

ALUMINIUM-LICHTBOGENSCHNEIDEN UNTER EDELGASSCHUTZ*

Von

L. GAJDOS

Mechanisch-Technologisches Institut der Technischen Universität, Budapest

(Eingegangen am 20. Februar 1959)

Die zunehmende Verwendung von Aluminium auf nahezu sämtlichen Gebieten der Industrie bildet eines der wesentlichsten Momente der stürmischen technischen Entwicklung unserer Zeit. Aluminium findet sich heute als Werkstoff der verschiedensten Maschinen und Maschinenteile vor, ja aus Aluminium werden Fahrgestelle und Fahrzeuge und selbst Brücken gebaut.

Grundbedingung für die vielseitige Verwendung des Werkstoffes Aluminium ist die Kenntnis und Beherrschung der fortgeschrittenen Technologie und der neuzeitlichen Methoden der Verhüttung, Bearbeitung, Zerspanung und Schweißung und nicht zuletzt auch des Lichtbogenschneidens von Aluminium.

Das Schneiden von Aluminium verursacht im allgemeinen dieselben Schwierigkeiten wie das Schweißen dieses Metalls. Die wichtigsten dieser Schwierigkeiten sind:

- a) Die außerordentlich heftige Oxydation des Aluminiums, die eine bei 2000 °C schmelzende, ausnehmend zähe Oxydschicht ergibt.
- b) Die sehr große Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums.
- c) Die auf die Wärmeeinwirkung eintretende Ausweichung der vergüteten Legierungen u. a. m.

Diese Gegebenheiten schließen ein Brennschneiden des Aluminiums mit Sauerstoff, ja selbst unter sauerstoffhaltiger Atmosphäre aus, weshalb Spezialverfahren ausgearbeitet werden mußten, die das Lichtbogen-Schneiden des Aluminiums (sowie einiger weiterer empfindlicher Metalle, wie etwa des rostfreien Stahles, Nickels usw.) ermöglichten und nicht auf der Verbrennung des Werkstoffes, sondern auf dem unter Schutzgas und unter der Einwirkung konzentrierter Hitze erfolgenden Schmelzen des Metalls beruhen.

Es entwickelten sich hierbei vornehmlich zwei Methoden, das Lichtbogen-Schneiden unter Edelgasschutz mit Wolframelektroden (ARGONARC-Verfahren) sowie das Lichtbogen-Schneiden unter Edelgasschutz mit Abschmelzelektroden (S.I.G.M.A.-Verfahren).

* Diplomarbeit im Auftrag des Mechanisch-Technologischen Instituts (Professor: L. GILLEMOT).

Da das wirtschaftliche und produktive Schneiden von Aluminium auch in Ungarn ein Problem darstellt, ist es unerlässlich, die im fremdsprachigen Schrifttum bereits veröffentlichten Verfahren kennenzulernen und experimentel aufzuarbeiten.

Lichtbogen-Schneiden unter Edelgasschutz mit Abschmelzelektroden [S. I. G. M. A.-Verfahren]

Unter den für Aluminium anwendbaren beiden Methoden ist das S. I. G. M. A.-Verfahren das ältere. Erstmals befaßten sich englische Forscher — W. G. HULL [1] und W. G. WARREN [2] — mit dem Gedanken. Ihnen folgte

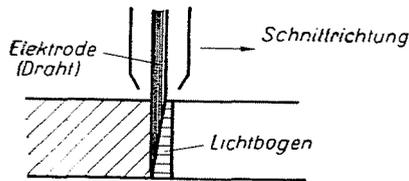


Bild 1. Abbrennen der Elektrode beim S. I. G. M. A.-Verfahren

in den Vereinigten Staaten zuerst R. S. BABCOCK [3] und später F. H. ROPER [4], der die prinzipiellen Grundlagen der Methode und die mit ihr gemachten praktischen Erfahrungen als erster in einer auch industriell verwertbaren Form zusammenfaßte. Das allgemeine Bestreben ging dahin, die für das Licht-

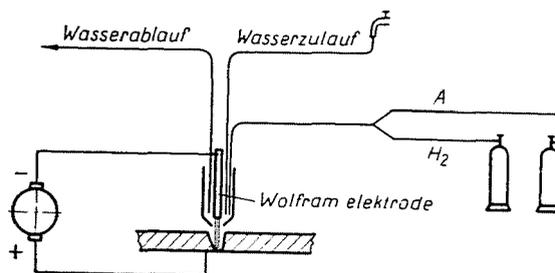


Bild 2. Prinzipschema des ARGONARC-Verfahrens

bogen-Schweißen unter Edelgasschutz üblichen und weit verbreiteten Geräte ohne oder mit bloß geringfügiger Umänderung auch für das Schneiden verwendbar zu machen.

Das Verfahren beruht auf folgendem Arbeitsprinzip: unter der Wirkung eines starken Stromes entzündet sich zwischen dem Stahldraht und dem zu schneidenden Werkstück ein Lichtbogen. Abweichend vom Schweißen tritt der Lichtbogen hier nicht aus der Spitze des Drahtes, sondern seitlich aus diesem heraus (Bild 1). Das Schutzgas zerstört die Oxydhäute die auf der Platte haftend und verhindert eine weitere Oxydation.

Die seitlich vom Stahldraht ausgehenden Metallionen beschleunigen sich im elektrischen Kraftfeld und schleudern das unter der Hitzeeinwirkung des Lichtbogens geschmolzene Metall aus der Schnittfuge. Bei richtigem Drahtvorschub nimmt die Elektrode infolge des allmählichen Abbrennens kegelförmige Gestalt an, die Schneideverhältnisse gestalten sich somit am günstigsten, wenn sich die Kegelspitze eben an der unteren Fläche der zu schneidenden Platte befindet, d. h. wenn sich der Draht vollständig verbraucht, bis er aus der Schneidfuge herausgelangt.

Bei richtiger Wahl der Schneideparameter läßt sich mit diesem Verfahren eine ziemlich gute Schnittfläche erzielen, die sich beispielsweise ohne weitere Bearbeitung zum Schweißen eignet.

Mit dem S. I. G. M. A.-Verfahren wurden je nach der Plattenstärke Schnittgeschwindigkeiten von 120—400 cm/min erzielt. Das Schneiden kann von Hand oder maschinell erfolgen.

