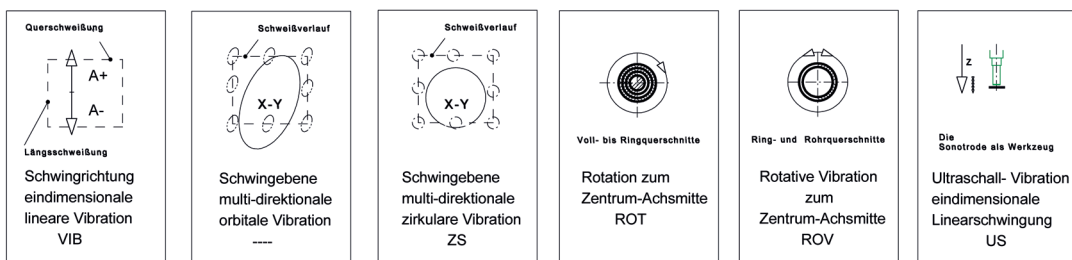


Reibschweißen die saubere Verbindung?

In diesem Fachbeitrag möchte die Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal, auf die kinematischen Unterschiede beim Reibfügen hinweisen, die den Schmelzefluss beeinflussen und damit die Beschaffenheit der Schweißrückstände. Das Qualitätsspektrum der Schmelzecharakteristik reicht vom losen Partikel bis hin zu zusammenhängendem Schmelzgrad, was dann auch als sauberes Verfahren gelten kann. Darüber hinaus werden Lösungen vorgestellt, die Restpartikel so zu reduzieren, dass auch höchste Anforderungen erfüllt werden können. Hierzu auch unsere Grundlagen: Geschwindigkeitsprofile der Reibfügeprozesse im Vergleich (sh. unten).



Die Geschwindigkeitsprofile der Reibfügeprozesse im Vergleich

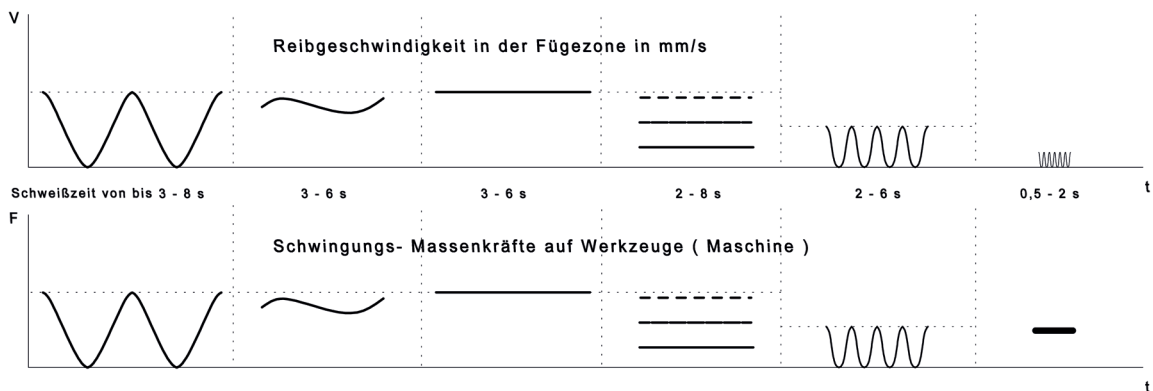


Fügevorschub in Z
Reibebene in X-Y
Amplitude A 0,2-1,5 mm
Reibgeschwindigkeit 400-850 mm/s

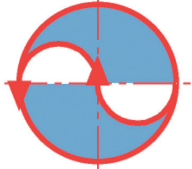
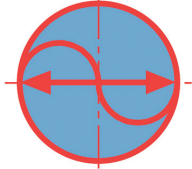


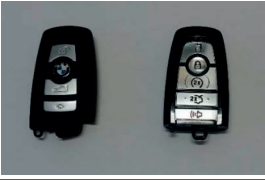

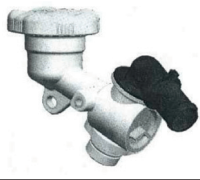

Fügevorschub in Z
Reibebene in X-Y
Amplitude A/R 0,2-0,8 mm
Reibgeschwindigkeit 400-850 mm/s

Fügevorschub in Z
Reibebene um Achse Z
Schweiß-Durchmesser nach Produkt & Leistung
Drehfrequenz bis 8 000 min⁻¹

