

# Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

***Beschichtung HGSS***

der Forschungsstelle(n)

Fraunhofer IWU

Fraunhofer IST

Das IGF-Vorhaben 17527 BG der Forschungsvereinigung EFDS wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Chemnitz, 24.08.2018

---

Ort, Datum

Tom Barthel  
Dr. Martin Keunecke

---

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

## **1. Forschungsthema**

Entwicklung von Werkzeugbeschichtungen für das Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS) von Blechwerkstoffen

## **2. Förderhinweis**

Das Forschungsvorhaben 17527 BG der Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert.

## **3. Problemstellung und Forschungsziele zu Projektbeginn**

### **3.1. Ausgangssituation**

In der Blechverarbeitung, einem der wirtschaftlich bedeutendsten Fertigungsverfahren, spielen Trennverfahren eine wichtige Rolle. Nahezu jedes Bauteil ist während der Fertigung einem oder mehreren Zerteilprozessen ausgesetzt. Etabliert haben sich dazu konventionelle Scherschneid- und Feinschneidverfahren. Diese unterliegen jedoch einer Reihe von Einschränkungen und Nachteilen. Als Alternative wurde daher das Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS) entwickelt, ein Trennverfahren, bei dem durch eine sehr hohe dynamische Belastung ein frühzeitiges Scherversagen im Werkstoff hervorgerufen wird, das besonders gratarme, ebene Trennflächen ermöglicht. Die Substitution spanender Fertigungsprozesse durch energie- und ressourcensparende Umformprozesse ist aktueller denn je. Auf Grund der ständig steigenden Energiekosten wird sich dieses Verhältnis weiter zugunsten des Umformens bzw. des Trennens entwickeln, sodass Verfahren wie das Hochgeschwindigkeitsscherschneiden zunehmend an Bedeutung gewinnen. Insbesondere in der Blechbearbeitung ist ein wachsender Trend hin zur Herstellung endkonturnaher Präzisionsteile bzw. nicht weiter nachzubearbeitender Gutteile, auch komplexerer Werkstückgeometrien, zu verzeichnen. Beim Erzielen hoher Schnittqualitäten spielt die Schneidgeschwindigkeit beim Trennvorgang eine wichtige Rolle. Die in den letzten Jahren verstärkt durchgeführten Untersuchungen zum HGSS haben den positiven Einfluss des

Prozessparameters Geschwindigkeit auf die Erzielung optimaler Schnittflächenqualitäten bestätigt. Gleiche Bauteile konnten in besserer Qualität, bei höheren Taktraten sowie mit geringeren Stegbreiten gefertigt werden. Trotz dieser Erkenntnisse beschränkt sich die industrielle Anwendung des HGSS bisher vor allem auf das Trennen von Stangenmaterial für die Erzeugung von Schmiedevorformen. Anwendungen des adiabatischen Trennens, wie das HGSS auch genannt wird, beschränken sich im Blechbereich derzeit primär auf Versuchsstände. Typischen Anwendungsbeispiele sind z.B. Tellerfedern, Klinken, Sitzverstellungen usw.

