

Titel

Optimierung der Werkzeugwerkstoffe und Beschichtungen für das laserunterstützte Scherschneiden von höchstfesten Stählen

IGF-Nr.: 19131 N

Forschungsstellen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Schicht- und Oberflächentechnik,
Braunschweig (IST)

Forschungseinrichtung 3: Institut für Produktionstechnologie,
Aachen (IPT)



Fraunhofer
IPT



Fraunhofer
IST

Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

M. Sc. Dominik Lenz
02191 / 5921.123
lenz@fgw.de

Ansprechpartner bei IST-Braunschweig :

Dr.-Ing Christian Stein
0531 / 2155.647
Christian.Stein@ist.fraunhofer.de

Ansprechpartner bei IPT-Aachen :

Dipl.-Ing. Markus Eckert
0241 / 8904.319
markus.eckert@ipt.fraunhofer.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19131 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

In der blechbearbeitenden Industrie ist ein Trend zur Verarbeitung höchstfester Stähle sowie zu höheren Qualitäts- und engeren Toleranzansprüchen zu beobachten.

Entwicklungstrend hochfester Stahl

Golf VI (2008 – 2012):

66% hoch- und höchstfeste Stähle

+ 14%  - 23 kg (Karosserie)

Golf VII (2012 – heute):

80% hoch- und höchstfeste Stähle

→ Zunehmende Verwendung von Stählen
mit Festigkeiten > 1000 MPa

Hoch- und höchstfeste Stähle im Golf VII



Abbildung 1: Entwicklungstrend hochfester Stahl

Als Folge dieser Entwicklung geraten konventionelle Blechbearbeitungsverfahren durch hohe Werkzeugbelastungen zunehmend an ihre wirtschaftlichen und technologischen Grenzen. Besondere Schwierigkeiten bereitet das Schneiden höchstfester Stähle, wobei zunehmend die Verarbeitung von Festigkeiten > 1000 MPa gefordert wird. Konventionelle Scherschneidverfahren, die sich durch eine hohe Wirtschaftlichkeit auszeichnen, sind dann nicht mehr einsetzbar.

Vor diesem Hintergrund wurde am Fraunhofer IPT in Kooperation mit Unternehmen der blechbearbeitenden Industrie die laserunterstützte Blechbearbeitung entwickelt, bei dem das hochfeste Stahlblech unmittelbar vor dem Bearbeitungsprozess lokal

erwärmt und dadurch entfestigt wird. Die erhöhte Fließfähigkeit des Blechmaterials führt, im Vergleich zu dem konventionellen, kalten Scherschneiden, zu hohen Glattschnittanteilen bis 100 % und reduzierten Prozesskräften um bis zu 70 %.

