

› Schnell, aber partikelreich

Reibschweissen, die saubere Verbindung?

Beim Reibschweissen treten kinematische Unterschiede auf, die den Schmelzfluss beeinflussen und damit die Beschaffenheit der Schweissrückstände. Das Qualitätsspektrum der Schmelzecharakteristik reicht von losen Partikeln bis hin zu zusammenhängendem Schmelzegrad und kann entsprechend als sauberes Verfahren eingestuft werden. Die Fischer Kunststoff-Schweisstechnik GmbH hat darüber hinaus Lösungen entwickelt, die Restpartikel so reduzieren, dass auch höchste Anforderungen erfüllt werden können.

› Michael Fischer¹

Jede Anforderung verlangt nach einer darauf abgestimmten Verbindungslösung. Im folgenden sind verschiedene Fügeprozesse im Vergleich dargestellt.

Linearschweissen (VIB)

Reibschweissen wird immer noch stark mit dem Linear Vibrationsschweissen assoziiert. Hier wird aufgrund der Vor- und Rückwärtsbewegung die Schmelze gewalzt und als Fädchenbildung in der Schmelzebildungsphase herausgeschoben. Dadurch entstehen lange Partikel, die sich auch im Nachhinein leicht an den Schweissnaht-rändern lösen können.

Der Prozess VIB am Beispiel erläutert:

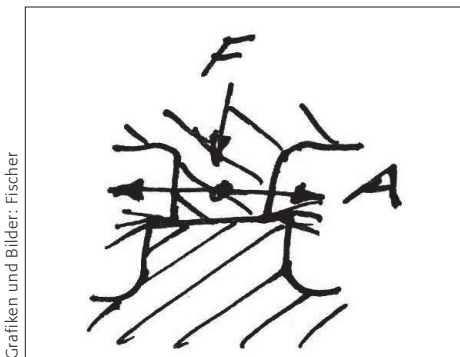
Amplitude $A = 0,6 \text{ mm}$

Schwingweite $2A (+/-A)$

Schweissfrequenz $f(\text{Lin}) = 240 \text{ Hz}$

Die Schweissgeschwindigkeit V_s (angenähert als mittlere V)

$V_s = 4 A \times f(\text{Lin}) = 576 \text{ mm/s}$



Grafiken und Bilder: Fischer

¹ Michael Fischer, Geschäftsführer, Fischer Kunststoff-Schweisstechnik GmbH, Berkatal

Zirkular (ZS) Kreisvibration Amplitude um die Mitte	Lineare Vibration (VIB) Lineare Vibration in X oder Y	Rotative Vib. (ROV) Hin und her auf dem Bodensegment	Rotation (ROT) In eine Richtung um die Drehachse
X-Y Schweißkonturen bis 30° in Z	Längs- und Querschwingungen	Öffnet weitere Anwendungen	Optimiert durch höchste Dynamik
Sensorgehäuse Funkschlüssel Resonatoren Ventile mit Federn und Dichtungen Flächenschweißungen	Rohrschalen Gehäuse/Tunnel Flächenschweißungen	Kappen, Deckel, Lagerschilde mit Kabel- Schlauch-Zuleitungen, Stutzen, Ventile mit höchsten Anforderungen	Deckel, Scheiben, Hülsen, Töpfe, Kartuschen
Partikel bis 700 µm mit IR bis 50 µm	Partikel bis 3000 µm mit IR bis 200 µm	Partikel bis 1000 µm mit IR bis 75 µm	Partikel bis 3000 µm mit IR bis 500 µm

Übersicht über die Reibschweisskinematiken und daraus resultierenden Partikelgrößen.

Die Schweisskraft F in N resultiert aus dem notwendigen Material – Fügedruck für

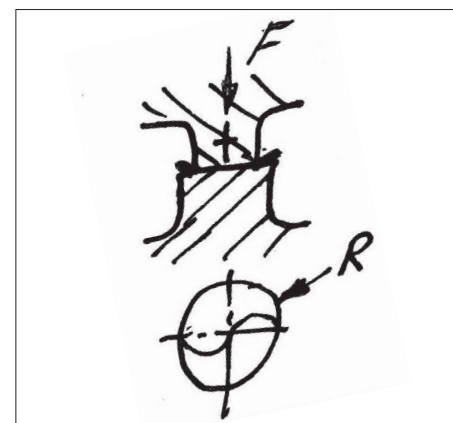
- unverstärkte Materialien ca. $1N/mm^2$
- verstärkte Materialien, nach Verstärkungsanteilen von ca. $3-10N/mm^2$