Lichtbogenschneiden unter Edelgasschutz mit Wolframelektroden [ARGONARC-Verfahren]

Das Verfahren wurde erstmalig in den Vereinigten Staaten durch die Firma *Linde Air Products Co.* angewendet. Die ersten, im Jahre 1955 erschienenen Veröffentlichungen im Fachschrifttum beschreiben die Methode vorerst bloß schematisch als technisch interessant [5], ein Jahr später verwendet man jedoch das Verfahren sowohl in Amerika als auch in Europa. Gleichzeitig erschienen die ersten mit wissenschaftlicher Ausführlichkeit abgefaßten Abhandlungen, u. zw. vorerst in den *Vereinigten Staaten* [6], sodann in Deutschland aus der Feder von DR. E. WITTING [7] und K. DOMKE [8]. Sowohl in Amerika als auch in Europa ging das Bestreben dahin, die üblichen ARGONARC-Schweißgeräte* den Erfordernissen des Lichtbogen-Schneidens ohne einschneidende Umänderung anpassen zu können, doch gelang es nicht, dieses Ziel in dem Maße zu verwirklichen, wie es bei den Geräten für das S. I. G. M. A.-Verfahren ermöglicht worden war. Es muß jedoch bemerkt werden, daß die erforderlichen Umänderungen in jedem gut ausgerüsteten Betrieb ohne sonderliche Schwierigkeiten vorgenommen werden können. Das Prinzipschema des Gerätes veranschaulicht Bild 2.

Die Methode bedient sich des folgenden Arbeitsprinzips: Die Wolframelektrode ist mit einem wassergekühlten Mantel umhüllt, der in einer Düsenöffnung endet, deren Durchmesser mit demjenigen der Elektrode übereinstimmt. Abweichend vom S. I. G. M. A.-Verfahren reicht die Elektrode hier nicht über die Düsenöffnung hinaus, sondern bleibt innerhalb dieser, so daß der Lichtbogen, aus der Düsenöffnung hervortretend, eine dünne, stich-

* Gerät für Lichtbogen-Schweißen unter Edelgasschutz mit Abschmelzelektrode.

flammenartige Säule bildet. Die außergewöhnlich stark konzentrierte Wärmeeinwirkung bringt das Werkstück einem schmalen Kanal entlang zum Schmelzen, wobei die große kinetische Energie des starken Gasstrahles das geschmolzene Metall aus der Schneidfuge austreibt.

Die Schnittfläche gleicht — bei richtiger Wahl der Parameter — der gesägten Schnittfläche. Die Schneidfuge zeigt einen V-förmigen Querschnitt.

Das Schneiden kann von Hand oder mit Schneidgeräten erfolgen, doch ist letzteres Verfahren unzweifelhaft das vorteilhaftere. Die Schnittgeschwindigkeit beträgt beim ARGONARC-Verfahren je nach der Plattenstärke 120—700 cm/min. .

Vergleich des S.I.G.M.A.- und des ARGONARC-Verfahrens

In technischer Hinsicht zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Verfahren, daß sich die Anschaffungskosten für eine ARGONARC-Schneideinrichtung billiger stellen. Eine solche Einrichtung läßt sich auch leicht handhaben, doch ist die Betriebssicherheit bei den bisherigen Lösungen wegen der großen Schmelzanfälligkeit der Düse keineswegs zufriedenstellend. Dagegen arbeitet das ARGONARC-Verfahren schneller und gibt auch schönere Schnittflächen.

Die S.I.G.M.A.-Einrichtung stellt sich zwar teurer, nach diesem Verfahren läßt sich jedoch mit jedem S.I.G.M.A.-Schweißgerät* schneiden.

Eine Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der beiden Verfahren enthält Tabelle I, in der als Beispiel die bei einer Aluminiumplatte von 12,7 mm Stärke auflaufenden Kosten nach Angaben von F. H. ROPER und E. WITTING angeführt sind.

Aus dieser Gegenüberstellung erhellt klar, daß beim Handschneiden das S.I.G.M.A.-Verfahren das billigere ist, während sich beim Schneiden mit der Maschine das ARGONARC-Verfahren als wirtschaftlich deutlich überlegen erweist.

Unter den Verhältnissen in Ungarn kommt der Frage der Einrichtungen die entscheidende Rolle zu. Hier finden sich vornehmlich — ja fast ausschließlich — ARGONARC-Geräte, während nach dem S.I.G.M.A.-Verfahren in Ungarn bloß zwei Einrichtungen arbeiten, eine Gegebenheit, die die Untersuchung gewissermaßen vor fertige Tatsachen stellt. Offenbar kann in Ungarn im gegenwärtigen Zeitpunkt nur das ARGONARC-Verfahren in Frage kommen, weshalb sich die im Forschungsinstitut der Metallindustrie durchgeführten Untersuchungen auf das ARGONARC-Verfahren beschränkten. (Es mag in diesem Zusammenhang interessieren, daß auch außerhalb Ungarns dieses Verfahren das stärker verbreitete ist.)

* Lichtbogen-Schweißen unter Edelgasschutz mit Wolframelektroden.

Tabelle I

Vergleich der Wirtschaftlichkeit des S. I. G. M. A.- und des ARGONARC-Verfahrens. Die Tabellenangaben beziehen sich auf das Schneiden einer 12,7 mm starken, 1 m langen Aluminiumplatte. Sie sind den Mitteilungen von F. H. Roper und E. Witting genommen

Verfahren	Argongasmenge		Wasserstoffmenge		Stahldrahtverbrauch		Arbeitszeit		Energie		Insg. PL
	l/min	Ft	l/min	Ft	kg	Ft	sec	Ft	kWó	Ft	
S. I. G. M. A. Hand-schneiden	5,45	0,36	—	—	0,252	0,73	42,0	0,14	0,199	0,04	1,27
S. I. G. M. A. Maschinen-schneiden	4,26	0,29	—	—	0,192	0,56	32,7	0,11	0,180	0,04	1,00
ARGONARC Hand-schneiden	18,00	1,26	9,0	0,03	—	—	60,0	0,20	0,380	0,08	1,57
ARGONARC Maschinen-schneiden bei kleiner Stromstärke	9,8	0,66	4,9	0,02	—	—	31,6	0,11	0,153	0,03	0,82
ARGONARC Maschinen-schneiden bei großer Stromstärke	4,9	0,33	2,45	0,01	—	—	15,8	0,06	0,114	0,02	0,42

Einheitspreise : Ar Gas = 67 Ft/m³

Stahldraht = 2900 Ft/t

H₂ Gas = 3,80 Ft/m³

Arbeitslohn + Regie = 12 Ft/h

Energie = 0,21 Ft/kWh

Sondererfordernisse des ARGONARC-Verfahrens

Das ARGONARC-Verfahren stellt einige besondere Erfordernisse, die in der allgemeinen Schweißungspraxis nicht vorzukommen pflegen, u. zw.