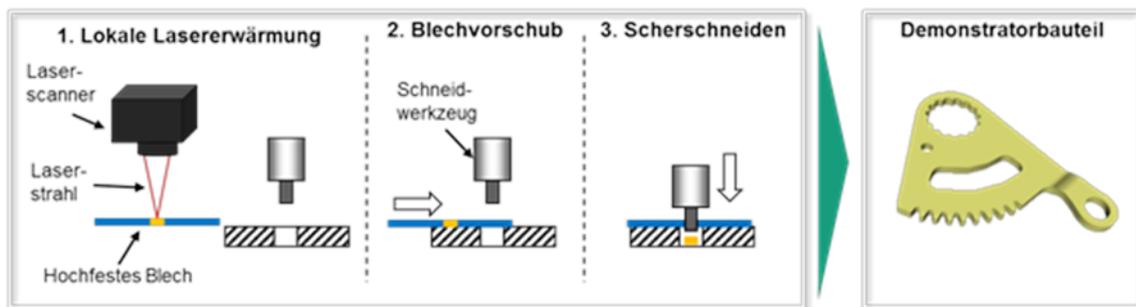


Abbildung 2: Prinzip der laserunterstützten Blechbearbeitung

Aufgrund der erhöhten Bearbeitungstemperaturen (im Extremum bis zu schmelzflüssigen Phasen) treten beim laserunterstützten Scherschneiden verstärkt Materialanhaftungen am Werkzeug auf, die zu einer nicht tolerierbaren Herabsetzung der Kantenqualität des Endproduktes (Riefenbildung) führen. Darüber hinaus ist eine Anpassung der Werkzeugwerkstoffe erforderlich, um der hohen thermischen Beanspruchung an der Schneidkante standzuhalten. Da verschleißbedingte Werkzeugwechsel in Folgeverbundwerkzeugen sehr zeit- und kostenaufwendig sind, können optimierte Schneidwerkzeuge für das laserunterstützte Scherschneiden zur wirtschaftlichen Herstellung innovativer Produkte aus hochfesten Materialien beitragen.



Abbildung 3: Stempelverschleiß bei der laserunterstützten Blechbearbeitung

Gegenüber alternativen Schneidverfahren, wie etwa dem Laserstrahlschneiden, zeichnet sich das laserunterstützte Scherschneiden speziell bei dickeren Blechen um etwa 4 mm durch geringe Zykluszeiten pro Bauteil (< 2 Sekunden) aus. Darüber hinaus können im Folgeverbundwerkzeug durch die Lasererwärmung Zusatzoperationen wie etwa Biegungen oder Prägungen in höchstfesten Stählen durchgeführt werden. Im Gegensatz zum Laserschneiden lassen sich mit der laserunterstützten Blechbearbeitung auch gezielt lokale Gefügeveränderungen (Härten) im Bauteil einstellen. Dadurch können Ofenhärteprozesse substituiert und der Energiebedarf der Prozesskette deutlich reduziert werden.

Aufgrund der vielfältigen Vorteile stellen das Warmstanzen und das Warmumformen von höchstfesten Stählen derzeit die am stärksten wachsenden Bereiche in der Blechbearbeitung dar. Allerdings erfordert die hohe Verschleißbeanspruchung der Werkzeuge in Verbindung mit den erhöhten Prozesstemperaturen die Entwicklung optimierter Werkzeugwerkstoffe und Beschichtungen.

Forschungsziel

Ziel des Projektes war die Optimierung von Stanzwerkzeugen, um eine wirtschaftliche Herstellung komplexer und qualitativ hochwertiger Blechbauteile aus hochfesten Stählen durch das laserunterstützte Scherschneiden zu ermöglichen. Die erhöhte Schneidtemperatur führt zu einem starken Verschleiß an konventionellen Werkzeugen. Vor diesem Hintergrund erfolgte eine für den Anwendungsfall optimierte Auswahl des Werkzeugwerkstoffs und der Beschichtung, um das volle Potential des laserunterstützten Scherschneidens den KMUs zugänglich zu machen.

Die Laserunterstützung eines Scherschneidprozesses von höchstfesten Stählen ermöglicht bisher unerreichte Bauteilqualitäten, senkt die Prozesskosten und verkürzt die Fertigungsdauer. Das volle Potential dieses Fertigungsverfahrens konnte bisher jedoch nicht ausgeschöpft werden, da die höheren Temperaturen zusätzliche Verschleißmechanismen zwischen Stahlwerkstoff und Werkzeugoberfläche hervorrufen. Diese beschleunigen den Werkzeugverschleiß und stellen ein tribologisches Problem dar, für die erste Lösungsansätze existieren.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Die Leistungsfähigkeit des Werkzeugwerkstoffs hängt maßgeblich von der Anwendungstemperatur, der werkstoffspezifischen Dauerwarmfestigkeit und der Härte ab. Auf Grundlage von laserunterstützten Scherschneidversuchen und einer anschließenden, umfassenden Verschleißanalyse wurde der optimale Werkzeugwerkstoff definiert. Seine mechanischen und tribologische Grundeigenschaften wurden über eine gezielte Oberflächenbehandlung anwendungsspezifisch verbessert. Zur Vermeidung der thermischen Entfestigung kann die Festigkeit der Werkzeugrandzone mittels eines Nitrierprozesses zusätzlich angehoben werden. Dabei sind die eingangs ermittelte Entfestigungstiefe und die Werkstoffauswahl grundlegend für die Entwicklung des Nitrierprozesses. Hartstoffschichten auf Basis TiAlN oder CrN können durch die Modifikation mit Elementen wie Wolfram, Molybdän oder Vanadium selbstschmierende Phasen ausbilden, die durch Oxidation in einem geeigneten Temperaturbereich entstehen. Diese Schichten wurden in der Vergangenheit erfolgreich bei erhöhter Fertigungstemperatur getestet und vermochten den adhäsiven und abrasiven Werkzeugverschleiß signifikant zu senken. Bei nicht zu großer thermischer Belastung sind modifizierte DLC-Schichten eine weitere Möglichkeit. Beide Beschichtungsansätze stellen in Kombination mit einer vorherigen

