

Lektion: E1401-01

Folie 1.

Notizen: _____

Elektrischer Schweißlichtbogen

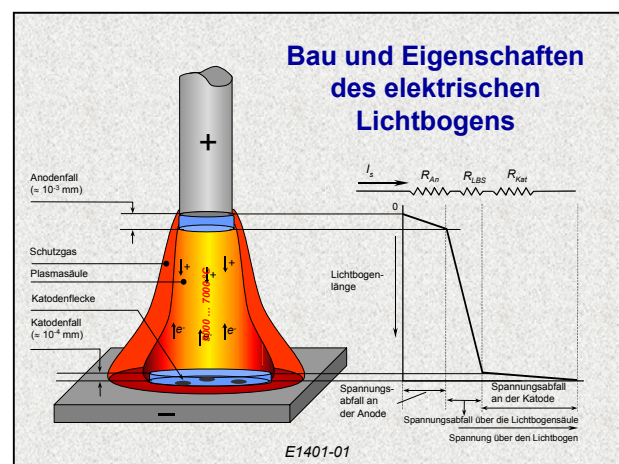
Problem 1: Bau und Eigenschaften des elektrischen Schweißlichtbogens

Problem 2: Stabilität des Systems
Stromquelle-Lichtbogen

E1401-01

Folie 2. MIG/MAG-Schutzgaslichtbogen-schweißen ist der Verbindungsprozess aufgeschmolzener Metalle durch unmittelbare Einwirkung des Lichtbogens auf die zu verbindenden Werkstücke mit gleichzeitigem Abschmelzen von stromdurchflossenen Zusatzwerkstoff. Der Lichtbogen als Wärmequelle sowie Schweißbad und Wärmeeinflusszone werden durch die Schutzgasatmosphäre geschützt.

Schutzgasschweißen wird vorwiegend mit + Polung ausgeführt. Der MIG/MAG-Schweißlichtbogen ist eine leistungsfähige, elektrische Entladung in der ionisierenden Gas- und Dampfmenge, die aus der Schutzatmosphäre, Drahtelektrode und Grundwerkstoff gebildet wird.



Gase sind unter normalen Bedingungen nicht stromleitend. Durch hohe Temperaturen und Vorhandensein eines äußeren elektrischen Feldes lassen sie sich ionisieren, d.h. die Atome und Moleküle können entweder Elektronen abgeben oder im Fall elektrisch negativer Elemente freie Elektronen binden. Dadurch werden sowohl positive als auch negative Ionen in der Lichtbogenatmosphäre erzeugt. Durch das Vorliegen elektrisch geladener Teile gehen die Gase in den 4. Aggregatzustand über, der als Plasma bezeichnet wird und elektrisch leitfähig ist. Durch das vorhandene elektrische Potential der Stromquelle bewegen sich die Elektronen zur Anode und positive Ionen zur Kathode. Die Beweglichkeit der Elektronen ist auf Grund ihrer geringeren Masse etwa 1000fach höher als die der Ionen. Daher ist der Strom im Lichtbogen vorwiegend ein Elektronenstrom.

Die elektrischen Eigenschaften des Lichtbogens werden durch 3 Prozesse bestimmt:

1. die Abläufe in der Lichtbogensäule
2. die Abläufe im Kathodenbereich
3. die Abläufe im Anodenbereich.

Kathoden- und Anodenbereich befinden sich unmittelbar vor der Elektrodenspitze bzw. vor dem Werkstück, Folie 2.

Zur Aufrechterhaltung des Plasmas beim Schweißen mit abschmelzender Elektrode reichen Stromstärken von 10 bis 1000 A und Spannungen zwischen Drahtelektrode und Werkstück von 15 bis 40 V aus. Der Spannungsabfall in der Lichtbogensäule ist durch den ohmschen Widerstand bedingt und beträgt nur einige Volt. Die restliche Spannung fällt im Kathoden- und Anodenbereich ab.