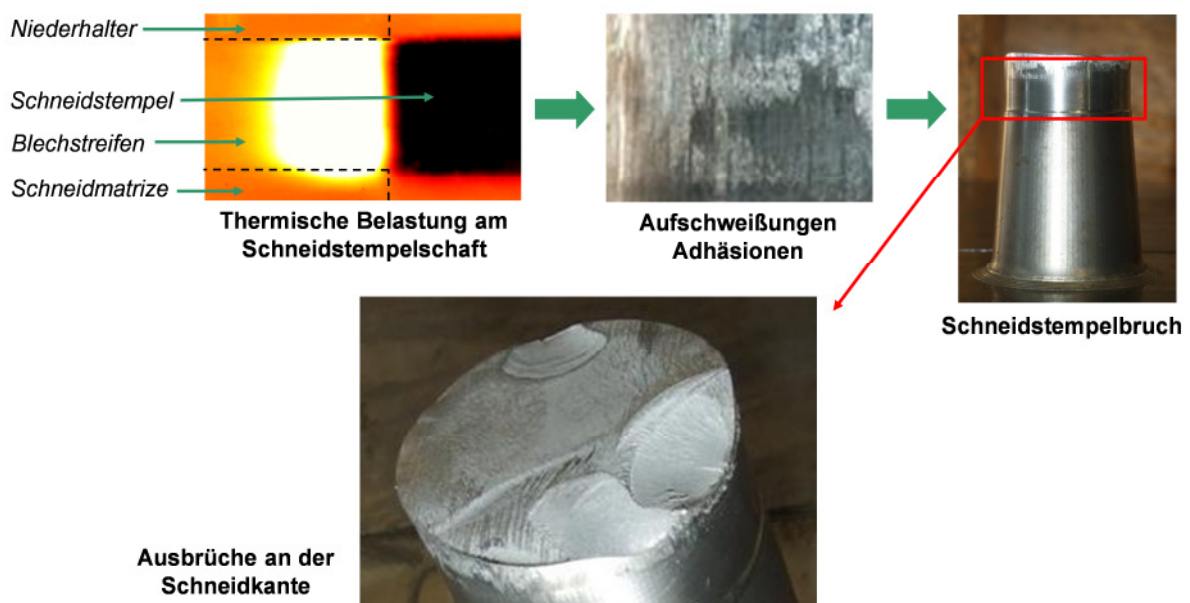
Das Hochgeschwindigkeitsscherschneiden ist derzeit in der DIN normativ nicht erfasst, kann aber der Gruppe der Trennverfahren und darunter der Untergruppe Scherschneiden zugeordnet werden.

Zurzeit existieren bereits seriennahe Anlagen, welche jedoch nicht industriell im Einsatz sind. Aufgrund der hohen Prozessdynamik und der daraus resultierenden mechanischen, thermischen sowie tribologischen Belastung der Aktivelemente kommt es derzeit oft zum vorzeitigen Werkzeugversagen. Systematische Untersuchungen zum Einfluss von Werkzeugbeschichtungen und Randschichtbehandlungen auf das Verschleißverhalten der Aktivteile fehlen bisher. Darüber hinaus stellen die Einsparung vor Wärmebehandlungsschritten im Fertigungsprozess und der damit verbundene Einsatz von höchstfesten Stahlwerkstoffen neue, derzeit noch nicht untersuchte, Anforderungen an die Aktivteilwerkstoffe und deren Beschichtungen. Im Kapitel 2.3 wird näher darauf eingegangen. Die Werkzeugstandzeiten liegen aktuell noch unter denen konventioneller Verfahren, wie z.B. dem Fein- oder Scherschneiden. Hier besteht Forschungsbedarf und an dieser Stelle setzt der vorliegende Forschungsantrag an.

### **3.2. Problemstellung**

Die Werkzeugstandmengen beim HGSS von Blechwerkstoffen sind derzeit noch unbefriedigend. Maßgeblich dafür sind tribologische und mechanische Effekte im Bereich der Schneidkante.

Beim HGSS wird ein großer Teil der eingebrachten Trennenergie direkt in Wärme umgewandelt. Die Schnittflächen von HGSS-Bauteilen zeigen ab einer Blechdicke von ca. 3 mm Anlassfarben. Es ist davon auszugehen, dass in der Schneidzone Temperaturen von über 600 °C auftreten können. Dadurch werden Aufschweißungen und Adhäsionserscheinungen am Stempelschaft beim Eintauchen in das Blech begünstigt (Abb. 7). Aufgrund der Aufschweißungen nimmt der Schneidstempeldurchmesser zu und der Schneidspalt geht gegen null bzw. wird im ungünstigsten Fall negativ. Das Aktivelement klemmt sowohl kraft- als auch stoffschlüssig im zu schneidenden Streifen. Die beim Stempelrückzug auftretenden Zugspannungen übersteigen schließlich die Zugfestigkeit des Werkzeugwerkstoffes, es kommt zu Rissen und im weiteren Verlauf zum Stempelbruch.



