

# Geräte, Anlagen und Systeme zum Fügen und Trennen

## Anwendung von Geräten und Einrichtungen zur Verhinderung von Mängeln bei der Herstellung von Fugenflanken

Th. Regourd, Étoile-sur-Rhône/Frankreich

### Einführung

Mängel bei der Vorbereitung von Flanken zum Herstellen von Schmelzschweißverbindungen an Stahlwerkstoffen sind immer wieder beim Schweißen in der Werkstatt und auf der Baustelle festzustellen. Dies insbesondere dann, wenn ausschließlich von Hand die Nahtoberflächen vorbereitet werden. Bekanntlich werden seit 100 Jahren insbesondere die Schmelzschweißverfahren in fast allen Anwendungsbereichen von Industrie und Handwerk angewendet, vor allem bei der Verarbeitung von un- bis hochlegierten Stählen. Fertigungstechnologien und Werkstofftechnik werden von Jahr zu Jahr verbessert und führen zu immer höherer Fertigungssicherheit und gesteigerter Wirtschaftlichkeit in der gesamten Vorbereitung zum Schweißen.

Während für den Schweißvorgang immer mehr hochwertigere Schweißgeräte und -einrichtungen eingesetzt werden, wird dem wesentlichen Schritt vor dem Schweißen, dem Oberflächenvorbehandeln und dem Nahtvorbereiten, zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt oder auch mit unzureichenden Mitteln und Methoden durchgeführt. Das Ergebnis der mangelhaften

Vorbereitung sind dann Schweißnähte geringer Qualität.

### Welche Mängel und Unregelmäßigkeiten können sich bei der Vorbereitung und der Herstellung der Schweißnaht ergeben?

Das Versagen einer Schweißnaht bei der betrieblichen Beanspruchung kann allein schon durch unsachgemäße Herstellung der Oberflächenreinheit der Stahloberflächen sowie durch Mängel bei der Herstellung der Fugenflanken verursacht werden. Darüber hinaus können auch Fehlstellen oder Fehler – in der Terminologie der Schweißtechnik als Unregelmäßigkeiten bezeichnet – bei der Herstellung von Schweißnähten entstehen, auf die im Folgenden deshalb näher eingegangen wird.

Damit also Schweißnähte entsprechend den geforderten Gebrauchseigenschaften sachgemäß hergestellt werden, ist die Wahl und Qualität der notwendigen Nahtform entscheidend. So gilt als Leitsatz in der Schweißtechnik „gut vorbereitet, ist halb geschweißt“. Damit wird also gesagt, dass alles zu tun ist, um zu einwandfreien Fugenflanken zu gelangen. Hierzu zählen

als wichtige Größen in der Fugenvorbereitung die Steghöhe, der Spalt und der Nahtöffnungswinkel.

Überdies sei in diesem Zusammenhang für den Konstrukteur und die Schweißaufsichtsperson als Anleitung verwiesen auf DIN EN ISO 9692-1 mit allen Arten der Schweißnahtvorbereitung. Diese Norm gilt für das Lichtbogenhand-, das Schutzgas-, das Gasschweißen, das WIG-Schweißen und das Strahlschweißen. Die in dieser Norm empfohlenen Nahtvorbereitungen sind für alle Stähle geeignet.

## Risse

Risse sind vereinfacht gesagt eine Werkstofftrennung und sie sind generell in der Schweißtechnik nicht zulässig. Hierfür gibt es verschiedene Ursachen, wie metallurgische, konstruktive oder fertigungstechnische und letztendlich die erhöhte Beanspruchung der Schweißnaht als Einflussgrößen. Eine besondere Art von Rissen sind die Kalt- und Heißrisse, die nachfolgend erläutert werden.

### Heißrisse

Heißrisse sind Werkstofftrennungen im Schweißgut und in der Wärmeeinflusszone, die bei hohen Temperaturen während des Schweißens entstehen. Das Auftreten von Heißrissen im Schweißgut und in der Wärmeeinflusszone wird durch schweißmetallurgische, konstruktive und technologische Faktoren beeinflusst. Im Falle der falschen Wahl des Nahtöffnungswinkels und/oder auch der Abweichung des Winkels über die gesamte Nahtlänge bei rein manueller Fugenherstellung, kann es je nach Betriebsbeanspruchung zur Rissbildung kommen. Dem vorzubeugen bedient man sich geeigneter und seit Jahren bewährter Anfasmaschinen, die präzise und

konstante Öffnungswinkel über die ganze zu schweißende Nahtlänge garantieren.

