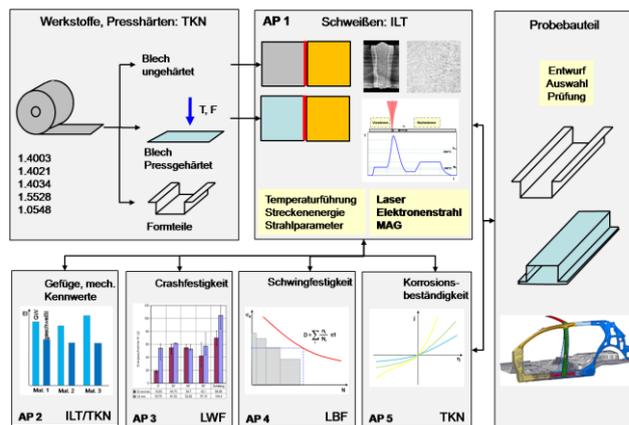


Schmelzschweißen ultrahochfester Chromstähle mit martensitischem Gefüge

Martin Dahmen, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

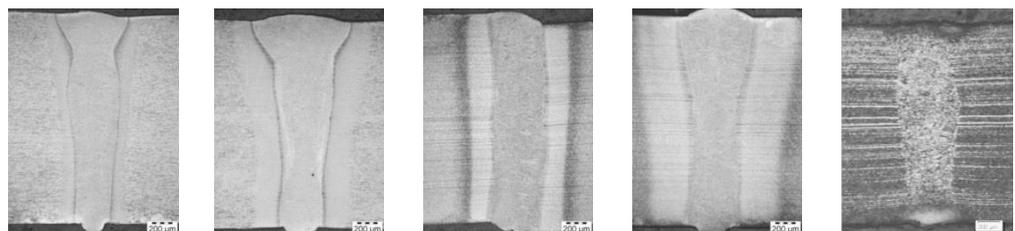
Wer sich mit Ressourceneffizienz und Leichtbau in mobilen Strukturen beschäftigt, kommt nicht an ultrahochfesten Stählen vorbei. Neuere Überlegungen haben zur Anwendung nichtrostender Stähle mit martensitischem Gefüge geführt. Diese Stähle besitzen Vorteile durch ihre inhärente Korrosionsbeständigkeit, hervorragende Umformbarkeit und Härtebarkeit. Jedoch wurden sie aufgrund ihrer Kohlenstoffgehalte von bis zu 0,46 Massenprozent bisher als nicht schweißbar eingestuft. Daher wurde in Zusammenarbeit von Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen, Laboratorium für Werkstoff und Fügetechnik der Universität Paderborn und dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, eine Untersuchung durchgeführt mit dem Ziel, die Schweißneigung zu prüfen und die mechanischen Eigenschaften geschweißter Verbindungen zu ermitteln. Die Inhalte und die Verteilung der Arbeiten auf die Partner gibt Bild 1 schematisch wieder. Das Projekt wurde von der Forschungsgemeinschaft Stahlforschung organisatorisch betreut und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi gefördert.

Bild 1: Struktur des Projekts nach Aufgabenbereichen



Im Rahmen einer Prozessentwicklung wurde ein Konzept für die angepasste Wärmeführung entwickelt. Die mechanischen Eigenschaften wurden in Schwingfestigkeitsversuchen an Stumpfstößen für die Anwendung in der Fertigung von Tailored Blanks wie in der Montage bereits gehärteter Bleche bestimmt. Untersuchung nach dem KS-2-Konzept sowie quasistatische und schlagartige Belastungsversuche an bauteilähnlichen Komponenten wurden zur Ermittlung der Tragfähigkeit angestellt. Letztlich wurden Korrosionsuntersuchungen ohne und mit Belastung durchgeführt, um Information über die Antwort der geschweißten Werkstoffe auf Umwelteinflüsse zu erhalten.

Bild 2: Makroschliffe von Schweißnähten in 1.4034 mit und ohne Vorwärmung, RT = geschweißt bei Raumtemperatur, T_{Ms} = geschweißt bei Vorwärmung auf 300°C