Oberflächenstrukturierung und ggf. Randschichthärtung einen aussichtsreichen Lösungsansatz dar.

Die Werkzeugwerkstoffoptimierung stand in Wechselwirkung mit der Schichtenentwicklung, woraus ein hochkomplexer Entwicklungsprozess resultierte. Diese Entwicklungsarbeit wurde iterativ gelöst und mittels einer fortwährenden Überprüfung in realen Scherschneidversuchen validiert. Die Forschungsarbeit überwindet die tribologischen Problemstellung beim laserunterstützten Scherschneiden und liefert somit ein wirtschaftliches Verfahren zum Scherschneiden höchstfester Stähle.

Im durchgeführten Projekt wurden für das laserunterstützte Scherschneiden aufgrund der mechanischen und thermischen Belastungen zwei pulvermetallurgische Werkstoffe verwendet. Hintergrund dafür ist, dass aufgrund von dispers verteilten Karbiden durch die Pulvermetallurgie die Bildung eines höchst verschleißbeständigen Werkstoffs möglich ist. Für die Vorversuche hinsichtlich der Verschleißanalyse erfolgten die Feldversuche mittels des Werkstoffes TSP10. Hierbei handelt es sich um einen pulvermetallurgisch hergestellten Werkzeugstahl, der aufgrund seines 10 Ma-%igen Vanadiumanteils einen hohen Verschleißwiderstand, mit gleichzeitig hoher Zähigkeit aufweist. Die Versuche erfolgten dabei an 1 mm dicken Blechteilen, bestehend aus der Legierung X10CrNi18-8. Neben dem TSP10-Stanzwerkstoff wurde zusätzlich die Legierung Vanadis4e als Stanzwerkstoff verwendet, der ebenfalls pulvermetallurgisch hergestellt wird und aufgrund der dispersen Karbidverteilung höchst verschleißbeständig ist. Anhand der erhaltenden Verschleißergebnisse wurde dabei der optimalste Grundwerkstoff für die Stanzwerkzeuge ermittelt werden. Im Anschluss wurden auf dem Grundwerkstoff, welcher bei den Vorversuchen die besten Ergebnisse erzielte, zusätzlich vier diverse Schichten aufgebracht, bei denen es sich um CrDLC-, CrVN1-, TiAlCrN- und TiAlN-Schichten handelt. Im Anschluss wurden wiederum Verschleißanalysen durchgeführt, wobei neben dem 1 mm Blech zusätzlich 3 mm Bleche eingesetzt wurden. Des Weiteren wurden neben dem austenitisch nichtrostenden Stahl (X10CrNi18-8) zusätzlich Versuche an dem Werkstoff S550MC durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen höherfesten Stahl der oft als Konstruktionswerkstoff von Längsträgern oder Kaltprofilen eingesetzt wird.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes war es möglich, die Funktionalität von Beschichtungen in Kombination mit der entsprechenden Werkstoffauswahl nachzuweisen:

Laser unterstütztes Scherschneiden von 1 mm X10CrNi18-8 (1.4310)

Beim Schneiden von X10CrNi18-8 (1.4310) wurden nach den Schneidversuchen Werkstoffanhaftungen auf den Flanken der Aktivteile sichtbar, die teilweise sehr stark ausgeprägt waren und der starken Neigung der Adhäsionsneigung des Werkstoffs entsprechen.

