

Bericht 5138600 / 2007

Untersuchung der Laserstrahlschweißbeignung von neu entwickelten, höherfesten Stahlfeinblechwerkstoffen unter Berücksichtigung fertigungstechnisch relevanter Bearbeitungsbedingungen

Der Bericht darf nur ungekürzt und unter Nennung der Urheberschaft der SLV München, NL der GSI mbH, veröffentlicht werden. Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV München.

Der Bericht enthält 227 Seiten.

Juni 2007

Untersuchung der Laserstrahlschweißignung von neu entwickelten, höherfesten Stahlfeinblechwerkstoffen unter Berücksichtigung fertigungstechnisch relevanter Bearbeitungsbedingungen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Vorgehensweise.....	5
3	Stand der Technik / Theorie.....	7
4	Experimentelle Randbedingungen.....	9
4.1	Laserstrahlanlagen	9
4.1.1	CO ₂ -Lasieranlage der SLV München	9
4.1.2	Faserlaser der SLV Rostock.....	9
4.2	Werkstoffe.....	10
4.2.1	CP-W 800	10
4.2.2	MS-W 1200	11
4.3	Probennummerierung und Probenübersicht	12
4.4	Nahtgeometrien, Stoßformen und Einspannbedingungen	12
4.4.1	I-Naht.....	12
4.4.2	I-Naht am Stumpfstoß	12
4.4.3	I-Naht am Zweiblech-Überlappstoß.....	12
4.4.4	I-Naht am Dreiblech-Überlappstoß.....	13
4.4.5	Einspannbedingungen.....	13
4.5	Probenvorbereitung und Probenabmessungen	13
4.6	Schutzgase und Prozessgase	14
4.6.1	Prozessgase des CO ₂ -Lasers	14
4.6.2	Schutzgase.....	14
5	Ergebnisse	15
5.1	Complexphasenstahl CP-W 800.....	15
5.1.1	Vorversuche zum CO ₂ -Laserstrahlschweißen.....	15
5.1.2	Stumpfstoßschweißungen mit dem CO ₂ -Laser.....	16
5.1.3	I-Naht-Schweißungen am Zweiblech-Überlappstoß mit dem CO ₂ -Laser.....	25
5.1.4	I-Naht-Schweißungen am Dreiblech-Überlappstoß mit dem CO ₂ -Laser.....	30
5.1.5	Rondenschweißungen mit dem CO ₂ -Laser	34
5.1.6	Schutzgaseinfluss beim CO ₂ -Laserstrahlschweißen des Complexphasenstahls CP-W 800.....	37
5.2	Martensitphasenstahl MS-W 1200.....	40
5.2.1	Stumpfstoßschweißungen mit dem CO ₂ -Laser.....	40
5.2.2	Stumpfstoßschweißungen mit dem Faserlaser	45
5.2.3	I-Naht-Schweißungen am Zweiblech-Überlappstoß mit dem CO ₂ -Laser.....	48
5.2.4	I-Naht am Zweiblech-Überlappstoß mit dem Faserlaser am Martensitphasenstahl MS-W 1200.....	51
5.2.5	I-Naht-Schweißungen am Dreiblech-Überlappstoß mit dem CO ₂ -Laser.....	52
5.2.6	Rondenschweißungen mit dem CO ₂ -Laser am Martensitphasenstahl MS-W 1200	55
5.2.7	Schutzgaseinfluss beim CO ₂ -Laserstrahlschweißen am Martensitphasenstahl MS-W 1200.....	57

5.3	Werkstoffkombination CP-W800 und MS-W 1200	60
5.3.1	Stumpfstoßschweißungen an Werkstoffkombinationen mit dem CO ₂ -Laser.....	60
5.3.2	I-Naht-Schweißungen an Werkstoffkombinationen mit dem CO ₂ -Laser ..	62
5.3.3	Rondenschweißungen an Werkstoffkombinationen mit dem CO ₂ -Laser .	64
5.3.4	Schutzgaseinfluss beim CO ₂ -Laserstrahlschweißen an Werkstoffkombinationen	65
6	Diskussion.....	67
7	Zusammenfassung	70
8	Schrifttum	75
9	Anhang.....	76
9.1	Tabellen	77
9.2	Bilder.....	128

1 Einleitung

Das Laserstrahlschweißen ist in der blechverarbeitenden Industrie wegen seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ein innovatives und wirtschaftliches Fügeverfahren. Nicht nur in der Großserienfertigung, sondern auch bei Kleinserien kann es wegen seiner technischen und wirtschaftlichen Vorteile zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität führen. Das Laserstrahlschweißen ermöglicht konzeptionelle und konstruktive Neuerungen bei Produkten der unterschiedlichsten Branchen und Industriezweige (z.B. Maschinenbau, Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrttechnik, Haushaltsgerätefertigung, Konsumgüterindustrie, usw.).