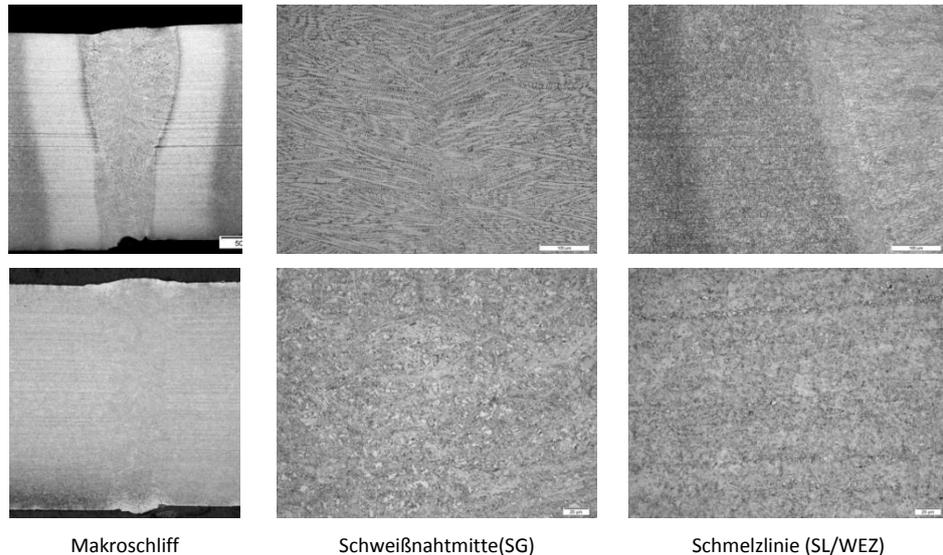


a) Walzzustand, RT b) Walzzustand T_{Ms} c) Gehärtet, RT d) Gehärtet, T_{Ms} e) Schweißnaht, nach dem Härten

Für das Schweißen martensitischer Stähle sind im Allgemeinen kurze Wärmezyklen vorteilhaft. Um die Streuung der Härte in der

Wärmeeinflusszone zu begrenzen, wurde eine auf die einzelnen Werkstoffe angepasste Schweiß-Wärmebehandlung entwickelt und angewandt. Vorwärmen auf die Martensit-Starttemperatur in Kombination mit einer Anlassbehandlung unterhalb der Lösungstemperatur der Karbide führt zu einer Entspannung des tetragonalen Martensits und erhöht die Zähigkeit in der Schweißzone. Durch Vorwärmen wird darüber hinaus die Breite der Schweißzone vergrößert und der Prozess weniger empfindlich gegen Fehlpositionierungen. Makroschliffe von Schweißnähten in 1.4034 in verschiedenen Zuständen der Wärmebehandlung sind in Bild 2 dargestellt.

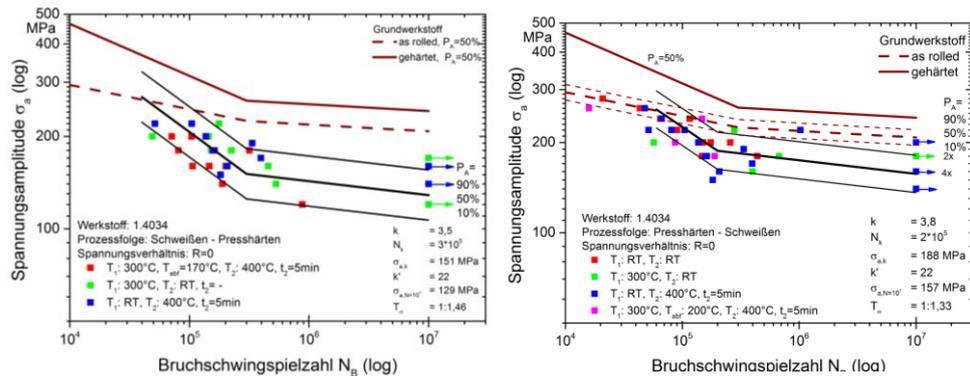
Bild 3: Makroschliffe und Gefüge von Schweißnähten in 1.4034a) Schweißen pressgehärteter Bleche



b) nach dem Schweißen pressgehärtet

Das Schweißgut einer Naht im pressgehärteten 1.3034 zeigt die für den Werkstoff typische dendritische Struktur. Aufgrund des Härtezustandes entwickelt sich eine komplexe Wärmeeinflusszone (Bild 3a). Nach dem Presshärten wird die Wärmeeinflusszone aufgelöst. In der Schweißnaht liegen Karbide an den ehemaligen Dendritengrenzen vor (Bild 3b).

Bild 4: Einfluss der Wärmeführung beim Schweißen auf die Schwingfestigkeit von geschweißten Blechen aus 1.4034