Die Länge der Lichtbogensäule beträgt durchschnittlich ca. 10 mm. Die Feldintensität ist ca. 0,1

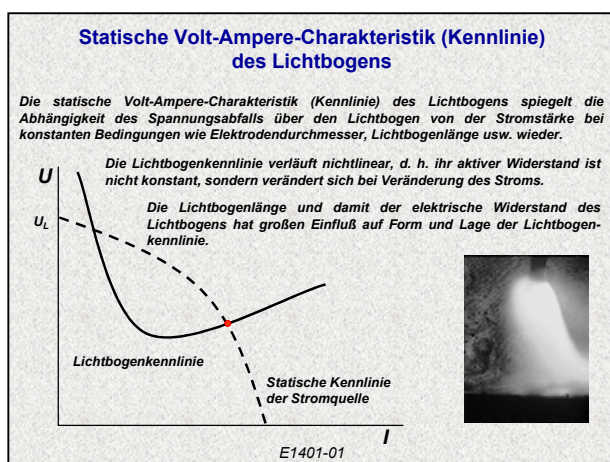
bis 1,0 V/mm. Hingegen sind Katoden- und Anodenfall durch sehr kurze Längen charakterisiert (Katodenfass ist ca. 10^{-4} mm, Anodenfass etwa 10^{-3} mm lang). Der Katodenfall wird durch die notwendige Elektronenaustrittsarbeit, der Anodenfall durch die sich vor der Anode ansammelnde Elektronenwolke verursacht. Der Spannungsgradient ist gegenüber dem Spannungsgradienten der Lichtbogensäule sehr hoch (bis 10^4 V/mm für den Katodenfall und bis 10^3 V/mm für den Anodenfall). Beim Schweißen mit abschmelzenden Elektroden ist der Spannungsabfall im Katodenbereich (U_{kat}) mit 12 – 20 V höher als der Spannungsabfall im Anodenbereich (U_{an}) mit 2 – 8 V.

Die Katoden- und Anodenbereiche des Lichtbogens werden durch so genannte aktive Flecken mit den Elektrodenoberflächen gekoppelt. Durch diese Flecken geht der Lichtbogenstrom. Manchmal wird der Katodenfleck auf 2 bis 3 Einzelflecken verteilt. Die Stromdichte im Fleck wird zwischen $1 \cdot 10 - 3 \cdot 10^2$ A/mm² geschätzt, was etwas höher ist als im Anodenfleck mit $1,5 \cdot 10 - 3 \cdot 10$ A/mm². Das beeinflusst die Fläche der aktiven Flecken. So ist die Fläche des Anodenflecks größer als die Fläche des Katodenflecks. Die Stromdichte der aktiven Flecken ändert sich praktisch nicht, wenn sich der Lichtbogenstrom (Schweißstrom) ändert. Lediglich die Fläche ändert sich, die bei Stromerhöhung vergrößert wird. Die aktiven Flecken haben die Tendenz, sich auf der Werkstückoberfläche chaotisch zu bewegen, dabei ist der Anodenfleck etwas stabiler.

Das Stromfluss durch diese Lichtbogenzonen wird durch komplizierte chemische und elektronische Abläufe begleitet. Das Ergebnis ist eine Emission großer Mengen von Licht und Wärme. Die Schweißstromänderungen bewirken adäquate Änderungen der Fläche der aktiven Flecken: Je höher der Strom ist, desto größer sind die Flächen von aktiven Flecken und als Ergebnis ergibt sich eine höhere Wärmeentwicklung in diesen Bereichen. Das wird beim Lichtbogenschweißen angewendet, um Schmelzprozesse von Grund – und Zusatzwerkstoffen zu steuern. Auch die Tropfengröße des aufgeschmolzenen Zusatzwerkstoffes und damit der Werkstoffübergang werden beeinflusst.

Die Folie zeigt eine schematische Darstellung des Lichtbogens und die längs der Achsen vorliegenden Bereiche. Rechts: Schema des Spannungsabfalls auf Grund der 3 nacheinander geschalteten aktiven Widerstände.

Notizen: _____



Folie 3. Die statische Spannungs-Strom Kennlinie zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Spannungsabfall am Lichtbogen und dem Strom. Sie wird mit experimentell erhaltenen Werten aufgezichnet, wobei der Strom stufenlos geregelt wird und die übrigen Bedingungen (Elektroden-durchmesser und Lichtbogenlänge) konstant bleiben.

Die Lichtbogenkennlinie verläuft nicht linear. Das heißt, der aktive Widerstand ist nicht konstant, sondern ändert sich mit der Stromänderung.

Wenn ein Lichtbogen mit niedriger Leistung vorliegt (fallender Bereich der Kennlinie), wird die Fläche des Lichtbogenquerschnittes bei Stromsteigerung infolge der thermischen Elektronenemission aus der Katode schneller erhöht als die Stromdichte des Lichtbogens. Das führt zur Reduzierung des gesamten Spannungsabfalls über den Lichtbogen.

Solche fallenden Lichtbogenkennlinien sind beim Schweißen mit nicht abschmelzender Elektrode zu beobachten.

