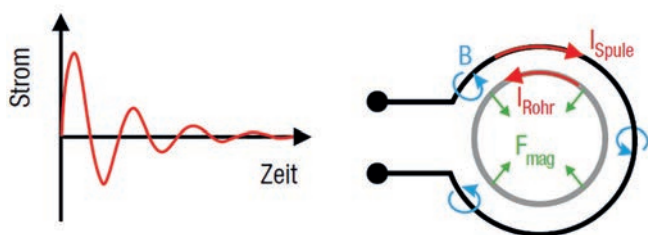


Die elektromagnetische Pulstechnologie: Berührungsloses, kaltes Fügen, auch für Aluminium Mischverbindungen

■ Pablo Pasquale, PSTproducts GmbH, Alzenau, Deutschland

An der Einhausung öffnet sich die Hubtür, der Werkstückträger mit den zu verschweißenden Blechen fährt hinein. Ein kurzer Impuls, schon kommen sie an der anderen Seite der Anlage hinaus. So schnell und unkompliziert kann es sein, die Metalle Aluminium und Kupfer stoffschlüssig miteinander zu verbinden. Diese Verbindung ist nicht nur hochfest sondern atomar, denn bei Belastung versagt immer das schwächere Grundmaterial abseits der Fügezone. Der elektrische Übergangswiderstand ist zudem nicht messbar und es treten kaum intermetallische Phasen auf. Die reine Prozesszeit liegt im Bereich weniger Mikrosekunden, die Taktzeit im Bereich bis hinunter zu fünf Sekunden. Pro Takt können dabei mehrere Bauteile simultan gefügt werden.

Das Geheimnis hinter dieser Verbindung ist die Elektromagnetische Pulstechnologie, kurz EMPT. Sie basiert vereinfacht auf dem Prinzip, dass sich entgegen gerichtete Ströme abstoßen. Ein Strom fließt im Werkzeug, der sogenannten Werkzeugspule. Sie induziert einen immer gegenläufigen Wirbelstrom in einem nahezu beliebigen Bauteil. Durch die Abstoßung zwischen diesen beiden Strömen entsteht bei der EMPT die Prozesskraft, welche vielfältig genutzt werden kann. Durch die Werkzeugspule wird aus einer Kondensatorbatterie variabler Größe, dem sogenannten Pulsgenerator, ein gedämpfter, sinusförmiger Strom getrieben. Der Maximalwert reicht von hundert Kiloampère oder weniger bis weit über ein Megaampère. Die Frequenz liegt üblicherweise im zweistelligen Kilohertzbereich. In dieser Größenordnung lassen sich innerhalb von Mikrosekunden erhebliche Kräfte auf das Werkstück ausüben, ohne dass ein mechanischer Kontakt besteht. Das System ist aus elektrischer Sicht ein



Stromverlauf durch die Werkzeugspule. Schematische Darstellung einer Werkzeugspule für rohrförmige Werkstücke mit den gegenläufigen Strömen, dem Magnetfeld und dem magnetischen Druck.

gedämpfter Schwingkreis. Aufgrund der extrem kurzen Prozesszeitdauer ist der Energiebedarf der Anlage sehr gering. Die Funktionsweise, die Induktion eines Wirbelstroms durch ein elektromagnetisches Feld, erfordert ein elektrisch leitfähiges Werkstück. Falls dies nicht der Fall ist, oder die elektrische Leitfähigkeit für die Anwendung zu gering ist, kann ein zusätzliches Hilfswerkstück eingesetzt werden. Dieser sogenannte Treiber befindet sich am eigentlichen Werkstück und besteht aus einem elektrisch gut leitfähigen Werkstoff. Er wird beschleunigt und „treibt“ das Werkstück, prägt also die Kraft auf. Nach Abschluss des Prozesses ist er üblicherweise unbrauchbar, da er sich mit dem eigentlichen Werkstück zusammen bewegt und damit verformt wird. Aufgrund der induzierten Wirbelströme im Werkstück erwärmt es sich. Je nach elektrischer Leitfähigkeit kann diese Erwärmung unterschiedlich stark ausfallen. Bei Aluminium- und Kupferlegierungen ist sie spürbar, jedoch in der Regel nur handwarm, also nicht signifikant. Aufgetragene Lackierungen werden beispielsweise nicht beschädigt.

PSTproducts GmbH ist Hersteller von “State of The Art” EMPT-Maschinensystemen für die produktspezifische, industrielle Anwendung in der Massenfertigung. Für die zielgerichtete Implementierung der EMPT ist vorab ein qualifiziertes Engineering und Prototyping notwendig, damit Anwender schnell und effizient ihre maßgeschneiderten Lösungen erfolgreich umsetzen können.