1. Bildung einer konzentrierten Lichtbogensäule,

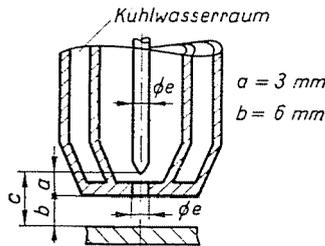


Bild 3. ARGONARC-Gasdüse

2. Erzeugung einer besonders hohen Temperatur,
3. Sicherstellung einer hohen Gasströmungsgeschwindigkeit,
4. Überwindung der Schwierigkeiten der Lichtbogenzündung, die sich aus der Unmöglichkeit eines direkten Kontaktes ergeben.

Das zitierte Schrifttum enthält für die erwähnten Probleme folgende Lösungen:

1. Die konzentrierte Lichtbogensäule wird mit Hilfe des in Bild 3 dargestellten Düsenkopfes erzeugt. Der doppelwandige, kupferne Mantel ist mit Wasser gekühlt. Der Durchmesser der Düsenöffnung stimmt mit demjenigen der Elektrode überein.

Ein ernstes Problem ergibt sich hier durch die Möglichkeit des Auftretens eines Doppel-Lichtbogens (Bild 4). Der Doppel-Lichtbogen, der sich von

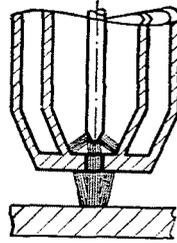


Bild 4. Doppelbogen

der Elektrode durch die Metaldüse hindurch zum Werkstück zieht, bringt den kupfernen Düsenkopf innerhalb weniger Augenblicke zum Schmelzen, wodurch sich die Düsenöffnung vergrößert, und allenfalls auch der Wasserraum durchlöchert wird.

Nach Ansicht WITTINGS tritt ein Doppel-Lichtbogen stets auf, wenn die Elektrode nicht mittig zur Düsenöffnung liegt, wenn die Strömungsge

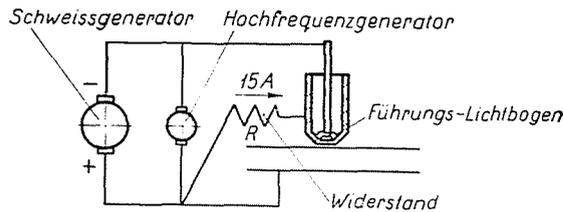


Bild 5. Von ausländischen Autoren empfohlenes Lichtbogen-Zündungsverfahren

windigkeit des Gases zu niedrig ist, oder das Gasmisch nicht entspricht, wenn der Strom zu stark ist, oder wenn der Düsenkopf durch irgendeinen Zufall mit dem Stromkreis in Kontakt gerät.

2. Zwecks Erzielung einer besonders hohen Temperatur wird dem Argongas Wasserstoffgas beigemischt, wodurch die zugeführte Wärmemenge wesentlich anwächst, denn einerseits wird dadurch die bei Verwendung von reinem Argongas sehr niedrige Spannung erhöht, andererseits spaltet sich der Wasserstoff im Anfangsabschnitt des Lichtbogens in atomaren Zustand, nimmt hier

bei Wärme auf, um beim Auftreffen auf das Werkstück sich wieder zu molekularem H_2 zu vereinigen und die aufgenommene Wärme abzugeben. (Weitere Vorzüge der Mischung mit Wasserstoff: Verbesserung der Schnittflächeneigenschaften und Verbilligung des Schutzgases).

3. Die hohe Gasströmungsgeschwindigkeit wird durch das Hindurchleiten einer großen Menge Gasgemisches (25—40 l/min) durch die enge Düsenöffnung erreicht, woraus sich eine Strömungsgeschwindigkeit von 80—100 m/min ergibt.

4. Zur Lichtbogenzündung verwendete man bei LINDE den in Bild 5 dargestellten Hilfsstromkreis. Im wesentlichen besteht dieses Verfahren darin, daß man beim Beginn der Schneidarbeit an den Hilfsstromkreis eine Spannung von 100 V legt, die durch einen im Hilfsstromkreis befindlichen Widerstand einen Strom von 15 A strömen läßt, der den sogenannten Führungsbogen zwischen Brennkopf und Elektrode zündet. (Diese Zündung ist wegen der geringen Stromstärke für die Düse ungefährlich). Beim Annähern des Brennkopfes an das Werkstück springt der Lichtbogen unter dem Einfluß des größeren Spannungsunterschiedes auf das Werkstück über, und im Hauptstromkreis beginnt der 300 A-Strom zu fließen. Der Hilfsstromkreis muß natürlich im gleichen Augenblick durch ein Relais abgeschaltet werden. Die Verlässlichkeit der Lichtbogenzündung trachtet man durch deren Auslösung in reiner Argon-Atmosphäre sowie durch die verhältnismäßig hohe Zündspannung von 100 V sicherzustellen. WITTING superponierte überdies dem im Hilfsstromkreis zur Lichtbogenzündung fließenden Gleichstrom noch hochfrequenten Wechselstrom.

Versuchsanordnung

Die Versuche verfolgten ein dreifaches Ziel, u. zw.

1. Untersuchung der Eigenheiten des Verfahrens im Betrieb,
2. Untersuchung der durch Änderung der Schneidefaktoren erzielbaren Beeinflussung von Ausführung und Eigenschaft des Schnittes,
3. stichprobenweise Überprüfung der von den erwähnten Forschern mitgeteilten zahlenmäßigen Angaben.