Fügevorschub in Z
US- Schwingung in Z
Amplitude A 0,02-0,05
Frquenz 20-40 kHz



Übersicht über die Reibschweißkinematiken und daraus resultierenden Partikelgrößen

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
			
Funkschlüssel	Klappen / Deckel	Ventile	Kartuschen

Anwendungsbeispiel

Funkschlüssel:

**Präzisions-Reibschmelzen
mit Zirkular-Schweißmaschinen
ZMT 2 CC**

Derzeit: ~ 40 aktive Maschinen
im Markt x 1 Mio. Teile / Jahr =
40 Mio. Funkschlüssel pro Jahr.
Die max. Produktivität pro Jahr
wird bei 2 Schichtbetrieb mit Auto-
maten erzielt, unsere Information
eines Kunden besagt 1,5 Mio
Elektronik-Baugruppen.

**Reibschweißen ein schneller
Prozess, aber partikelreich?**

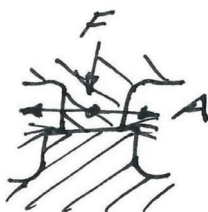
Ein Prozessvergleich:

1) Linearschweißen (VIB):

Reibschweißen wird immer noch
stark mit dem Linear Vibrations-
schweißen assoziiert. Bei dem
aufgrund der Bewegungsrichtung

von vor und zurück, die Schmelze
gewalzt wird und als Fädchen-
bildung in der Schmelzebildungs-
phase herausgeschoben wird.
Dadurch entstehen lange Partikel,
die sich auch im Nachhinein leicht
lösen können an den Schweißnaht-
rändern.

Der Prozess VIB am Beispiel
Amplitude $A = 0,6$ mm Schwing-
weite $2A (+/-A)$
Schweißfrequenz
 $f(\text{Lin}) = 240$ Hz
Die Schweißge-
schwindigkeit V_s
(angenähert als
mittlere V)



$V_s = 4 A \times f(\text{Lin}) = 576$ mm/s
Die Schweißkraft F in N resultiert
aus dem notwendigen Material –
Fügedruck für
- unverstärkte Materialien
ca. $1\text{N}/\text{mm}^2$

- verstärkte Materialien, nach
Verstärkungsanteilen von
ca. $3\text{-}10\text{ N}/\text{mm}^2$
Die Schwingrichtung ist „uni-
direktional“ wobei umlaufende
Schweißstege von Gehäusen unter
Längs- und quer zur Schweißnaht
stehenden Schwingenfluss
stehen, was für die Schweißnaht-
breite zur Schwingweite zu beach-
ten ist, sonst hat die „Quernaht“-
Verbindung nicht den gleichen
Schweißfaktor als die Längsnaht.
Lineare Vibration VIB:
Am Beispiel werden lose Partikel
infolge der Reibgeschwindigkeit
und der hohen Beschleunigung
„weggeschleudert“.
Hierzu Näheres im Kapitel 6.
2) Zirkularschweißen (ZS):
Hier ist die Kinematik eine Kreis-
bewegung um einen Mittelpunk
mit einem Schwingradius.

VIB: Fusselbildung bis außen sichtbar



Linear VIB, mit 160 Hz reibgeschweißte Sonnenblende

Die Schmelzebildung erfolgt über Kügelchen-Bildung, die sich als zusammenhängende Schmelze gleichmäßig nach außen schiebt. Der Vorteil ist eine gleichmäßige Schmelzeschicht, die sich auch an den Schweißrandbereichen nicht leicht ablösen kann. Auch ist die Festigkeit höher, weil die Materialvermischung allseitig erfolgt und das aufgeschmolzene Material erst als überschüssige Schmelze infolge der Volumen-Verdrängung nach außen gelangt und somit die Wärme tiefer in die Schweißfläche eindringen kann als beim Linear-schweißen.

Der Prozess ZS am Beispiel:

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).

ZS: Saubere Abschlußkontur

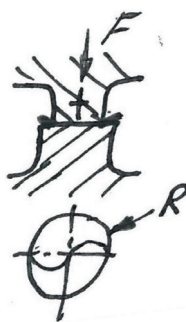


Zirkular ZS mit, 160 Hz reibgeschweißte

VIB: Schweißaustrieb stark faserig



Material PP, Bruchprobe der VIB reibgeschweißten Sonnenblende



$R = 0,6 \text{ mm}$
Schwingweite $2R$ (+/- R)
Die Schweißgeschwindigkeit V_S
 $V_s = 2R \times \pi \times f(zs)$
Die Schweißgeschwindigkeit wird mit dem

VIB-Prozess gleichgesetzt, um gleiche Schweißbedingungen zu haben.

