Aufgrund der optischen Ergebnisse der Elektrode C kann man sagen, dass weitere Schweissungen mit dieser Elektrode nicht mehr möglich sind. Bei einer Haertemessung im Zentrum der Elektrodenarbeitsflaechen wurde eine Haerte HB von 128 kp/mm^2 gemessen. Dies bedeutet einen Haerteabfall von 20 kp/mm^2 , was auf eine starke Erwaermung der Elektrodenarbeitsflaechen infolge der haeufigen Spritzer zurückzuführen ist.

Die Elektrode hat also ihre urspringliche Standfestigkeit verloren und ist aus diesem Grunde unbrauchbar geworden.

4. — ZUSAMMENFASSUNG

Für die Qualitaet eines Schweisspunktes bezüglich der Scherzugkraft lassen sich aus den Versuchen mit den Elektroden B und C Toleranzgrenzen für den Schweisswiderstand angeben, innerhalb derer ein Schweiessen mit genügender Punktqualitaet zu vertreten ist. Die Toleranzgrenze liegt hier bei ca. 50 %. Dies müsste aber noch durch eingehende Versuche genauer geklaert werden.

Eine Toleranzgrenze diesbezüglich konnte nach 950 Schweissungen mit der Elektrode A nicht gefunden werden, da hier schon gesicherte Unterschiede in den Mittelwerten für die Scherzugkraefte vorlagen.

Um den Elektrodenverschleiss mit Hilfe der Widerstandsmessung dennoch aufzeigen zu können, müsste man versuchen, alle störenden Einflüsse bei der Widerstandsmessung auszuschalten. Dies musste in einer besonderen Arbeit weiter untersucht werden.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- (1) DORN, L. und LINDNER, K. «Widerstands-, Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung als Mittel zur Gütesicherung». Sonderdruck der Firma Messer Griesheim GmbH, 12/73.
- (2) BECKEN, O. und HAVERS, K. «Beim Punktschweißen von Kohlenstoffstahl erreichbare Scherzugkräfte bei Blechdicken bis 6 mm». Schweißen und Schneiden, 13 (1961), H. 4.
- (3) DORN, L. «Betrachtung zur Güteüberwachung während des Widerstandspressschweißens». Schweißen und Schneiden, 25 (1973), H. 1.
- (4) BRUNST, W. «Das elektrische Widerstandsschweißen». Springer - Verlag, 1952.
- (5) JACOBY, N. «Einfluss der Stromform beim Widerstandspunktschweißen 3 mm dicker Bleche Schweißen und Schneiden, 23 (1971), H. 7.
- (6) SACHS, L. «Statistische Auswertungsmethoden». Springer - Verlag, 1969.
- (7) PRISCHMANN, W. «Bessere Qualität beim Widerstandspunktschweißen durch Regelung der Schweißparameter». Schweißtechnik, 15 (1965), H. 9.
- (8) GEGENBACH, «Messtechnische Probleme beim Widerstandsschweißen». Schweißen und Schneiden, 10 (1958), H. 1.
- (9) KRAUSE, H. J. «Ermittlung von Einstellwerten für das Widerstandspunktschweißen 0,5 bis 3 mm dicker Bleche». Schweißen und Schneiden, 23 (1971), H. 7.
- (10) SOPP, H. «Einfluss verschiedener Parameter auf das Standzeitverhalten der Elektroden beim Widerstandspunktschweißen bleibeschichteter Bleche aus Stahl». Schweißen und Schneiden, 30 (1978), H. 1.