

# Schutzgasauftragschweißen in der Einzelteilinstandsetzung

Ing. G. Kastner, KDT

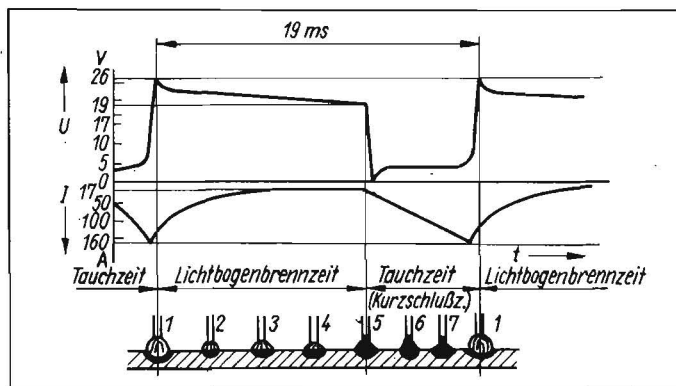
VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Wissenschaftlich-technisches Zentrum der landtechnischen Instandhaltung

## 1. Einige Grundlagen der Bauteil-instandsetzung

Durch Auftragschweißen (AS) von dynamisch hochbeanspruchten Einzelteilen (ET) wird bekanntlich die Dauerfestigkeit gemindert. Dagegen wird die Festigkeit des durch starken Verschleiß geschwächten Querschnitts eines ET wieder angehoben. AS-Schichten haben also in bestimmten Fällen eine festigkeitserhöhende Wirkung und zugleich eine tribologische Funktion, wenn Zusatzwerkstoffe verwendet werden, die härtestoffbildende Bestandteile (z. B. Karbid) haben. Andere Auftragverfahren, wie z. B. die galvanische Cr- und Fe-Abscheidung, die Plastbeschichtung und das thermische Spritzen, haben dagegen nur eine tribologische Aufgabe zu erfüllen. Durch das mehrmalige AS wird der Vergütungs- und Härtezustand der Randzone zunehmend zerstört [1], wenn kein hartes Schweißgut beim AS erreicht bzw. das Schweißgut anschließend nicht gehärtet wird.

Unter Beachtung der Dauerfestigkeit wird das beste Ergebnis dann erzielt, wenn ein Zusatzwerkstoff mit einer geringen Stromstärke verschweißt wird, der die geforderte Härte nach dem AS ergibt, oder wenn ein anschließendes Härten erfolgt. Selbsthärtende Zusatzwerkstoffe machen z. B. den Einsatz von Energie für den Schweißprozeß nur an der entsprechenden Beschichtungsstelle erforderlich, eine Wärmebehandlung des gesamten Einzelteils ist in bestimmten Fällen nicht notwendig.

Bild 1  
Kurzlichtbogenzyklus [3]



## 2. Merkmale der Verfahrensauswahl

Um Schäden (Risse, unerwünschte Gefügeveränderungen in den Bereichen der Aufarbeitungsstelle und der benachbarten Stellen) beim AS zu vermeiden, ist der jeweilige Beanspruchungsfall erst zu analysieren und anschließend anhand von festgelegten Kriterien das entsprechende Auftragverfahren (AS oder andere Verfahren) auszuwählen [2]. Die vom Hersteller festgelegte Härte bzw. Verschleißfestigkeit der Aufarbeitungsstelle muß im Normalfall durch die Aufarbeitungstechnologie wieder erreicht werden. Wenn das durch das AS nicht möglich ist, muß ein anderes Instandsetzungsverfahren festgelegt werden. Einzelteile der Landtechnik bestehen meist aus folgenden Werkstoffen:

- unlegierte und niedriglegierte Einsatz- und Vergütungsstähle
- allgemeine Baustähle
- korrosionsträge, verschleißfeste und hochlegierte Stähle
- Gußeisen und Aluminium-Gußlegierung.

Bei den Bauteilen ist zu prüfen, welcher konstruktiv festgelegte Wärmebehandlungszustand vorliegt, z. B.