Die Schwingrichtung ist «unidirektional», wobei umlaufende Schweissstege von Gehäusen unter längs und quer zur Schweissnaht stehendem Schwingeinfluss stehen, was im Verhältnis von Schweissnahtbreite zu Schwingweite zu beachten ist, weil sonst der Schweissfaktor von der «Quernaht»-Verbindung und der Längsnaht unterschiedlich ist. Bei der Linearen Vibration VIB werden infolge der Reibgeschwindigkeit und hohen Beschleunigung lose Partikel «weggeschleudert».

Zirkularschweissen (ZS)

Hier ist die Kinematik eine Kreisbewegung um einen Mittelpunkt mit einem Schwingradius. Die Schmelzebildung erfolgt über Kügelchenbildung, die sich als zusammenhängende Schmelze gleichmässig nach aussen schiebt. Der Vorteil ist eine gleichmässige Schmelzeschicht, die sich auch an

den Schweissrändern nicht leicht ablöst. Auch ist die Festigkeit höher, weil die Materialvermischung allseitig erfolgt und das aufgeschmolzene Material erst als über-schüssige Schmelze infolge der Volumenverdrängung nach aussen gelangt. Somit kann die Wärme tiefer in die Schweissfläche eindringen als beim Linearschweissen. Der Prozess ZS am Beispiel erläutert: Die Kreisschwingung hat den Radius, der bei linearer Schwingung mit der Amplitude vergleichbar ist; der Radius hat jedoch eine erhebliche Auswirkung auf den Zyklusweg (Reibweg).



R = 0,6 mm
 Schwingweite 2R (+/- R)
 Die Schweissgeschwindigkeit Vs
 $V_s = 2R \times \pi \times f(zs) = 576 \text{ mm/s}$
 Die Schweissgeschwindigkeit wird mit dem VIB-Prozess gleichgesetzt, um gleiche Schweissbedingungen zu haben.
 Nun muss auf die Zirkularfrequenz umgestellt werden. Infolge der konstanten ZS-Kreisschwingung wird die Schweissfrequenz niedriger, die Formel lautet für f(zs) nun:

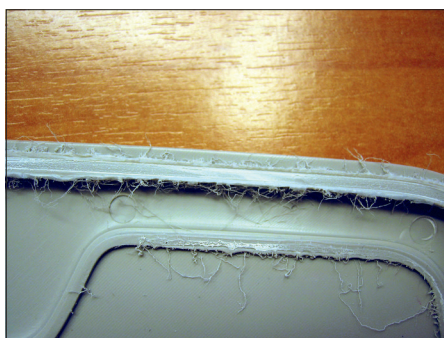
$$f(zs) = \frac{V_s}{2R \times \pi} = 152 \text{ Hz}$$

Damit zeigt sich die Effektivität der Kreisschwingung, die sich äusserst positiv in der Schmelzebildung und Partikelreduzierung auswirkt, und die wir weiter unten dynamisch betrachten.

Parameter im Vergleich zu VIB:
 Zirkularschweissen ZS: Die Kreisschwingung mit Radius R=0,6 ist gleich gross gewählt wie die Amplitude A bei VIB, die Auflösung nach der vergleichbaren zirkularen Schweissfrequenz mit Ergebnis f(zs)=152 Hz. Das bedeutet: Um gleiche



Linear VIB, mit 160Hz: Die Fusselbildung ist bis aussen sichtbar. Hier eine reibgeschweisste Sonnenblende.



Schweissaustrieb stark faserig, Material PP, Bruchprobe der VIB reibgeschweissten Sonnenblende.

Schweissbedingungen (Schweissgeschwindigkeiten) zu haben, muss der Prozess «Vibration» eine Schweissfrequenz von 240 Hz haben, der Prozess «Zirkular» jedoch nur 152 Hz, was für den Schmelzeaustritt in den Randbereichen der Naht günstiger ist.
 Die deutlich niedrigere Zirkularschwingungsfrequenz f(zs) erbringt die gleiche Leistung wie die deutlich höhere Linearfrequenz f(Lin) und dies ohne Massenumkehrungskräfte!

