Osaka University Knowledge Archive

Title	Merkmale Verschiendener Betriebsurwachunegsmethoden und Deren Anwendung im Rahmen Der Laserschweisstechnik : Features of Various In-process Monitoring Methods and Their Applications to Laser Welding(Physics, Processes, Instruments & Measurements)
Author(s)	Watanabe, Masao; Okado, Hideki; Inoue, Takasi et al.
Citation	Transactions of JWRI. 1997, 26(1), p. 43-47
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/3914
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

Merkmale Verschiendener Betriebsurwachunegsmethoden und Deren Anwendung im Rahmen Der Laserschweisstechnik †

Features of Various In-process Monitoring Methods and Their Applications to Laser Welding

Masao WATANABE *, Hideki OKADO*, Takasi INOUE*, Susumu NAKAMURA und Akira MATSUNAWA*****

Auszung

Dieser Studienbericht beschreibt die Merkmale und Anwendung von drei ausgewählten Überwachungsmethoden, nämlich die optische Emission, die akustische Emission und das Plasmaerzeugungspotential der Laserschweißtechnik. Im Rahmen der Laserschweißtechnik wurden verschiedene Betriebsüberwachungsmethoden studiert und einige davon für den tatsächlichen Fertigungsablauf übernommen, wie z.B. in der Autoindustrie, der Verpackungsindustrie, bei der Qualitätskontrolle usw.

Bestimmte Merkmale dieser Methoden wurden jedoch bisher scheinbar noch nicht vollständig geklärt. So ist es z.B. schwierig, das Verhältnis zwischen dem Schweißphänomen und den Überwachungssignal-quellen zu klären. Wir untersuchten in diesem Zusammenhang die Eigenschaften von laserinduziertem Plasma durch Überwachen der Spektralemission, der akustischen Emission und des Plasmaerzeugungs-potentials sowie durch Beobachten von Plasma und Schmelze über CCD-Videokameras. Bei dem von uns durchgeführten Versuch erzeugten wir mit einem 5,5-kW/CO2-Laser eine Schweißraupe an einer Musterplatte aus rostfreien Stahl, wobei wir zugunsten optimaler Emission das Fe-Atomspektrum wählten. Das akustische Emissionssignal trat im Bereich von 10 Hz bis 40 kHz auf, während wir das Plasma-erzeugungspotential zwischen Laserdüse und Prüfgegenstand ermittelten. Den Durchschnitt, die Amplitude und die Signale der drei Überwachungsmethoden analysierend, untersuchten wir die Korrelation der verschiedenen Methoden untereinander und das Verhältnis jeder einzelnen Methode zur Schweißcharakte-ristik. Hieraus ergaben sich folgende Hauptresultate:

1. *Die Plasmaeigenschaften und die überwachten Signale verändern sich je nach Art der gasförmigen Schutzhülle stark. Im Falle einer Ar-Gasschutzhülle zeigt der Amplitudenwert des Überwachungssignals, im Gegensatz zum Durchschnittswert, die engere Beziehung zur Schweißcharakteristik.*
2. *Die Kombination der Signale von den obigen drei Überwachungsmethoden liefert im Hinblick auf Schweißanomalien zuverlässigere Informationen, wie z.B. unzureichende Penetration usw.*
3. *Aufgrund der Analyse der Überwachungssignale und der CCD-Videobilder wird ein Modell zum Mechanismus des Laserschweißphänomens vorgeschlagen.*

KEY WORDS (Optische Emission) (Akustische Emission) (Plasmaerzeugungspotential)

Abstract

This paper describes the features and the application of three monitoring methods that we selected the optical emission, the acoustic emission and the plasma generating potential in laser welding