- normalisiertes Gefüge
- Vergütungsgefüge (Zugfestigkeit  $P_m = 700 \dots 1\ 200$  MPa)
- gehärtet auf 35 bis 60 HRC.

Mit der Zusatzwerkstoffauswahl ist zu prüfen, ob die gestellten Anforderungen, z. B. an die Härte, erfüllt werden. Zur Entscheidungsfindung sind auch folgende Kriterien heranzuziehen:

- Ökonomie der Einzelteilinstandsetzung (ETI), z. B. Vergleich zwischen Neu- und Instandsetzungsteil
- Durchführbarkeit der ETI im eigenen Betrieb oder auf Kooperationsbasis
- Vorhandensein der erforderlichen Qualifikation (Facharbeiter, Technologie) sowie der Zulassung als Schweißbetrieb von der zuständigen Zulassungskommission
- erforderliche Investitionen, Termine der Realisierbarkeit
- Organisation, Zirkulation, Perspektive der ETI
- Erfahrungsaustausch mit Anwendern und Konsultation in wissenschaftlichen Einrichtungen.

## 3. Schutzgasschweißverfahren (SG-Schweißverfahren)

Neben der Anwendung der Verfahren

- Elektroden-Handschweißen
  - Gasschweißen
  - Flampulver-Auftragschweißen
  - Unterpulver-Auftragschweißen
  - Pulverdraht-Auftragschweißen
  - Widerstands-Auftragschweißen
- kommen vor allem SG-Schweißverfahren beim Verbindungs- und Auftragschweißen in der ETI zum Einsatz. Alle Betriebe, die Einzelteile aus schweißempfindlichen Stählen durch AS instand setzen, sind von der Zulassungskommission für Schweißbetriebe des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft (MLFN) zugelassen. Die Schweißtechnologien werden in den Produktionsbetrieben von Schweißverantwortlichen (Qualifikation: Schweißingenieur, Schweißtechnologe oder Schweißmeister) überwacht. Die Schweißer haben gemäß Standard TGL 2847 eine dem eingesetzten Verfahren entsprechende Prüfung abgelegt. Diese Regelung ist in der spezialisierten und zentralen ETI der Landtechnik der DDR durchgesetzt.

### 3.1. Metall-Aktivgasschweißen unter $CO_2$ (MAG-S)

Der Forderung eines geringen Wärmeeintrags kommt besonders das Kurzlichtbogen-Auftragschweißen (Bild 1) nach. Bei dem Kurzlichtbogenzyklus [3] entsteht eine Lichtbogenbrennzeit (Pos. 1 bis 4) und eine Tauchzeit (Pos. 5 bis 7). In der Tauchzeit findet durch den Großtropfen-Werkstoffübergang die Kurzschlußbildung statt. Während dieser Zeit fallen Strom und Spannung fast auf Null ab, dadurch fließt kein Strom, und es erfolgt keine Wärmeübertragung. Die wichtigsten Charakteristiken des Kurzlichtbogen-Auftragschweißens sind:

- Stromquelle mit horizontaler Kennlinie
- Schweißspannung max. 22 V
- Drahtdurchmesser max. 1,2 mm
- Schweißstromstärke max. 180 A.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Auftragen relativ dünner Schichten
  - geringer Einbrand, geringer Wärmeeintrag und damit minimaler Verzug der ET und minimaler Abbrand von Legierungselementen
  - gutes Aussehen der Naht
  - Hartauftragschweißen durch große Abkühlgeschwindigkeit.
- Günstige Anwendung bei:

Fortsetzung von Seite 146

- [5] Stibbe, J.: Erweiterung der Einzelteilinstandsetzung durch Weiterentwicklung der Verfahren. agrartechnik, Berlin 28 (1978) 1, S. 33-38.
- [6] Kleinpeter, K.; Kastner, G.: Verfahrenskennblatt Auftrags-, Reparaturschweißen und Lichtbogenmetallspritzen. Prüf- und Versuchsbetrieb (PVB) Charlottenthal, Dokumentation 1980.
- [7] Puttscher, R.; Sugge, R.: Verfahrenskennblätter KGL-Technik/Wirbelsintern/Streuen von Plastpulver. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1981.
- [8] Forkel, E.; Hübner, H.: Verfahrenskennblatt galvanisches Eisenauftragen mittels Gleichstrom. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1976.
- [9] Scharnweber, H.; Kastner, G.; Kulwatz, H.: Rahmentechnologie MAG-Schweißen. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1981.
- [10] Kastner, G.: Rahmentechnologien Widerstands-Rollnaht-Beschichten (WRB) und mechanische Bearbeitung. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1982.
- [11] Kleinpeter, K.: Rahmentechnologie Lichtbogenmetallspritzen. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1982.
- [12] Krauß, J.; Scharnweber, H.: Typenarbeitsplatz MAG-Auftragschweißen. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1981.
- [13] Krauß, J.; Kastner, G.: Typenarbeitsplatz Strahlen und thermisches Spritzen. PVB Charlottenthal, Dokumentation 1982.

A 3868

Tafel 1. Schweißdrähte für die Instandsetzung von Einzelteilen in der Kraftfahrzeug- und Landtechnik (Auftragschweißen von Stahl unter Schutzgas – TGL 7253/02)

Ifd. Nr.	Schweißdraht	chemische Zusammensetzung in % (P und S je max. 0,03)								Schweißverfahren	Schweißguthärte HV	Anwendungsbeispiele
		C	Si	Mn	Cr	Ni max.	Ti	Al	Cu max.			
1	10MnSi6	0,06 ... 0,1	0,6 ... 0,8	1,4 ... 1,7	–	–	–	0,05	–	MAG	230	1 bis 9: Gewinde, Festsitze, Dichtringlaufflächen, ungehärtete Gleitlager, ungehärtete Stellen, allgemeine Baustähle, Einsatz- und Vergütungsstähle 6: Nockenwellen aus C 45 mit anschließender induktiver Härtung
2	10MnSi8	0,06 ... 0,12	0,8 ... 1,0	1,7 ... 2,1	–	–	–	0,05	–	MAG	200	
3	20MnCrNi7	0,15 ... 0,25	0,3 ... 0,5	1,4 ... 1,8	0,3 ... 0,5	0,2 ... 0,4	–	–	–	MAG	200	
4	30MnCrTi5	0,25 ... 0,35	0,15 ... 0,35	1,0 ... 1,3	0,8 ... 1,0	–	0,15 ... 0,3	0,1	–	MAG	250	
5	25CrMnTi8	0,2 ... 0,3	0,6 ... 0,8	1,4 ... 1,7	2,0 ... 2,3	–	0,15 ... 0,3	–	–	MAG	350	
6	50MnCrTi8	0,45 ... 0,55	0,2 ... 0,45	0,9 ... 1,2	0,8 ... 1,0	0,3	0,15 ... 0,3	0,1	0,25	MAG	300	
7	70MnCrTi8	0,65 ... 0,75	0,2 ... 0,45	1,8 ... 2,2	0,9 ... 1,2	0,3	0,15 ... 0,3	0,1	0,25	MAG	350	8: gehärtete Keilwellenprofile und Nocken 9: gehärtete Keilwellenprofile, Gleitlager
8	110MnCrTi8	1,0 ... 1,2	0,2 ... 0,45	1,8 ... 2,2	1,7 ... 1,9	0,3	0,15 ... 0,3	0,1	0,25	WIG	550	
9	45CrSi34	0,4 ... 0,5	3,0 ... 3,5	0,3 ... 0,5	8,0 ... 9,0	–	–	–	–	WIG	650	

– kleineren ET (z. B. Zapfen, Getriebewellen)  
 – ET mit geringer Abnutzung (z. B. Fest- und Gleitlager, Gewinde)  
 – ET, deren aufarbeitungsbenachbarte Bereiche wichtige Funktionsstellen (z. B. gehärtete Verzahnung) und demzufolge empfindlich gegenüber Wärme oder Verzug sind.

