

econsteel GmbH

Rottweil

**Entwicklung eines neuen Werkstoffes zur Substitution
von Einsatzstählen mit Bleianteil und unter Ausschluss
der Härteprozesse
„diffsteel“**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem AZ
32639/01-21/0 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Ralf Schaaf

August 2017

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	32639/01	Referat	21/0	Fördersumme	125.000,-
Antragstitel		Entwicklung eines neuen Werkstoffes zur Substitution von Einsatzstählen mit Bleianteil und unter Ausschluss der Härteprozesse. „diffsteel“			
Stichworte		-			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
	01.08.2015	31.07.2017	1		
Zwischenberichte	Alle 6 Monate Kurzberichte				
Bewilligungsempfänger	econsteel GmbH Stuttgarter Straße 58 78628 Rottweil Geschäftsleitung & Projektleitung: Ralf Schaaf ☎ 0741 348956 - 101 ✉ ralf.schaaf@econsteel.de			Tel 0741 348956 - 100 Fax 0741 348956 - 290	
<p>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</p> <p>Werkstoffe für sicherheitskritische Bauteile bieten im Stand der Technik den Vorteil, dass sie durch ihren Anteil an Blei gut zerspanbar sind. Nachteilig ist jedoch, dass die Bauteile nach dem spanenden Bearbeiten gehärtet werden müssen. Hier entstehen hohe Energieverluste. Die Idee besteht in der Entwicklung einer Werkstofflegierung, welche nach dem Gießen und Walzen unmittelbar im Stahlwerk diffusionsgehärtet wird. Hierdurch wird unmittelbar eine hohe Härte erreicht, gleichzeitig wird durch die Gefügeveränderung eine gute Zerspanbarkeit erreicht. Die zusätzlichen Härte- und Richtprozesse können hierdurch entfallen. Der Ausschuss und die Materialverluste in der Fertigungskette werden gesenkt.</p>					
<p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>I. Voruntersuchungen AP 1 Recherche zum Stand der Technik und Konzeption</p> <p>II. Entwicklungsphase AP 2 Entwicklung des Werkstoffes AP 3 Herstellung der Schmelze</p> <p>III. Testphase</p>					

AP 4 Durchführung von Zerspanungsversuchen
AP 5 Analyse der Ergebnisse
AP 6 Bewertung der neuen Legierung

IV. Abschlussphase

AP 7 Optimierung der Legierungsbestandteile
AP 8 Projektdokumentation

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Ergebnisse und Diskussion

Aus technischer Sicht ist der Lösungsansatz bestätigt. Durch Verkürzung der Fertigungskette, Senkung des Ausschussanteils und Endkonturnahe Halbzeugabmessungen können je nach Anwendungsfall zwischen 10 und 35 % Stahl eingespart werden. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz auch bei anderen, weitaus komplexeren Teilen z.B. für Pumpen genutzt werden könnte. Beim Neuanlauf einer Fertigung ist der technische und organisatorische Abstimmungsaufwand beherrschbar.

Es sind weitergehende Forschungstätigkeiten erforderlich, um den Lösungsansatz auch bei komplexeren Bauteilen anzuwenden. Für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Einführung sind alle Glieder der Wertschöpfungskette vom Materiallieferant bis zum Automobilhersteller zu berücksichtigen. Diese vielen Fertigungsstufen sind oft auf mehrere Unternehmen verteilt. Hier sind neue Ansätze zu erarbeiten um aus der Gesamtbetrachtung heraus jeden Partner für die neue Technologie zu gewinnen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Projekt und die Ergebnisse werden im Arbeitskreis „Innovative Zerspanung“ der Fachhochschule Furtwangen und dem Institut für Werkstofftechnik vorgestellt. Hier erfolgt Networking mit Maschinenherstellern, es werden Vorträge gehalten und Publikationen des Know-hows unterschiedlicher Kompetenzen zu diversen Problemstellungen ausgetauscht.

Zudem besteht eine Kooperation mit der Erwin-Teufel-Schule in Spaichingen. Hier erfolgt die Ausbildung von Zerspanungsfachkräften, welche durch Vorträge eine Sensibilisierung hinsichtlich Zerspanung und Zerspanbarkeit bestimmter Werkstoffe erfahren.

Das Unternehmen econsteel ist im Gewerbeverband Oberzentrum e.V. Villingen-Schwenningen Mitglied, sowie der IHK. Hier findet ein regelmäßiger Austausch statt.

Messen werden überwiegend im lokalen Umfeld besucht, wie etwa die TURNING DAYS in Villingen Schwenningen, bei denen neue Entwicklungen für die Verbreitung neuer und selbst entwickelter Produkte genutzt wird.