Jetzt Umstellung auf die Zirkularfrequenz:

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 erheblich positiv in der Schmelze-

ZS: Zusammenhängende Schmelze



Material PP, Bruchprobe, Innenseite

bildung- und Partikelreduzierung auswirkt, die wir weiter unten dynamisch betrachten.

Parameter im Vergleich zu VIB:

Zirkularschweißen ZS: Kreisschwingung Radius $R=0,6$ so groß gewählt wie die Amplitude A bei VIB, die Auflösung nach der vergleichbaren zirkularen Schweißfrequenz mit Ergebnis $f(zs)=152 \text{ Hz}$. Die deutlich niedrigere Zirkularschwingungsfrequenz $f(zs)$ hat die gleiche Leistung im Vergleich mit der deutlich höheren Linearfrequenz $f(\text{Lin})$ und das ohne Massen-umkehrungskraften.

3) Rotationsschweißen (ROT):

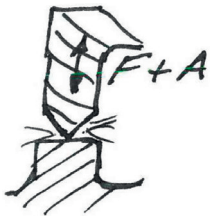
Beim Rotationsschweißen dauert die Schmelzebildungsphase etwas länger und infolge der rotierenden Bewegungsdynamik des Schmelze-austriebes ist die Partikelbildung intensiver. Die Fliehkräfte der tangentialen Reibgeschwindigkeit, fortlaufend in eine Richtung, lassen den Schweißaustrieb lang werden und diese können sich auch leicht von dem Bauteil lösen.

4) Rotatives Vibrationsschweißen (ROV):

Eine Weltneuheit als partikelärmere Alternative zu dem Rotationsschweißen ist unser auf dem Bogensegment hin und her vibrierende Reibkinematik. Es ist wie das Linearschweißen eine oszillierende Schwingkinematik, allerdings um die Drehachse des Bauteiles. Als Vorteil erzielt man eine höhere Festigkeit und kleinere und zusammenhängendere Schmelzepartikel, im Vergleich zum Rotationsschweißen. Dadurch kann man auch eine Schweißnahtgestaltung in Ringstegform wählen wie sie beim Linearschweißen üblich ist und benötigt keine V - Nahtgestaltung, die noch beim klassischen Rotationsschweißen üblich ist, die geringere Schweißnahtfestigkeit auf Stoß geschweißten Verbindungen anzugleichen.

5) Ultraschallschweißen (US):

Das Ultraschallschweißen, hier erfolgt anders als beim Reibschweißen, eine vertikale Schwingung, die je nach Maschine mit 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz auf das Fügeteil senkrecht die Energie einleitet. Hierdurch entsteht so viel Energie in der dachförmigen Schweißnaht, Energierichtungsgeber genannt, dass die Schmelzpartikel regelrecht wegspritzen können. Bei durchsichtigen Teilen wie Rückleuchten, können diese Spritzer sichtbar sein durch die durchsichtige PMMA Deckblende. 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 hundertstel – Bereich und ist in ihrer Größe nach der Nennfrequenz und

der Transformation von Booster und Sonotrode bestimmt.

Bsp. $A = 0,03 \text{ mm}$ bei $f = 20 \text{ kHz}$ um sich die Parameterunterschiede von A und f im Vergleich zum Reibschweißen besser vorstellen zu können.

6) Einfluss einer pulsierenden Schweißkinematik auf die Partikelbildung zu VIB und US

Die oszillierende Linearschwingung erzeugt extreme Beschleunigungen in den Endlagen zwischen v_0 und v_{max} .

So wird als Beispiel ein Kunststoff-Partikel von nur 1 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 Millimeter, jedoch die Frequenz um Faktor rund 125 höher.

Deshalb ist die Sinus-Kreisschwingung beim Zirkularschweißen so genial: Es gibt keinen „Nulldurchgang“ sondern es herrscht über den ganzen Prozess eine konstante Reibgeschwindigkeit vor. Hierzu auch unsere Grundlagen: Geschwindigkeitsprofile der Reibfügeprozesse im Vergleich (sh. S. 20).

