

Heizelementschweißen

Einordnung des Verfahrens und Anwendungsgebiete

Das Heizelementschweißen ist ein Fügeverfahren, bei dem die Fügeflächen der zu schweißenden Formteile mit Hilfe eines elektrisch beheizten Heizelementes durch Berührung oder Strahlung ausreichend erwärmt und anschließend unter Druck geschweißt werden. Das Schweißen mittels Heizelement zählt zu den am häufigsten in der industriellen Serienfertigung eingesetzten Schweißverfahren. Die Vorteile des Heizelementschweißens liegen neben dem Schweißen von dreidimensionalen Fügeflächen und dem hohen Automatisierungsgrad der Maschinen in der großen Produktpalette an Kunststoffen, die geschweißt werden können. Nachteilig zeigt sich die im Vergleich zum Ultraschall- und Vibrationsschweißen längere Taktzeit des Schweißverfahrens. Eine Reduzierung der Taktzeit ist jedoch durch Schweißen im Hochtemperaturfeld oder durch Aufteilung des Prozesses in mehrere Stufen möglich.

Das Verfahren findet Anwendung für eine breite Produktpalette thermoplastischer Bauteile, die in verschiedensten industriellen Bereichen zu finden sind. Typische Anwendungsgebiete sind in der Automobilindustrie, in der Haushalts- bzw. Weißgeräteindustrie und in der Sanitär- und Installationstechnik zu finden. Darüber hinaus gibt es weitere zahlreiche Anwendungen in den Bereichen Medizintechnik, Spielwaren, Elektrotechnik, Elektronik, Verpackung, Sportartikel.

Prozeßspezifische Grundlagen

Das Heizelementschweißen ist ein Mehrstufenverfahren, da der Erwärmungs- und Fügevorgang zeitlich getrennt voneinander ablaufen. Mit dem Kontakt der Fügeflächen am Heizelement beginnt der Schweißprozeß, der sich, wie in

dargestellt, in die Prozeßphasen Erwärmen, Umstellen und Fügen einteilt.

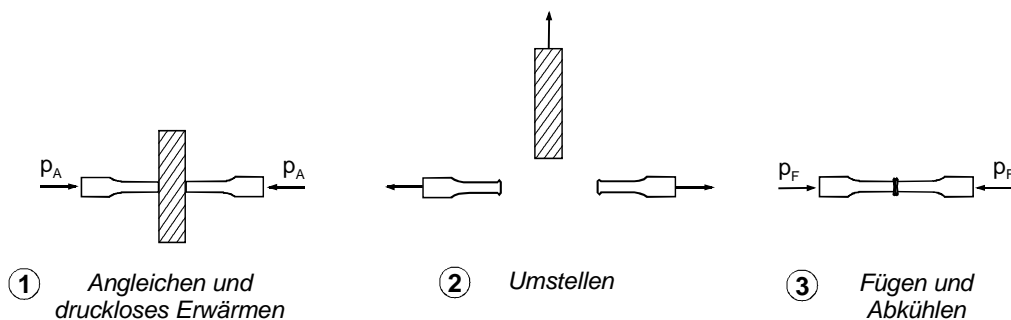


Bild 1: Prozeßphasen beim Heizelementschweißen

Eine Übersicht der beim Heizelementschweißen einzustellenden Maschinen- bzw. Prozeßparameter bei weg- oder kraftgeregelter Schweißung zeigt Tabelle 1.

Verfahrensschritt	Prozeß	
	weggeregelt	Kraftgeregelt
Angleichen	Angleichweg s_A Angleichgeschwindigkeit v_A	Angleichdruck p_A Angleichzeit t_A
druckloses Erwärmen	Heizelementtemperatur T_H Erwärmzeit t_E	
Umstellen	Umstellzeit t_U	
Fügen und Abkühlen	Fügeweg s_F Fügegeschwindigkeit v_F Füge- und Abkühlzeit t_F	Fügedruck p_F

Tabelle 1: Prozeßparameter bei kraft- und weggeregelter Schweißung

Im Folgenden werden die einzelnen Prozeßphasen und die Bedeutung der Prozeßparameter näher erläutert.

Angleichen und druckloses Erwärmen

Aufgrund verarbeitungsbedingter Formteiltoleranzen liegen die Formteile in den seltensten Fällen ganzflächig am Heizelement an. Das Angleichen dient dem Ausgleich dieser fertigungsbedingten Toleranzen, so daß zum Ende des Angleichens die gesamte Fügefläche am Heizelement anliegt, was sich durch einen linearen Verlauf des Schlittenverfahrweges äußert. Der Angleichweg muß so eingestellt werden, daß er größer ist als die Summe der Toleranzen der Fügefläche und des Heizelementes.