Zur Erweiterung der Möglichkeiten im innovativen Materialleichtbau wurden von den Stahlherstellern in jüngerer Zeit eine Reihe von höherfesten Feinblechwerkstoffen entwickelt, die zunehmend in der blechverarbeitenden Industrie eingesetzt werden [1,2,3]. Dabei liegt der Schwerpunkt der Stahlindustrie darauf, den Werkstoff Stahl als direkten Konkurrenten gegenüber alternativen Leichtbauwerkstoffen (z.B. Legierungen von Aluminium und Magnesium) zu qualifizieren und das Potential innovativer, höherfester Werkstoffgüten aufzuzeigen. Mittlerweile können dem Anwender hochfeste und dabei gut umformbare Stahlblechwerkstoffe zur Verfügung gestellt werden [4,5,6].

Diese neu entwickelten sogenannte Mehrphasenstähle (z.B. DP, TRIP, CP, MS) können wegen der höheren Festigkeiten im Vergleich zu un- und niedriglegierten Stahlblechen (z.B. DC04, DX53) zu einer Gewichtsreduzierung von Blechkonstruktionen genutzt werden, da bei gleichen bzw. gesteigerten Bauteilsteifigkeiten eine Reduzierung der Blechdicken realisiert werden kann. Demgegenüber sind Mehrphasen - Stahlwerkstoffe wegen ihres Gefügebauaufbaus, aufgrund neuer Legierungskonzepte und der temperaturgeführten Herstellungsprozesse, vergleichsweise schwieriger zu verschweißen [7,8]. Durch die Umstellung von bisher konventionell eingesetzten Stahlblechwerkstoffen auf die neu entwickelten Mehrphasenstähle ergeben sich gerade im Bereich Laserstrahlschweißen neue Problemstellungen bzw. Änderungen der Arbeits- und Randbedingungen, die eine wissenschaftliche Untersuchung erforderlich machen.

Das geplante Forschungsvorhaben wird von Seiten der Industrie angeregt und soll gerade kleineren und mittelständischen Unternehmen Hilfestellung geben, das Laserstrahlschweißen von höherfesten Stahlblechwerkstoffen rationell einsetzen zu können. Voraussetzung für weitere Applikationsmöglichkeiten und eine Ausweitung des Anwendungsbereiches dieser innovativen Stahlwerkstoffe sind dabei grundlegende Kenntnisse zur Schweißbeignung, zur Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften und zur Prozesssicherheit beim Laserstrahlschweißen [9,10].

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sollen helfen, offene Fragen hinsichtlich der Verbesserung der Konstruktions- und Fertigungsmöglichkeiten zu beantworten und damit die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere von kleinen und mittelständischen Unternehmen in Bayern weiter auszubauen, indem die erforderlichen Grundlagen zum Laserstrahlschweißen von höherfesten Stahlblechwerkstoffen allen potentiellen Anwender zur Verfügung gestellt werden.

2 Zusammenfassung

Das Laserstrahlschweißen ist ein in der industriellen Fertigung vielfach eingesetztes Fügeverfahren, das nicht nur in der Großserienproduktion, sondern auch in der Kleinserienproduktion Anwendung findet. Das Spektrum der zur Anwendung kommenden Stähle hat sich im Zuge der immer weiter vorangetriebenen Leichtbaukonzepte in den letzten Jahren gewandelt. Die Festigkeiten der Stähle haben sich erhöht, wodurch sich die Wanddicken der Bauteile reduzieren lassen.