7) „Totgesagte leben länger“:

Wir möchten hier das pauschale Urteil eines „schmutzigen Prozess“, den das Reibschweißen durch das Lineare-Vibrations-schweißen und das Rotations-schweißen hat, entgegenwirken. Mit dieser Veranschaulichung die wirkliche Qualitätssteigerung durch das Zirkular- und ROV-schweißen, die tatsächlichen Unterschiede und Vorteile hervorheben.

Hiermit auch eine neue Alternative zum Rotationschweißen mit besseren Qualitätsfaktoren ins Bewusstsein bringen, gerade mit unserem ROV-Schweißen für runde Bauteile mit vorgegebenen Achsmitten. Unsere bereits optimierten Reibschweißprozesse sind mit IR-Vorheizen reinraumfähig, sobald man die Reibschweißprozesse mit einer Vorheizung kombiniert. Diese stellen wir im Folgenden unter Hybridprozesse vor.

8) Hybridprozesse durch das Zusammenwirken von thermischer Vorbehandlung und nachfolgenden Präzisionsreiben.

Beim Reibschweißen werden in der

Trockenreibphase Materialpartikel abgerieben. In der Schmelzephase werden ein Teil der Partikel mitverschweißt, trotzdem bleiben Restpartikel nach dem Schweißen. Eine optimierte Fügenahtgestaltung mit Fangräumen kann zwar den Schmelzeaustrieb fangen, um eine deutlich saubere Verschweißung zu ermöglichen, jedoch hat das Grenzen, die nur durch Vorheizen überwunden werden.

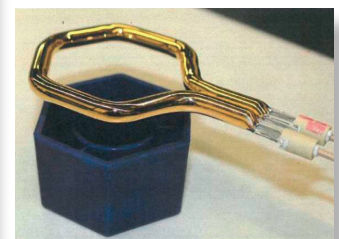
Reibschweißen mit Infrarot kombiniert:

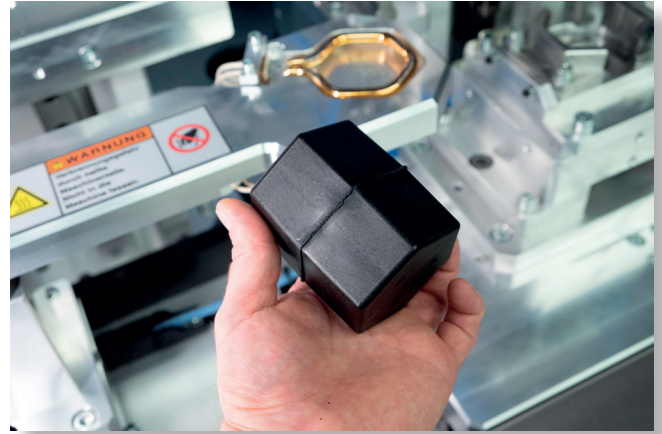
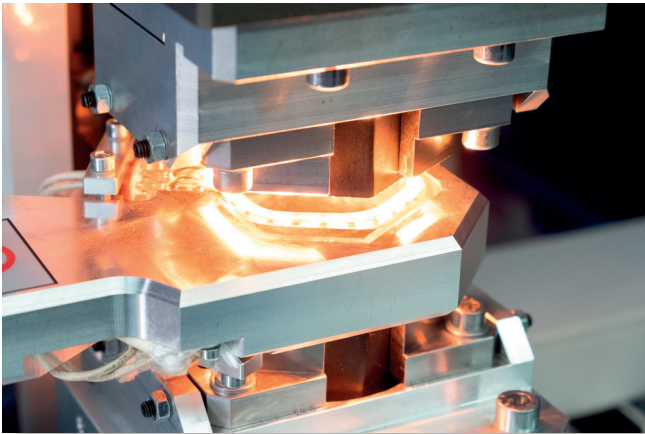
Wenn Fügeverbindungen unter Reinraumbedingungen gefordert sind, muss der Schmelzeübergang ohne Trockenreibung stattfinden. Durch Vorwärmen wird die Oberflächenschmelzetemperatur der beiden Teilhälften durch Energiestrahlung (ohne Kontakt) aufgeheizt. Direkt danach erfolgt der Fügeprozess durch axiales Verpressen mit gleichzeitigem biaxialen Schwingen in der Ebene, um die beigemengten Faserzusätze (bis 50 %) mechanisch zu vermischen. Damit erfolgt eine Erhöhung des Schweißfaktors gegenüber dem Reibschweißen ohne Vorwärmung, aber auch einen höheren Schweißfaktor als der durch „nur“ IR-Schweißen erreicht wird.