In laser welding, various in-process monitoring methods have been studied. Some of them have been applied in actual manufacturing process, such as automobile industries, canmaking industries etc., for quality assurance. However, it seems that features of them have not been clarified yet. This means it is difficult to clarify the relation between the welding phenomena and the sources of the monitoring signals. We looked into the behaviour of laser induced plasma by monitoring the spectrum emission, acoustic emission and the plasma generating potential, as well as by observing plasma and molten pool by CCD video. In the test, we performed a bead on stainless steel plate specimen by using 5.5kw CO2 laser. We selected the Fe atom spectrum for the optical emission. We detected the acoustic emission signal in the range from 10Hz to 40kHz. And we detected the plasma generating potential between the laser nozzle and a specimen. Analyzing average, amplitude and the figure of signals from three monitoring method, the correlation among them and the relation between each of them and the welding characteristics were studied. Main conclusions are as follows ;

1. *The plasma behaviour and monitored signals change strongly depending on selection of the shielding gas. In case of Ar gas shielding, amplitude value of the monitoring signals rather than that of average shows the closer relation with the welding characteristics.*
2. *The combination of the signals from the above three monitoring methods gives more definite information on the welding abnormality, such as lack of penetration, etc.*
3. *A model on the mechanism of laser welding phenomena is proposed from analyses of the monitoring signals and the CCD video pictures.*

† Received on May 19, 1997

* Applied Laser Engineering Center, Nagaoka, Niigata, Japan
** Assistant Professor ,Nagaoka University of Technology
*** Professor

Transactions of JWRI is published by Joining and Welding Reseach Institute of Osaka University, Ibaraki, Osaka 567, Japan.

1. Einleitung

Die Characteristik von laserinduziertem Plasma ändert sich je nach den Laserschweißbedingungen, wie z.B. Eingangsenergie, Energiekonzentration, Gasschutzhülle -usw. Die Signale der optischen Emission, der akusti schen Emission und des Plasmaerzeugungs-potentials sind ein Resultat dieser Merkmale. So beein flußt das Lasereingangspotential z.B. die Erzeugung von Metall - dampf, während die Laserenergie die Wahrscheinlic hkeit der Ionisierung verändert. Darü-ber hinaus besteht -zwischen der Ausscheidungsrate und der Strömungsge schwindigkeit des Schützhüllengases ein bestimmtes Verhältnis, das die Ionisierungsbedingungen beeinflußt. Um diese Eigenschaften des Plasmas zu klären, wurden im Hinblick auf die optische Emission, die akustische Emission und das Plasmaerzeugungspotential zahlreiche Studien durchgeführt. Es ist unserer Auffassung nach schwierig, die Charakteristik anhand eines einzelnen Signals von jeder dieser Methoden korrekt zu deuten, da es sich bei Plasma um ein komplexes Phänomen handelt, das aus unterschiedlichen Faktoren hervorgeht, wie z.B. Schmelzvorgang, Verdampfung, Ionisierung opti sche Emission, akustische Emission, Ausdehnung usw. Bei unserer Untersuchung ging es darum, drei Signale der optischen Emission, der akustischen Emission und des Plasmaerzeugungspotentials gleichzeitig zu ermitte ln. Bei der optischen Emission wählten wir eine Spitzen isolierungs-Spektralemission von 298.4 nm. Für das akustische Emissionssignal ermittelten wir das Signal an der Breitenverbindung. Das Plasmaer zeugungs potential, das aus der Zurückstellung zwischen den Mobilitäten der Elektronen und der Metallionen entsteht, ermittelten wir wie in Abb. 1 gezeigt.

Dr. R.D. Dixon et al, Dr.D.M. Keicher et al und Dr. W.M. Steen et al führten interessante Studien an diesen Signalen aus.[1), 2), 3), 4), 5)]

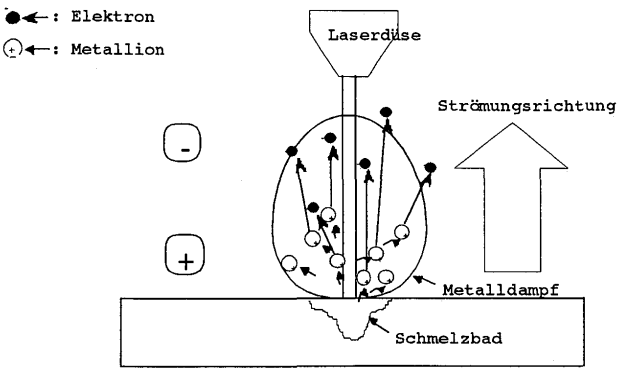

Abb. 1 : Prinzip des Potentials

Wir beobachteten das Plasma und die Schmelze gleichzeitig über CCD-Videokameras, wobei ein Ar-Iionenlaser und ein optischer Filter für klare Sicht sorgten.