Dem Angleichen schließt sich die drucklose Erwärmphase an, in der es durch Wärmeleitung zum Aufbau einer Schmelzeschicht kommt, die sich mit der Dauer der Temperatureinwirkzeit vergrößert. Der Druck beim Erwärmen ist nahezu Null, damit das plastifizierte Material nicht in den Wulst verdrängt werden kann. Die Wahl der Erwärmzeit richtet sich nach material-, bauteil- und verfahrenstechnischen Gegebenheiten und muß durch Versuche ermittelt werden.

Das Umstellen

In der Umstellphase, das heißt nach Ablauf der eingestellten Erwärmzeit, werden die Fügeteile durch Zurückfahren der Maschinenschlitten vom Heizelement abgehoben und das Heizelement aus der Fügeebene herausgefahren. Die Umstellzeit ist maschinenabhängig und sollte so kurz wie möglich sein, damit die Schmelze noch in einem schweißfähigen Zustand verbleibt.

Fügen

Mit dem anschließenden Aufeinandertreffen der Fügeteile beginnt die Fügephase, die sich aus dem Aufbringen des Fügedruckes und dem Abkühlvorgang zusammensetzt. Durch den Fügedruck sollte ein ausgeprägtes Quetschfließen der Schmelze erzeugt werden, bei dem ein Teil der Schmelze als Schweißwulst austritt. Diese Forderung kann durch eine direkte Druckaufbringung oder durch eine Fügewegbegrenzung erfüllt werden. Das Ende des Fügevorganges ist erreicht, wenn keine wesentlichen Fließvorgänge mehr ablaufen. Ist der aufgeschmolzene Bereich genügend abgekühlt, so ist die Schweißung beendet. Der Verfahrensablauf beim druckgeregelter Heizelementschweißen ist in Bild 2 dargestellt.

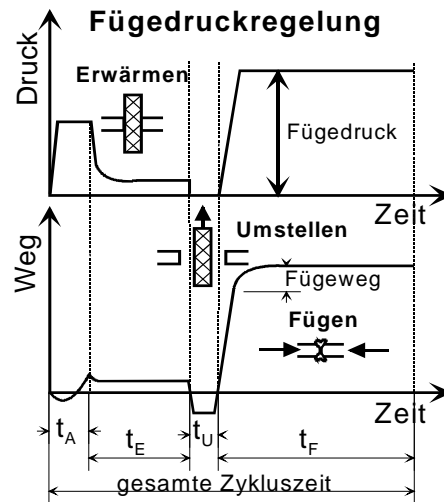


Bild 2: Verfahrensablauf

Werkstoffspezifische Erkenntnisse und Verfahrenshinweise

Schweißen von Formteilen aus gleichen Werkstoffen

Beim Heizelementschweißen von Formteilen, die aus den gleichen Werkstoffen bestehen, werden in der Regel gleiche Einstellungen für die Erwärmpause gewählt. Dabei lassen sich gleiche Schmelzeschichtdicken mit unterschiedlichen Einstellungen von Temperatur und Zeit erreichen. Die notwendige Erwärmpause zur Erzielung gleicher Schmelzeschichtdicke nimmt mit zunehmender Heizelementtemperatur ab. Die Heizelementtemperatur kann jedoch nicht beliebig hoch gewählt werden, da diese von der Zersetzung und der Selbstentzündungstemperatur des Kunststoffes bestimmt wird. Bei Wahl der Fügebedingungen ist darauf zu achten, daß einerseits ein ausreichendes Quetschfließen der Schmelze gewährleistet ist, andererseits nicht die gesamte Schmelze aus der Fügezone herausgedrückt wird.

Umfangreiche Parameterstudien an unterschiedlichen Standardthermoplasten haben gezeigt, daß die Schweißnahtfestigkeit beim Heizelementschweißen von der Differenz zwischen der Heizelementtemperatur und der Schmelztemperatur (Kristallit- bzw. Glasübergangstemperatur), dem Verhältnis von Schmelzeschichtdicke zur Fügepartiewanddicke und vom Verhältnis zwischen Fügeweg zur Schmelzeschichtdicke abhängt. Die Optimierungskriterien für amorphe und teilkristalline Thermoplaste sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Parameter	Kunststoffart	
	amorph	teilkristallin
Heizelementtemperatur T_H	Glasübergangstemp. + 140 °C	Kristallitschmelztemp. + 70 °C
Schmelzeschichtdicke L_0	1,14 * Fügepartiewanddicke d	0,34 * Fügepartiewanddicke d
Fügeweg s_F	0,75 * Schmelzeschichtdicke L_0	0,75 * Schmelzeschichtdicke L_0

Tabelle 2: Optimierungskriterien für amorphe und teilkristalline Thermoplaste.

Angaben über Schweißbedingungen beim Heizelementschweißen verschiedener Werkstoffe sind in den Richtlinien DVS 2215 Teil 1 bis 3 publiziert.

Schweißen von Formteilen aus unterschiedlichen Werkstoffen

Werden beim Schweißen von Formteilen, die aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen, gleiche Erwärmbedingungen für beide Fügepartner gewählt, so besitzt die Schweißnaht oftmals das in Bild 3 dargestellte Aussehen.