Fazit

Es sind weitergehende Forschungstätigkeiten erforderlich, um den Lösungsansatz auch bei komplexeren Bauteilen anzuwenden. Für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Einführung sind alle Glieder der Wertschöpfungskette vom Materiallieferant bis zum Automobilhersteller zu berücksichtigen. Diese vielen Fertigungsstufen sind oft auf mehrere Unternehmen verteilt. Hier sind neue Ansätze zu erarbeiten um aus der Gesamtbetrachtung heraus jeden Partner für die neue Technologie zu gewinnen.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	2
I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen	5
II. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	6
1. Zusammenfassung	9
2. Einleitung	10
3. Hauptteil	14
3.1 Darstellung der Arbeitsschritte	14
3.2 Ergebnisse und Diskussion	20
3.3 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse, zusätzliche Umweltentlastung.....	22
3.4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation.....	24
4. Fazit	25
5. Literaturverzeichnis	26
6. Anhänge.....	26

I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1: Beispielhaftes Produkt, Bolzen für die Automobilindustrie	Seite 10
Abbildung 2: Beispiele zum Freiflächenverschleiß von Hartmetallwerkzeugen bei Standzeitversuchen	Seite 17
Abbildung 3: Werkstoffvergleich Zerspanbarkeit	Seite 23

Tabellen

Tabelle 1: Beispiel eines IST-Prozesses mit dem Werkstoff 16MnCrS5 + Pb vom Stahlwerk (A) bis zum Endkunde (D)	Seite 11
Tabelle 2: SOLL-Prozess ohne Härteprozess	Seite 12
Tabelle 3: Zeugnis Mustermaterial EPCmod (38MnSiVS5mod)	Seite 14
Tabelle 4: Untersuchungsbericht verschiedener Schmelzen 38MnSiVS5mod, Steinbeis-Transferzentrum Material-Technologie	Seite 15
Tabelle 5: Übersicht Stahlgüten nach V15	Seite 19
Tabelle 6: Vergleich der bisherigen Prozessschritte (rot) mit den neuen (grün)	Seite 20
Tabelle 7: Energetische Einsparungen	Seite 21
Tabelle 8: Materialeinsparungen durch Halbzeug mit geringeren Abmessungen	Seite 22

II. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Begriffe

Diffusionsglühen

Das Diffusionsglühen (oder Homogenisierungsglühen oder Ausgleichsglühen) ist eine Art der Wärmebehandlung (Glühen) von metallischen Werkstoffen. Es dient der Verminderung von Gefügeinhomogenitäten (Konzentrationsunterschieden) in Werkstücken. Durch Diffusionsglühen lassen sich nur Gefügeinhomogenitäten in den einzelnen Kristallen (Mikrosegmentierungen) jedoch nicht die Inhomogenitäten in einem Werkstück (Blockseigerungen) vermindern.

Beim auch als Ausgleichsglühen bezeichneten Prozess wird das Metall auf ca. 200°C unter Solidustemperatur erhitzt, wobei die durch zu schnelles Abkühlen behinderte Diffusion der Atome wieder in Gang gesetzt wird. So werden inhomogene Mischkristalle in homogene überführt, was ein feinkörnigeres Gefüge zur Folge hat. Die mechanischen Eigenschaften der Legierung werden dadurch maßgeblich verbessert.

Da Diffusionsprozesse in Feststoffen stark temperaturabhängig sind, werden Diffusionsglühungen bei sehr hohen Temperaturen (zumeist zwischen 1050 und 1300°C, Aluminium: 450 bis 600°C) und häufig über lange Glühzeiten (bis zu 50 h) ausgeführt.

Ein Beispiel ist das Diffusionsglühen von Nickelbasis-Lötverbindungen bei Temperaturen um 1000°C. Während des Glühprozesses kommt es zu einer Konzentrationsverschiebung der im Lötwerkstoff gelösten Halbmetalle in Richtung des Grundwerkstoffes. Hierdurch wird der Bildung von Hartphasen in der Lötnaht entgegengewirkt und die Festigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit der Lötverbindung deutlich erhöht.

Die Homogenisierungsglühung erfolgt bei Aluminium in der Regel direkt vor dem Warmwalzen. Bei Stahl spricht man dagegen vom Austenitisieren, da sich Eisen bei diesen Temperaturen in eine austenitische Kristallstruktur umwandelt.

Nach der langen Haltedauer erfolgt eine kontrollierte Abkühlung, hierbei diffundiert Stickstoff und Sauerstoff aus dem Material heraus, ebenso Oxide wie Al_2O_3 (Aluminiumoxide), werden hierbei heraus diffundiert.

Vorteil beim Diffusionsglühen aus energetischer Sicht ist, dass keine zusätzliche Energiezuführung zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Temperatur erfolgt, sondern die Eigentemperatur der Knüppel (Billets) direkt nach der Stanggußanlage genutzt. Das Abkühlen erfolgt kontrolliert. Daher fällt das Diffusionsglühen nicht in die Energiebilanz mit ein.