Zum AS werden die Zusatzwerkstoffe nach Standard TGL 7253/02 eingesetzt (Tafel 1). Derzeit werden in der DDR die Drähte 1 bis 4 und 6 hergestellt. Die Drähte 1 bis 4 kommen vor allem zur Anwendung für das AS von  
 – Gewinden  
 – Fest- und Preßsitzen (z. B. Wälzlagersitze)  
 – ungehärteten Stellen (z. B. Dichtringlaufflächen).

Für das Verbindungsschweißen (z. B. Ersetzen von Verschleißstellen durch Anschweißstücke) sind die Drähte 1 und 2 vorgesehen.

Gehärtete Stellen (z. B. Gleitlager, Keilwellen- und Zahnwellenprofile) werden mit den Drähten 4 bis 6 aufgetragen, wenn eine nachfolgende Wärmebehandlung durch Härten (z. B. Induktionshärten) vorgesehen ist. Die importierten Drähte 8 und 9 werden eingesetzt, wenn gehärtete ET (z. B. Keilwellenprofile und Gleitlager) ohne anschließendes Härten (Hart-AS) aufgetragen werden. Als technologische Meßwerte bzw. Erfahrungswerte beim MAG-AS haben sich die Angaben nach Tafel 2 bewährt. Die Erwärmung beim AS erreicht je nach Größe der Bauteile Werte von 250 bis 600 °C. Die Anwendung von Mischgasen (CO<sub>2</sub>, Ar) hat sich beim AS von Einsatz- und Vergütungsstählen, bedingt

durch den zunehmenden Porenanteil, nicht bewährt.

Die ET werden meist an den Schweißstellen gereinigt (abgebürstet). Ein Vorschleifen oder -drehen erfolgt nur, wenn die Stellen stark angerostet sind oder hart sein müssen. Im letzteren Fall ersetzt die Hartauftragschicht das für das Neuteil konstruktiv vorgesehene Vergütungs- bzw. Härtegefüge.

An schweißtechnischen Ausrüstungen werden eingesetzt:

– programmgesteuerte MAG-Auftragschweißmaschinen, z. B. SM 05-2/K aus der Produktion des VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, die in der spezialisierten und zentralen ETI aufgrund folgender Vorteile angewendet werden:

- Auslastung in mehreren Schichten in der Serienfertigung
- Bedienung von mehreren Maschinen möglich
- für Rundum- und/oder Längsaufträgen geeignet
- Rüstzeit  $t_A \approx 20 \dots 30$  min.

Die Kosten sind aber relativ hoch. Die Steuerung dieser Anlage erfolgt elektrohydraulisch. Die Begrenzung der Auftragschweißlängen erfolgt mit Hilfe eines Mikrotasters. Durch die Ablaufsteuerung erfolgt der nach Programm vorgegebene Arbeitsgang, z. B. AS, von mehreren Stellen automatisch. Die Auswahl der Schweißprogramme richtet sich nach dem Teilesortiment. Eine Handsteuerung ist möglich. Die Maschine ist mit zwei Schweißbrennern ausrüstbar.

– einfache Drehvorrichtungen oder auch umgebaute Drehmaschine in Verbindung

mit handelsüblichen MAG-Hand-Schweißgeräten, wobei der Schweißbrenner im Support eingespannt wird.

Merkmale:

- Auslastung nach Bedarf bei Anwendung in der Einzelfertigung
- Bedienung einer Anlage durch jeweils einen Schweißer
- für Rundumaufträgen geeignet
- Rüstzeit  $t_A \approx 5$  min
- Anschaffungskosten gering.

### 3.2. Metall-Inertgasschweißen (MIG-S)

Die Anwendung des MIG-Schweißens unter Argon bei der ETI wird gegenwärtig vorbereitet. Sie ist vor allem beim Verbindungs- und Auftragschweißen von Aluminium-Gußteilen mit den Drähten des Durchmessers 1,6 mm nach Standard TGL 14908/07 (SAISI 5 und SAISI 12 sowie AlMg 5) möglich.