Bei weiterer Stromsteigerung wird die Querschnittsfläche der Lichtbogensäule proportional vergrößert. D.h., die Stromdichte bleibt ungefähr konstant und daher ändert sich die Lichtbogenspannung nicht wesentlich.

Ein Ansteigen der Lichtbogenkennlinie wird bei dem Strom beobachtet, bei dem eine weitere Vergrößerung der aktiven Flecken und des Querschnitts der Lichtbogensäule nicht mehr auftritt und bei dem die Stromdichte mit entsprechender Erhöhung des Spannungsabfalls und mit der Lichtbogenspannung steigt. Dieser Bereich der Spannung-Strom-Kennlinie entspricht den MIG/MAG-Schweißbedingungen. Wenn der Säulenradius im wesentlichen von der Stromstärke abhängt, liegt ein kegelförmig brennender Lichtbogen vor. Falls der Lichtbogen einen konstanten Radius hat, wird von einem eingeschnürten Lichtbogen gesprochen.

Die Lichtbogenlänge und damit ihr elektrischer Widerstand beeinflusst die Form stark, besonders die Lage der Strom-Spannungs-Kennlinie des Lichtbogens. Bei der Erhöhung der Lichtbogenlänge geht die Lichtbogenkennlinie nach oben.

Der Schnittpunkt von Lichtbogen- und statischer Stromquellenkennlinie ist der Arbeitspunkt, dessen Lage durch die Schweißparameter Lichtbogenspannung und Schweißstrom bestimmt wird (siehe. E1801-01).

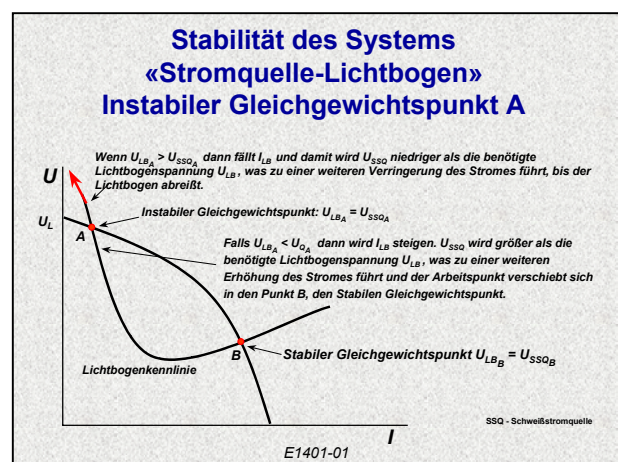
Notizen: _____

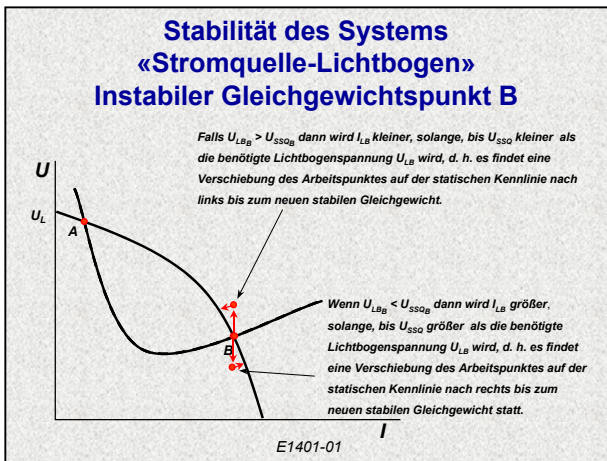
Folie 4. Das System "Stromquelle-Lichtbogen" ist stabil in den Schnittpunkten A und B, weil in diesen Punkten Strom und Spannung der Stromquelle und des Lichtbogens gleich sind. Aufgrund dessen sind die Stromquellenenergie und die Lichtbogenleistung gleich.

Schnittpunkt A zeigt jedoch Instabilitäten. Wenn sich z. B. die Bedingungen des Lichtbogenbrennens infolge Lichtbogenverlängerung, Tropfenablösung oder Übergang des aktiven Fleckens zu kälteren Bereichen der Elektrodenspitze verschlechtern, steigt die für den Lichtbogen benötigte Spannung, und wird höher als die Spannung, die von der Stromquelle geliefert wird. Als Ergebnis geht der Lichtbogenstrom herunter und die Spannung wird weiter erhöht, was letztendlich zu einem Lichtbogenabriss führt.