Einsatzhärten

Einsatzstähle (siehe DIN EN 10084) und Automateinsatzstähle (DIN EN 10087) besitzen Massenanteile an Kohlenstoff im Bereich zwischen 0,1 und 0,3%. Sollen Werkstücke aus diesen Stählen durch Härten eine hohe Härte und Festigkeit erhalten, ist es notwen-

dig, sie mit einem höheren Kohlenstoffgehalt zu versehen. Dies geschieht durch ein thermochemisches Behandeln, das Aufkohlen. Anschließend daran folgt ein Härten. Diese beiden zusammengehörigen Behandlungsschritte werden als Einsatzhärten bezeichnet. [1]

Einsatzstähle

Einsatzstähle sind nach DIN EN 10084 gekennzeichnet durch Kohlenstoffmassenanteile von rd. 0,10 bis 0,30 %. Daneben finden auch die Automateinsatzstähle nach DIN EN 10087 Verwendung, die den Vorteil einer leichteren Zerspanbarkeit bieten. [1]

AFP-Stähle

Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische (AFP-)Stähle ermöglichen bei geringstem Legierungsaufwand durch eine gleichmäßige Abkühlung von Warmformgebungstemperatur bei zumindest gleichbleibenden Verarbeitungseigenschaften ausreichende Bauteileigenschaften. Es handelt sich um Kohlenstoffstahl, der mit 0,1 bis 0,4 % Vanadium mikrolegiert wird, so dass Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften resultieren, die fast an die Eigenschaften von Vergütungsstählen heranreichen. Die Weiterverarbeitung der AFP-Stähle ist im Vergleich zu Vergütungsstählen kostengünstiger, da im Wesentlichen die zeit- und energieaufwändige Vergütungsbehandlung mit Austenitisieren, Abschrecken/Härten und Anlassen entfällt.

AFP-Stahl steht nicht nur für ein bestimmtes Werkstoffkonzept, sondern für eine Vereinfachung der Verarbeitungskette. Ein weiterer Vorteil der speziellen Wärmebehandlung ist, dass keine Gefahr von Härterissen besteht und damit auch die Prüfung auf solche entfällt. Darüber hinaus sind die Werkstoffeigenschaften bei AFP-Stählen homogen über den Querschnitt verteilt, was bei Vergütungsstählen nicht immer gegeben ist.

Vergütungsstähle

Vergütungsstahl ist Stahl, der durch Vergüten (= Härten und Anlassen) hohe Zug- und Dauerfestigkeit erhält. Die Zähigkeit wird bestimmt durch das Verhältnis von Härte (abhängig von Material, gewählter Härtetemperatur und gewählter Abschreckgeschwindigkeit) und Temperatur des folgenden Anlassvorganges. Es handelt sich um eine Umwandlungshärtung in der gezielt auf das Verhältnis von Festigkeit zu Zähigkeit Einfluss genommen wird.

Der Kohlenstoffgehalt liegt etwa zwischen 0,2 und 0,65 %. Die unterschiedlichen Legierungsgehalte von Chrom, Mangan, Molybdän und Nickel werden sehr exakt auf den jeweiligen Verwendungszweck abgestimmt und haben besonderen Einfluss bei größeren Querschnitten. Man verwendet Vergütungsstahl für Kurbelwellen, Achsen, Wellen, Pleuelstangen, Bolzen, Schrauben und andere Konstruktionsteile höherer Festigkeit, wie zum Beispiel Flugzeugfahrwerke (Zugfestigkeiten bis zu 2000 MPa).

Abkürzungen

entfällt

Definitionen

entfällt

1. Zusammenfassung

Durchgeführte Untersuchungen

Der innovative Kern bestand in der Entwicklung eines Werkstoffes ohne Bleianteil, der bereits mit der Schmelze und beim Abkühlen die finalen mechanischen Eigenschaften erhält, aber deutlich besser zerspanbar ist als gehärtete Werkstoffe. Dies wurde durch die Substitution des (nachträglichen) Härteprozesses durch (vorbereitendes) Diffusionsglühen bereits im Stahlwerk erreicht. Der Werkstoff besitzt zusätzlich ein mikrolegiertes und homogenes Ferrit-Perlit Gefüge.

Entwicklungen

Der Werkstoff hat erstmals unter Einbezug des Sekundärmetallurgieverfahrens und Diffusionsglühens eine Gefügestruktur erhalten, welche die hohe Härte/Festigkeit, aber ausreichende Zerspanungseigenschaften ermöglicht. Der Zerspanprozess der Einsatzstähle kann nicht ohne weiteres auf den neuen Werkstoff übertragen werden. Im Projekt wurde ebenfalls das gesamte Zerspanungs-Setup erarbeitet. Werkzeuge, Schnittparameter, Kühlung und viele weitere Randbedingungen wurden dabei berücksichtigt.