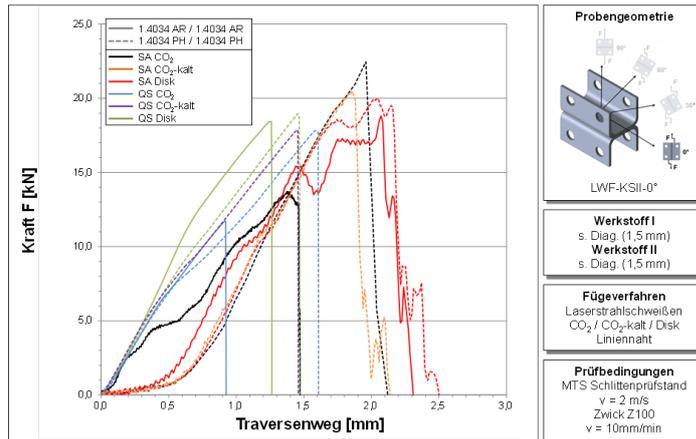
a) Presshärten nach Schweißen

b) Schweißen pressgehärteter Bleche

Martensitische Stähle können unter Standard-Wärmebehandlung geschweißt werden. Im Fall der Fertigung von Tailored Blanks ist eine Wärmebehandlung nicht zwingend erforderlich, jedoch führt die Schweiß-Wärmebehandlung zu einer signifikanten Erhöhung der Schwingfestigkeit (Bild 4a). Beim Schweißen gehärteter Bleche ist der Effekt nicht so stark ausgeprägt (Bild 4b). Mit einer optimierten Temperaturführung wird in beiden Fällen die Schwingfestigkeit der Grundwerkstoffe im Walzzustand erreicht. In artungleichen Verbindungen ist die Schwingfestigkeit durch den schwächeren Partner begrenzt. Die Tragfähigkeit hängt eher von der Nahtgeometrie und der Lastrichtung als von

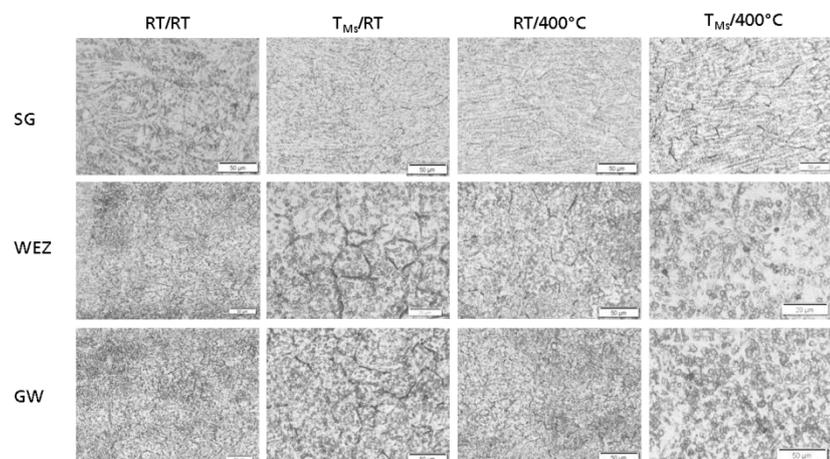
der Wärmebehandlung ab. Im Vergleich zu gehärteten Mangan-Bor-Stählen können sehr hohe Belastbarkeiten erreicht werden. Die Mangan-Bor-Stähle zeigen höhere Bruchkräfte und ein duktileres Verhalten im Kopfzugversuch. In artungleichen Verbindungen mit konventionellen Tiefziehstählen wurde wiederum mit den Chromstählen eine höhere Tragfähigkeit erreicht. Im Rahmen von Versuchen an bauteilähnlichen Komponenten wurde festgestellt, dass das Bruchverhalten nicht nur von der Belastungsgeschwindigkeit sondern auch von der Lastrichtung abhängt. Zur optimalen Ausnutzung der Materialeigenschaften unter Crashbedingungen ist eine genaue Kenntnis des Belastungskollektivs unabdingbar.

Bild 5. Vergleich der Kraft-Weg-Verläufe laserstrahlgeschweißter Verbindungen der Werkstoffkombinationen 1.4034 AR / 1.4034 AR und 1.4034 PH / 1.4034 PH unter quasistatischer und schlagartiger Scherzugbelastung



Die Korrosionseigenschaften wurden im Klimawechseltest und im Sensitivierungsversuch nach ASTM ermittelt. Im Klimawechseltest konnte kein Einfluss der Korrosionsbelastung auf Festigkeit und Verformungsverhalten ermittelt werden. Es fand kein Angriff auf den Werkstoff statt. Das Sensitivierungsverhalten wird grundsätzlich durch Presshärten verbessert. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt erhöht sich auch die Ausscheidung von Karbiden. Dies wiederum führt zu einer erhöhten Anfälligkeit gegen interkristalline Korrosion. Eine Schweiß-Wärmebehandlung kann nach dem Presshärten zu einer Verminderung der IK-Beständigkeit in der Schweißnaht führen. Ein signifikanter Einfluss der Schweiß-Wärmebehandlung auf die Sensitivierung in geschweißten gehärteten Blechen konnte nicht gefunden werden (Bild 6). Alle Schweißzonen zeigten einen Angriff in der Wärmeeinflusszone, der mit steigendem Kohlenstoffgehalt stärker wird.

Bild 6. Ergebnisse der Untersuchung zur Sensitivierung von 1.4034, nach dem Schweißen pressgehärtet.



Die hochlegierten Stähle mit 12% Chrom werden dort eingesetzt, wo ihre intrinsische Korrosionsbeständigkeit gepaart mit Festigkeiten von bis zu 1900

MPa erforderlich sind, wie bei Nutzfahrzeugen und Bahnfahrzeugen. Mit den neuen Entwicklungen werden Möglichkeiten für die Konstruktion geschweißter Strukturen Chromstählen mit martensitischem Gefüge aufgezeigt.

Das IGF-Vorhaben 17.433 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. - FOSTA, Sohnstrasse 65, 40237 Düsseldorf, wurde über die AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.