Die Versuchseinrichtung ist aus Bild 6. ersichtlich. Sie stimmt in großen Zügen mit den im Schrifttum auffindbaren Einrichtungen überein und besteht aus folgenden wichtigeren Teilen:

- a) Als Stromquelle zwei in Reihe geschaltete Siemens-Schweißgeneratoren

(Zündspannung	110 V
Betriebsspannung	50—75 V
max. Belastbarkeit	320 A)

- b) elektrische Meßgeräte: Spannungs- und Strommesser.
- c) Gasanlage, aus handelsüblichen Argongas- und Wasserstoffflaschen bestehend. Die Mischung der Gase erfolgte mit Hilfe des Mischschafes eines Schweißbrenners, dessen Mischkopf zuvor entfernt worden war.
- d) Gasmengenmesser: je ein U-Rohr-Differentialmanometer in der Argongas- und in der Wasserstoffleitung.
- e) Schneidzange: handelsüblicher ARGONARC Schneidzange, \varnothing 3 mm, mit Wolframelektrode.
- f) Düse: Die wassergekühlte Düse wurde den im Schrifttum gefundenen Anweisungen gemäß angefertigt, mit der Abweichung, daß auch bei einer

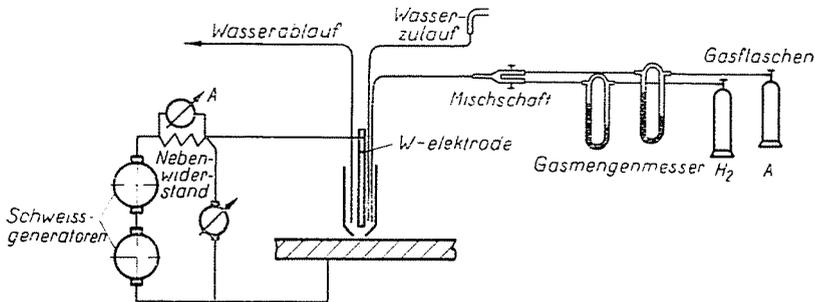


Bild 6. Schema der Versuchseinrichtung

Elektrode von 3 mm Durchmesser eine Düsenöffnung von 4 mm Durchmesser verwendet wurde, weil damit die Gefahr des Auftretens von Doppel-Lichtbogen wesentlich herabgesetzt werden konnte.

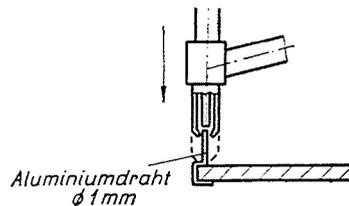


Bild 7. Schema der Lichtbogen-Zündungsmethode bei den Versuchen

Das Schneiden wurde in allen Fällen von Hand vorgenommen, wobei die Schneidzange zur Sicherung der gleichbleibenden Lichtbogenlänge stets auf einen Führungswagen aufgebaut war.

Hier muß auch von der bei den Versuchen angewandten Art der Lichtbogenzündung gesprochen werden. Da das im Schrifttum beschriebene Verfahren der Lichtbogenzündung den Einsatz kostspieliger elektrischer Hilfseinrichtungen erforderlich gemacht hätte, wurde — ausschließlich für Ver-

suchszwecke — ein billigeres Verfahren ausgearbeitet. Es bestand darin, daß am Ausgangspunkt des Schnittes mit Hilfe eines Klobens ein im Durchmesser 1 mm starkes Aluminiumdrahtstück befestigt wurde, mit dem durch vorsichtiges Annähern der Schneidzange (Bild 7) ein direkter Kontakt hergestellt wurde. Das Drahtstück brannte unter der Wirkung des Lichtbogens sofort ab und dieser sprang auf das Werkstück über. Die Methode erwies sich als schnell und verläßlich, doch verkürzt sie die Lebensdauer der Düse sehr.

Eigenheiten des Verfahrens im Betrieb

Obzwar die mit dem Verfahren gemachten Betriebserfahrungen erst nach Abschluß der ganzen Versuchsreihe zu übersehen und auszuwerten waren, scheint es doch zweckmäßig, sie in der Einleitung vorwegzunehmen.

Das ARGONARC-Verfahren ermöglicht ein außerordentlich rasches und qualitativ gutes Schneiden. Die Schnittfläche ist, ähnlich der beim Brennschneiden von Stahl erzielten, hinreichend glatt. Das Verfahren gestattet ein Schneiden jeder beliebigen Kurvenlinie entlang, und durch entsprechendes Schrägstellen der Schneidzange läßt sich auch der Winkel der Schnittfläche regeln.

Die Schnittgeschwindigkeit in der Minute erreicht Größenwerte von Metern, weshalb es beim Schneiden von Hand sehr schwer ist, den Vorschub gleichmäßig und mit dem bestgeeigneten Wert einzuhalten, was die Qualität des Schnittes und die genaue Einhaltung der Schneidfugenlinie beeinträchtigt.

Nachteilig für das Verfahren wirkt sich seine außerordentliche Empfindlichkeit auf die richtige Einstellung der Schneideparameter aus. Da der Vorgang im Grunde genommen ein Schmelzen darstellt, verliert die Arbeit selbst bei geringfügigen Abweichungen von den optimalen Parametern den Charakter des Schneidens, und man erhält eine ungleichkantige, breite Schneidfuge mit grober Schnittfläche, an deren unterem Teil die Schmelze (der sogenannte Bart) haften bleibt.

Ein Bart zeigt sich meist auch bei richtiger Einstellung, doch besteht er in diesem Fall nicht aus Schmelze, sondern aus reinem Aluminiumoxyd und kann auch mit der Hand leicht abgebröckelt werden. Da die Schmelze aus der Schneidfuge durch den Gasstrom ausgetrieben wird, kann bei Verwendung sehr großer Gasmengen die kinetische Energie des Gases so hoch ansteigen, daß der Bart vollkommen verschwindet. Ein solches Verfahren ist aber überaus kostspielig, und es erweist sich als wesentlich billiger, das anhaftende Oxyd nach dem Schneiden zu entfernen.

Das richtig durchgeführte Lichtbogen-Schneiden ist übrigens von einem charakteristischen zischenden Geräusch begleitet. Ein im Gasschneiden bewandelter Arbeiter wird sich mithin die Technologie des ARGONARC-Verfahrens leicht aneignen.