Wenn durch eine momentane Verbesserung der Bedingungen des Lichtbogenbrennens die für das stabile Brennen benötigte Lichtbogenspannung gesenkt wird, so wird diese Spannung niedriger als die von der Stromquelle gelieferte. Als Ergebnis steigt der Lichtbogenstrom bei abnehmender Spannung und der stabile Arbeitspunkt im Schnittpunkt B wird erreicht.

Notizen: _____



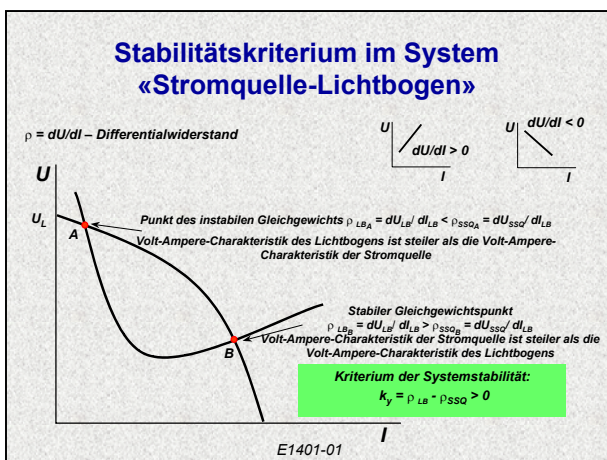


Folie 5. Im Punkt B ist stabiles Gleichgewicht vorhanden. Wenn beispielsweise der Lichtbogen plötzlich verlängert wird, dann ist die zum Brennen des Lichtbogens benötigte Spannung höher, als die von der Stromquelle gelieferte Spannung. Es ist einleuchtend, dass die Spannungserhöhung des Lichtbogens die Folge einer Widerstandserhöhung ist, was wiederum zur Stromreduzierung führt. Der den Lichtbogenparametern entsprechende Punkt fängt an, sich nach links zu bewegen (dies ist durch den Pfeil in Folie 5 gekennzeichnet). In gleicher Richtung verändert sich der den Stromquellenparametern zugeordnete

Punkt. Letztendlich wird das ganze System in den neuen Zustand des stabilen Gleichgewichtes versetzt. Das entspricht der parallelen Verschiebung der Lichtbogenkennlinien bei Verlängerung des Lichtbogens.

Bei plötzlicher Lichtbogenverkürzung laufen die ähnliche Prozesse ab. Dabei ist die Spannung, die für das Lichtbogenbrennen benötigt wird, niedriger, als die von der Stromquelle gelieferte Spannung in diesem Moment. Es ist klar, dass die Spannungsreduzierung des Lichtbogens die Folge einer Widerstandsverringerung ist. Das muss zur Stromerhöhung führen. Als Ergebnis beginnt der Punkt, der den Lichtbogenparametern entspricht, sich nach rechts zu bewegen (dies ist durch den Pfeil in Folie 5 gezeigt). In der gleichen Richtung wird sich der den Stromquellenparametern entsprechenden Punkt auf der statischen Kennlinie bewegen.. Letztendlich wird das ganze System in den neuen Zustand des stabilen Gleichgewichtes versetzt. Das bedeutet, dass das System im Schnittpunkt B stabil ist.

Notizen: _____



Folie 6. Die Frage der Stabilität im Schnittpunkt der Kennlinien von Lichtbogen und Stromquelle hängt von der Neigung der Kennlinien ab. Die Neigung der Stromquellen- und Lichtbogenkennlinie wird durch den Differentialwiderstandswert

$$\rho = dU/dI.$$

bestimmt.

Im Schnittpunkt des labilen Gleichgewichtes ist der Differentialwiderstandswert der Lichtbogenkennlinie kleiner als der der statischen Kennlinie der Stromquelle, das heißt:

$$\rho_{LB} = dU_{LB}/dI_{LB} < \rho_{SSQ} = dU_{SSQ}/dI_{LB}$$

Hingegen ist die Lichtbogenkennlinie im Schnittpunkt des stabilen Gleichgewichtes steigend. Die Ableitung $\rho_{\partial B}$ wechselt ihr Vorzeichen zum positiven, (im allgemeinen ist die statische Strom-Spannungs-Kennlinie der Stromquelle steiler als die Lichtbogenkennlinie), d.h.:

$$\rho_{LB\ B} = dU_{LB}/dl_{LB} > \rho_{SSQ\ B} = dU_{SSQ}/dl_{LB}$$

Die Bedingung des Systemgleichgewichtes ist : $k_y = \rho_{LB} - \rho_{SSQ} > 0$, wobei k_y das Gleichgewichtskriterium des Systems ist.

Notizen: _____