Das maschinelle Auftragschweißen von rotationssymmetrischen Stellen (z. B. Bohrungen in Gehäusen, Flansche innen und außen) bringt gegenüber dem Handschweißen eine Steigerung der Arbeitsproduktivität auf rd. 300 %.

Zur Vermeidung von Poren bzw. Instabilitäten des Lichtbogens muß die Schweißstelle an der Oberfläche und im Gefüge gründlich sauber sein. Dazu mögliche Vorbehandlungs- oder Reinigungsverfahren sind:

- Abdrehen oder Abfräsen des verschmutzten Gefüges
- Tempern (Ausschwitzen) des Gefüges durch eine Glühbehandlung von 300 bis 400 °C bei 3 bis 4 h Haltezeit
- Lagerung der ET in Perchloräthylen oder Trichloräthylen über rd. 8 bis 10 h.

Geschweißt wird mit Gleichstrom, der zur Vermeidung von Poren durch einen impulsmodulierten Strom überlagert wird (Bild 2). Die Impulse können sinus- oder rechteckförmig sein. In der Impulspause hält nur ein geringer Grundstrom den Lichtbogen aufrecht, der das Verschmelzen der Metalltropfen bewirkt. Dagegen verursacht die Impulsphase infolge der momentan zunehmenden axialen Lichtbogenkraft ein Ablösen und Übertragen des Tropfens zum Schmelzbad. Dabei wird der erwünschte axiale sprühende Werkstoffübergang erzielt. Der arithmetische bzw. quadratische Mittelwert bzw. Effektivwert

technologische Meßwerte		spiralförmig		in Längsrichtung 1,2 mm
		Schweißdrahtdurchmesser 0,8 mm	1,2 mm	
Stromstärke I	A	50 ... 80	90 ... 120	90 ... 100
Spannung U	V	16 ... 18	18 ... 20	18 ... 19
Schweißgeschwindigkeit $v_{schw}$	m/min	0,3 ... 0,6	0,3 ... 0,9	1,7 ... 2
Schweißvorschub s Drahtvorschubgeschwindigkeit $v_{dr}$	mm/U	2 ... 3	2,5 ... 3,5	–
	m/min	1,6 ... 5,2	1,8 ... 3,8	0,48 ... 0,60

Tafel 2  
Erfahrungswerte beim Auftragschweißen von Traktoren- und Kraftfahrzeugteilen

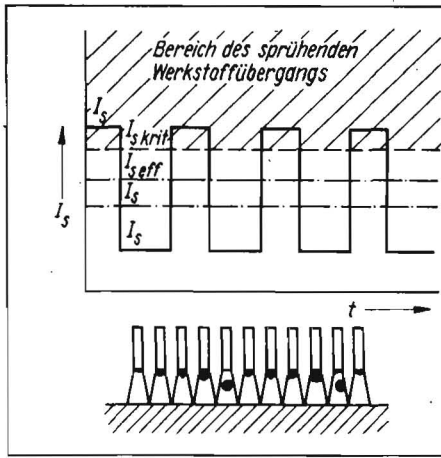


Bild 2. Tropfenübergang beim MIG-Impulsschweißen [4]

des Schweißstroms kann geringer als beim Gleichstrom sein. Im Lichtbogen wirken auf den flüssigen Metalltropfen vor allem elektromagnetische Kräfte, die dem Quadrat des Schweißstroms proportional sind. Sie verursachen einen mit der Impulsfrequenz synchronen Werkstoffübergang und damit eine direkte Steuerung des Abschmelzverhaltens. [4] Zu verwendende Geräte sind der Schweißgleichrichter RGS 315 (auch für das MAG-S) in Verbindung mit dem Impulsschweißgleichrichter RGI 250 oder der Schweißgleichrichter GSI 400, der beide Wirkprinzipien in sich vereinigt.

