

## Kurzfassung

Dualphasenstähle kommen in der Automobilindustrie zum Einsatz, wo sie unter anderem im Karosseriebau Anwendung finden. Sie besitzen sowohl eine hohe Festigkeit als auch Verformbarkeit, was sie gegenüber konventionellen Stahlwerkstoffen auszeichnet. Hieraus ergeben sich Designmöglichkeiten, welche ihrerseits die Umsetzung von Leichtbaukonzepten ermöglichen. Aus Korrosionsschutzgründen werden diese Bleche meist bereits im Produktionsprozess zinkbeschichtet. Während des gängigsten Schweißverfahrens, des Widerstandspunktschweißens, wurde in der Vergangenheit von Fällen flüssigmetallinduzierter Versprödung berichtet. Hierdurch kann es zu Rissen an der Oberfläche oder der Fügeebene einer Punktschweißung kommen, was die Verbindungsfestigkeit der Punktschweißverbindungen potentiell beeinträchtigt. Die daraus resultierende Unsicherheit im Umgang mit diesen Werkstoffen behindert ihren flächendeckenden Einsatz. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Randbedingungen und Einflussfaktoren zu untersuchen, welche das Phänomen hervorrufen. Verschiedene Festigkeitsklassen und Beschichtungstypen bzw. -verfahren werden hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für flüssigmetallinduzierte Versprödung experimentell geprüft. Hierfür wird die Methode „Schweißen unter Zugbelastung“ genutzt, welche extreme Fertigungsbedingungen nachbildet. Die niedrigere Festigkeitsklasse, sowie die feuerverzinkten Beschichtungstypen schneiden mit einer niedrigeren Anfälligkeit für Flüssigmetallversprödung ab. Ein elektro-thermomechanisches Finite Element Simulationsmodell für das Widerstandspunktschweißen von Dualphasenstählen wird entwickelt, und erfolgreich validiert. Das Modell wird für die Nachbildung des experimentellen Versuchsaufbaus angewendet. So werden die transienten Temperatur-, Spannungs- und Dehnungsfelder berechnet und visualisiert, die das Auftreten von Flüssigmetallversprödung begünstigen. Die Auswertung der Ergebnisse verbessert das Prozessverständnis, und potentielle Abhilfemaßnahmen werden abgeleitet.

## Abstract

Dual phase steels are widely used in the automotive industry for car body applications, most commonly with zinc-based surface coatings for corrosion resistance. They possess both high strength and ductility, compared to conventional steel grades, which facilitate lightweight design options. Resistance spot welding is the most common welding process used with these steels due to its high efficiency and robustness. In the past, liquid metal embrittlement during resistance spot welding of these steel types has been observed. Both surface and internal cracks can be caused by the phenomenon, which potentially affects the joint strength. The subsequent insecurity prevents a broad application of these materials. Therefore, an effort is made to improve the understanding of the circumstances leading to liquid metal embrittlement, to investigate influencing factors, and to deduct potential counter-measures. The effect of hot-dip galvanized, electro-galvanized and 'galvannealed' surface coatings on the liquid metal embrittlement susceptibility is studied experimentally, including the indirect effect of electrode wear. The 'welding under external load' procedure, which reproduces extreme manufacturing conditions by inducing different levels of tensile stress to samples during welding, is used to compare different dual phase strength classes and coating types to each other. The lower strength class, and hot-dip galvanized coatings are attested a lower susceptibility to liquid metal embrittlement. An electro-thermomechanical simulation model for resistance spot welding of dual phase steels is established. The validation of the model is successfully conducted. The model is then applied to reproduce the experimental procedure of welding under external load, which enforces liquid metal embrittlement. The simulation allows both visualization and evaluation of the associated, transient temperature, stress and strain fields, thereby improving the process understanding. Conclusions regarding a potential reduction of liquid metal embrittlement are drawn.