### Kaltrisse

Kaltrisse sind Werkstofftrennungen, die beim Abkühlen auf Temperaturen unterhalb der Martensitbildungstemperatur in der Wärmeeinflusszone entstehen. Die Kaltrissbildung tritt nach dem Schweißvorgang auf (sofort danach, einige Stunden oder sogar Tage danach). Zu einem solchen Mangel tragen gleichzeitig drei Faktoren bei: die Art der Aufhärtung in der Verbindung, Schweißeigenspannungen und in der Schweißnaht diffundierender Wasserstoff. Letzterer kann auf eine falsche Vorbereitung der Fugen zurückzuführen sein. In der Tat wird sich beim Schweißen eines rostigen oder schlecht entfetteten Werkstücks der im Rost oder im Schweißgut vorhandene Wasserstoff in der Schweißverbindung auswirken. Beim Abkühlen des Metallgefüges kommt es dann zu inneren Spannungen im Mikrogefüge. Sind diese Spannungen zu hoch, bilden sich im Metallgefüge Risse. In Verbindung mit anderen Vorsichtsmaßnahmen wie dem Wärmen der Stabelektroden im Köcher oder dem Vorwärmen des Werkstücks, ermöglicht das Bearbeiten der Fugenflanken ohne Schmierung die Herstellung einer Schweißnaht mit wasserstofffreiem Gefüge, was die Wahrscheinlichkeit einer Kaltrissbildung erheblich reduziert.

## Porenbildung

Neben der Kaltrissbildung kann eine ungenügend vorbereitete Oberfläche auch zur Blasenbildung in der Schweißnaht führen. In der Tat führen Wasser, Rost oder Fett auf dem Werkstück zu Gasblasen, die dann in der Schweißnaht eingeschlossen werden. Wie bei der Kaltrissbildung ermöglicht eine fachgerechte Bearbeitung der zu schwei-

Benden Nahtflanken eine eindeutige Verringerung der Gefahr von Porenbildung.

### **Verunreinigte Oberflächen durch Eisenpartikel**

Insbesondere nichtrostende Stähle können durch Eisenpartikel verschmutzt sein. Kommt diese Stähle mit Eisenpartikeln und einem stromleitenden Medium in Kontakt (zum Beispiel feuchte Luft), so kommt es zur galvanischen Korrosion. Die Passivschicht des nichtrostenden Stahls wird geschädigt, wodurch Rostpunkte auftreten können.

Die vorhandenen Eisenpartikel stammen im Allgemeinen vom Gebrauch nicht geeigneter Vorrichtungen. Diese sind unter anderem:

- » Formmaschinen: Druckpressen oder Biegepressen,
- » Hilfsmittel zum Reinigen: Metallbürsten, Lappen, die vorher für unlegierten Stahl und andere Materialien verwendet wurden,
- » Werkzeuge zum Bearbeiten: Schneidwerkzeuge, Anfaswerkzeuge oder Spannbacken.

Die Verunreinigungen können auch von Schleifarbeiten auf unlegiertem Stahl, die in Nähe der Werkstücke aus nichtrostendem Stahl durchgeführt werden, stammen.

Wird ein Werkstück vor dem Schweißen bearbeitet, muss unbedingt sichergestellt sein, dass die verwendeten Spannbacken und Schneidwerkzeuge für die Bearbeitung von nichtrostendem Stahl geeignet sind (wie Spannbacken aus nichtrostendem Stahl oder aus Aluminiumlegierung) und vorher nicht für unlegierten Stahl verwendet wurden (oder in diesem Fall anschließend gründlich gereinigt wurden).