Was die Betriebssicherheit anbelangt, ist die Düse der empfindlichste Teil der Einrichtung. Der von WITTING erwähnte Doppel-Lichtbogen tritt sehr häufig auf, was zur unbedingten Zerstörung der Düse führt. Im Zuge der Versuche kam es häufig vor, daß sich die Düsenöffnung vergrößerte oder eine Verzerrung ihrer Ringform auftrat, in deren Folge sich die Schnittqualität verschlechterte, bis schließlich die Düse durchlöchert war. (Zur Häufigkeit der Störungen trug aber zweifellos auch die primitive Methode der Lichtbogenzündung bei.)

Unter Berücksichtigung all dieser Umstände müssen im Falle einer industriellen Anwendung folgende Momente bevorzugt beachtet werden :

1. Die mittige Einstellung der Elektrode.
2. Die Einstellung der richtigen Lichtbogenlänge.
3. Sorgfältige elektrische Isolierung der Düse und tunlichste Ausschließung jeder Kurzschlußmöglichkeit.
4. Sorgfältige Trockenhaltung der Düse (ebenfalls im Interesse der Verhinderung von Kurzschlüssen).
5. Vermeidung der Anwendung übergroßer Stromstärken, zu geringer Gasmengen oder eines H_2 -armen Gemisches.

Eines der charakteristischen Erfordernisse des ARGONARC-Verfahrens ist die große Stromdichte, die eine große Stromstärke und einen kleinen Elektrodendurchmesser voraussetzt, was andererseits unvermeidlich einen hohen Elektrodenverbrauch nach sich zieht. Während der Versuche zeigte sich stellenweise ein Abschmelzen von 1,2 mm je Schnittlängen-Meter bei einer Stromstärke von 240 A und bei Verwendung einer Elektrode von 3 mm \varnothing . Der hohe Elektrodenverbrauch scheint unvermeidlich zu sein, doch läßt er sich durch Wahl der geeigneten Stromwerte und durch gründliche Luftisolation der Gasdüse jedenfalls herabsetzen.

Einfluß der Schneidparameter auf Ausführung und Qualität des Verfahrens

Die diesbezüglichen Versuche wurden an einer 5 mm starken Platte aus legiertem Aluminium durchgeführt. Die Legierung hatte folgende Zusammensetzung :

Si = 0,25%, Fe = 0,43%, Cu = 0,009%, Mg = 1,46%, Mn = 0,05%

Die Versuche erstreckten sich auf die Untersuchung folgender Faktoren :

Bogenlänge,

Stromstärke.

Gasmenge,

Zusammensetzung des Gemisches,

Geschwindigkeit,

Stromdichte (Elektrodendurchmesser).

In Abhängigkeit von diesen Faktoren als unabhängigen Veränderlichen wurden untersucht :

erzielbare Höchstgeschwindigkeit,
Eigenschaft der Schnittfläche,
Größe und Eigenschaft des Bartes,
Breite und Gestalt der Schneidfuge,
Elektrodenverbrauch,
Betriebssicherheit.

Jeder der Parameter war Gegenstand eigener Versuche, wobei die übrigen auf konstantem Wert gehalten wurden.

Die Versuche führten zu folgenden Ergebnissen :

1. Lichtbogenlänge

Für die Bogenlänge gilt $c = a + b$ (Bild 3)
Schriftumsangaben zufolge ist

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

Den Versuchen gemäß ist die richtige Wahl der Komponente »b« der Lichtbogenlänge von entscheidender Bedeutung. Ist »b« zu groß, so entsteht ein starker Bart, bewegt sich dagegen die Düse zu nahe am Werkstück, dann kann die aufspritzende Schmelze zu Kurzschlüssen führen. Zur Bestimmung

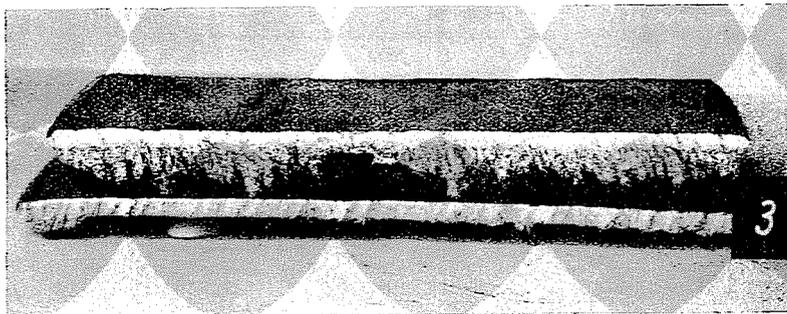


Bild 3. Mit verschiedenen »b«-Werten erzielte Schnittflächen, oben: $b = 9 \text{ mm}$, unten: $b = 6 \text{ mm}$; $b =$ Abstand der unteren Düsenkante vom Werkstück

der richtigen Lichtbogenlänge wurden bei einer Stromstärke von 240 A, einer Spannung von 65 V und bei einem Gasgemisch von 20 l/min Ar + 12 l/min H₂ Messungen durchgeführt. Der im Schrifttum empfohlene Wert von $b = 6 \text{ mm}$ wurde als entsprechend befunden und aus diesem Grunde im Zuge der weiteren Versuche konstant gehalten. Der Elektrodenverbrauch hängt von der Lichtbogenlänge nicht in entscheidendem Maße ab.

Bild 8 veranschaulicht die Schnittflächen bei $b = 6 \text{ mm}$ und $b = 9 \text{ mm}$.

2. Stromstärke

Die Versuche wurden mit einer Elektrode von 3 mm Durchmesser und mit einem Gasgemisch von 24 l/min Ar + 8 l/min H₂ durchgeführt. Bei einer zwischen 50 und 65 V schwankenden Spannung wurde die Stromstärke von 300 A stufenweise auf 180 A herabgesetzt.

Den Beobachtungen gemäß ist der optimale Wert der Stromstärke im gegebenen Fall 240 A (zugehörige Spannung 65 V). Mit diesen Werten ließen sich sehr gute Schnittflächen mit wenig Bartansatz erzielen. Bei einer Schnittgeschwindigkeit von 0,3 m/min ergab sich eine Schneidfugenbreite von 6–7 mm.