**Abbildung 1: Tribologische Effekte beim HGSS und deren Auswirkungen [Quelle IWU intern]**

Die typischen Versagensfälle an Schneidstempeln wurden im vorliegenden Bericht eingehend aufgezeigt. Weiterführende Untersuchungsergebnisse hierzu haben gezeigt, dass geeignete Schneidstempelmodifikationen, z. B. eine definierte Schneidkantenverrundung oder, sofern entsprechend der zu schneidenden Kontur möglich, eine definierte, konvexe Balligkeit der Aktivteile, Standmengenerhöhungen ermöglichen. Unerlässlich ist eine gewisse Duktilität aller Aktivteile bzw. deren Werkstoffe, welche der Böhler S390MC zweifellos bietet. Der Einsatz von pulvermetallurgischen Werkzeugstählen ist stets zu favorisieren. Zu empfehlen ist weiterhin, sämtliche Bearbeitungsspuren an den Aktivteilen zu entfernen. Diese wurden im vorliegenden Projekt stets eingehalten. Die beste Oberflächengüte erreicht man durch Polieren der mit dem Blechwerkstoff in Kontakt tretenden Aktivteilflächen. Grundlegend ist festzuhalten: Aktivteilbeschichtungen beim HGSS helfen nicht, ein mechanisches Schneidstempelversagen zu verhindern. Werkstückmaterialanhaftungen am Schneidstempel können jedoch durch eine geeignete Aktivteilbeschichtung signifikant reduziert werden. Dies haben die Ergebnisse gezeigt.

## **5. Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse**

Schwerpunkt der Untersuchungen war neben der Entwicklung geeigneter Werkzeugbeschichtungssysteme und der Vorbehandlung, die Erweiterung der Prozesskenntnis sowie der Anforderungen an Werkzeuge und eine gesteigerten Prozesssicherheit des Hochgeschwindigkeitsschneidens (HGSS) speziell für die Blechbearbeitung.

Hinsichtlich der Nitriereignung ist festzuhalten:

- Eine Nitrierbehandlung verbessert die Hartstoffschichtanbindung.
- Bei den hochfesten PM-Werkzeugstählen kann eine Nitrierbehandlung zu einer Versprödung führen. Sinnvoll sind deshalb höchstens Kurzzeitnitrierungen bei diesen Werkzeugstählen (bei S390 kann auch leichtes „Annitrieren“ zu erhöhter Rissbildung führen)
- Schicht- und Vorbehandlungsauswahl muss in Abstimmung mit dem Werkzeugstahl und Anwendung

Hinsichtlich der Beschichtungseignung ist festzuhalten:

- nitridische Hartstoffschichten CrWN, CrVN, CrTiAlN und CrTiAlSiN wurden mit unterschiedlichen Eigenschaften für HGSS-Werkzeugen aus verschiedenen Werkzeugstählen entwickelt und appliziert

- nitridische Beschichtungen können zur Verringerung von Anhaftungen führen; bei AlMg3Mn sind nur leichte Unterschiede nachweisbar; bei Blechwerkstoffen aus Edelstahl (1.4301) oder S500MC zeigten sich Unterschiede der nitridischen Hartstoffschicht. Eine gute Eignung ergab sich für eine CrWN-Beschichtung.
- Bei höchsten Belastungen ist eine sehr gute Schichthaftung und Vorbehandlung notwendig

