



Elektronenstrahlschweißen im Vakuum



Beim Schweißen die Luft anhalten

Schweißen verbindet – die Herstellung von zahllosen Bauteilen ist ohne das Fügeverfahren undenkbar. Während die Geschichte des Schweißens bis auf die Bronze- und Eisenzeit zurückgeht, sind heute hochspezialisierte Verfahren in der Anwendung, die je nach Anwendung bestimmte Vorteile bringen. Besonders herausragende Eigenschaften besitzt das Elektronenstrahlschweißen: Es lässt sich zum Fügen kleinster Komponenten ebenso einsetzen wie für riesige Großteile. Bei der Anwendung sind Vakuumlösungen unverzichtbar.

Beim Elektronenstrahlschweißen wird ein Strahl stark beschleunigter Elektronen über einstellbare Magnetfelder auf ein Werkstück fokussiert. Auf der Oberfläche des Werkstücks geben die Elektronen punktgenau an der Auftreffstelle Energie ab und erwärmen, schmelzen und verdampfen dort Material. Die Strahlerzeugung in der Elektronenkanone und der eigentliche Schweißvorgang in der Schweißkammer erfolgen fast ausschließlich unter Vakuum bei Drücken im Hochvakuumbereich (10^{-3} bis 10^{-6} Hektopascal). Damit soll eine Streuung der Elektronen an Luftmolekülen verhindert und eine störungsfreie und verlustfreie Strahlfokussierung auf das Werkstück ermöglicht werden.

Effektiv und präzise

Wer mit der Technologie nicht vertraut ist, hat zuallererst einen Schweißer mit Lichtbogenträger und schwerer Schutzmaske vor Augen, der den Schweißzusatz unter hellem Aufblitzen auf

den Werkstoff aufbringt. Warum also sollte der Vorgang im Vakuum stattfinden? Das Elektronenstrahlverfahren hat mehrere Vorteile. Zum einen können dabei viel höhere Geschwindigkeiten von bis zu einem Zentimeter pro Sekunde erreicht werden. Auch die mögliche Schweißtiefe ist größer, sie kann 30 Zentimeter erreichen. Da der Prozess nicht manuell gesteuert wird, kann durch eine elektrische Anpassung der Strahlparameter eine sehr präzise Echtzeitkontrolle gewährleistet werden, die qualitativ hochwertige Bauteile sicherstellt. Durch die hohe Reproduzierbarkeit der Schweißergebnisse ist das Verfahren zudem prädestiniert für die Serienproduktion.

Auch auf die Wahl der Bauteilmaterialien wirkt sich das Elektronenstrahlschweißen positiv aus. Das liegt daran, dass bei dem Verfahren einerseits lokal eine sehr hohe Energiedichte erreicht wird, andererseits aber nur ein geringer Wärmeeintrag in das die Schweißnaht umgebende Material stattfindet.



So können Kombinationen vielfältiger Materialien verarbeitet werden, die auf anderem Weg kaum verbunden werden könnten. Wenig Wärme heißt zudem: wenig Verformung. Da das umgebende Material beim Elektronenstrahlschweißen geschont wird, können auch Metalle mit hoher thermischer Leitfähigkeit geschweißt werden. Und schließlich verhindert ein Vakuum auch das ungewollte Oxidieren der geschweißten Werkstücke, was sonst schnell zu Problemen bei der Verarbeitung führen kann.

Warum Vakuum?

Es verwundert daher nicht, dass das Elektronenstrahlschweißen immer dann zum Einsatz kommt, wenn nicht nur hohe Präzision und Qualität gefragt ist. Vom Verfahren machen vor allem Unternehmen der Automobilzuliefererindustrie, der Elektro-, Medizin- und Feinwerktechnik Gebrauch. Hinzu kommen anspruchsvolle Sonderkonstruktionen, wie sie in besonders spezialisierten Bereichen wie der Luft- und Raumfahrtbranche sowie der Energie- und Nuklearindustrie gefragt sind. Je nach Aufstellung des Betriebs können Elektronenstrahlschweißanlagen spezifisch auf eine Anwendung hin ausgerichtet sein oder als Universalmaschine ein breites Anwendungs- und Kundenspektrum abdecken.

Das Elektronenstrahlschweißen muss im Vakuum stattfinden, damit der Elektronenstrahl nicht an Restgasmolekülen gestreut wird.

