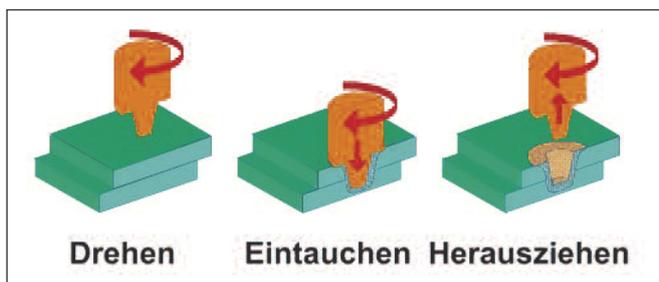


RÜHRREIBPUNKTSCHWEISSEN IM FAHRZEUGBAU

Neue Möglichkeiten

Stephan Kallee, Ozan Caliskanoglu, Premstätten/Österreich

Das Rührreibpunktschweißen (Friction Stir Spot Welding, FSSW) wird im Fahrzeugbau zunehmend industriell eingesetzt, um Aluminiumbleche mit Bauteilen aus Aluminium, Stahl oder Kupfer zu verschweißen. Es handelt sich dabei um eine Verfahrensvariante des weltweit erfolgreich industrialisierten Rührreibschweißens (Friction Stir Welding, FSW), das wie andere Press- und Reibschweißverfahren unterhalb des Schmelzpunkts der Werkstücke arbeitet.



► Bild 1. Prinzip des Rührreibpunktschweißverfahrens



► Bild 2. Friction Stir Spot Welding: Punktschweißzange „D-SWG“ von Stirtec an einer Konsole

Das Rührreibpunktschweißen oder Friction Stir Spot Welding (FSSW) ist eine Variante des Rührreibschweißens. Dabei wird ein sich drehendes Werkzeug mit hoher Kraft in das obere von zwei Blechen gepresst, die im Überlappstoß übereinanderliegen. Durch die Reibungswärme und den hohen Druck plastifiziert der Werkstoff, sodass die Spitze des Stifts bis in die Fügezone zwischen den beiden Blechen eintaucht und dort die Oxide verrührt. Die Schulter des Werkzeugs bringt wie beim Schmieden einen hohen Druck auf, durch den sich die Bauteile metallurgisch miteinander verbinden, ohne zu schmelzen. Das Werkzeug wird meistens nur in z-Richtung in die Bleche eingetaucht, bis die Schulter in Kontakt mit der Oberfläche des oberen Blechs ist. Nach einer kurzen Verweilzeit wird das Werkzeug wieder aus den Werkstücken herausgezogen, sodass etwa alle 5 s ein Schweißpunkt erstellt werden kann (Bild 1).

Das Rührreibpunktschweißen wird meist mit einer Punktschweißzange durchgeführt, die an einer Konsole montiert ist, an einen Roboter angeflanscht oder manuell mit einem Balancer ans Bauteil geführt wird. Stirtec in Premstätten bei Graz in der Steiermark bietet mit seiner „Friction Stir Spot Welding Gun D-SWG“ eine großserientaugliche Punktschweißzange an, die vor allem für das Schweißen von Aluminiumblechen konzeptioniert ist (Bild 2).

Das Verfahren und seine Vorteile

Beim Rührreibpunktschweißen werden beim Eintauchen des Werkzeugs in z-Richtung durch Reibungswärme sowie durch das Verrühren der plastifizierten Werkstoffe und der auf den Werkstückoberflächen anhaftenden Oxidhäute einzelne Schweißpunkte erstellt. In einer Verfahrensvariante wird das Werkzeug zum Steppnaht-Rührreibpunktschweißen auch in x- oder y-Richtung verfahren.

Das Werkzeug besteht aus einem Stift und einer Schulter. Der Stift ist der Teil des Werkzeugs, der in die Werkstoffe eindringt. Sowohl der Stift als auch die Schulter können profiliert sein, um den plastifizierten Werkstoff in eine spezielle Richtung zu fördern und um die Oxidhäute auf den aufeinanderliegenden Oberflächen effizient aufzubrechen und zu verrühren. Beim Einsatz der im Automobil- und Schienenfahrzeugbau bewährten einteiligen Werkzeuges bleibt nach dem Herausziehen des Werkzeugs ein Endloch zurück (Bild 3).

Oft ist das sich drehende Werkzeug von einem nicht rotierenden Spannring umgeben, mit dem die Werkstücke vor dem und beim Eintauchen mit der Spannkraft fest aufeinandergepresst werden (**Bild 4**). Der Spannring kann auch dazu eingesetzt werden, das Herauspressen von plastifiziertem Werkstoff zu vermindern, die Grat- oder Wulstbildung zu vermeiden, Schutzgas aufzubringen oder das Werkzeug über Druckluft zu kühlen.