Zusammenfassend ist weiterhin festzuhalten: Die Werkstoffe 1.4301 und S500MC zeigten sich in diversen Versuchskombinationen vereinzelt nicht prozesssicher waren. Um eine maximale Zuverlässigkeit hinsichtlich Standmengen zu erreichen, sollten sämtliche Schneidstempel, welche mit dem Blechwerkstoff in Kontakt tretenden Aktivteilflächen, unabhängig des Werkstoffes, generell poliert und (individuell) beschichtet sein. Eine Entfernung der sogenannten "weißen Schicht" in Folge des Erodierens erwies sich als unbedingt erforderlich (Nachbearbeitungsschritte sind zu empfehlen). Eine Beschichtung der Matrizen ist in der Regel nicht erforderlich. Weiterhin war keine Verringerung der Verschleißzustände bei größer werdendem Schneidspalt zu verzeichnen. Dies geht ausschließlich mit einer ungewollten Verringerung der Bauteilqualität einher. Wie bekannt wird als eine Empfehlung auch an dieser Stelle folgendes empfohlen: Der Schneidspalt sollte zwischen 2 und max. 4 % bezogen auf die Blechdicke liegen. Dies geht mit besten Schneidergebnissen bzw. Schnittflächenqualitäten einher. Es zeigten sich teilweise starke adhäsive Verschleißerscheinungen (jedoch in der Regel ohne mechanisches Versagen der Aktivteile) bei der Verarbeitung des 1.4301 mittels HGSS. So konnte jedoch eine geringe Abnahme der adhäsiven Verschleißerscheinungen durch eine Beschichtung festgestellt werden. Die geringsten adhäsive Effekte zeigten sich bei dem mikrolegierten Feinkornbaustahl S500MC. Dieser zeichnet durch gute bis sehr gute Schneidergebnisse aus. Die Verarbeitung des mikrolegierten Feinkornbaustahles S500MC kann daher als „unkritisch“ bezeichnet werden.

Zunehmende, jedoch ohne beeinträchtigende Versagensfälle, Adhäsionserscheinungen nach 10.000 Schnitten zeigten sich bei „Caldi“ und S390MC. Die Matrizen hielten der Verarbeitbarkeit der Stahlwerkstoffe 1.4301 und S500MC prozesssicher stand. Es traten keine mechanischen Beschädigungen ein. Generell gilt, dass keine „pauschale Schichtempfehlung“ möglich ist und somit stets eine individuelle Auslegung je nach Anwendungsfall notwendig ist. Diese wurden im Vorliegenden Bericht eingehend aufgezeigt.

Um die aus der Vergangenheit bekannten, typischen Versagensfälle in Zukunft zu vermeiden, werden geeignete Schneidstempelmodifikationen, welche Standmengenerhöhungen ermöglichen, aufgezeigt. Als unerlässlich erwies sich eine gewisse Duktilität aller Aktivteile,

welche ins Besondere der Böhler S390MC bietet. Der Einsatz von pulvermetallurgischen Werkzeugstählen ist daher stets zu favorisieren. Grundlegend ist festzuhalten: Aktivteilbeschichtungen beim HGSS helfen nicht, ein mechanisches Schneidstempelversagen zu verhindern. Werkstückmaterialanhaftungen am Schneidstempel können jedoch durch eine geeignete Aktivteilbeschichtung signifikant reduziert werden, was zu Standmengenerhöhungen führt. Dies haben die Ergebnisse gezeigt.

## **6. Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den vorgegebenen Zielen**

Die bereits in Abschnitt 3.4 genannten wissenschaftlich-technischen Ziele konnten erreicht werden. Diese sind:

- eine technische und wirtschaftliche Grundlage für Werkzeuge zur Fertigung von Blechteilen mittels HGSS mit einer Bauteilqualität, die dem Feinschneiden nahezu entspricht
- den Kenntnisstand über die tribologischen Verhältnisse und die Wechselwirkungen im System Werkzeugoberfläche, -beschichtung, Blechwerkstoff, Oberflächenqualität und Geometrien zu erhöhen
- Entwicklung geeigneter Aktivteilbeschichtungen zur Verschleißminimierung, im Besonderen der Verringerung der Adhäsion unter Berücksichtigung des Blechwerkstoffs
- Optimierung des Systems aus Aktivteilwerkstoff und -beschichtung, insbesondere die Vorbehandlung und Oberflächenzustand der Werkzeuge
- Bereitstellung von Anwendungsempfehlungen für Werkzeugbeschichtungen und entwickelte Richtlinien für die Werkzeugfertigung (Oberflächenzustand, Schneidkantenverrundung, Schneidspalt etc.) unter Berücksichtigung des individuellen Anwendungsfalls (Blechwerkstoff, Belastung etc.).

Das Ziel des Vorhabens, eine Erweiterung der Anwendungen sowie einer gesteigerten Prozesssicherheit des Hochgeschwindigkeitsschneidens (HGSS) speziell für die Blechbearbeitung, wurde erreicht.