2. Ausrüstung und durchgeführte Versuche

Abb. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Abmessungen. Bei diesen Versuchen wurde in CW ein 5.5-kW/CO2-Laser verwendet. Darüber hinaus führten wir eine Schweißraupe an einer 6 mm starken SUS304-Platte aus. Wir ermittelten das Spektralemissionssignal bei einem Spektrum von 298.4 nm mit einem Mono spektrometer (Auflösung 0.25 nm, Genauigkeit 0.5 nm) und das akustische Emissionssignal im Bereich von 10 Hz und 40 kHz. Das Signal des Plasmaerzeu-gungs potentials wurde zwischen Laserdüse und Prüfgegen stand gemessen, wobei der Abstand auf 5 mm einge stellt war. Die drei Signale wurden auf dem Oszillo recorder aufgenommen.

Während des Schweißvorgangs war die Belichtung der CCD-Videokamera auf 100 μsec und die Frequenz auf 30 Hz eingestellt. Die Aufnahme erfolgte durch den Optikfilter, dessen Lichtdurchlaßfaktor in Abb. 3 ange -geben ist.

Zur Synchronisation wurde mit Hilfe eines Annäherungsschalters, der auf einem Tisch aufgestellt war, ein Auslösesignal zum Oszillorecorder und Ar-Laser verschluß übertragen.

Unter diesen Bedingungen diente eine hinter die SUS304-Platte gelegte Kupferplatte (Dicke: 6 mm), die keinen Metalldampf hat, zur Ermittlung der Signale.

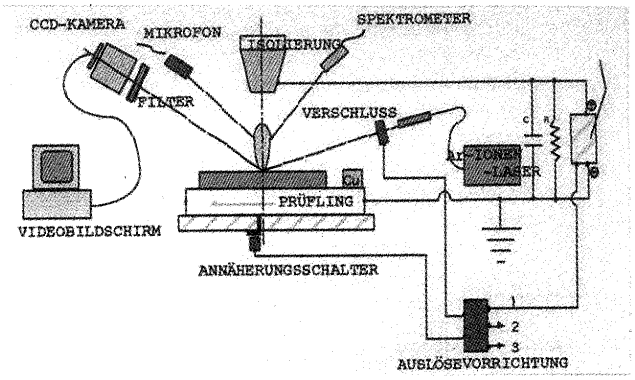

Abb. 2 : Schematische Darstellung der Messung

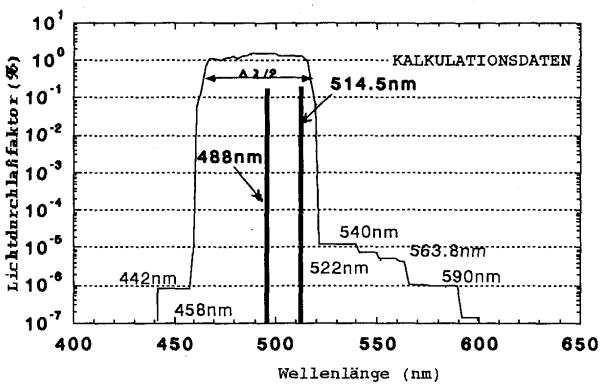

Abb. 3 : Filter-Lichtdurchlaßfaktor (Kalkulationsdaten)

3. Versuchsresultate und Besprechung

3.1 Ermittlungssignale

Abb. 4 zeigt ein typisches Diagramm einer in Ar-Schutzhüllengas ausgeführten Schweißung mit darunter stehender Angabe der Verarbeitungs-bedingungen. Die Abbildung zeigt den Prüfgegenstand und die Kupferplatte in Bezug auf die Signale. Die Intensität der opti schen Emission und das Potential sind unten dargestellt, während das akustische Signal am AC-Signal ermittelt wurde. Die anderen beiden Signale haben im Schweißbereich DC-Amplitude.