Erzielte Ergebnisse:

Aus technischer Sicht ist der Lösungsansatz bestätigt. Durch Verkürzung der Fertigungskette, Senkung des Ausschussanteils und Endkonturnahe Halbzeugabmessungen können je nach Anwendungsfall zwischen 10 und 35 % Stahl eingespart werden. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz auch bei anderen, weitaus komplexeren Teilen z.B. für Pumpen genutzt werden könnte. Beim Neuanlauf einer Fertigung ist der technische und organisatorische Abstimmungsaufwand beherrschbar.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Es sind weitergehende Forschungstätigkeiten erforderlich, um den Lösungsansatz auch bei komplexeren Bauteilen anzuwenden. Für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Einführung sind alle Glieder der Wertschöpfungskette vom Materiallieferant bis zum Automobilhersteller zu berücksichtigen. Diese vielen Fertigungsstufen sind oft auf mehrere Unternehmen verteilt. Hier sind neue Ansätze zu erarbeiten um aus der Gesamtbetrachtung heraus jeden Partner für die neue Technologie zu gewinnen.

Kooperationspartner:

Am Projekt war kein Kooperationspartner beteiligt.

Das Vorhaben wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert unter dem Aktenzeichen 32639/01.

2. Einleitung

Ausgangssituation:

Zu den Einsatzstählen gehören die unlegierten und niedriglegierten Stähle. Sie haben einen Kohlenstoffgehalt von 0,10 % bis 0,20 %. Da Einsatzstähle zu wenig Kohlenstoff aufweisen, um beim martensitischen Härten nennenswerte Festigkeitssteigerungen zu erzeugen, werden diese in eine kohlenstoffhaltige Atmosphäre „eingesetzt“ (Einsatzhärten) und hierzu auf Temperaturen zwischen 880°C und 1050°C erhitzt („geglüht“). Das kohlenstoffhaltige Mittel wird in einem festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand zugesetzt. Bei den hohen Temperaturen diffundiert der Kohlenstoff von außen in die Randschicht des Stahls ein (je nach Aufkohlungsmittel 0,1–0,3 mm je Stunde, stark abhängig von der Temperatur) und erhöht den Kohlenstoffanteil der Randschicht auf etwa 0,8 %, so dass die Härtung an der Oberfläche des Bauteils effektiver wird als im Inneren. Das Ergebnis ist ein Bauteil, das im Inneren eine hohe Zähigkeit und auf der Oberfläche erheblich größere Härte und somit eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß aufweist. Anwendung findet Einsatzstahl unter anderem bei Zahnrädern, Wellen und Bolzen.

Beispiel für einen derartigen Werkstoff ist 16MnCrS5 + Pb. Einsatz finden diese Arten von Einsatzstählen beispielsweise bei komplex- bearbeiteten Bolzen für den Automobilsektor, die verschleißresistent ausgeführt sein müssen und auch sicherheitskritische Aufgaben übernehmen.



Abbildung 1: Beispielhaftes Produkt, Bolzen für die Automobilindustrie

Der Werkstoff bietet im Stand der Technik den Vorteil, dass er durch seinen Anteil an Blei gut zerspanbar ist. Nachteilig ist jedoch, dass dieser nach dem spanenden Bearbeiten gehärtet werden muss. Hierbei kommt es durch den Blei- Bestandteil zu Verzug von mehreren zehntel- Millimetern. Eine Nachbearbeitung muss erfolgen, weshalb bei der Erstbearbeitung Aufmaße von mindestens dem genannten Verzug einberechnet werden müssen.

Weitere Nachteile des Werkstoffes ist, dass der Pb- Anteil (ca. 0,35%) umwelt- und gesundheitsschädlich ist und der Produktverarbeitungsprozess gekennzeichnet ist von mehreren spannenden Fertigungsschritten, umfangreicher Logistik und hohem Ausschuss.

IST- Prozess¹:

Prozessschritt	Ausführende Firma
1. Zulieferung Rohmaterial	Firma A->B
2. Zerspanen (Drehen, Bohren, Fräsen)	Firma B
3. Reinigen	Firma B
4. Kontrolle	Firma B
5. Verpacken, Logistik	Firma B -> Firma C
6. Einsatzhärten	Firma C
7. Reinigen	Firma C
8. Verpacken, Logistik	Firma C -> Firma B
9. Richten	Firma B
10. Hartdrehen/ Schleifen	Firma B
11. Reinigen	Firma B
12. QS: 100% Kontrolle	Firma B
13. Verpacken/ Logistik	Firma B-> Firma D
14. Phosphatieren (optional)/ Produktintegration	Firma D

Legende:

- Fa. A= Stahlwerk
- Fa. B= verarbeitendes Unternehmen
- Fa. C= Härtereie
- Fa. D= Endkunde

Tabelle 1: Beispiel eines IST-Prozesses mit dem Werkstoff 16MnCrS5 + Pb vom Stahlwerk (A) bis zum Endkunde (D)

Exemplarisch werden von den eingangs erläuterten Bolzen beispielsweise 500t pro Jahr gefertigt, bei einem Stückgewicht von 1 kg/St.² (= 500.000 St. im Jahr). Gehärtet werden je nach Größe des Ofens bis zu 5 Paletten mit jeweils 100 kg Aufnahmegewicht. Das heißt, in einem Vorgang können 500 St. gehärtet werden, bei ca. 850°C- 1.050°C.