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



IR-6-Eck-Strahler für Kunststoff-Fügesystem Fa. Fischer-ST und Uni Kassel





Im Bild 1 unten sieht man den Temperaturverlauf der Vorheizphase und der Reibschweißphase. Die Temperatureinwirkung ist in der Vorheizphase bewusst niedriger gewählt um das Material zu schonen. 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 herausgepresst und ist fester Bestandteil mit der Schweißnaht.

9) Ausblick:

Gerade auch in der E-Mobilität werden oder sind die Anforderungen nicht geringer. Bei Kühlsystemen werden dünne Wandungen

und Schweißnähte gefordert, die eine IR-Strahlung als zu grob und damit störend für die Umgebung ist. Auch hier haben wir den richtigen Prozess „auf Lager“. Heute schon kann die Fa. Fischer Schweißstege bis nur 0,8 mm Breite präzisions-schweißen. Die Prozesszeiten beim Hybridfügen konnte man durch neueste Weiterentwicklungen infolge höherer Energiedichte deutlich reduzieren, was der vom Kunden gewünschten höheren Produktivität sehr entgegen kommt. Bitte lassen Sie sich bei Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH von neuen Möglichkeiten für Ihre bestimmt nicht einfacher werden Teile und Funktionsmodule beraten.

Fischer KST hat inzwischen eine Universalmaschine zum Patent angemeldet, über die demnächst hier berichtet wird. Auch kann diese bereits als Labormaschine bei Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH besichtigt und genutzt werden.

(Werkbilder: Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal)

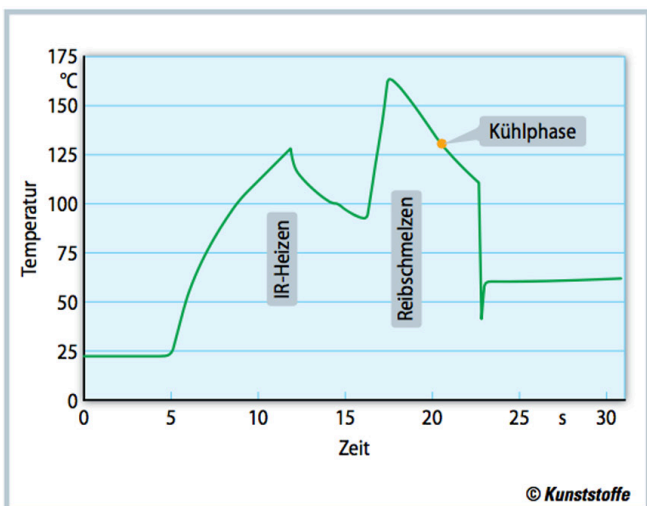


Bild 1: Messung der Temperatur über die Zeit beim Vorheizen und Zirkularreibschweißen

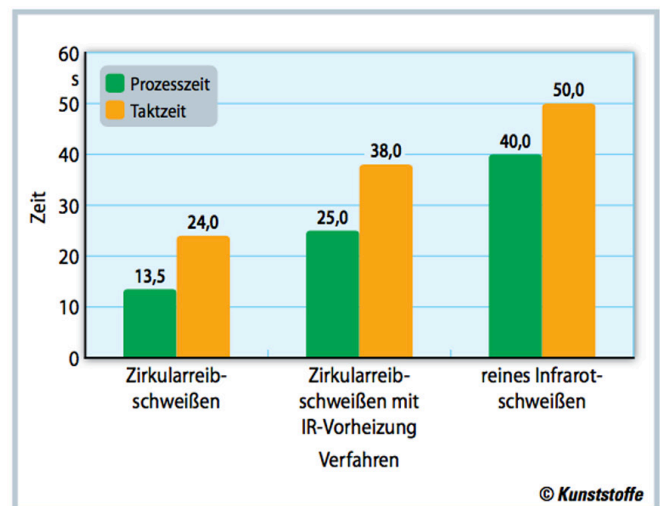


Bild 2: Produktivität im Detail: Typische Prozess- und Taktzeiten beim reinen Zirkularreibschweißen (links), Zirkularreibschweißen mit IR-Vorheizung (Mitte) und reinem Infrarotschweißen (rechts)