### **Einschweißtiefe**

Zu geringe Einschweißtiefe bedeutet nicht durchgeschweißter Bereich bis zur Nahtwurzel. Zu große Einschweißtiefe bedeutet überflüssiges Schweißgut an der Grundfläche der Schweißnaht. Diese Mängel werden durch falsche Schweißparameter (Stromstärke, Spannung und Vorschubgeschwindigkeit) verursacht, aber auch durch jeweils nicht geeignete Spaltbreiten zwischen den Nahtkanten oder durch eine unzureichend kontrollierte Steghöhe.

Eine zu kleine Spaltbreite führt zu einer zu geringen Einschweißtiefe, während eine zu große Spaltbreite zu einer übermäßigen Einschweißtiefe führt. Doch reicht oftmals ein genaues Positionieren der Werkstücke nicht aus, um diese Art von Mängeln zu vermeiden. Sind die zu schweißenden Werkstücke aufgrund mangelhafter Vorbereitung nicht hundertprozentig parallel, könnte eine unregelmäßige Spaltbreite stellenweise zu einer zu geringen oder übermäßigen Einschweißtiefe führen. Durch ein präzises Planen der Enden kann diese Art von Mangel verhindert werden.

Eine zu geringe oder übermäßige Einschweißtiefe kann auch durch eine Anfasung mit einer für die Schweißparameter nicht geeigneten Steghöhe verursacht werden. Diese Parameter werden in der Tat entsprechend dem zu schweißenden Werkstoff, der Bemessung der Schweißnaht und des gewählten Schweißverfahrens vorweg definiert. Doch durch das alleinige Beherrschen der Schweißparameter lässt sich eine falsche Einschweißtiefe nicht sicher vermeiden. Auch eine nicht konstante Steghöhe aufgrund schlechter Vorbereitung kann die Qualität der Schweißnaht beeinträchtigen. Zum Beispiel können die für eine Steghöhe von 1,5 mm richtigen Parameter bei einer

solchen von 0,5 mm zu übermäßiger Einschweißtiefe und bei einer Steghöhe von 2,5 mm zu unzureichender Einschweißtiefe führen. Hat man die geeignete im Griff, zum Beispiel durch Innenbearbeiten oder Profilverfolgung bei einem ovalen Rohr, so kann die Qualität der Schweißnaht erheblich verbessert werden.

Die richtige Vorbereitung, um eine konstante Spaltbreite oder eine regelmäßige Steghöhe zu gewährleisten, ist bei der Anwendung von automatischen Verfahren, wie dem WIG-Rundnahtschweißen oder dem MIG-Schweißen mit Roboter, von größter Bedeutung. Da bei allen automatischen Schweißverfahren der erfahrene Schweißer oder Bediener nicht eingreift und eventuelle Fehler korrigiert, haben Ausrichtfehler bei maschinengesteuerten Verfahren schwerwiegende Konsequenzen.

### **Bindefehler**

Bindefehler treten dann an Schmelzschweißverbindungen auf, wenn eine unzureichende Bindung zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff besteht oder keine Bindung innerhalb des Schweißguts vorhanden ist.

Auch hier gehört eine unzureichende Vorbereitung der Fugenflanken zu den Hauptursachen für diesen Fehler. In einer im Verhältnis zum Elektrodendurchmesser zu schmalen Fuge kann der Lichtbogen von einer der Nahtflanken angezogen werden. Daher kommt es zum Verschmelzen einer der Ränder und die Fuge füllt sich mit dem Schweißgut. Da allerdings der Lichtbogen die Nahtwurzel nicht direkt erfasst hat (oder das vorhergehend aufgetragene Schweißgut) und die der Fuge gegenüberliegende Seite ebenso wenig, so werden diese Zonen nicht geschmolzen und lediglich mit

Schweißgut überdeckt. In Wirklichkeit ist keine Schweißverbindung mit vollständig miteinander geschmolzenem Schweißzusatzwerkstoff und Grundwerkstoff, also keine stoffschlüssige Verbindung, entstanden. Da sich diese Mängel innerhalb der Schweißnaht befinden und mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind, sind zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie das Ultraschall- oder Durchstrahlungsverfahren, zur Fehlererkennung einzusetzen.

Eine angemessene Festlegung des Nahtöffnungswinkels und eine präzise Bearbeitung der Fugenflanken bei konstantem Winkel verringern die Gefahr von Bindefehlern.