Quantifizierung der Verschwendung im Prozess:

- Es entstehen Transportaufwände, wenn ein Unternehmen nicht über eine eigene Härtereie verfügt. Diese dürften den überwiegenden Anteil der zerspanenden Industrieunternehmen ausmachen.
- Diverse Reinigungszwischenschritte sind erforderlich (entfetten und Späne entfernen), entsprechend mit unterschiedlichen Medien (Spiritus, Chemikalien, Druckluft)
- Das Härten erfordert hohen Energieeinsatz. Die palletierten Produkte werden 6 h im Ofen gehärtet bei Ø 900°C. Um 500t zu härten, sind per anno 1.000 Vorgänge x 6 h notwendig.
 - Hierbei werden weitere Medien eingesetzt, bspw. zum Aufkohlen: Die aufzukohlenden Teile werden in kohlenwasserstoffhaltige, gasförmige Medien ein-

¹ Beispielprozesse, bei der vom verarbeitenden Unternehmen (Firma B), keine eigene Härtereie vorgehalten wird und somit Transporte notwendig werden.

² durchschnittliche Näherungslösung zur Vereinfachung der Berechnung

gesetzt. Es wird eine Aufkohlungsatmosphäre erzeugt, welche aus einem leicht reduzierenden Trägergas und einem geregelt zugeführten Anreicherungsgas besteht. Das Trägergas besteht üblicherweise aus 20% Kohlenmonoxid, 40% Wasserstoff und 40% Stickstoff. Das Anreicherungsgas ist ein Kohlenwasserstoff, z.B. Methan oder Propan. Dies stellt die zurzeit am weitesten verbreitete Methode dar. Am Ende wird das Produkt im Öl abgeschreckt.

- Durch das Einsatzhärten entsteht mit dem Pb- haltigen Einsatzstahl Wärmeverzug, der, wenn er die Aufmaße überschreitet, zu Ausschuss führt, der im Durchschnitt 10% der Produktionschargen umfasst (per anno ca. 50t). Die entsprechende Menge muss dementsprechend vorab durch das Stahlwerk mitgeliefert werden.
- Doppelte Prozesse wie etwa Zerspanen (2.) und Hartzerspanen (10.) oder mehrfaches Reinigen

Diese Nachteile bilden zunehmend wirtschaftliche und prozessuale Nachteile, die sich zudem in der negativen Energie Effizienz widerspiegeln.

Zielsetzung

Das Ziel des Projektes bestand darin einen Werkstoff zu entwickeln, der folgende Eigenschaften aufweist:

- 0% Pb Anteil (Bleianteil) also umweltverträglich
- Hohe mechanische Werte / hohe Festigkeiten ohne ein Härten und ohne Richten und umfangreiche Logistik
- Gute spanende Fertigbearbeitung (Drehen, Bohren und Fräsen)

SOLL- Prozess:

0. Diffusionsglühen	Firma A
1. Zulieferung Rohmaterial	Firma A->B
2. Zerspanen (Drehen, Bohren, Fräsen)	Firma B
3. Reinigen	Firma B
4. Kontrolle	Firma B
5. Verpacken, Logistik	Firma B -> Firma C
6. Einsatzhärten	Firma C
7. Reinigen	Firma C
8. Verpacken, Logistik	Firma C -> Firma B
9. Richten	Firma B
10. Hartdrehen/Fräsen/Bohren/ Schleifen	Firma B
11. Reinigen	Firma B
12. QS: 100% Kontrolle	Firma B
13. Verpacken/ Logistik	Firma B-> Firma D
14. Phosphatieren (optional)/ Produktintegration	Firma D

Tabelle 2: SOLL-Prozess ohne Härteprozess

Der innovative Kern liegt in der Entwicklung eines Werkstoffes ohne Bleianteil, der bereits mit der Schmelze und bei dem anschl. Walzen bei 1250°C die finalen mechanischen Eigenschaften erhält, aber deutlich besser zerspanbar ist als gehärtete Werkstoffe, also wirtschaftlicher. Dies wurde durch die Substitution des (nachträglichen) Härteprozesses durch (vorbereitendes) Diffusionsglühen bereits im Stahlwerk erreicht. Durch das Diffusionsglühen werden dem Stahl klassische Stahlschädlinge und nichtmetallische Einschlüsse

wie Al_2O_3 (Aluminium Oxide) entzogen. Der Werkstoff sollte zusätzlich ein mikrolegiertes und homogenes Ferrit-Perlit Gefüge erhalten.

Aufgabenstellung

Bereits im Stahlwerk wird eine modifizierte Legierung hergestellt, die die geforderte Festigkeit des Endproduktes aufweist aber besser zerspanbar ist als gehärtete Einsatzstähle. Dieser Werkstoff sollte anhand einer prototypischen Prozesskette reproduzierbar herstellbar sein.