Eine Entwicklung im sehr hohen Festigkeitsbereich der Stähle (bis über 1000 N/mm^2) sind die Complexphasenstähle und die Martensitphasenstähle. Die Vertreter CP-W 800 und MS-W 1200 dieser beiden Stahlsorten werden in diesem Forschungsprojekt hinsichtlich ihrer Laserstrahlschweißbarkeit überprüft. Besonderes Augenmerk richtet sich bei den Untersuchungen auf fertigungstechnisch relevante Bearbeitungsbedingungen. Ausgehend von optimierten Schweißungen, deren Parameterbereich ermittelt wird, werden Störgrößen in den Schweißprozess eingebracht. Spalte, Kantenversätze und eine Verschiebung der Fokusslage stellen dabei solche Störgrößen dar, die in der Praxis auftreten können. Für drei Stoßarten (Stumpfstoß, Zweiblech-Überlappstoß, Dreiblech-Überlappstoß, Blechdicke jeweils $1,65 \text{ mm}$) werden geeignete Schweißparameter festgelegt. Der Einfluss dieser Parameter auf die Nahtgüte, das Gefüge, die Härte und ausgewählte, mechanische Eigenschaften werden vorgestellt. Die Schweißungen werden an einem CO_2 -Laser (6 kW Ausgangsleistung) und an einem Faserlaser (10 kW Ausgangsleistung) durchgeführt.

Die Werkstoffe CP-W 800 und MS-W 1200 weisen beide in einem definierten Arbeitsbereich, der von der jeweiligen Stoßart abhängig ist, eine gute Laserstrahlschweißbarkeit auf. Risse oder sonstige Bindefehler können mit den durchgeführten Prüfungen nicht festgestellt werden. Äußere Nahtunregelmäßigkeiten bewegen sich innerhalb der Grenzen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 13919-1, wenn mit diesen optimierten Parametern gearbeitet wird. Die Form der Schweißnaht ist meist V-förmig. Ihre Breite hängt von den Parametern Laserstrahlleistung und Schweißgeschwindigkeit und somit von der Streckenenergie ab.

Im Stumpfstoß beispielsweise erreicht man mit der Fokusslage $z = 0 \text{ mm}$ in einem relativ weiten Arbeitsfeld gute Schweißergebnisse. Für den Werkstoff CP-W 800 liegt dieser Bereich bei Laserstrahlleistungen von 2500 W und 3000 W sowie bei Schweißgeschwindigkeiten von $2,0 \text{ m/min}$ bis $3,5 \text{ m/min}$. Wird die Laserstrahlleistung bei $v_s \geq 2,5 \text{ m/min}$ auf $P_L \geq 3500 \text{ W}$ erhöht, verschlechtert sich die Güte der Laserstrahlschweißverbindungen signifikant. Poren in den Schweißnähten stellen die Ursache für die Verschlechterungen dar. Unter Zugbelastung versagen die Proben 10 mm bis 15 mm von der Schweißnaht entfernt. Die Zugfestigkeiten von maximal 870 N/mm^2 liegen im Streubereich des Grundwerkstoffes. Die $0,2\%$ -Dehngrenze von 730 N/mm^2 und die Bruchdehnungen bis zu 12% erreichen die Kennwerte der ungeschweißten Proben ($R_m = 880 \text{ N/mm}^2$, $R_{p0,2} = 780 \text{ N/mm}^2$, $A = 15 \%$) nicht. In der Schweißnaht stellt sich eine maximale Härte von 410 HV5 gegenüber 280 HV5 im unbeeinflussten Grundwerkstoff ein. Bei dieser Aufhärtung sind keine Härterisse zu

erwarten. Das Gefüge in der Schmelzzone besteht aus Bainit und grobnadeligem Martensit.

Beim Werkstoff MS-W 1200 führen die Laserstrahlleistungen von 2500 W, 3000 W und 3500 W mit den Schweißgeschwindigkeiten von 2,0 m/min bis 3,5 m/min für die Stumpfstoßverbindungen zur besten Bewertung (Bewertungsgruppe B). Es bildet sich ein Entfestigungsbereich in der Wärmeeinflusszone aus, in dem bei den Zugproben das Versagen eintritt. Die Zugfestigkeit sinkt um 13 % auf 1200 N/mm² (Grundwerkstoff: $R_m = 1380 \text{ N/mm}^2$). Durch die Erhöhung der Streckenenergie wird die Zugfestigkeit weiter reduziert. Die Bruchdehnung von maximal 2 % ist erwartungsgemäß niedriger als die Bruchdehnung der ungeschweißten Probe mit 6 %. Durch umgebendes, festeres Material wird die Dehnung behindert. Die Entfestigung wird durch die Härteprüfung bestätigt. Grundwerkstoff und Schweißnaht weisen eine Härte von rund 420 HV5 auf, während die Härte des Entfestigungsbereichs bis zu 30 % darunter liegt. Der Entfestigungsbereich besteht aus angelassenem Martensit und gegenüber dem Grundwerkstoff deutlich erhöhtem Ferritgehalt. Die Schmelzzone weist wie beim CP-W 800 Bainit und grobnadeligen Martensit auf.