Dem relativ großen Verzug, besonders beim Schweißen großer Einzelteile (Gehäuse), kann wie folgt entgegengewirkt werden:

- beim Verbindungsschweißen z. B. durch geeignete Vorspannung
- Vorwärmen auf 150 bis 250 °C
- genügend großes Aufmaß für die spanende Bearbeitung
- langsame Abkühlung
- schmale Nähte und große Schweißgeschwindigkeit wählen.

Die in Tafel 3 dargestellten technologischen Meßwerte und Parameter haben sich bewährt. Meist werden die gleichen Ausrüstungen wie für das MAG-Auftragschweißen verwendet, wobei lediglich ein spezieller Schweißbrenner (mit Wasserkühlung) für das Schweißen von Aluminiumdraht eingesetzt werden muß.

### 3.3. Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-S)

Das WIG-Schweißen ist ein handwerkliches Verfahren, das vorwiegend eingesetzt wird für

- Behebung von Riß-, Bruch- und Ver-

Tafel 3. Technologische Meßwerte und Parameter beim MIG-Auftragschweißen des Einzelteils „hinteres Lagerschild“ (Aluminium-Gußlegierung) des Motors FD 22 (Geräteträger RS 09)

- Schweißgleichrichter RGS 315 und Impulsschweißgleichrichter RGI 250	
- Grundwerte $I_c = 30$ A, $U_c = 20$ V	
- Impulsweite $I_i = 140$ A, $U_i = 30$ V	
- Drahtvorschubgeschwindigkeit	$v_{Dr} = 6$ m/min
- Schweißgeschwindigkeit	$v_{schw} = 0,56$ m/min
- Argonverbrauch	16 l/min
- Supportvorschub	$s = 4$ mm/U
- Schweißdraht S Al Si 12 ( $\varnothing 1,6$ mm), Polung +	GK - Al Si 10
- Grundwerkstoff	MSH 6
- Steuergerät	BE ZIS 714/793
- Schweißbrenner	Typ UPS-5 (ČSSR)
- Drehvorrichtung	

schleißschäden an figurellen Teilen (z. B. Gehäuse, Lagerblöcke, Gabeln) aus Aluminium-Gußlegierung und Aluminium-Knetlegierung

- Aufarbeitung von Bauteilen aus Stahl und Gußeisen (z. B. Nockenwellen, Kugelbahnen)
- Schweißen von Einzelteilen aus hochlegierten Stählen (z. B. Teile von Milchanlagen, Anlagenteile der Nahrungsgüterwirtschaft).

Am meisten verbreitet und unentbehrlich ist das WIG-Schweißen für das Reparaturschweißen von Einzelteilen (besonders Gehäuse) aus Aluminium-Gußlegierung. Die Werkstoffpartner entsprechen denen des MIG-Schweißens.

Für das WIG-Auftragschweißen der Nockenwellen des Motors 4 VD 14,5 haben sich folgende technologische Meßwerte und Parameter bewährt:

Tafel 4. Technologische Meßwerte und Parameter beim Auftragschweißen von Pflugscharen mit Pulverdraht „Ferrodur Cr 3“

- chemische Zusammensetzung des Pulverdrahts „Ferrodur Cr 3“: C 0,4 %; Si 0,8 %; Mn 2 %; Cr 3 %	
- Werte beim Auftragschweißen	
- Drahtdurchmesser	2,5 mm
- Schweißstromstärke	$I_s = 160$ A
- Schweißspannung	$U_s = 25$ V
- Schutzgas	CO <sub>2</sub> (18 l/min)
- Schichtdicke	$a = 2$ mm
- Gerätetechnik	MAG-Handschweißgerät Typ MSH 6F und Brenner Typ RU 400 (gasgekühlt)

- Schweißgleichrichter mit steiler Kennlinie
- Schweißstrom  $I = 100 \dots 120$  A
- Argonverbrauch 7 l/min
- Zusatzwerkstoff 110 Mn Cr Ti 8,  $\varnothing 2,5$  mm (TGL 7253/02)
- thorierte Wolframelektrode ( $\varnothing 2,5$  mm) am Minuspol
- Schweißen nach Folgeplan
- geringe Erwärmung der schweißnahen Bereiche.