Der Bleianteil sollte nicht mehr vorhanden sein, weil beim Härten der Verzug des Werkstoffes zu 10% Ausschuss führt. Ziel war die Entwicklung einer Legierung mit der Bezeichnung „38MnVS6 mod³“. Toxische Stoffe wie Blei sind nicht mehr enthalten. Die Bezeichnung bezieht sich grundsätzlich auf einen AFP- Stahl, der allerdings nicht die Festigkeit aufweist, wie für die eingangs erläuterte Anwendung erforderlich ist. Der Begriff „mod“ bedeutet Modifikation und versinnbildlicht das F&E Vorhaben. Die Idee im Lösungsansatz sah vor, den Kohlenstoffgehalt auf $42 \leq x \leq 44$ Punkte zu erhöhen sowie die anderen Bestandteile anzupassen. Dadurch erhält der Stahl seine Festigkeit, kann allerdings damit nur sehr schwer zerspannt werden.

Durch die Festigkeitserhöhung bereits in der Schmelze, wird ein späteres Härteverfahren substituiert. Die Idee zur besseren Zerspannung des Werkstoffes liegt in der Optimierung in der Sekundärmetallurgie (Feinlegierung) sowie in dem anschließendem Diffusionsglühen. Das Diffusionsglühen entzieht zerspannungshemmende Zusätze wie Stickstoff und Sauerstoff und ermöglicht dadurch wieder eine verbesserte Zerspanbarkeit.

Der Zerspanprozess der Einsatzstähle kann jedoch nicht ohne weiteres auf den neuen Werkstoff übertragen werden, sondern es mussten im Projekt ebenfalls das gesamte Zerspanungs-Setup erarbeitet werden. Man musste dann herausfinden, wie der Zerspanungsprozess optimale Schnittbilder erreicht. Werkzeuge, Schnittparameter, Kühlung und viele weitere Randbedingungen waren zu eruieren.

Der Werkstoff sollte erstmals unter Einbezug des Sekundärmetallurgieverfahrens und Diffusionsglühen eine Gefügestruktur erhalten, welche die hohe Härte/Festigkeit, aber ausreichende Zerspanungseigenschaften ermöglicht.

Zielparameter des neuen Werkstoffes nach dem Diffusionsglühen:

- Zugfestigkeit $R_M > 950 \text{ N/mm}^2$
- Streckgrenze $R_{P0,2} > 700 \text{ N/mm}^2$

Es ist zu erwarten, dass zwar die spanende Bearbeitung schwieriger wird als nicht gehärtete Einsatzstähle, jedoch leichter zerspanbar sind, als gehärtete Einsatzstähle. Positive Effekte ergeben sich zudem aus der ersatzlosen Substitution der doppelten Prozesse, der Verringerung der Logistikaufwände, der Vermeidung des Werkstück-Ausschusses und weiterer Faktoren, wie dem Ausschluss von bleihaltigen Bestandteilen.

³ Erläuterung der Bestandteile: 38Kohlenstoff, Mangan 6, Vanadium, Schwefel

3. Hauptteil

3.1 Darstellung der Arbeitsschritte

1. Recherche zum Stand der Technik und Konzeption

Die Recherchen zum aktuellen Stand der Technik wurden abgeschlossen. Erste vergleichende Analysen von Proben mit ähnlichen Legierungsbestandteilen wurden durchgeführt. Mit den Endkunden wurden Fragen der Einhaltung und Prozessfähigkeit der hohen Festigkeiten (mechanische Werte) bei der Stahlherstellung sowie der Reproduzierbarkeit diskutiert. Ebenso wurden die Kosten in der Fertigung (Wirtschaftlichkeit in der Verarbeitung für die Zerspanungsprozesse: Drehen, Bohren und Fräsen) detaillierter analysiert.

Meilenstein 1 des Projektes: Voruntersuchungen wurde erreicht. Die Werkstoffeigenschaften wurden in Form eines Pflichtenheftes zusammengefasst, ebenso die prozessualen Parameter aus energetischer Sicht.

2. Entwicklung des Werkstoffes

Anlässlich eines Besuches im Stahlwerk Store Steel-Slowenien wurden die Lösungsansätze detailliert. Hierfür wurde das Thema Qualitätssicherung zusammen mit einer externen Firma und Berater, Dr. Valentin Consulting GmbH- Völklingen bearbeitet. Es wurden Gespräche mit Vertretern der Entwicklung, der Qualitätssicherung, der Fertigungsleitung und der Bereichsleitung geführt. Zentrales Ziel war die Machbarkeit, zur Verbesserung der Herstellqualität und Vermeidung von inneren mikroskopischen und makroskopischen Fehlern zu bewerten. Tabelle 3 zeigt das Werkszeugnis für das Mustermaterial.

