

Elektronenstrahlschweißen von Mischverbindungen

Inmitten der globalen Debatte über die dringend notwendige Energiewende nimmt Kupfer eine herausragende Position ein. Mit einem aktuellen jährlichen Weltverbrauch von etwa 30 Mio. t bildet dieses metallische Element ein unverzichtbares Fundament unserer zukünftigen Energieinfrastruktur. Die Prognosen sind alarmierend: Um die ehrgeizigen Ziele der Energiewende bis 2050 zu erreichen, wird erwartet, dass sich dieser Verbrauch verdoppeln muss.

Ein Blick auf unsere Straßen verdeutlicht die Bedeutung von Kupfer in diesem Kontext besonders anschaulich: Ein Elektrofahrzeug enthält im Durchschnitt fast das Dreifache an Kupfer im Vergleich zu einem herkömmlichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Diese starke Zunahme des Kupferbedarfs in der Automobilindustrie ist ein direktes Ergebnis des Übergangs zu elektrifizierten Fahrzeugen, die eine Kernkomponente der zukünftigen nachhaltigen Mobilität sind.

Die Bedeutung von Kupfer reicht jedoch weit über den Automobilsektor hinaus. Als wichtiger Bestandteil von Stromleitungen, Transformatoren, Solaranlagen und Batterien ist Kupfer der Motor der erneuerbaren Energieerzeugung. Es ist das „Lebenselixier“ des modernen elektrischen Netzes, das die Grundlage für eine effiziente und zuverlässige Stromversorgung bildet. Kupfer gehört zu den Halbmetallen, besitzt eine hervorragende elektrische und thermische Leitfähigkeit – und es ist teuer.

Begehrtes Metall an den Rohstoffbörsen

Kupfer zählt zu den begehrtesten Metallen an den Rohstoffbörsen weltweit. Doch die Volatilität des Kupferpreises stellt viele Unternehmen vor eine Herausforderung und birgt erhebliche Unsicherheiten bei der Beschaffung dieses Metalls. Die Unvorhersehbarkeit des Kupferpreises wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, darunter Angebot und Nachfrage auf dem Weltmarkt, geopolitische Ereignisse, wirtschaftliche Indikatoren und sogar spekulative Handelsaktivitäten. Diese komplexen Dynamiken machen es äußerst schwie-

rig, den Kupferpreis genau vorherzusagen und sich darauf einzustellen.

Um diesem Risiko zu begegnen, sind für die Unternehmen möglicherweise Strategien zur Absicherung gegen Preisschwankungen sowie langfristige Beschaffungsverträge mit Lieferanten erforderlich. Eine umfassende Analyse der Marktdynamik und eine proaktive Herangehensweise an das Risikomanagement sind entscheidend, um die Auswirkungen von Preisschwankungen auf das Geschäft zu minimieren und die Stabilität in der Lieferkette zu gewährleisten.

Während die Nachfrage nach Kupfer unaufhaltsam steigt, müssen wir uns auch den damit verbundenen Herausforderungen stellen. Der Abbau und die Ver-

arbeitung von Kupfererz verursachen erhebliche Umweltauswirkungen, von der Bodenerosion bis zur Wasserverschmutzung.

Umweltbelastung minimieren, Kupferverbrauch optimieren

Es ist deshalb entscheidend, nach alternativen Abbau- und Recyclingmethoden zu suchen, um die Umweltbelastung zu minimieren und auch den Kupferverbrauch zu optimieren. Eine mögliche Maßnahme besteht darin, Kupfer nur dort einzusetzen, wo es unverzichtbar ist, und alternative Materialien zu nutzen, wo dies möglich ist. Technologien wie das Elektronenstrahlschweißen eröffnen interessante Möglichkeiten für die Verwendung von Kupfer in Mischverbindungen.



Kupfer-Tagebau: Mine in Cobar, Australien (© Axel Strauß / commons.wikimedia.org/CC BY 2.0)

dungen mit anderen Metallen, um leistungsstarke und effiziente Baugruppen zu gestalten.

Das Verschweißen unterschiedlicher Metalle bietet faszinierende Perspektiven. Mischverbindungen entstehen, wenn verschiedene chemische Grundwerkstoffe miteinander verbunden werden. Beim Schweißen unterschiedlicher Metalle ist es entscheidend, bestimmte Temperaturen nicht zu überschreiten, um eine Versprödung durch Diffusion in der Fügezone zu vermeiden. Verfahren mit geringer thermischer Wärmeeinwirkung werden oft bevorzugt, um eine metallurgisch sichere Verbindung herzustellen.

Die Herausforderungen beim Schweißen von Kupfer mit Stahl liegen in den unterschiedlichen Schmelzpunkten und Wärmeleitfähigkeiten der Materialien. Die Schmelztemperatur bei Kupfer beträgt rund 1.085 °C, während der Schmelzpunkt von Stahl, je nach Legierungsbestandteil, rund 400 °C höher liegt. Kupfer erfordert aufgrund seiner hohen Reflektivität im Infrarotbereich und seiner hohen Wärmeleitfähigkeit einen erheblichen Energieeintrag, um es zum Schmelzen zu bringen. Somit sind Standard-Industrielaser oft nicht ausreichend effektiv für die Bearbeitung von Kupfer.