Größere Stromstärken bewirkten sehr breite, unregelmäßige Schneidfugen und starke Schmelzhärte. Die Erklärung hierfür liegt darin, daß die

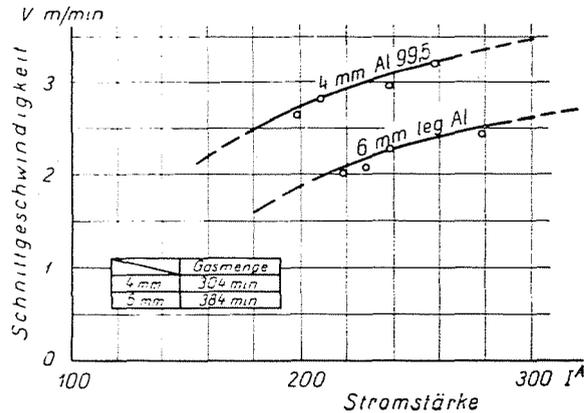


Bild 9. Geschwindigkeitswerte in Abhängigkeit von der Stromstärke (die voll ausgezeichnete Linie stellt den praktisch verwendbaren Abschnitt der Schaulinie dar)

große Stromstärke große Energiemengen zuführt, die eine größere Schnittgeschwindigkeit erfordern. Eine solche läßt sich beim Handschneiden nicht halten, so daß der Schnitt die Merkmale der kleinen Schnittgeschwindigkeit an sich trägt. (Siehe die Versuche bezüglich der Geschwindigkeit.) Überdies zeigt sich ein starker Elektrodenverbrauch und ein Anwachsen der Gefahr vom Doppel-Lichtbogen, da der Kupfermantel sich stark erhitzt, womit auch die Betriebssicherheit abnimmt.

Bei geringer Stromstärke vermindert sich die übertragene Wärmeenergie und die erzielbare maximale Schnittgeschwindigkeit sinkt stark ab. (Hier soll bemerkt werden, daß sich neuerdings Bestrebungen geltend machen, die — besonders bei starken Platten — erforderliche verhältnismäßig große Stromstärke auf Kosten der Schnittgeschwindigkeit zu vermindern.) Es entsteht ein starker schmelzartiger Bart und eine breite Schneidfuge. In Grenz-

fällen ist auch die Trennung der Platte unvollkommen. Den Verlauf der Schnittgeschwindigkeitslinie in Abhängigkeit von der Stromstärke zeigt das Schaubild in Bild 9.

3. Menge und Zusammensetzung des Gases

Die Versuche wurden mit Elektroden von 3 mm Durchmesser, bei einer Stromstärke von 240 A und bei einer Spannung von 65 V vorgenommen. Die Gasmenge wurde stufenweise von 40 l/min auf 24 l/min gedrosselt, wobei in jeder Stufe drei verschiedene Gaszusammensetzungen angewandt wurden :

- ca. 55% Ar + 45% H₂
- „ 66% Ar + 34% H₂
- „ 80% Ar + 20% H₂.

Hinsichtlich der Gasmenge wurde festgestellt : da dem Gas hier die Rolle zufällt, durch große Strömungsgeschwindigkeit die Schmelze aus der

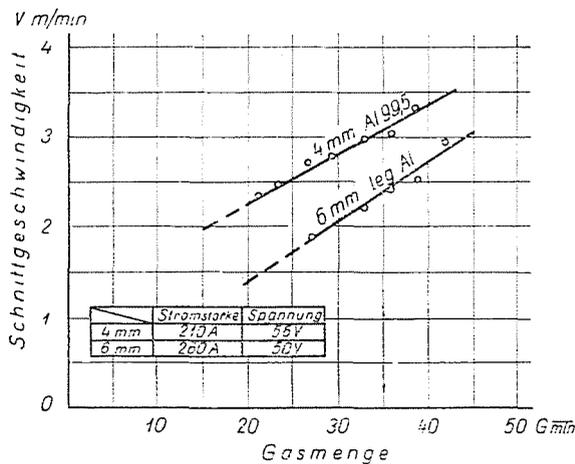


Bild 10. Geschwindigkeitswerte als Funktion der Gasmenge (die voll ausgezogene Linie stellt den praktisch verwendbaren Abschnitt der Schaulinie dar)

Schneidfuge auszuschlendern, ist der Gasmenge offenbar keine obere Grenze gesetzt, was durch die Versuche auch tatsächlich bestätigt wurde. Bei einer Gasmenge von 40 l/min war keinerlei Bartbildung zu beobachten, das Austragen der Schmelze war also vollkommen. Mit abnehmender Gasmenge zeigten sich stufenweise stärkere Bärte, die Qualität der Schnittfläche verschlechterte sich zusehends, und die Geschwindigkeit nahm etwa linear ab. (Die Änderung der Geschwindigkeit in Funktion der Gasmenge ist auf dem Diagramm der Bild 10 aufgetragen.) Bei geringen Gasmenge zeigt sich ein starker Elektrodenverbrauch und auch die Düse brennt leichter aus.

Die Eigenschaft der Bärte (Oxyd- oder Schmelzbärte) sowie die Schneid-fugenbreite blieb von der Gasmenge innerhalb der angegebenen Grenzen unbeeinflusst.

Bild 11 zeigt die Schnittflächen von Platten, die mit verschiedenen großen Gasmengen geschnitten wurden.

Hinsichtlich der Gaszusammensetzung erwies sich eine solche von 65% Ar + 35% H₂ als optimal. Eine größere H₂-Zuführung ergibt glattere

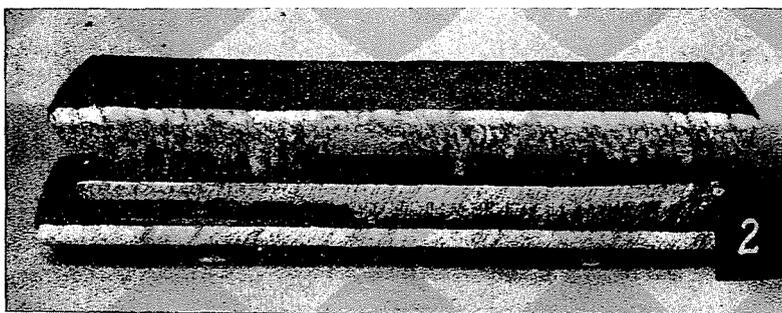


Bild 11. Mit unterschiedlichen Gasmengen geschnittene Platten, oberste Platte: wenig Gas (24 l/min), mittlere Platte: minimale, wirtschaftliche Gasmenge (30 l/min). Der leicht entfernbare Bart ist gut zu erkennen unterste, Platte: geeignete Gasmenge (40 l/min) (Stromstärke 240 A, Spannung 65 V, Gasgemisch 65% Ar + 35% H₂)

Schnittflächen, wogegen sich jedoch die Bartverhältnisse verschlechtern. Eine erwähnenswerte Geschwindigkeitszunahme erwies sich auch bei höherem Wasserstoffgehalt nicht als begründet.