Erzeugnisform: Geschaelter Stahl GEWALZTER RUNDSTAHL EN 10278 (h9) TL.LB.001(2001) - EPCmod.+SH - 38MnSiVS5mod

Schmelzen Nr.	Werkstoff	Abmessung mm	Gewicht (kg)	Bunde	Erschmelzungsart	Knüppelabmessung
67706	EPCmod+SH (3	42	11.451	12	E	#180

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	Ti	Nb	N	Sn
0,42	0,36	1,30	0,010	0,035	0,17	0,16	0,03	0,13	0,15	0,020	0,000	0,002	0,013	0,014
Ca														
0,0033														

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

Härte im Lieferzustand: 290 HB;
 Wärmebehandlung der Proben: Lieferzustand
 Temperatur (°C):

Streckgrenze N/mm ²	Zugfestigkeit N/mm ²	Bruchdehnung %	Einschnürung %	Kerbschlagarbeit				°C
				Joule 1	Joule 2	Joule 3	Tip	
693	951	12,2		26	26	27	ISO-V	20

Tabelle 3: Zeugnis Mustermaterial EPCmod (38MnSiVS5mod)

Im Steinbeis-Transferzentrum Material-Technologie (Labor für Werkstofftechnik der Hochschule Furtwangen, Campus Tuttlingen) wurden vergleichende Untersuchungen weiterer Legierungsvarianten durchgeführt (Tabelle 4).

Untersuchungsbericht

I) Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung der beiden Legierungen (AFP-Stähle) nach Messung mit Optischer Spektroskopie (Funkenspektrometrie):

i.O.-Probe (Schmelze 53704)

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al
Herst.-Angaben	0,39	0,35	1,30	0,011	0,041	0,23	0,15	0,02	0,14	-	-
gemessen	0,372	0,331	1,36	0,06	0,061	0,212	0,153	0,0184	0,139	0,234	< 0,0005

%	Ti	Ca	Sb	N	Fe
Herst.-Angaben	0,000	0,0039	0,0006	0,013	Rest
gemessen	0,001	-	0,011	0,002	Rest

n.i.O.-Probe (Schmelze 64422)

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Herst.-Angaben	0,43	0,35	1,33	0,012	0,042	0,23	0,16	0,03	0,14	0,19
gemessen	0,434	0,330	1,37	0,0268	0,0451	0,216	0,157	0,0188	0,139	0,172

%	Al	Ti	Ca	Sb	N	Fe
Herst.-Angaben	0,02	0,00	0,0028	-	-	Rest
gemessen	< 0,0005	< 0,0005	-	0,0071	< 0,0020	Rest

Die Ergebnisse entsprechen den Mittelwerten aus mehreren Messungen. In der Anlage ist die Messtabelle entsprechend angefügt.

II) Härtemessung

Die Härte der beiden Proben wurde wie folgt gemessen:

Härteangabe in HRC				
Messung	n.i.O. längs	n.i.O. quer	i.O. längs	i.O. quer
1	27,20	21,90	25,20	23,00
2	26,80	24,50	22,20	18,80
3	27,50	24,70	24,70	23,50
Mittelwert	27,17	23,70	24,03	21,77

Tabelle 4: Untersuchungsbericht verschiedener Schmelzen 38MnSiVS5mod, Steinbeis-Transferzentrum Material-Technologie

Die Entwicklung des Werkstoffes wurde abgeschlossen. Die besseren mechanischen Eigenschaften der neuen Legierung haben dazu geführt, dass die daraus herzustellenden Bauteile teilweise kleiner ausgelegt werden können wodurch zusätzlich Material gespart wird.

Die kleineren Abmessungen der Bauteile (bei mindestens gleichen oder besseren mechanischen Parametern) ermöglichen auch eine Verkleinerung des Durchmessers der Halbzeuge von ursprünglich 45 mm auf zurzeit 41 mm. Im weiteren Projektverlauf wurden zusätzliche Analysen durchgeführt um die Möglichkeiten für eine weitere Verkleinerung des Halbzeugdurchmessers auf bis zu 36 mm zu bewerten.

3. Herstellung der Schmelze

Die Abstimmungen mit dem Stahlwerk sind erfolgt. Die Herstellung der Schmelze wurde abgeschlossen.

Während der Versuche wurde das optimale Prozessfenster ermittelt. Es fand eine Optimierung der Sekundärmetallurgie (Feinlegierung) statt, sodass eine Legierung mit der Bezeichnung 38MnVS6 mod. hergestellt wurde. Im Anschluss erfolgte direkt im Stahlwerk ein Diffusionsglühen, unter Ausnutzung der Gießhitze, wodurch klassische Stahlschädlinge und nichtmetallische Einschlüsse (z. B. Al_2O_3) sowie zerspanungshemmende Bestandteile, wie Stickstoff oder Sauerstoff, entzogen wurden. Als Resultat wurde ein bleifreier, mikrolegierter Stahl mit einem homogenen ferritisch-perlitischen Gefüge erzeugt. Durch ein kontrolliertes Abkühlen der Knüppel konnte eine Zugfestigkeit $R_m > 950 \text{ N/mm}^2$ und eine Streckgrenze $R_{p0,2} > 700 \text{ N/mm}^2$ erzielt werden.

Meilenstein 2: Entwicklungsphase, Werkstoffentwicklung wurde mit Abschluss der Arbeitspakete 2 und 3 erreicht.

