

Strukturierte Zusammenfassung zur Dissertation

Beitrag zum Einsatz lichtbogengelöteter Verbindungen für stahlbauliche Anwendungen

vorgelegt von Benjamin Ripsch, M.Sc. (SFI)

September 2024

Bei der Herstellung von Stahlbauten ist der Einsatz verschiedenster Fügeprozesse unabdingbar. Neben den vielfältigen Möglichkeiten der mechanischen Verbindungstechnik erfolgt das Fügen stahlbaulicher Konstruktionsdetails überwiegend unter Anwendung von Lichtbogenschweißprozessen. Das MSG-Schweißen nimmt dabei die dominierende Rolle ein. Während Schweißverbindungen grundsätzlich eine Vielzahl positiver Eigenschaften aufweisen, bringen sie auch einige Nachteile mit sich. Diese lassen sich im Wesentlichen auf den hohen lokalen Energieeintrag des thermischen Fügeprozesses zurückführen, der verschiedene als ungünstig zu bewertende werkstoffliche Veränderungen in geschweißten Bauteilen bewirkt.

In Anbetracht der bestehenden Nachteile des Schweißens kann das Löten als alternativer thermischer Fügeprozess Vorteile bieten, auch wenn die Festigkeit von Loten üblicherweise geringer ausfällt als die von Grund- oder Schweißzusatzwerkstoffen. Das Löten ist im Vergleich zum Schweißen durch einen wesentlich geringeren Wärmeeintrag gekennzeichnet, so dass die lokale werkstoffliche Beeinflussung durch Lötprozesse deutlich geringer ausfällt und verschiedene Nachteile des Schweißens durch den Einsatz des Lötens kompensiert werden können. In Hinblick auf die hohe Verbreitung und Produktivität von MSG-Schweißprozessen in der stahlbaulichen Fertigung kommt für die Herstellung gelöteter Verbindungen an Stahlbauten insbesondere das Metall-Schutzgaslöten (MSG-Löten) als Variante der Lichtbogenlötprozesse in Frage. Die Anwendung des Prozesses ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da der Stahlbau als gesetzlich geregelter Bereich strengen regulatorischen Anforderungen an die Herstellung und Bemessung stahlbaulicher Konstruktionen und derer Bestandteile unterliegt. Wesentliche Aspekte bezüglich der Ausführung und Bemessung lichtbogengelöteter Verbindungen sind derzeit nicht geregelt und teilweise gänzlich unbekannt.

Unter Berücksichtigung fertigungstechnischer und regulatorischer Anforderungen des Stahlbaus wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene experimentelle Untersuchungen zur Ausführung und Bemessung lichtbogengelöteter Verbindungen durchgeführt. Zur Kalibrierung eines Bemessungsmodells für lichtbogengelötete Kehlnähte wurden Zugversuche an MSG-gelöteten Stirn- und Flankenkehlnahtprüfkörpern durchgeführt und diese in Übereinstimmung mit normativen Anforderungen statistisch ausgewertet. Weiterhin wurden Ermüdungsversuche an verschiedenen grundlegenden, stahlbaulichen Konstruktionsdetails vorgenommen, für die in der vorliegenden, lichtbogengelöteten Ausführungsvariante noch keine Zuordnung zu Bemessungskerbfällen existiert. Begleitend wurden werkstoffliche Untersuchungen zur Evaluation der Verbindungseigenschaften und Verbindungsqualitäten im Sinne stahlbaulicher Anforderungen durchgeführt.

Als Ergebnis der Tragfähigkeitsuntersuchungen konnte ein neuartig ermittelter Korrelationsbeiwert β_b bestimmt werden, der für die Bemessung von lichtbogengelöteten Kehlnähten aus CuAl7 verwendet werden kann und zu wesentlich höheren rechnerischen Tragfähigkeiten führt, als es bisherige Bemessungsansätze erlauben. Auf Basis der Ermüdungsversuche wurden Kerbfallvorschläge für vier unterschiedliche, mittels CuAl7 hergestellte lichtbogengelötete Konstruktionsdetails ausgearbeitet. Die vorgeschlagenen Kerbfälle fallen um bis zu vier Kerbfallklassen höher aus als die Kerbfälle der geschweißten Referenz-Details, was einer ca. 280 % höheren Lebensdauer entspricht. Die an lichtbogengelöteten Verbindungen erstmalig durchgeführten Wasserstoffanalysen haben einen aus technischer Sicht vernachlässigbaren Wasserstoffgehalt im Werkstoff der Verbindung gezeigt.

In Anbetracht der Versuchsergebnisse ist der Einsatz des MSG-Lötens als alternatives Fügeverfahren für stahlbauliche Anwendungen insbesondere an ermüdungsbeanspruchten Bauteilen mit sonst üblicherweise angeschweißten und lediglich sekundär beanspruchten Anbauteilen interessant, deren ressourcenschonende Ausführung auch aus höherfesten Stählen durch die kombinierten Eigenschaften lichtbogengelöteter Verbindungen begünstigt werden kann.