Bemerkt sei schließlich, daß beim Arbeiten mit geringen Mengen wasserstoffreichen Gases Lichtbogen-Zündungsschwierigkeiten auftraten.

4. Geschwindigkeit

Die Versuche wurden mit 3 mm-Elektroden bei einer Stromstärke von 240 A, einer Spannung von 65 V und mit einem Gasgemisch von 22 l/min Ar + 11 l/min H₂ durchgeführt. Die Geschwindigkeit erhöhte sich stufenweise von 1,5 m/min bis 3,3 m/min.

Die Versuche ließen erkennen, daß die Schnittgeschwindigkeit ein Optimum besitzt, welches im gegebenen Fall bei 2,5 m/min lag. Sie ergab eine gute Schnittfläche und leicht abtrennbare, geringe Bärte.

Geringe Schnittgeschwindigkeit hinterließ breite Schneidfugen mit ungleichmäßigen Rändern und groben Schnittflächen bei starken Schmelzbärten. Zu rasche Schneidzangenführung trennt die Platten unvollkommen, wobei sich V-förmige Schweißfugen ergeben und die Schmelze an der Fugenwand haften bleibt.

Bild 12 zeigt die Schnittfläche verschiedener Platten, die mit unterschiedlicher Vorschubgeschwindigkeit geschnitten wurden.

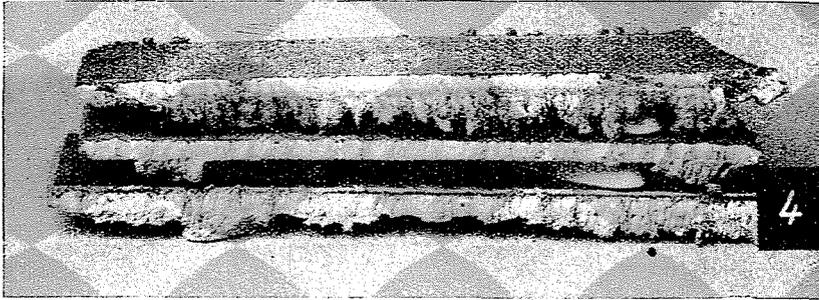


Bild 12. Mit unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten erzielte Schnittflächen. Von oben nach unten: zu langsam (1,8 m/min), mit richtiger Geschwindigkeit (2,5 m/min) und zu rasch (3,2 m/min) geschnittene Platten (Stromstärke 240 A, Spannung 65 V, Gasgemisch 22 l/min Ar + 11 l/min H₂)

5. Stromdichte (Elektroden Durchmesser)

Die Versuche erfolgten mit Elektroden von 3,0, 3,5, und 4,0 mm Durchmesser. Die Gaszusammensetzung blieb konstant 18 l/min Ar + 9 l/min H₂. Mit den einzelnen Elektroden wurde bei unterschiedlichen Stromstärken geschnitten und die maximal erzielbare Geschwindigkeit gemessen, wobei der Elektrodenverbrauch ständig beobachtet wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle III zusammengefaßt.

Die Aufstellung zeigt deutlich, daß eine unveränderte Stromstärke im Verein mit dünneren Elektroden — mit anderen Worten eine Steigerung der Stromdichte — die erzielbare maximale Geschwindigkeit erhöht, wogegen jedoch mit einem beträchtlichen Elektrodenverbrauch zu rechnen ist.

Bestimmung der optimalen Schneide-Kenn Daten für 4—6 mm starke Platten

Die Versuchsreihe wurde mit der stichprobenweisen Überprüfung der von ausländischen Autoren mitgeteilten zahlenmäßigen Angaben abgeschlossen. (Die ausländischen Versuchsergebnisse enthält Tabelle II.) Da mit der beschriebenen Versuchseinrichtung bloß eine maximale Stromstärke von 320 A gesichert werden konnte, mußte sich die Untersuchung auf dünne Platten beschränken.

Das Prüfmaterial bildeten 4 mm starke Platten aus 99,5%igem Aluminium und 6 mm starke Platten aus Aluminiumlegierung folgender Zusammensetzung: Si = 0,73%, Fe = 0,41%, Cu = 0,006%, Mg = 1,3%, Mn = 0,17%.

Die Versuche bestimmten die optimale Stromstärke mit der zugehörigen Spannung. Es wurde ferner jene minimale Gasmenge bestimmt, bei der sich

Tabelle III

Untersuchung der Änderung des Elektrodendurchmessers (des Stromdichte). Bezeichnung für den Elektrodenverbrauch:

O: Kein wahrnehmbarer Verbrauch
 A: Wahrnehmbarer Verbrauch
 B: Sehr starker Verbrauch

Elektroden- durchmesser mm	Stromstärke Amp.	Spannung Volt	Schnittgeschwin- digkeit m/min	Elektroden- verbrauch
4	260	50	3,0	O
4	220	52	2,5	O
4	180	55	1,77	O
4	150	52	1,52	O
3,5	250	55	2,5	A
3,5	210	52	2,5	A
3,5	175	55	2,15	O
3,5	165	52	2,15	O
3	250	53	3,0	B
3	220	52	2,74	B
3	175	52	2,5	A
3	160	55	2,4	O

Anmerkung: Plattenstärke = 5 mm.

keinerlei Bärte zeigten, und jene minimale wirtschaftliche Gasmenge, die zwar Bärte hinterläßt, deren Entfernung jedoch — da es sich um Oxydbärte handelt —, wesentlich unter dem Wert der durch die Gasmengenverminderung

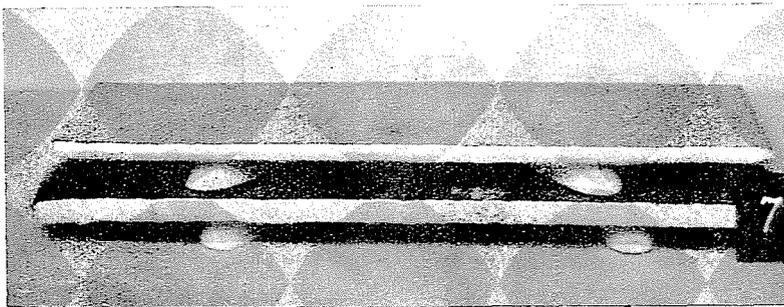


Bild 13. Schnittflächen an 4 und 6 mm starken, mit optimalen Schneideparametern geschnittenen Platten

erzielbaren Ersparnisse liegt. Gemessen wurden auch die erzielbaren maximalen Schnittgeschwindigkeiten für beide angewandte Gasmengen.