Obwohl es der Name des Verfahrens anders vermuten lässt, sind die magnetischen Eigenschaften der Werkstückwerkstoffe nicht relevant. Das elektromagnetische Feld ist stark genug, dass jeder magnetische Werkstoff ohnehin sättigt. Maßgeblich sind die erwähnten elektrischen Eigenschaften, weshalb sich Aluminium und Kupfer besonders gut eignen.

Beim stoffschlüssigen Fügen wird eine metallische Bindung hergestellt, die dann auch gasdicht ist. Dabei ist es erforderlich, dass die beiden Werkstücke einen Anfangsabstand zwischen ein bis zwei Millimeter zueinander aufweisen, damit eines beschleunigt werden kann. Hier bestehen Geschwindigkeiten beim Aufprall von weit über 300 m/s, die in wenigen Mikrosekunden erreicht werden. Beim Aufprall werden die oberflächlichen Schichten – gerade bei Aluminium die Oxyde – quasi weggesprengt und die nun metallisch reinen Fügepartner zusammengedrückt. Das Ergebnis ist eine metallische Bindung, die ohne Wärmezufuhr erzeugt worden ist. Das Verfahren eignet sich also besonders für artungleiche Metalle, weil somit auch kaum eine intermetallische Phase



Beispielbauteile für das elektromagnetische Schweißen
 Bilder: PSTproducts GmbH

entsteht. Als Beispiel sind elektrische Verbindungen von Aluminium und Kupfer in der Elektromobilität sowie Verbindungen von Strukturbauteilen aus Aluminium und Stahl zu nennen. Aber auch artgleiche Verbindungen profitieren davon, weil das Werkstoffgefüge durch das fehlende Aufschmelzen und Erstarren eines Schmelzschweißverfahrens nicht negativ beeinflusst wird. Im Gegenteil: Durch die Umformung und den Aufprall wird sogar ein günstiges Gefüge aus ultrafeinen Körnern eingestellt, das fest und zäh zugleich ist. Moderne Crashstrukturen aus speziellen Aluminiumlegierungen profitieren vor allem an dieser Stelle von diesem Verfahren.

Das Schweißen mit der EMPT ist prinzipiell eng verwandt mit dem Sprengschweißen, denn die Mechanismen sind identisch. Größte Unterschiede sind die zur Verfügung stehende Energiemenge und die elektrische Leitfähigkeit. Beim Sprengschweißen spielt die elektrische Leitfähigkeit keine Rolle, weshalb auch die schlecht leitfähigen, rostfreien Edelstähle ohne Hilfsmittel verarbeitet werden können. Bei der EMPT wird hier in aller Regel ein Treiber benötigt. Außerdem sind die Energiemengen verglichen mit dem Sprengschweißen bei EMPT-Verfahren um Größenordnungen geringer, was den gefahrlosen Einsatz der EMPT in einer Fertigungslinie ermöglicht.

E-MOBILITY

Zur Prüfung EMPT gefügter Verbindungen eignen sich grundsätzlich dieselben Verfahren wie bei konventionellen Prozessen. Dazu gehören zerstörende Prüfmethode wie der Zugversuch oder Peelttest und zerstörungsfreie Prüfmethode wie Röntgen, Ultraschall, Impulsthermographie oder Computertomographie. Während des Prozesses wird der zeitliche Verlauf des Entladestroms durch die Werkzeugspule erfasst. Dessen direkte Auswertung mit dem Sollverlauf in der Anlagensteuerung erlaubt es, eine Qualitätsaussage

über die Verbindung zu treffen und die EMPT Anlage zu überwachen. Fehler, beispielsweise in den Kondensatoren oder Hochstromschaltern, lassen sich damit sofort automatisch detektieren. Die Messtechnik ist empfindlich genug, um festzustellen, ob beispielsweise das Werkstück korrekt positioniert ist. Je nach dessen Position ändern sich die elektrischen Eigenschaften der Werkzeugspule und damit der Entladestrom.