Vmax, Vmin und Vave jedes Signals wurden wie in Abb. 4 gezeigt ermittelt. Das beachtliche Merkmal an den Signalen in Abb. 4 ist, daß das Plasmaerzeugungspotential die Inversintensität der Kupferplatte zeigt, ob --wohl kein Spektralemissionssignal vorhanden ist. Diese Charakteristik deutet auf das Vorhandensein von -nichtm etallischem Plasma hin.

Im Fall von He-Schutzhüllengas ist, wie in Abb. 5 dargestellt, kein Plasma an der Kupferplatte vorhanden. Die Verarbeitungsbedingungen sind unter der Abbild ung angegeben. Die Signalamplitude des Plasmapotenti als ist gering, und die Morphologie unterscheidet sich deutlich von Ar-Schutzhüllengas. Bei N2- Schutzhüllen gas zeigt das Signal die gleiche Charakteristik wie das von He-Schutzhüllengas.

Abb. 6 zeigt Beispiele von CCD-Videobildern, und Abb. 7 zeigt Ar-Plasma auf einer Kupferplatte. Die Plas maumwandlung des Ar- Schutzhüllengases sollte auf diesen Bildern erkennbar sein. Diese Resultate deuten auf das in Abb. 8 gezeigte Phänomen hin, bei dem Ar-Plasma ein Inversintensitätssignal aufweist.