Die Ausprägung der Werkstoffanhaftungen lassen sich durch einige der getesteten Beschichtungen reduzieren, aber nicht gänzlich verhindern. Bei der mit Molybdän modifizierten TiAlN-Schicht wurde die größte Verbesserung erreicht.

Das in den Tribometerversuchen gezeigte Potenzial der mit Vanadium modifizierten Beschichtungen konnte in den Schneidversuchen nicht verifiziert werden. Mögliche Gründe sind die unterschiedlichen Bedingungen und Belastungskollektive. Insbesondere könnte die Temperatur beim Schneiden für die Ausbildung von selbstschmierenden Oxiden nicht ausreichend gewesen sein, was im Einklang mit den Härtemessungen der Werkstoffrandzone steht, in der keine thermische Entfestigung nachgewiesen wurde.

Eine Politur der Werkzeuge vor der Beschichtung führte zu einer leichten Reduktion der Werkstoffanhaftungen. Eine weitere Politur nach der Beschichtung (PBP) führte bei der gesputterten TiAlN-Schicht zu keiner weiteren Verbesserung. Die beiden mit dem Arc-Verfahren hergestellten modifizierten TiAlN-Schichten (HardurRed und HardurBlack) profitieren aber von einer Nachbehandlung, die bei Arc-Schichten aufgrund der Dropletbildung zum Stand der Technik gehört.

Beim Vergleich der Stanzteile fällt insbesondere die C-DLC-Schicht durch sehr glatte Schnittflächen auf, die in der Anfangsphase der Versuche erreicht wurden. Im weiteren Verlauf kam es aber unter den Versuchsbedingungen zu einem Versagen der Schicht und zu einem mit dem unbeschichteten Werkzeug vergleichbaren Schnittbild. Die C-DLC-Schicht hat folglich ein hohes Potential zur Verminderung von Werkstoffanhaftungen, muss aber auf dem Aktivteil besser stabilisiert werden.

Die Aktivteile können durch Beschichtung wirkungsvoll vor Verschleiß geschützt werden. So lässt sich zum Beispiel der Mantelflächenverschleiß mit allen getesteten Beschichtungen deutlich reduzieren. Auftretende Kantenausbrüche sind in der Regel nicht direkt auf die Beschichtung, sondern auf den Grundwerkstoff zurückzuführen.

Laser unterstütztes Scherschneiden von 3 mm S550MC

Beim Schneiden von S550MC wurden nach den Schneidversuchen ebenfalls Werkstoffanhaftungen auf den Flanken der Aktivteile sichtbar, die aber im Vergleich zu Schneidversuchen am 1.4310 deutlich weniger ausgeprägt sind.

Die C-DLC-Schicht und die beiden modifizierten TiAlN-Schichten (HardurRed und HardurBlack) liefern untereinander ähnliche Verschleißergebnisse.

Die Projektergebnisse versetzen KMUs in die Lage, innovative Blechbauteile aus hochfesten Stählen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu fertigen. Dabei spielt die Werkzeugstandzeit eine wichtige Rolle. Höhere Werkzeugkosten werden zum einen durch erhöhte Standzeiten und zum anderen durch wegfallende Rüst- und Nebenzeiten kompensiert. Durch den Wegfall von Rüstzeiten werden auch Werkzeuge im Umfeld weniger belastet, da der Scherschneidprozess seltener neu hochgefahren

werden muss und gleichmäßiger durchlaufen kann, welches wiederum Standmengensteigerungen mit sich führt.

Es wurde eine Kenntnisgewinn für die Werkzeugtechnik und Beschichtungstechnik erzeugt, der auch wertvoll für die gesamte Branche der Warmumformung ist. Davon profitiert die ganze Wertschöpfungskette vom Halbzeughersteller, Werkzeugbauer, Laserhersteller, Lohnbeschichter, Software- und Steuerungsentwickler, Anlagenbauer bis zum Teile- und Systemlieferanten. Die Anwendung gewichtsoptimierter Stanz-Biegebauteile ist branchenübergreifend möglich, wobei der Kernmarkt in der Automobilindustrie angesiedelt ist.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Dominik Lenz unter 02191 5921.123.