Rotationsschweissen (ROT)

Beim Rotationsschweissen dauert die Schmelzebildungsphase etwas länger und infolge der rotierenden Bewegungsdynamik des Schmelzeaustritts ist die Partikelbildung intensiver. Die Fliehkräfte der tangentialen Reibgeschwindigkeit, fortlaufend in eine Richtung, lassen den Schweissaustrieb lang werden und die Partikel können sich auch leicht von dem Bauteil lösen.

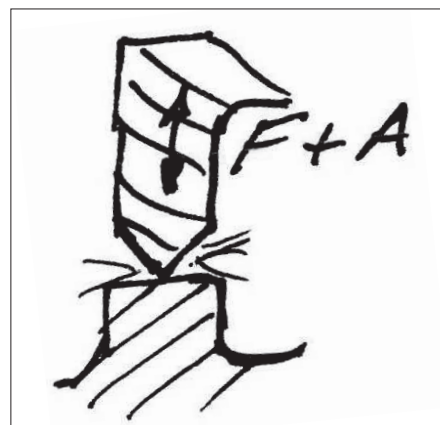
Rotatives Vibrations-schweissen (ROV)

Eine Weltneuheit als partikelärmere Alternative zum Rotationsschweissen ist das eigen entwickelte rotative Vibrations-schweissen, eine auf dem Bogensegment hin und her vibrierende Reibkinematik. Es handelt sich wie beim Linearschweissen um eine oszillierende Schwingkinematik, allerdings um die Drehachse des Bauteiles. Als Vorteil gegenüber dem ROT erzielt man mit dem ROV eine höhere Festigkeit und kleinere und zusammenhängendere Schmelzpartikel. Dadurch kann man auch eine Schweissnahtgestaltung in Ringstegform wählen wie sie beim Linearschweissen üblich ist und benötigt keine V-Nahtgestaltung, die noch beim klassischen Rotations-schweissen gang und gäbe ist, um die geringere Schweissnahtfestigkeit der auf Stoss geschweissten Verbindungen auszugleichen.

Ultraschallschweissen (US)

Beim Ultraschallschweissen erfolgt – anders als beim Reibschweissen – eine vertikale Schwingung, die je nach Maschine mit 20kHz, 30kHz, 40kHz die Energie senkrecht auf das Füge-teil einleitet. Hierdurch entsteht so viel Energie in der dach-

förmigen Schweissnaht, Energierichtungsgeber genannt, dass die Schmelzpartikel regelrecht wegspritzen können. Bei durchsichtigen Teilen wie Rückleuchten, können diese Spritzer durch die durchsichtige PMMA-Deckblende sichtbar sein – ein K.o.-Kriterium in diesem Fall für das Ultraschallschweissen. Eine scharf abgegrenzte Schweisslinie wird mit dem Zirkularschweissprozess umgesetzt.



Der Prozess Ultraschallschweissen (US) allgemein betrachtet:
 Die Amplitude A wirkt im Hundertstelbereich und ist in ihrer Grösse nach der Nennfrequenz und der Transformation von Booster und Sonotrode bestimmt.
 Beispiel: A = 0,03 mm bei f = 20kHz, um sich die Parameterunterschiede von A und f im Vergleich zum Reibschweissen besser vorstellen zu können.

Einfluss auf die Partikelbildung beim VIB und US

Die oszillierende Linearschwingung beim VIB erzeugt extreme Beschleunigungen in den Endlagen zwischen V_0 und V_{max} . So wird beispielsweise ein Kunststoffpartikel von nur einem Gramm mit einer Kraft von 0,3 N bewegt und damit «weggeschleudert».
 Ganz ähnlich verhält es sich beim Ultraschallschweissen. Dort ist die Amplitude zwar viel kleiner, im Hundertstel-Millimeterbereich, die Frequenz jedoch ist um den Faktor 125 höher. Deshalb ist die Sinuskreisschwingung beim Zirkularschweissen so genial: Es gibt keinen «Nulldurchgang», sondern es herrscht über den ganzen Prozess eine konstante Reibgeschwindigkeit vor.

Totgesagte leben länger

Dieser Beitrag soll dem pauschalen Urteil eines «schmutzigen Prozesses», den das Reibschweissen durch das Lineare Vibrationschweissen und das Rotationsschweissen hat, entgegenwirken. Das Rotative Vibrationschweissen ist eine Alternative zum Rotationschweissen, mit besseren Qualitätsfaktoren für runde Bauteile mit vorgegebenen Achsmitten.