Im Vakuum muss das Elektronenstrahlschweißen stattfinden, damit der Elektronenstrahl nicht an Restgasmolekülen gestreut wird. So wird die Effizienz erhöht, da praktisch die gesamte Energie auf das Werkstück einwirkt. Aufbau und Erhalt eines sicheren Vakuums ist daher für den gesamten Prozess entscheidend. Vakuumpumpen müssen einerseits am Elektronenstrahlgenerator nach dem Auspumpvorgang einen

dauerhaften Hintergrunddruck im Hochvakuumbereich aufrechterhalten. Wesentlich anspruchsvoller sind die Anforderungen an die Pumpenkonfiguration an der Schweißkammer. Diese kann in der Größe – je nach Werkstück – zwischen wenigen Litern und mehreren Hundert Kubikmetern variieren. Für alle diese Kammergrößen ist es essenziell, sehr

schnelle Auspumpzeiten auf einen definierten Arbeitsdruck zu erzielen, der meist im oberen Hochvakuumbereich angesiedelt ist. Schließlich gilt es, möglichst kurze Taktzyklen zu erreichen, damit der Schweißvorgang nichts zum Flaschenhals des gesamten Produktionsprozesses wird.



HiPace Turbomolekularpumpe Turbo am Elektronenstrahlgenerator (Mit freundlicher Genehmigung von Steigerwald Strahltechnik)

Zu den wichtigsten Kriterien für die Auswahl der Vakuumpumpen an der Schweißkammer gehört daher ein sehr hohes Saugvermögen im gesamten relevanten Druckbereich von Atmosphären- bis Arbeitsdruck. Um Stillstandszeiten zu minimieren, sind bei allen verwendeten Pumpen lange Wartungsintervalle in Verbindung mit einer hohen Verlässlichkeit von höchster Wichtigkeit.

Unterstützung für die Auslegung

Als Anbieter von hochspezialisierten Systemen und Lösungen für unterschiedlichste Vakuumanwendungen bietet Pfeiffer Vacuum für das Elektronenstrahlschweißen ein umfassendes Portfolio. Es umfasst Hoch- und Feinvakuumpumpen für die Evakuierung der Schweißkammer und des Elektronenstrahlgenerators, Druckmessgeräte für Atmosphären- bis Hochvakuumdruck, Ventile und Flanschbauteile zur Verbindung der Vakuumkomponenten und Lecksucher für die Lokalisierung von Undichtigkeiten. Zur ganzheitlichen Unterstützung von Anwendern bietet der Spezialist neben Komponenten und Systemen aber auch Unterstützung bei der Auslegung des kompletten Vakuumsystems einer Elektronenstrahlschweißanlage. Dazu gehört die Dimensionierung aller Fein- und Hochvakuum pumpen inklusive Empfehlungen zu gegebenenfalls zusätzlich benötigten Komponenten. Bei der Auslegung werden die individuellen Pumpenkennlinien berücksichtigt, Verluste durch Rohrleitungen, Leckagen und Desorptionseffekte der inneren Kameroberflächen. Hierbei setzt der Anbieter auf moderne und eigens entwickelte Berechnungsprogramme.

Die richtige Kombination

Zur Evakuierung der Schweißkammer kommen Kombinationen aus Fein- und Hochvakuum pumpen zum Einsatz. Aufgabe der Feinvakuumpumpen ist es, einen zum Zuschalten der Hochvakuum pumpen geeigneten Vorvakuumdruck in der Schweißkammer zu erzielen. Dieser liegt üblicherweise zwischen 10^{-1} bis 10^{-2} Hektopascal. Mit den Wälzkolbenpumpständen der Reihe CombiLine bietet Pfeiffer Vacuum hierfür eine komplette Standardbaureihe aus Wälzkolbenpumpständen an, die eine große Bandbreite an erzielbaren Saugvermögen und Enddrücken abdeckt. Bei besonders anspruchsvollen Anforderungen werden kundenspezifische Pumpstände ausgelegt, konstruiert und gefertigt.

Liegt der nötige Vorvakuumdruck vor, kommen Hochvakuum pumpen zum Einsatz. Sie erzeugen den zum Schweißen benötigten Arbeitsdruck, der meist im Bereich zwischen 10^{-3} und 10^{-6} Hektopascal liegt, und halten

ihn aufrecht. Turbopumpen von Pfeiffer Vacuum decken einen Saugvermögensbereich von 10 bis 3.050 Liter pro Sekunde ab (für Stickstoff). Die Pumpen werden auf hohe Wirtschaftlichkeit und Flexibilität hin ausgelegt; bewährte Lagersysteme bieten größtmögliche Zuverlässigkeit.

Um das Hochvakuum am Elektronenstrahlgenerator zu erzeugen und aufrechtzuerhalten, sind Turbomolekularpumpen das Mittel der Wahl. Das initiale Auspumpen unterliegt meist keinem Zeitdruck. Aus Rücksicht auf möglichst hohe Effizienz

Zur ganzheitlichen Unterstützung von Anwendern bietet Pfeiffer Vacuum Unterstützung bei der Auslegung des kompletten Vakuumsystems einer Elektronenstrahlschweißanlage.

kommen daher meist Pumpen mittlerer Baugröße zum Einsatz – zum Beispiel die HiPace 300 oder HiPace 700 von Pfeiffer Vacuum mit Ansaugflansch DN 100 oder DN 160. Als Vorpumpen kommen einzelne Drehschieberpumpen zum Einsatz oder kleine trockene Vorpumpen wie mehrstufige Wälzkolbenpumpen, wenn kohlenwasserstofffreies Vakuum benötigt wird.