Für die Einteilung in schlechtere Bewertungsgruppen als B sind bei beiden Werkstoffen allein Poren die Ursache. Die Porosität übt keinen signifikanten Einfluss auf die Kennwerte des Zugversuches aus. Die Dauerfestigkeit verringert sich ebenfalls durch eine steigende Porosität der Schweißverbindungen beim Werkstoff CP-W 800 nicht.

Praxisübliche Störgrößen wie Kantenversätze oder vorrichtungsbedingte Spalte können eine Qualitätsänderung der Laserstrahlschweißnähte bewirken. Positive Veränderungen stellen dabei die Verringerung von Poren beim Werkstoff CP-W 800 durch einen Spalt von 0,1 mm und beim MS-W 1200 durch Kantenversätze von 0,2 mm bzw. 0,4 mm dar. Nahezu alle Proben werden in Bewertungsgruppe B eingeteilt. Erst Spalte von 0,2 mm Breite führen, da keine ausreichende Schweißverbindung über die gesamte Schweißnahtlänge mehr zustande kommt, zu Verschlechterungen. Durch andere Störgrößen wiederum (Spalt beim Werkstoff MS-W 1200, Kantenversatz beim Werkstoff CP-W 800 und Fokusposition bei beiden Werkstoffen) werden keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich zu den Stumpfstoßschweißungen ohne Störgrößen festgestellt. Die Zugversuche von Proben mit Störgrößen erreichen bei beiden Werkstoffen die selben Ergebnisse wie die der ungeschweißten Proben.

Auch die Zweiblech-Überlappverbindungen weisen überwiegend gute Ergebnisse auf. Die beste Fokusposition liegt auf der Werkstückoberfläche. Mit allen vier Schweißgeschwindigkeiten (2,0 m/min bis 3,5 m/min) und den Laserleistungen 3000 W, 3500 W, 4000 W sowie dem Parametersatz 2500 W, 2,0 m/min ist der untersuchte Complexphasenstahl im Überlappstoß gut laserstrahlschweißgeeignet. Unter Zugbelastung, welche einer Scherbeanspruchung in der Schmelzbrücke zwischen den Blechen entspricht, versagen alle Überlappverbindungen in der Schweißnaht. Die Zugkräfte steigen beim CP-W 800 tendenziell mit Erhöhung der Streckenenergie von 8,2 kN bis 9,0 kN. Härte und Gefüge ändern sich im Vergleich zum Stumpfstoß nicht.

Der Martensitphasenstahl weist, mit Ausnahme der zwei Parametersätze 2500 W, 3,0 m/min und 2500 W, 3,5 m/min, ebenfalls im gesamten Parameterfeld eine gute

Schweißbeignung auf. Die höchste Zugkraft liegt bei 10,1 kN, bezogen auf eine Nahtlänge von 12,5 mm.

Nennenswerte Veränderungen der Zweiblech-Überlappverbindungen mit Spalten von 0,2 mm und 0,4 mm sind bei beiden Mehrphasenstählen gegenüber Proben ohne Störgrößen nicht festzustellen. Die erreichten Zugkräfte erhöhen sich grundsätzlich etwas, da sich der tragende Querschnitt in der Fügeebene durch den Spalt vergrößert. Die Bruchlage bei den Überlappverbindungen ist in der Schweißnaht. Die Zugfestigkeiten bis maximal 585 N/mm² liegen fast 60 % unter dem Niveau des Grundwerkstoffes.

Auch Dreiblech-Überlappverbindungen beider Werkstoffe sind in einem eingengten Parameterbereich laserstrahlschweißbar. Der Fokus wird hier um $z = -1,65$ mm in die obere Fügeebene versetzt. Gute Schweißergebnisse erzielt man beim Werkstoff CP-W 800 mit der Laserstrahlleistung von 4500 W bei Schweißgeschwindigkeiten zwischen 2 – 3,5 m/min und zusätzlich mit der Parameterkombination 4000 W, 2,0 m/min. Die Zugproben versagen stets in der jeweiligen Schmelzbrücke (Schweißnaht). Die Zugkräfte der oberen Verbindung liegen bei maximal 11,6 kN ($P = 4500$ W, $v = 2,0$ m/min), die der unteren Verbindung bei maximal 8,8 kN.