### **Eigenschaftsveränderung des Werkstoffs**

Für das Zuschneiden der metallischen Verbindungsteile werden hauptsächlich zwei Verfahrensweisen angewendet. Als erstes ein thermischen Verfahren, wie Brennschneiden, Plasmaschneiden oder Laserstrahlschneiden, sowie als zweites die mechanische Verfahren wie unter anderem mit Hilfe von Schleifeinrichtungen, Sägen oder Rohrschneidmaschinen.

Auf die Folgen einer ungenauen Nahtvorbereitung mit den mechanischen Bearbeitungsverfahren wie Schleifeinrichtungen oder Sägen wurde bereits detailliert hingewiesen. Beim thermischen Zuschnitt der Verbindungsteile kann durchaus eine zufriedenstellende Qualitätsarbeit erzielt werden, wenn diese von einem erfahrenen Mitarbeiter oder auf vollmechanisierte oder automatisierte Weise durchgeführt wird. Doch führen diese Methoden in den meisten Fällen in Nähe des Zuschnitts zu einer Wärmeeinflusszone (WEZ), welche die metallurgischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs in diesem Bereich stark

beeinträchtigen. Die in dem beeinträchtigten Werkstoffbereich entstehende Schweißnaht erfährt eine Verringerung der mechanisch-technologischen Eigenschaften. Um diese WEZ zu beseitigen, ist es erforderlich, diesen Bereich nachzubearbeiten, um die erforderliche Qualität der Schweißnaht zu gewährleisten.

Durch Anwendung von Rohrschneidmaschinen kann die unzureichende Präzision von Schleifeinrichtungen oder Sägen sowie die Qualitätsverluste in der WEZ im Falle der Anwendung von thermischen Verfahren umgangen werden. Mit diesen Schneidmaschinen lassen sich in einem Arbeitsdurchgang Schnitte und Anfasungen ohne WEZ und mit optimaler und wiederholbarer Qualität erzielen.

### Verfahren mit hoher Energiedichte

Das Laserstrahl- und das Elektronenstrahlschweißen sind Schmelzschweißverfahren, die sich gegenüber den anderen Schmelzschweißverfahren durch eine hohe Energiedichte und damit durch einen Tiefschweißeffekt, das heißt ein hohes Tiefe-zu-Breite-Verhältnis der Schweißnaht (2:1 bis 15:1), auszeichnen. Dieser besondere Effekt wird beim Laserstrahlverfahren durch fokussierte Lichtstrahlen und beim Elektronenstrahlverfahren durch gebündelte Elektronenstrahlen verursacht. Die Fugenöffnungen sind sehr schmal und die Nahtkanten nahezu senkrecht. Also besteht praktisch kein Nahtöffnungswinkel bei der Schweißnahtvorbereitung beider Verfahren. Der Anwendungsbereich des Laserstrahls beträgt 0,1 bis etwa 40 mm. Der Elektronenstrahl reicht von 0,1 bis etwa 200 mm.

Die Vorbereitung der Nahtkanten bei beiden Verfahren verursacht ein sehr sorgfältiges Planen. Beispielsweise kann die Nahtvor-

bereitung beim Laserstrahlverfahren akzeptiert werden, wenn bei der Ausrichtung der Fügepartner die Abweichung unter 1/10 mm beträgt. Die Nahtkanten und umliegenden Bereiche müssen bei Anwendung beider Verfahren absolut frei sein von Verunreinigungen aller Art, wie Fett, Öl oder Staub. Beim Elektronenstrahlschweißen in der Vakuumkammer dürfen keinesfalls Rückstände von Feuchtigkeit, Fremdstoffe oder Ähnliches vorhanden sein, weil sonst kein optimaler Prozessverlauf garantiert werden kann.

Also auch bei Anwendung der Strahlverfahren sind perfekt funktionierende Methoden und Bearbeitungseinrichtungen zu benutzen.