Die wichtigsten Verfahrensparameter sind Drehzahl und Anpresskraft. Daraus ergibt sich bei vorgegebenen Werkstoffen die Eintauchgeschwindigkeit. Die Punktschweißzangen von Stirtec lassen sich entweder über Positionsregelung oder Kraftregelung einsetzen oder über eine produktspezifisch programmierte Kraft-Weg-Regelung. Häufig wird bis zum Erreichen einer vorgegebenen Eintauchtiefe über Positionsregelung gearbeitet und dann während der Verweilzeit auf Kraftregelung umgeschaltet. Auch während der kraftgeregelten Verweilzeit können bei den Maschinen dieses Anbieters gewisse Positionswerte vorgegeben werden, die nicht unter- oder überschritten werden sollen, um den Prozess andernfalls mit einer Störungsmeldung abubrechen. Bei profilierten Werkzeugen ist es wichtig, diese mit der richtigen Drehrichtung zu betreiben.

Rührreibpunktschweißungen haben eine hohe Festigkeit, sodass sie auch für Teile geeignet sind, die besonders hohen Belastungen ausgesetzt sind. Durch die Möglichkeit, bei Mischverbindungen unterschiedliche Metalle miteinander zu verschweißen, ergeben sich ganz neue Möglichkeiten im Leichtbau, insbesondere für mit schweren Batterien ausgestattete Elektrofahrzeuge.

Neben dem Automobil- und Schienenfahrzeugbau entwickelt die Luft- und Raumfahrttechnik das Verfahren zum Beispiel zum Schweißen von tiefgezogenen Blechschalen auf Sitzrahmen von Flugzeugsitzen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten gibt es im Fassaden- und Möbelbau, wo der geringe Wärmeeintrag, insbesondere bei eloxierten Blechen, zu hervorragenden optischen Eigenschaften führt.

Das Rührreibpunktschweißen zeichnet sich durch eine Reihe anwendungsstrategischer Verfahrensvorteile aus (siehe Textkasten). Eine etwaige Schädigung des Werkstoffs durch die große Hitze, wie sie etwa beim La-

serstrahl- oder Lichtbogenschweißen entsteht, bleibt aus. Insbesondere bei warmausgelagerten Aluminiumlegierungen ist die Festigkeit in der Schweißnaht und der wärmebeeinflussten Zone sehr viel höher als bei konventionellen Schweißverfahren.

Da es keine Rauchentwicklung, keine Schweißspritzer oder sonstige Emissionen gibt, handelt es sich beim FSSW um einen sauberen, umweltfreundlichen Fertigungsprozess. Die „Drei D“ – „Dirty, Difficult & Dangerous“ werden abgelöst durch die „Drei C“ – „Cool, Clever & Clean“.

Schweißbare Werkstoffe

Das Rührreibpunktschweißen wurde anfangs vor allem für das Verschweißen von Aluminiumblechen eingesetzt, da das kon-

ventionelle Widerstandspunktschweißen von Aluminium aufgrund der Aluminiumanhaftungen an den Elektroden in der industriellen Anwendung sehr viel aufwendiger ist als das Widerstandspunktschweißen von Stahl. In Japan kommen dabei vorwiegend einteilige Werkzeuge zum Einsatz, die durch ihre langen Standzeiten ein sehr attraktives Preis-Leistungs-Verhältnis bieten.

Bisher wurden folgende Bauteile und Werkstoffkombinationen industrialisiert oder zumindest erfolgreich untersucht:

- Autotüren und Heckklappen in japanischen Personenwagen,
- Dachbleche von japanischen Schienenfahrzeugen,
- Stahl-Scharniere auf Aluminiumblechen in japanischen Sportwagen,



◀ Bild 3. Rührreibpunktschweißen von Blechbiegeteilen



▲ Bild 4. Nicht rotierender Spannring, mit dem die Werkstücke fest aufeinandergepresst werden



▲ Bild 5. FSSW von Stahl auf Stahl im Rahmen einer Standzeitanalyse

- gewalztes Aluminiumblech auf Strangpressprofilen für die Aluminiumtüren eines Geländewagens,
- Polverbinder zwischen Pluspol (Aluminium) und Minuspol (Kupfer) für Batterien von Elektrofahrzeugen („E-Mobilität“),
- hochdynamisch belastete crashrelevante Aluminium-Stahl-Verbindungen im Automobilleichtbau,
- Aluminiumbeschlag auf hochfestem Stahlseitenaufprallschutz in Aluminiumtüren von italienischen Kleinwagen,
- Aluminiumlaschen auf Guss- oder Schmiedeteilen,
- Aluminium-Strangpressprofile auf Stahlrohren im Omnibusbau,
- Verbindungen von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl im Überlappstoß (Bild 5).