Beim Martensitphasenstahl führt der Parametersatz 3500 W, 2,0 m/min, sowie die Laserstrahlleistungen von 4000 W und 4500 W mit den Schweißgeschwindigkeiten 2,0 m/min und 2,5 m/min zu Verbindungen hoher Nahtgüte. Die festgestellten Zugkräfte liegen bei maximal 12,2 kN (obere Fügeebene) und 9,7 kN (untere Fügeebene).

Mit einem Spalt von 0,2 mm erreichen vier Parametersätze am CP-W 800 die Bewertungsgruppe B. Die Vergrößerung des Spaltes auf 0,4 mm reduziert die Anzahl der Parametersätze mit vergleichbar guten Ergebnissen auf zwei. Am Martensitphasenstahl verringern sich die Parametersätze mit der Nahtgüte der Bewertungsgruppe B bei den gleichen Spaltweiten von vier auf drei. Wie bereits bei den Zweiblech-Überlappverbindungen festzustellen ist, vergrößern sich die Zugkräfte bei Proben mit Spalt.

Dem Fügen komplexer Bauteilstrukturen, wie es in vielfältiger Weise in der Industrie zur Anwendung kommt, wird in diesem Projekt durch das Einschweißen von Ronden in artgleiche Grundplatten und durch die Herstellung von Schweißungen an Werkstoffkombinationen Rechnung getragen.

Niedrige Streckenenergien bis 500 J/cm führen beim CP-W 800 im Gegensatz zu Streckenenergien über 700 J/cm zu hohen Nahtgüten mit geringen Nahtunregelmäßigkeiten. Die Zugkräfte erreichen mit 17,6 kN annähernd die Zugkräfte des Grundwerkstoffes von 17,9 kN. Die Härtewerte steigen unter den Randbedingungen der Rondeneinschweißungen bedingt durch den höheren Eigenspannungszustand auf Werte bis 460 HV5. Die vergleichbaren geradlinigen I-Nahtschweißungen liegen um 50 HV5 niedriger. Im Gefüge der Schweißnaht steigt der Anteil an Martensit und Bainit etwas an.

Die Bewertungen an den MS-W 1200 Schweißproben erreichen ebenso überwiegend Gruppe B. Die Schweißnahtbreite sinkt mit abnehmender Streckenenergie. Auch bei diesen Verbindungen tritt ein Entfestigungsbereich auf. Die Zugkräfte steigen auf Werte bis 23,7 kN.

Die Untersuchungen zum Schutzgaseinfluss mit Reinargon, Argon/Helium 75%/25% und Lasgon® (Argon/Helium/CO₂ - 50%/35%/15%) führen an den gleichartigen Schweißungen am Complexphasenstahl und Martesitphasenstahl sowie an den Werkstoffkombinationen Complexphasenstahl - Martesitphasenstahl zu jeweils vergleichbaren Ergebnissen. Mit allen drei Gasen lassen sich Schweißverbindungen hoher Nahtgüte herstellen, tendenziell bietet jedoch Lasgon® leichte Vorteile. So weist beispielsweise die Schweißnahtoberfläche mit Lasgon® als Schutzgas eine etwas feinere Struktur auf.

Die Stumpfstoß- und Überlappschweißungen am MS-W 1200 mit dem Faserlaser YLR 10000 zeigen geringere Naht- und Wurzelüberhöhungen im Vergleich zu den ohnehin schon geringen Werten beim CO₂-Laser. Überwiegend wird bei den Schweißungen die Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 13919-1 erreicht. Auch bei der hohen Schweißgeschwindigkeit von 8 m/min sind gute Nahtqualitäten zu erzielen. Die Zugfestigkeitswerte der Stumpfstoßverbindungen liegen auf einem Niveau von 1260 N/mm². Die Überlappverbindungen erzielen Zugkräfte bis 10,3 kN. Das Schweißnahtgefüge aus Martensit nimmt grobnadelige Strukturen an. Die Härtewerte liegen im Entfestigungsbereich bei 330 HV5, in Schweißnahtmitte bei 470 HV5.