### Schlussbetrachtung

Die Schweißverfahren, insbesondere die Schmelzschweißverfahren, werden heute in der gesamten Metallverarbeitung in großem Umfang eingesetzt, um vielfältige und hochwertige Konstruktionen und Bauteile in der Werkstatt und auf der Baustelle herstellen zu können. Die jeweils angewendeten Verfahren üben einen entscheidenden Einfluss auf die einzelnen Fertigungsschritte aus. Insbesondere müssen die zahlreichen Parameter optimal erfasst und eingehalten werden, um eine Schweißnaht mit der gewünschten Qualität zu erhalten.

Doch trotz der Einhaltung aller vorgegebenen Parameter und der Kenntnis in den einzelnen Abläufen des Schweißens können Schweißnähte mit minderwertiger Qualität entstehen, welche dann im Falle eines größeren Projekts die Ursache für eine nicht termingerechte Auslieferung und Verteuerung des Endprodukts sein können. Die Beseitigung der Mängel und die Verbesserung von schadhafte Nähten kostet

Geld, verursacht Zeitverlust, viele Stunden bis zu mehreren Tagen, je nach Größe und Gewicht des Produkts. Es ist deshalb unerlässlich, dass insbesondere im Stadium der Planung und konstruktiven Gestaltung, wie der Schweißnahtvorbereitung, der Oberflächenvorbereitung und der Fugenflankenherstellung, alle gerätetechnischen Möglichkeiten und Angebote der Hersteller von Nahtvorbereitungsmaschinen genutzt werden. Hierzu werden nachfolgend verschiedene Geräte und Maschinen in ihrem Anwendungsbereich wiedergegeben.



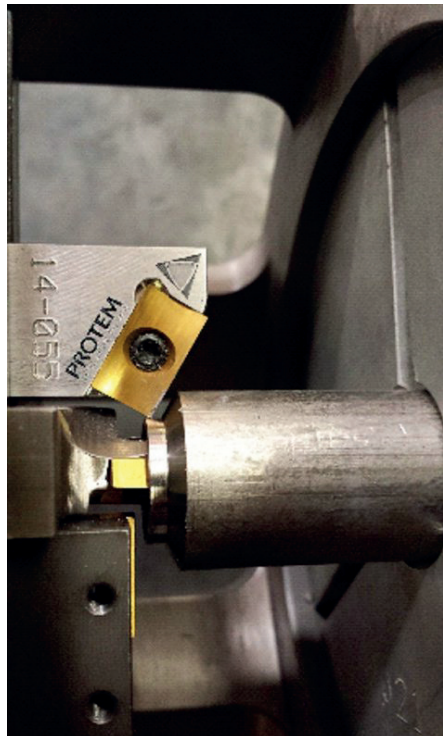
**Bild 3.** Plandrehmaschine.



**Bild 1.** Konventionelle Bearbeitung eines Rohres mit einem Winkelschleifer.



**Bild 2.** Anfasmaschine.



**Bild 4.** Beispiel für das Anfasen mit Wendepatten.

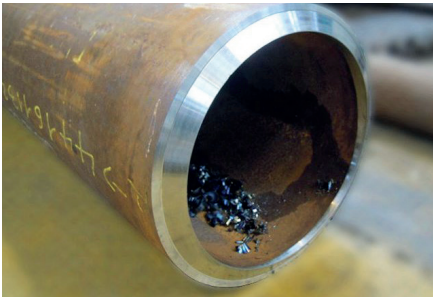




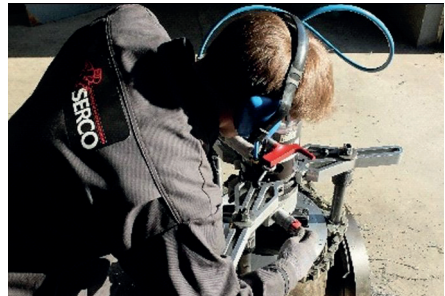
**Bild 5.** Anfasmaschine im Einsatz.



**Bild 8.** Hochgeschwindigkeits-Anfasmaschine.



**Bild 6.** Beispiel einer Schweißnahtvorbereitung an einem Rohr.



**Bild 9.** Flanscbearbeitungseinheiten.



**Bild 7.** Rohrtrenn- und Anfasmaschine.



**Bild 10.** Flanscbearbeitungsmaschine.