Die ganz genaue Ermittlung der Geschwindigkeit war nicht möglich, da die Versuche mit Handschneiden durchgeführt wurden. Die Schnitte erfolgten in einer Länge von 1 m, auf deren erstem, 30 cm langem Abschnitt der Weg des Lichtbogens durch ein dunkles Glas hindurch beobachtet wurde. Auf Grund unserer Beobachtungen wurde der Arbeiter zur Anwendung der tunlichst größten Geschwindigkeit angewiesen, und diese wurde sodann auf den restlichen 70 cm gemessen. Diese Methode kann selbstverständlich keine genauen Ergebnisse zeitigen, wie denn auch die Geschwindigkeit nicht bis zum Ende gleichmäßig blieb. Die mitgeteilten Geschwindigkeitsangaben sind aus diesem Grunde bloß Richtwerte.

Die Kennwerte für die 4 und 6 mm starken Platten enthält Tabelle IV, während Bild 13 die Schnittflächen von Platten darstellt, die mit den in der Tabelle angeführten Kennwerten geschnitten wurden.

Tabelle II

Von verschiedenen Autoren vorgeschlagene Schneideparameter für ARGONARC-Schneidarbeiten

Plattenstärke mm	Stromstärke Amp.	Spannung Volt	Gasmenge l/min	Schnittgeschwindigkeit m/min	Anmerkung	Autor
6	200	50	24	1,5	Handschneiden	
12	380	60	28	1,0	„	
19	300	65	33	0,65	„	
25	330	68	33	0,5	„	
32	350	73	33	0,5	„	
38	360	76	33	0,38	„	
6	380	70	28	7,5	Maschinenschneiden	
6	240	62	24	2,5	„	
12	400	65	28	3,8	„	Witting
12	280	62	28	1,9	„	1956
19	350	70	28	1,9	„	
19	280	70	28	1,5	„	
25	400	70	28	1,25	„	
25	330	70	28	0,9	„	
32	400	74	33	1,25	„	
32	330	74	33	0,5	„	
38	400	80	33	0,9	„	
38	360	76	33	0,5	„	
6,4	320	70	23,7	7,6	Maschinenschneiden	
12,7	320	75	28,4	3,2	„	Domke
19,0	320	75	33,2	1,9	„	1956
25,4	320	80	33,2	1,3	„	



Bild 14. Arbeiter beim Schneiden nach dem ARGONARC-Verfahren

Tabelle IV

Optimale Schneideparameter für das Schneiden von 4 und 6 mm Platten

Plattenstärke mm	Werkstoff	Stromstärke Amp.	Spannung Volt	Gasmenge l/min		Schneidgeschwindigkeit m/min	
				a	b	Va	Vb
4	Reinaluminium	210	55	24	40	2,5	3,35
6	Aluminiumleg.	260	50	33	42	2,25	3,00

Anmerkung : a = min. wirtschaftliche Gasmenge
 Va = der min. wirtsch. Gasmenge zugehörige Schnittgeschwindigkeit
 b = min. Gasmenge
 Vb = der min. Gasmenge zugehörige Schnittgeschwindigkeit.

Zusammenfassung

Das Aluminium-Lichtbogenschneiden unter Edelgasschutz mit Wolfram-Elektroden ist ein schnelles und produktives Verfahren zum Schneiden von reinem und legiertem Aluminium. Bei richtiger Wahl der Schneideparameter (Stromstärke, Gasmenge, Gaszusammensetzung, Schnittgeschwindigkeit, Lichtbogenlänge, Elektrodendurchmesser) erhält man eine glattwandige, scharfkantige Schneidfuge, die nur geringer Nachbearbeitung bedarf.

Grundsätzlich beruht das Verfahren auf dem Schmelzen des Metalls, welches durch den starken Gaststrom aus der Schneidfuge ausgeschleudert wird.

Die Versuche erstreckten sich auf 4, 5, 6 mm starke Platten aus reinem und legiertem Aluminium sowie auf den Einfluß der erwähnten Schneideparameter und schließlich auf die allgemeinen Eigenheiten des Betriebes.

An ungarischem Aluminiumwerkstoff wurden mit der hier hergestellten Einrichtung und mit ungarischem Gas die zahlenmäßigen Angaben ausländischer Forscher reproduziert

Schrifttum

1. HULL, W. G. : Use of Gas-Shielded Arc Process for Cutting Nonferrous Metals, *Welding and Metal Fabrication*, **22**, 188 (1954).
2. WARREN, W. G. : Electric Arc Cutting of Aluminium, *Ibid.* **21**, 88 (1953).
3. BABCOCK, R. S. : Inert-Gas Metal-Arc-Cutting, *Welding Journal* **34**, 309 (1955).
4. ROPER, F. H. : Thermal Cutting of Aluminium, Stainless Steel and High-Ni Alloys, *Ibid.* **35** 915 (1956).
5. Linde Unveils Inert-Gas Tungsten-Arc Cutting of Aluminium, *Welding Journal* **34**, 1097, (1955).
6. OYLER, G. W.—O'BRIEN, R. L.—MAIER, J. : Constricted Tungsten-Arc Cutting of Aluminium.
7. WITTING, E. : Argonarc-Brennschneiden von Nicht-Eisenmetallen, *Schweißen und Schneiden* **9**, 391 (1957).
8. DOMKE, K. : Schutzgas-Brennschneiden von Aluminium, *Aluminium* **32**, 344 (1956).
9. MANTEL, W.—WOLFF, L. : Die Schweiß- und Schneidverarbeitungen von Aluminium mit edelgasabgeschirmten Lichtbögen, *Aluminium* **34**, 36 (1958).

L. GAJDOS : Ganz—Mávag mozdony-, vagon- és gépgyár, Budapest,
VIII. Könyves Kálmán körút 76. Ungarn.