Auch Werkstoffkombinationen von Complexphasenstählen und Martensitphasenstählen weisen eine hohe Laserstrahlschweißung auf. Das untersuchte Parameterefeld deckt Laserstrahlleistungen von 3000 W bis 4500 W mit den Schweißgeschwindigkeiten 2 m/min und 3 m/min ab. Der Bruch der Verbindungen hoher Nahtgüte im Zugversuch erfolgt im Grundwerkstoff CP-W 800. Untersuchungen zum Störgrößeneinfluss zeigen bei Kantenversätzen und Spalten am Zweiblech-Überlappstoß zum Teil Beeinträchtigungen in den Schweißergebnissen. Die Rondereinschweißungen erfüllen mit einigen Parametersätzen teilweise aufgrund von Kantenversätzen nur die Bewertungskriterien der Gruppe D. Aufhärtungen in der Schweißnahtmitte sowie Entfestigungen des MS-W 1200 sind auch hier wieder festzustellen.

Allgemein sind die Eigenschaften des Complexphasenstahls CP-W 800 im Vergleich zum Martensitphasenstahl MS-W 1200, bei dem verursacht durch den Wärmeeintrag Entfestigungen in der Wärmeeinflusszone auftreten, weniger von der eingebrachten Streckenenergie abhängig. Die umfangreichen systematischen Untersuchungen zeigen bei einigen fertigungsrelevanten Störgrößen wie Spalt und Kantenversatz bis zu bestimmten Grenzwerten keine negativen Auswirkungen. Die mechanischen Festigkeitswerte bleiben auf gleichem Niveau. Werden die Abmessungen der Störgrößen zu groß, reduziert sich die Güte der Laserstrahlschweißverbindungen deutlich.

Aus der Vielzahl der erarbeiteten Ergebnisse wurden Kernaussagen abgeleitet, die den bayerischen kmU's als gesicherte Basis zur fúgetechnischen Verarbeitung des Complexphasenstahls CP-W 800 und des Martensitphasenstahls MS-W 1200 zu Verfügung stehen. Dies stellt u.a. eine Voraussetzung für ein wirtschaftliches Arbeiten dar. Zusammen mit der hohen Wirtschaftlichkeit des Laserstrahlfügens kann international konkurrenzfähig produziert werden.

„Outsourcing“ in immer mehr Großbetrieben verlangt in zunehmendem Maße nach einer Verlagerung von Grundlagen-Know-How in kleine und mittelständische bayeri-

sche Unternehmen, um im Lohnschweißbetrieb Komponenten fertigen zu können. Durch die Erarbeitung optimierter Schweiß- und Randbedingungen während des Projektes werden kleinen und mittelständischen Unternehmen grundsätzliche Hinweise gegeben, um hochfeste Stahlfeinbleche produktions sicher in der Fertigung einzusetzen. Solche Unternehmen erhalten mit den vorgestellten Forschungsergebnissen eine unverzichtbare Unterstützung bei der Ausführung solcher anspruchsvollen Fügeaufgaben. Die Umsetzung moderner Leichtbaukonzepte setzt zudem verstärkt den Einsatz hoch- und höherfester Stahlwerkstoffe voraus. Das Laserstrahlschweißen kann hier mit seinen spezifischen Vorteilen gegenüber anderen Fügeverfahren (geringere Streckenenergie, hohe Schweißgeschwindigkeit, hohe Prozessstabilität) den notwendigen Anforderungen am besten gerecht werden. Den untersuchten Werkstoffen können so auch neue Anwendungsbereiche erschlossen werden. Die Vielfalt der Applikationen erhöht sich.

Ein kontinuierlicher und direkter Transfer der Untersuchungsergebnisse in bayerischen kmU's erfolgt zum einen durch den intensiven Kontakt der SLV München zu solchen Firmen und zum Anderen durch Schulungen, Laborübungen, Seminare, Tagungen und Veröffentlichungen. Die interessierte Fachwelt kann darüber hinaus diesen Bericht direkt von der SLV München beziehen.

Die Untersuchungen nützen somit vorrangig den bayerischen kmU's. Das Forschungsprojekt leistet einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes Bayern.

Die Untersuchungen wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie – Innovationsberatungsstelle Südbayern – gefördert. Wir bedanken uns für die Förderung dieser Forschungsarbeit. Der Schlussbericht zu dem Projekt ist von der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV München, Niederlassung der GSI mbH zu beziehen. Unser Dank richtet sich an die Firma Thyssen Krupp Stahl AG für die Unterstützung der Forschungsarbeit.

München, den 29.06.2007

Dipl.-Ing. Franz Zech