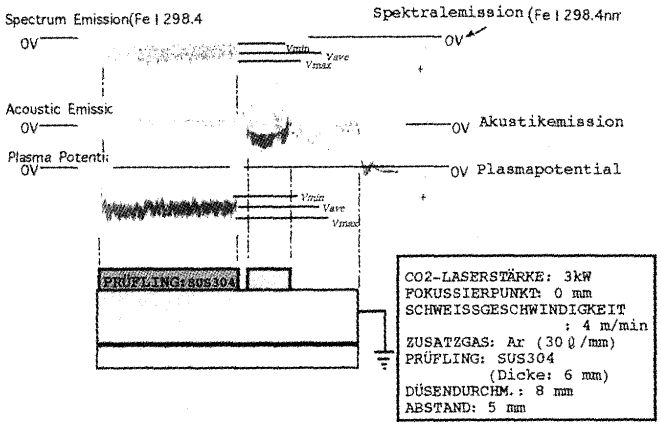

Abb. 4 : Typische Signale in Ar-Schutzhüllengas

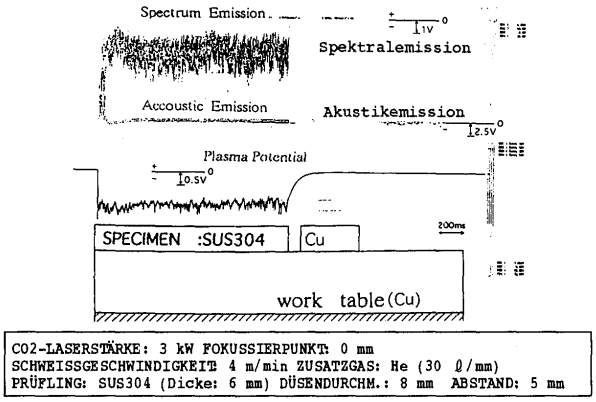

Abb. 5 : Typische Signale in He-Schutzhüllengas

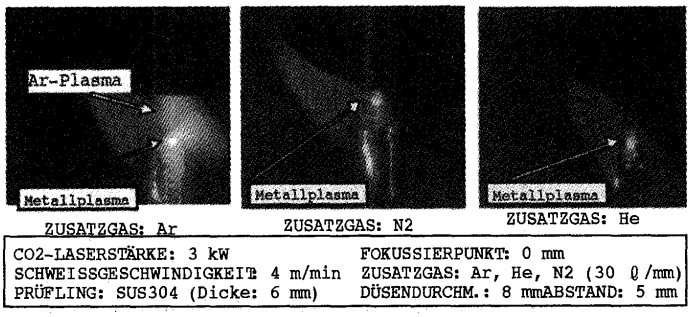

Abb. 6 : Typische Videobilder der Laserschweißung an SUS304

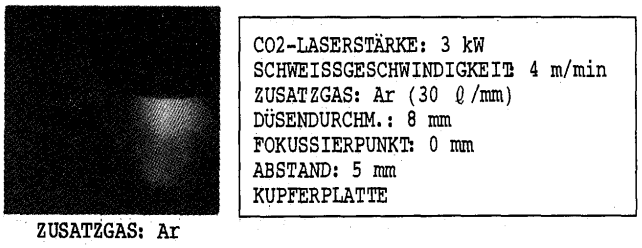

Abb. 7 : Typische Videobilder an Kupfer

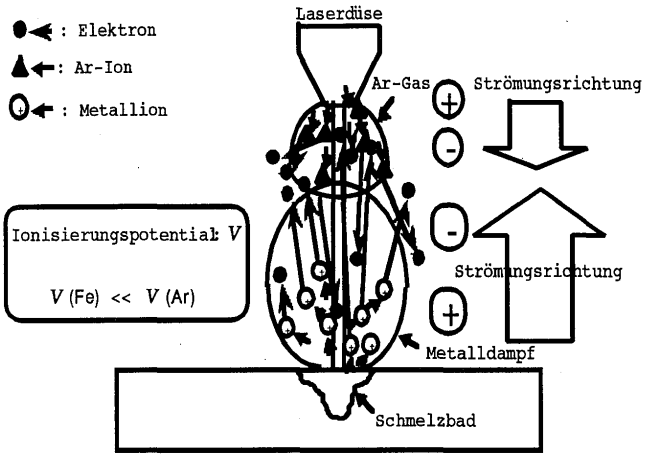

Abb. 8 : Prinzip des Potentials

3.2 Signalveränderungen bei unterschiedlichen Schweißbedingungen

Abb. 9 zeigt die Signale, bei denen die Schweißgesc hwindigkeit während der Verarbeitung geändert wurde. Die Abbildungen verdeutlichen die folgenden beiden Punkte.

(1)Die Amplitude von Plasmaerzeugungspotential und Spektralemission änderte sich zusammen mit der veränderten Schweißgeschwindigkeit.

(2)Das durchschnittliche Plasmaerzeugungspotential (Vave) ist trotz des geringeren Wärmeeingangs in oberen Geschwindigkeitsregionen höher als das des höheren Wärmeeingangs in unteren Geschwindigkeitsregionen.

Im Rahmen dieser Studie wurden die folgenden Werte aufgestellt:

OI-A = | Vmax - Vmin | = durchschnittliche Amplitude der Spektralemission

PI-A = | Vmax - Vmin | = durchschnittliche Amplitude des Plasmaerzeugungspotentials

AI-A = | Vmax - Vmin | = durchschnittliche Amplitude der Akustikemission

Abb. 10 zeigt Vave, Vmin und Vmax des Plasmaerzeugungspotentials. Keiner dieser Werte bezieht sich auf die Schweißgeschwindigkeit.

Andererseits verkleinerte sich PI-A bei gesteigerter Schweißgeschwindigkeit und verringerter Penetration - stiefe,wie in Abb. 11 zu sehen ist. Wir sind zu der Erkenntnis gelangt, daß ein erhöhter Wärmeeingang nicht nur die Metallplasmaeinblasung, sondern auch die Ar-Plasmaeinblasung verstärkt und die Amplitude des Potentials sich durch die Schwankungen beider Einblasungen erhöht. Abb. 12 zeigt die Auswirkung der Strömungsgeschwindigkeit des Schutzhüllengases auf OI-A und PI-A, die beide ein negatives Verhältnis zur Penetration -stiefe und der Schweißraupenbreite aufweisen. In diesem Fall können beide Plasmatypen durch erhöhte Schutzhüllengaszufuhr geregelt werden, wobei die Amplitude bei zunehmender Schutzhülleng-asmengefällt und dadurch die Penetrationstiefe steigert.