Unsere bereits optimierten Reibschweissprozesse sind – kombiniert mit einer IR-Vorheizung – reinraumfähig. Wir sprechen hier von einem Hybridprozess.

Hybridprozesse

Durch das Zusammenwirken von thermischer Vorbehandlung und nachfolgendem Präzisionsreiben entsteht ein Hybridpro-



Saubere Abschlusskontur mit Zirkularschweissen (ZS) mit 160 Hz reibgeschweisst.



Zusammenhängende Schmelze nach ZS, Material PP, Bruchprobe, Innenseite.



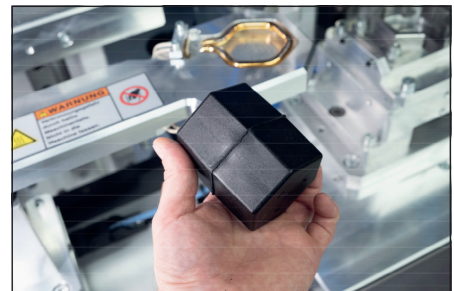
Reibschweissen mit Infrarot kombiniert.

zess. Beim Reibschweissen werden in der Trockenreibphase Materialpartikel abgerieben. In der Schmelzephase wird ein Teil der Partikel mitverschweisst, trotzdem bleiben Restpartikel nach dem Schweissen in der Umgebung. Eine optimierte Füge-nahtgestaltung mit Fangräumen kann zwar den Schmelzeaustrieb fangen und ermöglicht damit eine deutlich sauberere Verschweissung, jedoch hat das Grenzen, die nur durch Vorheizen überwunden werden.

Reibschweissen mit Infrarot kombiniert

Wenn Fügeverbindungen unter Reinraumbedingungen gefordert sind, muss der Schmelzübergang ohne Trockenreibung stattfinden. Durch Vorwärmen wird die Oberflächenschmelztemperatur der beiden Teilhälften durch Energiestrahlung (ohne Kontakt) aufgeheizt. Direkt danach erfolgt der Fügeprozess durch axiales Verpressen mit gleichzeitigem biaxialen Schwingen in der Ebene, um die beigegemengten Faserzusätze (bis 50 %) mechanisch zu vermischen. Damit erfolgt eine Erhöhung des Schweißfaktors gegenüber dem Reibschweissen ohne Vorwärmung, aber auch gegenüber dem «nur» IR-Schweissen.

Die Prozesszeit ist durch unsere Zirkularkinematik, durch dynamische Achsenbewegungen und kurze Teilprozesse wie Vorheizen und Reibfügen insgesamt viel kürzer als bei rein thermischen Schweissverfahren.



Probekörper nach erfolgtem Hybridprozess.

Mit der Reibphase erfolgt eine Temperaturerhöhung unter luftdichter, geschlossener Fügezone, in der keine Oxydation erfolgen kann. Das verdrängte Materialvolumen wird als Wulst rechts und links des Schweisssteiges herausgedrückt und ist fester Bestandteil der Schweissnaht.


Ausblick

Gerade auch in der E-Mobilität werden oder sind die Anforderungen nicht geringer. Bei Kühlsystemen werden dünne Wandungen und Schweissnähte gefordert, für die sich eine IR-Strahlung nicht eignet, weil sie zu grob und damit störend für die Umgebung ist. Auch hier haben wir den richtigen Prozess «auf Lager». Heute schon können wir Schweisssteige bis zu gerade einmal 0,8 mm Breite präzisionsschweissen.

Die Prozesszeiten beim Hybridfügen konnten wir durch neueste Weiterentwicklungen infolge höherer Energiedichte deutlich reduzieren, was der vom Kunden gewünschten höheren Produktivität sehr entgegen kommt.

Kontakt

Fischer Kunststoff-Schweisstechnik GmbH
D-37297 Berkatal
+49 5657 913021
info@fischer-st.de
www.fischer-st.de



Unser Ziel?

Realisierung Ihrer Projekte!

Von der Planung bis zur Inbetriebnahme.

Lösungen à la carte

HATAG®
Handel und Technik AG

HATAG Handel und Technik AG ■ Rörswilstrasse 59 ■ CH-3065 Bolligen ■ Telefon +41 (0)31 924 39 39 ■ hatag@hatag.ch ■ www.hatag.ch