Trotz der hohen Entladeströme mit Spitzenwerten bis über 1 MA bei Ladespannungen der Kondensatoren von typischerweise 10-20 kV sind die Anlagen für die Bediener und umliegende elektrische Geräte sicher. Alle spannungsführenden Komponenten sind ausreichend gegen Berührung gesichert und es werden Abschirmungen eingesetzt. Im Fehlerfall, beispielsweise bei einem Notaus oder einem Stromausfall, bringt sich die EMPT Anlage automatisch in den sicheren Zustand. Dabei werden alle Komponenten selbsttätig geerdet. Trotz der hohen Entladeströme ist der Strombedarf einer EMPT Anlage vergleichsweise gering. Meist genügt ein mit 32 A abgesicherter Anschluss. Entsprechend gering sind daher auch die Energiekosten pro Bauteil. Der Grund hierfür ist, dass die hohen Ströme nur während der angesprochenen kurzen Prozesszeit von wenigen 10 Mikrosekunden fließen. Der elektrische Energieinhalt eines durchschnittlichen Pulsengenerators entspricht nur in etwa dem von sechs AA Batterien. Anders als eine normale Batterie ist er jedoch in der Lage, diese Energie in wenigen Mikrosekunden abzugeben. Aufgrund des geringen Energieumsatzes ist außerdem die Kühlung der Komponenten unproblematisch, teilweise genügt die natürliche Konvektion.

Eine EMPT Anlage besteht immer aus einer zentralen Steuerung, der Hochspannungsquelle, den Kondensatoren, den Schaltern und der Werkzeugspule. Die speziellen Hochstromschalter sind üblicherweise direkt mit den Kondensatoren



EMPT geschweißte Kühlplatte (Segment) für Batteriekästen von neuen Elektrofahrzeugen

verbunden. Häufig besitzt jeder Kondensator einen eigenen Schalter, diese Einheit wird dann als Kanal bezeichnet. Prinzipiell kann ein Pulsgenerator eine beliebige Anzahl von parallel geschalteten Kanälen beinhalten, wodurch die Anlagen sehr flexibel einsetzbar und erweiterbar sind.

Zwischen den Kanälen und der Werkzeugspule transportiert ein flexibles Stoßstromkabel den Strom verlustarm. Zu Beginn des Zyklus werden die Kondensatoren von der Hochspannungsquelle auf die benötigte Ladespannung geladen. Sie wird so vorgegeben, dass eine voreingestellte Ladeenergie in den Kondensatoren zur Verfügung steht. Zu diesem Zeitpunkt sind die Hochstromschalter geöffnet, sodass die Werkzeugspule noch getrennt ist. Wenn die Ladespannung erreicht ist, wird die Ladestation von den Kondensatoren elektrisch getrennt und die Hochstromschalter werden synchron geschlossen. Der sinusförmige Entladestromverlauf klingt in typischerweise weniger als einer Millisekunde ab und der Zyklus beginnt sofort von neuem. Die Zykluszeit liegt, je nach Dimensionierung der Ladestation, bei etwa fünf bis zehn Sekunden. Neben Teilen der Werkzeugspule sind die Hochstromschalter Verschleißteile. Ihre Lebensdauer beträgt, je nach Anwendung, typischerweise 300.000 bis weit über 500.000 Entladungen. Sie kommen heutzutage ohne problematische Werkstoffe wie Quecksilber aus und lassen sich einfach entsorgen. Kabel und Kondensatoren besitzen im Vergleich dazu eine Lebensdauer von mehreren Millionen Entladungen. Werkzeugspulen werden so ausgelegt, dass auch sie eine hohe Lebensdauer aufweisen und nur wenige, kostengünstige Komponenten regelmäßig getauscht werden müssen.

EMPT Anlagen werden in eine Fertigungslinie integriert und üblicherweise an eine übergeordnete Steuerung angeschlossen. Die Erfassung und Auswertung der Stromverlaufsmessung ist ein einfaches und sicheres Qualitätskriterium, dass in einem Qualitätsmanagementsystem die Prozesssicherheit dokumentierbar macht. ■



EMPT Anlage mit einer Werkzeugspule (Vordergrund), Kondensatorschrank und Steuerschrank (im Hintergrund von li. nach re.)



In eine Fertigungslinie integrierte Werkzeugspule

Der Autor



Dr. Pablo Pasquale ist Gründer und Geschäftsführer der PSTproducts GmbH. Unter seiner Leitung entwickelte sich das Unternehmen zum Weltmarktführer für großserientaugliche EMPT Anlagen. Dieses Jahr feierte das Unternehmen sein 15jähriges Jubiläum.



Jahrbuch Schweißtechnik 2019

DVS-Media GmbH
ISBN 978-3-96144-044-3
Preis: EUR 45,35

Sonderangebot: je 1 Jahrbuch
Schweißtechnik 2017, 2018, 2019
zum Gesamtpreis: EUR 86,85



Bericht DVS Band 344 DVS CONGRESS 2018

DVS Media GmbH; 2018
548 Seiten; 796 Bilder und Abbildungen, 98 Tabellen
ISBN 978-3-96144-036-8
Preis EUR 136,00

Bestellungen erbeten an: Österreichische Gesellschaft für Schweißtechnik • Tel. & Fax 01/798 21 68 • Mail: office@oegs.org