Sicher messen und orten

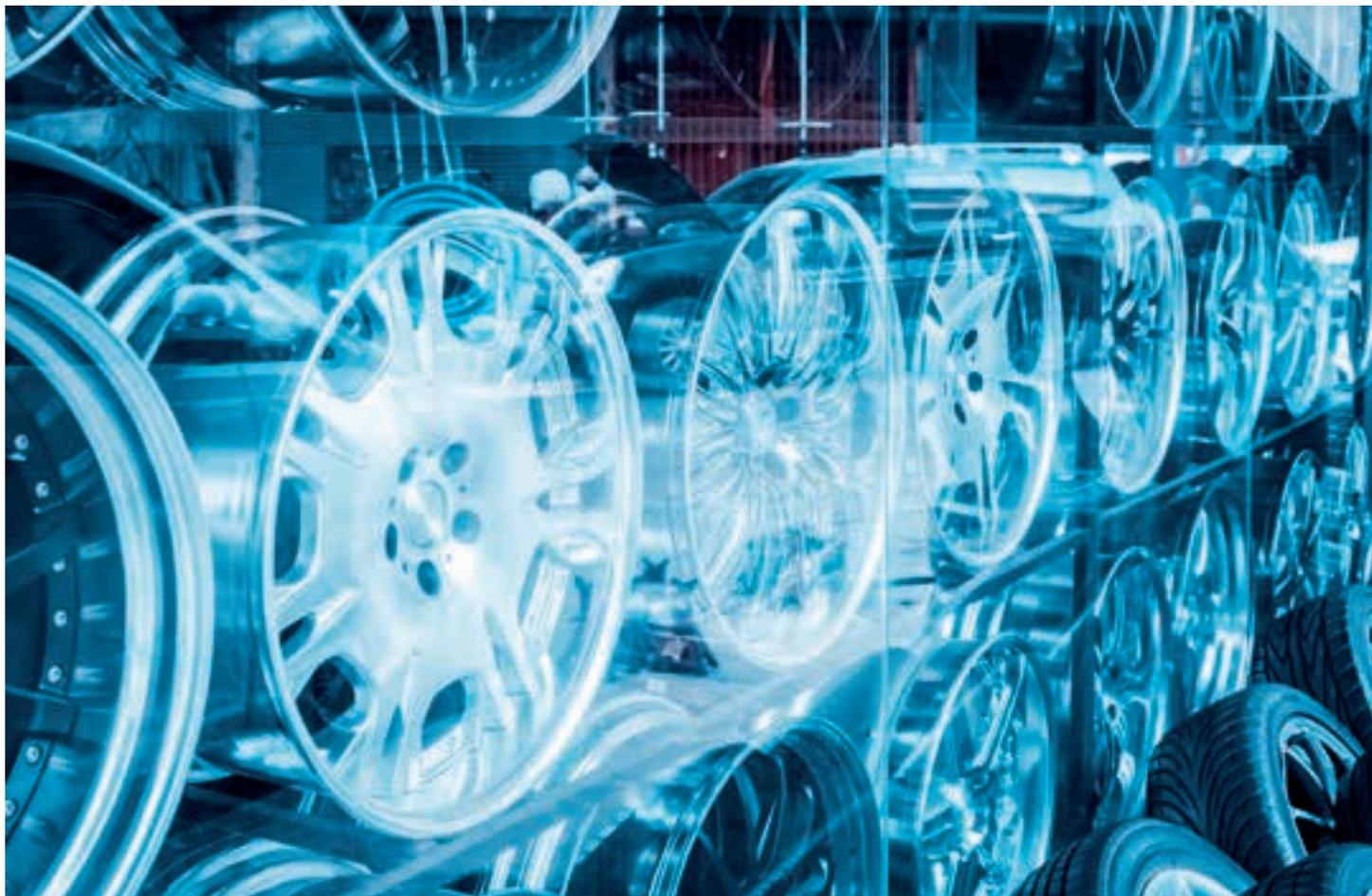
Zur Druckmessung an der Schweißkammer und am Elektronenstrahlgenerator haben sich Kombi-Vakuummessröhren vom Typ PKR (Pirani/Kaltkathoden-Transmitter) in der Praxis bewährt. Pfeiffer Vacuum bietet die robuste und zuverlässige Baureihe ActiveLine an. Zur Messung des Vorvakuumdrucks der verwendeten Hochvakuum-pumpen kommen üblicherweise kompakte Pirani-Transmitter zum Einsatz – wie die Pfeiffer Vacuum TPR, ebenfalls aus der Active Line.

