



Mit finanzieller Unterstützung  
durch das EU-Programm  
Erasmus+



# MODUL 5

## Spezielle Schmelzschweißmethoden

Elektronisches Schweißen



# Elektronisches Schweißen

- Das Elektronenstrahlschweißen ist ein Schmelzschweißverfahren, bei dem sich die kinetische Energie der sich schnell bewegenden Elektronen beim Auftreffen auf die Oberfläche des geschweißten Materials in thermisch ändert.
- Diese Methode wird derzeit in allen Industrieländern der Welt einschließlich der Tschechischen Republik angewendet.



# Das Prinzip des Elektronenstrahlschweißens

- ▶ Die eigentliche Elektronenquelle ist ein zylindrisches Vakuumgefäß an einem Ende, das mit einer direkten oder indirekten Schmelzemissionselektrode und am anderen Ende mit einem Separatorverschluss ausgestattet ist, der mit einem Prismenbetrachtungsprisma kombiniert ist.
- ▶ Die Elektronenquelle wird üblicherweise als Elektronenkanone oder Elektronendüse bezeichnet und die Pumpe wird in ein Hochvakuum gepumpt.
- ▶ Ein Vakuum ist erforderlich, um ein Thermoelement der Elektronen bereitzustellen.
- ▶ Die Größe der Arbeitskammern reicht von kleinen Inhalten bis zu mehreren zehn m<sup>3</sup>.



# Schweißbarkeit von Materialien

- ▶ Geschweißte Bündel, die durch Elektronenstrahlschweißen hergestellt werden, werden oft in der Luft-und Raumfahrt eingesetzt.
- ▶ Schweißen im Vakuum ermöglicht die Verbindung von chemisch sehr aktiven Metallen - Ti, Zr, Mo, Nb, Hf, W und anderen, die eine hohe Affinität für Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff haben.
- ▶ Diese Gase reagieren mit dem Metall in einer signifikanten Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere durch Verringerung der Zähigkeit.
- ▶ Es ist auch möglich, hochlegierte Metalle und wärmeisolierende Legierungen wie Inconel, Nimonic zu schweißen.
- ▶ In letzter Zeit kombiniert das Elektronenschweißen aufgrund der Bildung fragiler intermetallischer Phasen Materialien auf nicht brennbare Weise.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 141.



# Schweißbarkeit von Materialien

- Die intermetallischen Phasen bewirken eine signifikante Verringerung der plastischen und Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes und verursachen ein Reißen der Verbindung.
- Beim Schweißen mit beschleunigten Elektronen begrenzt das enge Schweißbad die Bildung dieser zerbrechlichen Phasen, und eine genaue Fokussierung kann die gewünschte gegenseitige Löslichkeit von Metallen erreichen und eine feste Lösung mit geeigneten plastischen Eigenschaften erhalten.
- Auf diese Weise können diese gegenseitigen Materialkombinationen verschweißt werden : Ti – Al, CrNi ocel – Al, Cu – Al, Cu – ocel, Al – Ni, atd.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Schweißtechnik und Ausrüstung. Unterrichtstexte für Kurse von Schweißingenieuren und -technologien.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 141.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 141.



# Schweißbarkeit von Materialien

- ▶ Beim Schweißen von Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt und niedrig legierten Stählen ist eine hohe Reinheit des Materials erforderlich, insbesondere darf der Phosphor- und Schwefelgehalt 0,015% nicht überschreiten (was zu einem deutlichen Abfall der Plastizität mit Rissen führt).
- ▶ Hochlegierte austenitische Edelstähle können sehr gut geschweißt werden, wenn die Festigkeit um 8% bis 10% niedriger ist und die Streckgrenze sogar höher ist als für das Basismaterial.



## Einsatz von Elektronenschweißen in der technischen Praxis

- ▶ Elektronisches Schweißen wird hauptsächlich für sehr dünne Bleche verwendet. Schweißrohre (Wärmetauscher) werden auf diese Weise sowohl in der Kernkraft als auch in der konventionellen Energie erfolgreich geschweißt.
- ▶ Zunehmend wird es in der Luft- und Raumfahrttechnologie gefördert.



# Die Vorteile des Elektronenstrahlschweißens

- Sehr gute Schweißwirkung mit feiner Oberflächenlackierung.
- Schmale, geschmolzene und hitzebeeinflusste Schweißnaht.
- Minimale Verformung.
- Möglichkeit des Schweißens an unzugänglichen Stellen für klassische Technologie.
- Perfekter Schutz der Schweißnaht vor dem Einfluss der Luftatmosphäre.
- Auswirkungen des Vakuums verfeinern.
- Kraftübertragung auch bei einem Abstand von mehr als 500 mm.
- Sehr einfache und programmierbare Strahlleistungssteuerung.
- Einstrahlschweißen.
- Schweißbarkeit einer Vielzahl von Materialien und deren Kombinationen.
- Hoher Automatisierungsgrad ohne Beeinflussung des menschlichen Schweißens.



## Nachteile des Elektronenstrahlschweißens

- ▶ Hohe Anforderungen an die Sauberkeit der Schweißflächen und deren präzise Bearbeitung.
- ▶ Präzise Bindung des Bündels.
- ▶ Hohe Investitionskosten.
- ▶ Das Bedürfnis nach Vakuum und eine lange Zeit, um darauf zurückzugreifen.
- ▶ Anforderung an die innere Sauberkeit der Materialien.



## Hygiene und Sicherheit beim Elektronenstrahlschweißen

- Das Elektronenstrahlschweißen hat keine nachteiligen Auswirkungen auf die Luft, da auf der Innenfläche der Arbeitskammer Metallpaare kondensieren.
- Aus diesem Grund wird die Kammer mit einer austauschbaren Aluminiumfolie entladen.
- Beim Arbeiten mit Elektronenschweißgeräten ist es jedoch erforderlich, die Anweisungen für das Arbeiten mit Hochspannung und ionisierender Strahlung wie das Auftreten von Röntgenstrahlen zu befolgen.
- Diese Strahlung wird durch das Gehäuse der Kammer und das Bleiglas des Fensters eliminiert.