Maschinensteuerung und Qualitätsmanagement

Die FSSW-Zange „D-SWG“ lässt sich über eine Kraft-Weg-Regelung weggeregelt oder kraftgeregelt einsetzen. Die Maschinensteuerung wird über ein Touchpad bedient (Bild 6). Der Maschineneinrichter kann aufgrund der Schweißanweisung oder aufgrund von durchgeführten Schweißversuchen die zu verwendenden Parameter über Programmnamen speichern, sodass der Maschinenbediener das für das Bauteil erforderliche Schweißprogramm abrufen kann.

Normalerweise kommen drei Phasen zum Einsatz: eine Eintauchphase während des Eintauchens des Stifts, eine Rührphase, während

die Schulter bereits in Kontakt mit der Oberfläche des oberen Blechs ist, und eine Zurückziehphase, wenn der Stift wieder zurückgezogen wird. Zum Schweißen von Werkstoffmischverbindungen gibt es unterschiedliche Eintauchphasen. Wenn ein Aluminiumblech auf ein Kupferblech geschweißt wird, kann – falls gewünscht – mit unterschiedlichen Anpresskräften gearbeitet werden, zum Beispiel kann die Kraft beim Eintauchen des Stifts ins Kupferblech erhöht werden.

Über eine von Stirtec entwickelte Qualitätssicherungssoftware lassen sich alle wichtigen Parameter messen und für das Qualitätsmanagement aufzeichnen. Die gemessenen Istwerte werden dabei mit den vom Maschineneinrichter vorgegebenen Sollwerten verglichen und visualisiert. Die tatsächlich gefahrenen Parameter aller Schweißnähte werden dauerhaft aufgezeichnet. Bei Abweichungen außerhalb der eingestellten Toleranzgrenzen wird der Prozess abgebrochen und eine Warnmeldung an den Maschinenbediener ausgegeben und protokolliert.

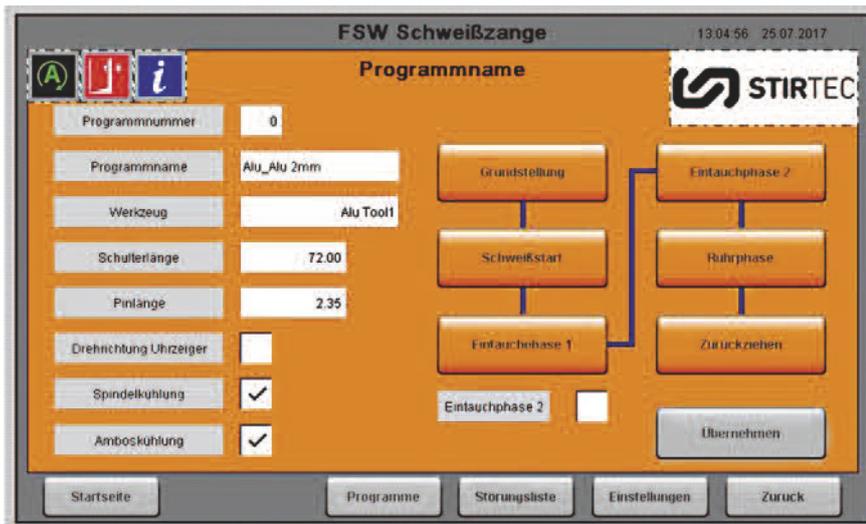
Normung und Terminologie

Durch die stetig zunehmende Zahl der industriellen Anwendungen des FSSW bereitet zurzeit die Commission III des International Institute of Welding (IIW) die Veröffentlichung der Norm ISO 18785 [1] vor, die zurzeit nur in einer englischen Entwurfsfassung vorliegt und aus fünf Teilen besteht: Im ersten Teil (ISO 18785-1: „Terminology“) sind alle für das Rührreibpunktschweißen von Aluminium relevante Begriffe und Definitionen zusammengefasst. Im Anhang der Norm finden sich zudem die Beschreibungen der verschiedenen FSSW-Varianten (basic FSSW, refill FSSW, stitch FSSW, swept FSSW sowie swing FSSW).