Für den richtigen Arbeitsdruck beim Elektronenstrahlschweißen ist aber auch die Dichtheit der Anlage entscheidend. Dazu wird eine integrale Dichtheitsprüfung durchgeführt, typischerweise nach der Druckanstiegsmethode. Dabei wird das System auf einen definierten Druckwert evakuiert. Anschließend werden alle Ventile geschlossen. Der Druckanstieg als Funktion der Zeit ergibt dann die integrale Leckagerate. Da auch interne Leckagen und die Desorption von Oberflächen für einen Druckanstieg sorgen und das Ergebnis damit verfälschen können, muss die Kammer leer, sauber und trocken sein.

Überschreitet die Leckagerate den gewünschten Schwellenwert, muss die Leckage geortet und behoben werden. Aufgrund ihrer hohen Nachweisempfindlichkeit, der kurzen Prüfzeit und der leichten Bedienung sind Helium-Lecksucher dabei sehr gefragt. Das Vorgehen ist denkbar einfach: Die Anlage wird evakuiert, anschließend wird von außen über eine Sprühpistole Helium auf Dichtstellen, Schweißnähte und andere potenzielle Leckagestellen gesprüht. Liegt eine Leckage vor, strömt das Gas in die evakuierte Vakuumkammer, wird vom Lecksucher angesaugt und detektiert. Pfeiffer Vacuum bietet mit dem ASM 340 ein leistungsstarkes und universell einsetzbares Lecksuchgerät an. Für den mobilen Einsatz ist mit dem ASM 310 auch eine tragbare Variante erhältlich.

Alles aus einer Hand

Das Elektronenstrahlschweißen kann Herstellern in vielen Branchen zu mehr Effizienz in der Produktion, höherer Produktqualität und schnelleren Zyklen verhelfen. Obwohl es ein marktgängiges, in der Praxis etabliertes Verfahren darstellt, müssen jedoch Besonderheiten beachtet werden, damit ein sicherer, stabiler Prozess gewährleistet ist. Anwender sollten daher nicht nur auf hochwertige Maschinen und Anlagen mit langen Standzeiten und geringem Wartungsaufwand achten, sondern einen spezialisierten Partner als Lieferanten wählen, der die spezifischen Anforderungen in der Produktion kennt und passgenaue Lösungen bietet, die ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit bieten. Als innovatives Traditionsunternehmen mit über 100-jähriger Erfahrung in der Konstruktion und dem Bau von Vakuumlösungen bietet Pfeiffer Vacuum das nötige Know-how, um Anwender aller Branchen zum Erfolg zu verhelfen.



Pfeiffer Vacuum Produkte und ihre Vorteile auf einen Blick

Evakuierung

HiPace Turbopumpen

- Hohes Saugvermögen
- Hohe Kompression für leichte Gase
- Varianten für hohe externe magnetische Felder
- Externe Antriebselektronik bis zu 100 m von der Pumpe entfernt
- Wartung vor Ort möglich



Drehschieberpumpen

- Externe Antriebselektronik
- Kein Verschleiß dank Reibungsfreiheit
- Kein Rückfluss von Kohlenwasserstoffen
- Erzeugung eines sehr sauberen Vakuums
- Berührungsfreies Pumpmodul
- Partikelfreies Vakuum
- Fluorfreie Version verfügbar



HiLobe Wälzkolbenpumpen

- Saugvermögensbereich je nach Ausführung von 520 – 2.100 m³/h durch variable Drehzahlregelung
- Kürzeste Abspumpzeiten durch überlegenes Antriebskonzept der nächsten Generation
- Intelligente Schnittstellentechnologie erlaubt Prozessanpassung und Condition Monitoring (Industrie 4.0)
- Reduzierte Installationskosten durch flexible Einbaulage



Wälzkolbenpumpstände

- Saugvermögen 250 bis 25000 m³/h
- Modulares Konzept mit
 - DuoLine (WD-Reihe),
 - HeptaLine (WH-Reihe) und
 - HenaLine (WU-Reihe)



Vakuummessung

Messröhren

- Magnetabschirmung bis 70 mT (ModulLine)
- Kabellänge bis 500 Meter
- Profibusanschluss



Lecksuche



Lecksucher ASM 310

- Niedrigste Detektionsrate bis $1 \cdot 10^{-13}$ Pa m³/s
- Einfache Bedienung
- Trockene Vorpumpen bis 40 m³/h möglich

Lecksucher ASM 340

- Niedrigste Detektionsrate bis $1 \cdot 10^{-13}$ Pa m³/s
- Einfache Bedienung
- Trockene Vorpumpen bis 40 m³/h möglich



VAKUÜMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuümlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuümlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Germany
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**