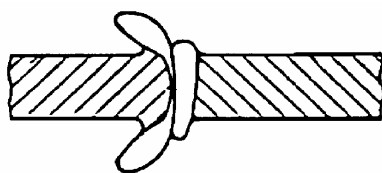


Bild 3: Schematische Darstellung einer Schweißnaht aus unterschiedlichen Werkstoffen.

Hierbei fällt auf, daß in der Schweißnaht kein gleichmäßiges Quetschfließen der Werkstoffe stattgefunden hat. Vielmehr zeigt sich, daß die Schmelze eines der beiden Fügepartner deutlich mehr aus der Fügebene herausgedrückt wurde und bedingt dadurch einen größeren Schweißwulst aufweist. Das in Bild 3 dargestellte Nahtaussehen ist oftmals Grund einer verminderten Schweißnahtfestigkeit.

Durch die Wahl gleicher Heizelementtemperatur und Erwärmzeit ergibt sich ein unterschiedliches Temperatur- und Viskositätsprofil in der Schmelzeschicht, was ein unterschiedliches Fließverhalten des plastifizierten Materials zur Folge hat. Grund dafür sind unterschiedliche rheologische und thermodynamische Eigenschaften der zu schweißenden Werkstoffe.

Beim Schweißen von Formteilen aus Werkstoffen unterschiedlicher rheologischer und thermodynamischer Eigenschaften müssen die Erwärmbedingungen daher individuell angepaßt werden. Dabei sollten die Heizelementtemperaturen und Erwärmzeiten so gewählt werden, daß sich nach dem Umstellen Temperaturprofile einstellen, die einen annähernd gleichen Viskositätsverlauf über der Schmelzeschichtdicke sicherstellen (Bild 4).

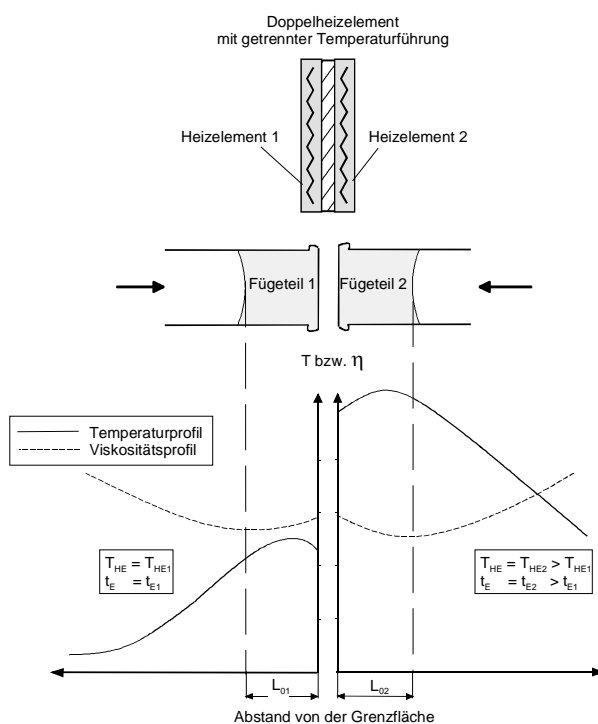


Bild 4: Temperatur und Viskositätsprofil

Die Anpassung der Erwärmparameter soll damit einen gleichmäßigen Schmelzefluß beider Werkstoffe während der Fügephase gewährleisten. Eine Möglichkeit der automatisierten Bestimmung der Erwärmparameter ist in nachzulesen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anpassung der Fügewegverläufe, die ebenfalls in beschrieben wird.

Um dieser Forderung maschinenseitig gerecht zu werden, müssen Doppelheizelemente eingesetzt werden, bei denen die Heizelementoberflächentemperaturen getrennt regelbar sind. Zudem muß ein zeitlich getrenntes Heranfahren der Fügefläche an das Heizelement möglich sein, so daß die Vorgabe unterschiedlicher Erwärmzeiten gewährleistet ist.

Schweißen von Formteilen aus Werkstoffen mit hoher Klebneigung

Bei Werkstoffen, die eine niedrige Schmelzeviskosität aufweisen, kann die Schmelze zum Fädenziehen oder zum Anhaften am Heizelement neigen. Abhilfe kann ein berührungsloses Erwärmen der Fügeflächen durch Wärmestrahlung schaffen. Bei dieser Verfahrensvariante wird zwischen der Heizelementoberfläche und der Fügefläche ein Abstand von 0,5 bis 1,0 mm eingehalten. Um ein gleichmäßiges Aufschmelzen zu garantieren, sollte jedoch auf der gesamten Fügefläche ein gleicher Abstand eingehalten werden. Um die Erwärmzeiten gering zu halten, werden Heizelementtemperaturen von 400 °C bis 550 °C verwendet.