INFO

Verfahrensvorteile des Rührreibpunktschweißens

- Pressschweißen in der festen Phase, das heißt unterhalb des Werkstückschmelzpunkts,
- hervorragend für Aluminiumbleche geeignet,
- unterschiedliche Metalle schweißen, zum Beispiel Aluminium auf Stahl,
- geringer thermischer Verzug,
- sehr hohe Festigkeit,
- feinkörniges und gleichförmiges Gefüge,
- sehr gutes Preis-Leistungs-Verhältnis,
- Toleranzausgleich durch Überlappstoß,
- auch für unterschiedliche Blechdicken geeignet,
- mehrlagige Überlappstöße,
- sehr hohe Prozessfähigkeit,
- sehr hohe Wiederholgenauigkeit – ein Punkt ist so gut wie der nächste,
- geringer Stromverbrauch,
- keine Stromspitzen,
- keine Phasenverschiebung,
- keine Spritzer,
- kein Rauch oder sonstige Emissionen,
- kein Schutzgas,
- keine Zusatzwerkstoffe.



▲ Bild 6. Touchpad-Bedienpanel der FSSW-Zange „D-SWG“ (Bilder: Stirtec)

Der zweite Teil (ISO 18785-2: „Design of weld joints“) spezifiziert Designanforderungen und liefert Gestaltungsrichtlinien für das Schweißen von Blechen mit Dicken im Bereich von 0,1 bis 10 mm. In einer Abbildung sind die in ISO 18785-2 angeführten Ausführungsbeispiele für punktgeschweißte Überlappnähte dargestellt.

Der dritte Teil (ISO 18785-3: „Qualification of welding operators“) legt Anforderungen an die Qualifizierung von Bedienern für das Rührreibpunktschweißen fest. Dieser beinhaltet die wesentlichen Einflussgrößen und Geltungsbereiche, Qualifizierungsverfahren, Prüfschweißnähte, Prüfberichte sowie Prüfbescheinigungen für die FSSW-Bediener.

Im vierten Teil (ISO 18785-4: „Specification and qualification of welding procedures“) werden Anforderungen für die Entwicklung und Qualifizierung von Schweißverfahren für das FSSW festgelegt, die vor Beginn der schweißtechnischen Fertigung erfolgen müssen. Der Hersteller muss eine vorläufige Schweißanweisung (pWPS) vorbereiten und sicherstellen, dass sie für die Fertigung anwendbar ist. Die pWPS muss einer entsprechenden Schweißverfahrensprüfung unterzogen und gleichzeitig als Grundlage für die Erstellung eines Berichts über die Qualifizierung eines Schweißverfahrens (WPQR) verwendet werden.

Der letzte und fünfte Teil (ISO 18785-5: „Quality and inspection requirements“) legt Qualitäts- und Prüfungsanforderungen sowie

ein Verfahren fest, mit dem sich die Fähigkeit des Herstellers ermitteln lässt, das Rührreibpunktschweißen zur Fertigung von Produkten mit einer bestimmten Qualität einzusetzen. Dabei werden spezifische Qualitätsanforderungen (Schweißpersonal, Inspektions- und Prüfpersonal, Schweißeinrichtungen, Schweißanweisungen, FSSW-Werkzeuge, Schweißvorbereitung, Schweißen, Wärmebehandlung usw.) festgelegt, wobei diese Anforderungen aber keiner spezifischen Produktgruppe zugewiesen werden. Die Qualitätsanforderungen beziehen sich daher nur auf Aspekte der Produktqualität, die durch FSSW beeinflusst werden können. Ausgewählte Beispiele für Abnahmekriterien und Aus-

züge aus ISO 18785-5 sind in Tabelle 3 der Norm zusammengefasst.

Schlüsselfertige Lösungen: Technologie, Maschinen und Werkzeuge

Stirtec in Premstätten bei Graz in der Steiermark ist einer der führenden Hersteller von Rührreibpunktschweißzangen und Anlagen und bietet seinen Kunden schlüsselfertige Lösungen an. Von der ersten Anfrage bis zur Produktionsbegleitung werden alle Produkte und Dienstleistungen aus einer Hand angeboten. Das Geschäft wird nicht nur mit Prototyping und dem Verkauf neuer Maschinen gemacht, sondern zunehmend auch mit dem Ersatz abgenutzter Werkzeuge. Darüber hinaus widmet sich das Unternehmen einem weiteren Thema: dem Friction Stir Welding von hochfesten Stählen für den Kran- und Pipelinebau. ■



Dipl.-Ing. Stephan Kallee (IWE), CSO, Stirtec GmbH, Premstätten/Österreich, stephan.kallee@stirtec.at



Dr. Ozan Caliskanoglu, CTO, Stirtec GmbH, Premstätten/Österreich, ozan.caliskanoglu@stirtec.at

Literatur

- [1] ISO/FDIS 18785 (E): Friction stir spot welding – Aluminium – Parts 1–5. Ausgabe: 2016-05.