Komplexe Werkstoffkombinationen sicher verbinden

Das Elektronenstrahlschweißen hat sich als äußerst effektive Methode für Mischverbindungen etabliert: Mit einer hohen Strahlintensität können komplexe Werkstoffkombinationen sicher verbunden werden. Hierbei können die Schweißparameter präzise an die jeweiligen Werkstoffe angepasst werden. Die Strahlsteuerung ermöglicht einen gezielten Wärmeeintrag, um eine optimale Durchmischung der Metalle zu erreichen. Dadurch werden die metallurgischen Eigenschaften der Schmelze verbessert und unerwünschte Effekte wie Rissbildungen minimiert.

Die nahezu trägheitslose Strahl- und Ablenkpositionierung des Elektronenstrahls ermöglicht eine präzise Steuerung des Schweißguts mit minimalem Energieein-

trag in verschiedenen Werkstoffen. Wenn die Schmelze erstarrt, besteht die Gefahr, dass sich Legierungsphasen und Mischkristalle mit einer kritischen Sprödigkeit an der Aufschmelzlinie in Richtung Kupfer bilden, was wiederum zu Rissen führen kann. Angesichts dieser werkstofftechnischen Herausforderungen ist das Elektronenstrahlschweißen wegen des geringen Energieeintrags und des hohen Aufmischungsgrads äußerst effektiv und wirtschaftlich.

Durch Mischverbindungen können die vorteilhaften Eigenschaften beider Metalle maximiert werden, etwa die elektrische Leitfähigkeit mit hohen Festigkeitswerten. Beim Verschweißen von Kupfer mit Stahl wird der Strahlauftreffpunkt mit einem genau dosierten Wärmeeintrag mehr auf das Kupferteil ausgerichtet, sodass beide Komponenten gleichzeitig schmelzen und das Mischungsverhältnis beider Werkstoffpartner im Schweißgut über eine hochfrequente Strahloszillation gezielt und reproduzierbar ermöglicht wird.

Durch diese förderliche Wärmeverteilung können die aufgeschmolzenen Zonen gezielt beeinflusst werden. Die metallurgischen Verhältnisse der Schmelze bei beiden Metallen bleibenprozesssicher gewährleistet, auch ohne Zusatzfüllstoffe. Dadurch werden Winkelverzug, Querschrumpfung und andere störende Einwirkungen minimiert.

Mechanische, chemische oder physikalische Eigenschaften verbessern

Die Anforderungen an Mischverbindungen ergeben sich nicht nur aus dem ökonomischen Motiv, den Einsatz von Kupfer zu reduzieren, sondern auch aus dem Streben nach Verbesserung der mechanischen, chemischen oder physikalischen Eigenschaften.

Im Bereich der mechanischen Eigenschaften können durch die richtige Auswahl und Kombination von Materialien die Festigkeit, Flexibilität und Haltbarkeit optimiert werden. Mischverbindungen ermöglichen es, Werkstoffeigenschaften zu verstärken, um den Anforderungen in unterschiedlichen Anwendungen gerecht

zu werden. Dies bedeutet etwa, dass eine Mischverbindung aus Kupfer und Stahl eine höhere Zugfestigkeit aufweisen kann als die einzelnen Materialien allein.

Auch chemische Eigenschaften spielen eine entscheidende Rolle. Durch das Einbringen verschiedener Legierungen oder Komponenten können Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität verbessert werden. Dies ist besonders wichtig in Umgebungen mit aggressiven chemischen Substanzen oder hoher Feuchtigkeit, in denen herkömmliche Materialien versagen könnten.

Darüber hinaus ermöglichen Mischverbindungen die Feinabstimmung physikalischer Eigenschaften. Dies umfasst die Steuerung von Wärmeleitfähigkeit, elektrischer Leitfähigkeit, Dichte und thermischer Ausdehnung. Durch gezielte Kombinationen können Materialien geschaffen werden, die den spezifischen Anforderungen einer Anwendung optimal entsprechen.

Insgesamt bieten Mischverbindungen ein breites Spektrum an Möglichkeiten, um Werkstoffeigenschaften zu optimieren. Sie sind ein wichtiges Instrument im Streben nach fortschrittlichen Materiallösungen, die den Anforderungen einer sich ständig weiterentwickelnden technologischen Landschaft gerecht werden und bieten daher noch viele interessante Herausforderungen für Metallurgen und Konstrukteure. Auch für Schweißfachkräfte stellen sie spannende Aufgaben dar.

Der Konstruktionsansatz „Stets das richtige Material in der richtigen Menge am richtigen Ort“ lässt ein breites Anwendungsfeld erwarten und sollte in Zukunft mit Blick auf unsere Umwelt stärker beachtet werden.

AUTOR

Peter Schmidt,

Geschäftsleiter SwissBeam AG,
Rudolfstetten/Schweiz