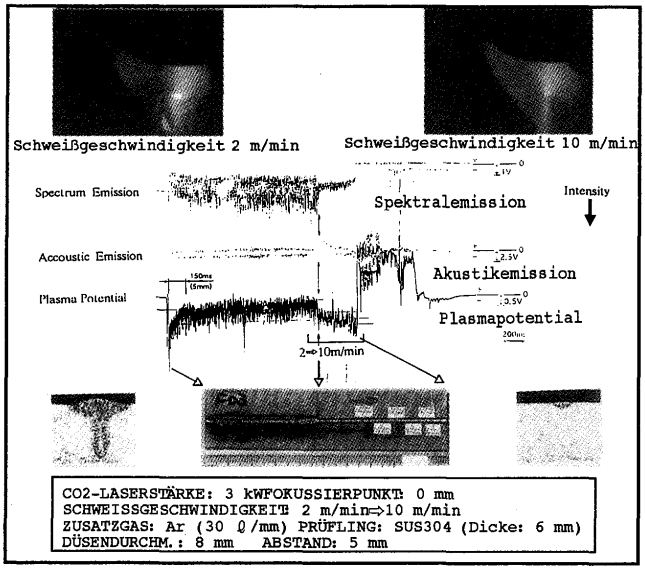

Abb. 9 : Signalveränderung bei unterschiedlicher Schweißgeschwgkeit

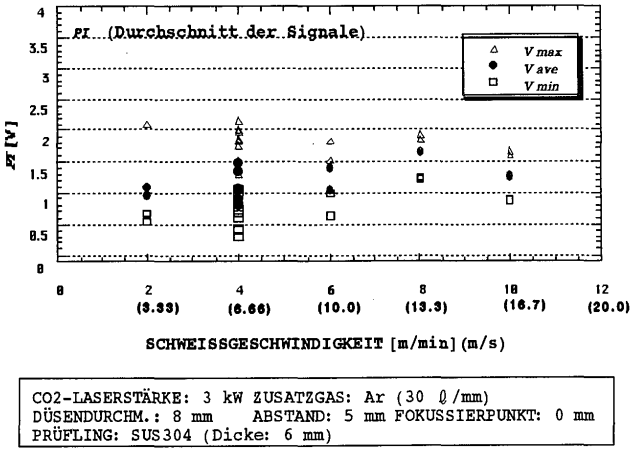

Abb. 10 : Korrelation zwischen PI und Geschwindigkeit

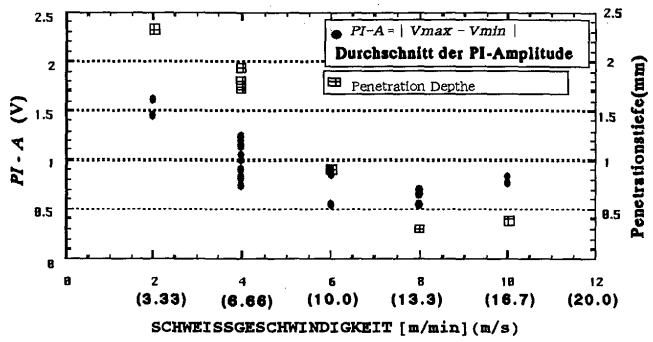

Abb. 11 : Korrelation zwischen PI, Geschwindigkeit und Tiefe

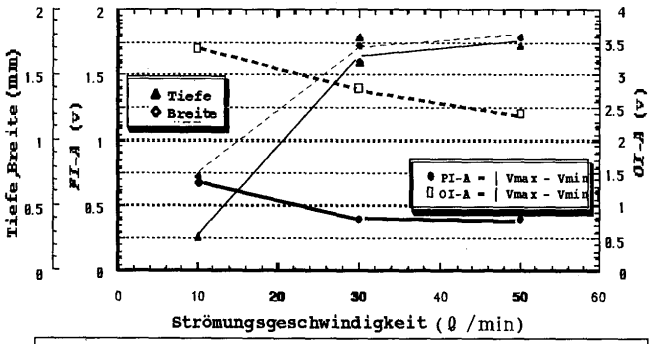

Abb. 12 : Korrelation zwischen PI, OI und Strömungsgeschwindigkeit

3.3 Signalformveränderungen bei unterschiedlichen Schweißbedingungen

Abb. 13 zeigt die drei Signaldiagramme und das Bild des Schweißraupen-Prüfgegenstands, auf dem an Pfeil Nr. 1 zwei SUS-Scherplatten zusammentreffen.

Wir stellen an zwei Punkten anormale Schweißraupen fest, die in der Abbildung markiert sind (Pfeile Nr. 2 und Nr. 3). Die anormalen Signale beziehen sich auf die markierten Zeitpunkte (Pfeile Nr. 1, Nr. 2 und Nr. 3). Beim Plasmaerzeugungspotential sind die Signale an den markierten Punkten (Pfeile Nr. 1 und Nr. 3) an der Zeitachse erweitert, die darüber hinaus auch in Abb. 13 dargestellt sind. Die Wellenphase der anormalen Schweißraupe (Pfeil Nr. 3) ist umgekehrt zu der des Berührungspunktes (Pfeil Nr. 1). Dies deutet auf die Möglichkeit der Betriebsüberwachung von Schweißdefekten hin.