Der Härteverlauf in den mit dem WIG-Auftragschweißen instand gesetzten Nocken ist im Bild 3 dargestellt. Er entstand aus dem Mittelwert der Einzelmessungen von 5 aufgeschweißten Nocken. Im Schweißgut liegt der Härteverlauf geringfügig oberhalb des vorgeschriebenen Bereichs, dagegen fällt er in der Wärmeeinflußzone (angelasener Grundwerkstoff) stärker ab.

Zur Anwendung kommen die bewährten WIG-Schweißgeräte der Serie WSH-E (Einzweckgerät zum Schweißen) und WSH-M (Mehrzweckgerät zum Schweißen und Punktschweißen). Die Schweißstromquellen entsprechen denen für das Elektrodenhandschweißen.

### 3.4. Pulverdraht-Auftragschweißen unter CO<sub>2</sub>-Schutzgas

Das Auftragschweißen mit Pulverdraht „Ferrodur Cr 3“ unter CO<sub>2</sub>-Schutzgas wird vereinzelt, z. B. bei Pflugscharen, vorgenommen. Eigene Versuche ergaben, daß das Schweißgut porig wird, wenn ohne Schutzgas geschweißt wird. Technologische Meßwerte und Parameter sind in Tafel 4 zusammengestellt.

## 4. Zusammenfassung

Aus dem Bereich der landtechnischen Instandsetzung werden einige Ergebnisse und Erfahrungswerte zum Schutzgasauftragschweißen bei der Aufarbeitung von Bauteilen angegeben. Beim Auftragschweißen sind Bedingungen der Dauer- und Verschleißfestigkeit zu beachten. Bevor mit der Aufarbeitung eines Bauteils begonnen wird, sind wichtige Merkmale zur Verfahrensauswahl zu beachten. Als Schutzgasschweißverfahren werden MAG-Schweißen, WIG-Schweißen, MIG-Schweißen sowie Pulverdraht-Schweißen unter Schutzgas angegeben. Anhand von Beispielen werden technologische Meßwerte und Parameter zu diesen Verfahren aufgeführt.

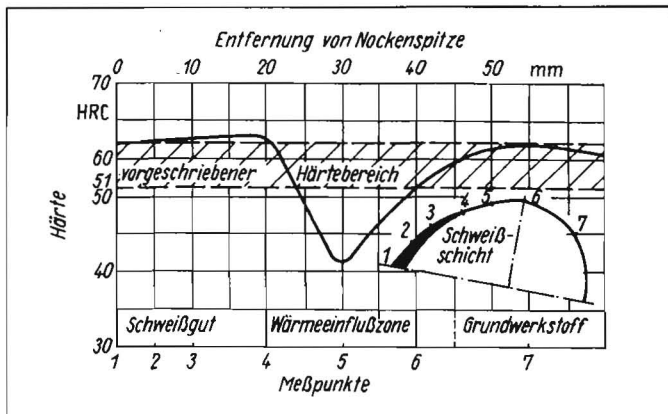


Bild 3. Härteverlauf der mit dem WIG-Auftragschweißen instand gesetzten Nocken der Nockenwelle des Dieselmotors 4 VD 14,5

## Literatur

- [1] Kamenarov, G.: Untersuchungen zum Auftragschweißen rotationssymmetrischer Einzelteile. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 3, S. 117-119.
- [2] Kastner, G.: Instand setzen von Maschinenteilen in der Landtechnik. ZIS-Mitteilungen, Halle 23 (1981) 3, S. 327-336.
- [3] Pomaska, H.-U.: Praktische Anwendung des Schutzgasschweißens. Der Praktiker, Düsseldorf 27 (1975) 9, S. 173.
- [4] Müller, W.: MIG-Schweißen mit impulsmoduliertem Gleichstrom. Schweißtechnik, Berlin 19 (1969) 8, S. 358-363.