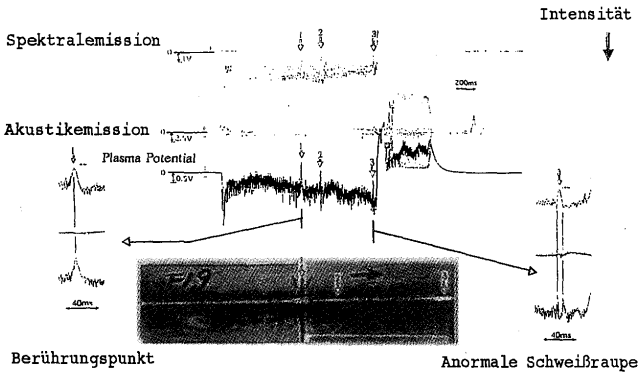

Abb. 13: Änderung der Signalform

4. Schlußbemerkung

Im Fall der Ar-Gasschutzhülle zeigt die Amplitude des Plasmaerzeugungspotentials und die der optischen Emi-ssion anhand des jeweiligen Plasmazustands eine Korre-lation zu den Laserschweißbedingungen.Die Abbildun-gen dieser beiden Signale deutet auf eine möglche Ekennung von Schweißdefekten hin.

5. Schrifttum

1) R.D.Dixon and G.K.Lewis (April 8-13 1984), Electron Emission and Plasma Formation During Laser Beam Welding, The 65th Annual AWS Convention in Dallas

2) G.K.Lewis and R.D.Dixon (April 24-29 1983), Plasma Monitoring of Laser Beam Welds, The 64th Annual AWS Convention in Philadelphia

3) A.J.Russo, R.L.Akau andD.M.Keicher (June 1989), An Electrostatic Probe for Laser Beam Welding Diagnostics, WELDING RESEARCH SUPPLEMENT p230-s～p235-s.

4) L.Li and W.M.Steen (Nov.1990), On-Line Laser Welding Sensing for Quality Contorol, Proceeding of Int.Conf.ICALEO'90 in Princeton.

5) L.Li, W.M.Steen, K.Shi and D.J.Brookfield (June,1992), Sensor Development for In-proces Quality Inspection and Optimization of High Speed Laser Can Welding process, Proceeding of LAMP'92 in Nagaoka, Vol.1 p415～p420.