4. Durchführung von Zerspanungsversuchen

Die Zerspanungsversuche wurden durchgeführt. Die Parameter Standweg, Werkzeugverschleiß, Schneidkraft, Oberflächengüte und Spanform wurden in die Betrachtungen einbezogen. Des Weiteren wurde der Einfluss auf die Schnittgeschwindigkeit und den Vorschub, die Schnitttiefe und das Kühlschmiermittel untersucht.

Die Zerspanbarkeit wurde nach ISO 3685 (nach Taylor) gemessenen. Der V15-Wert wird in den Werksprüfzeugnissen 3.1 nach EN 10204 zertifiziert und ausgewiesen. Der Drehtest V15 nach ISO 3685 erfolgte mit folgenden Parametern:

Maschine

- Maschine: CNC Kurzdreher
- Halter: SBIL-16-4
- Schnitttiefe: 2,5 mm
- Vorschub: 0,4 mm/U
- Kühlung: Trockenbearbeitung

Werkzeug

- Wendeschneidplatten: Hartmetall (Sandvik SC 415 (ISO P15))
- Anstellwinkel: 6°
- Spanwinkel: 6°
- Einstellwinkel: -75°
- Neigungswinkel: -6°

Kriterien:

- Standzeit 15 Minuten (V15)
- maximaler Freiflächenverschleiß: $VBB_{max}=0,6$ mm
- mittlerer Freiflächenverschleiß: $VBB_{med}=0,3$ mm
- maximaler Schnitttiefe: $KT_{max}: 0,18$ mm

Abbildung 2 zeigt Beispiele zum Freiflächenverschleiß während der Standzeitversuche.

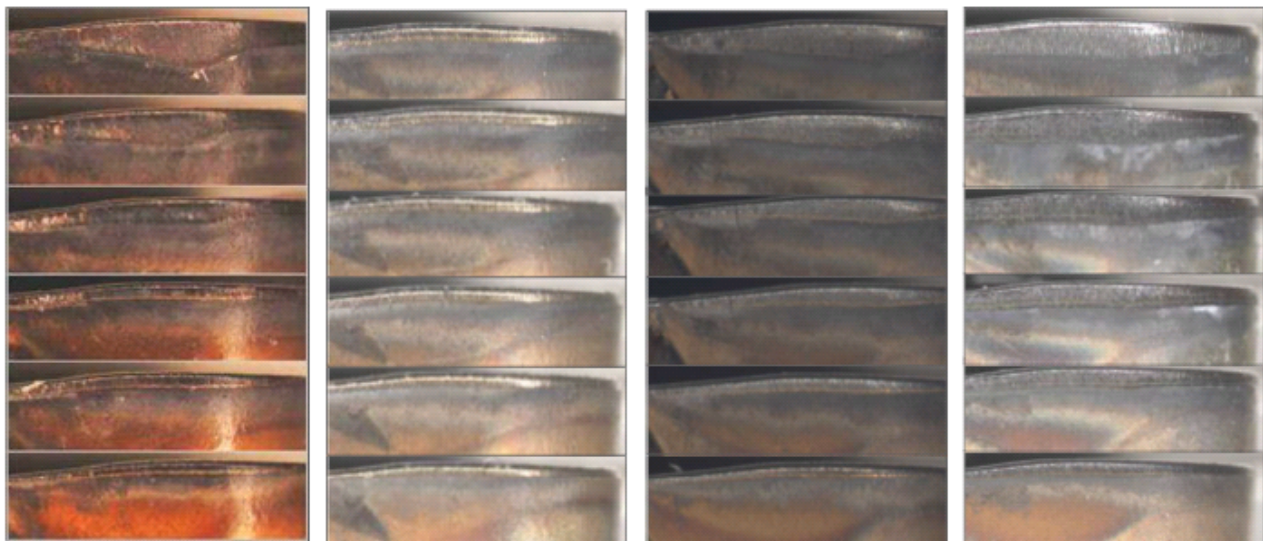


Abbildung 2: Beispiele zum Freiflächenverschleiß von Hartmetallwerkzeugen bei Standzeitversuchen

Weiterhin wurde ein konkretes Werkstück nach Abbildung 1 bearbeitet. Die Zerspanzeit liegt etwa ca. 15% höher als beim ursprünglichen Material. Die Werkzeugstandzeit ist etwas geringer. Dafür entfallen mehrere Zeit- und Energieaufwändige Verarbeitungsschritte.

Der Ausschuss nach dem Härten wurde von 15-20% auf 0% gesenkt. Damit entfällt auch die Nacharbeitung (Richten), Senkung von 50% auf 0%. Die Tests wurden an einer neuen Fertigungslinie für ein neues Produkt durchgeführt. Damit waren keine aufwändigen Änderungen in den Technologien, Dokumentationen und Freigaben notwendig und die wirtschaftlichen Vorteile konnten voll zum Tragen kommen.

5. Analyse der Ergebnisse

Die Analyse der Ergebnisse wurde wie geplant durchgeführt. In die Bewertung wurden folgende Parameter einbezogen:

- Standweg
- Werkzeugverschleiß
- Schneidkraft
- Oberflächengüte
- Spanform

Weiterhin wurde der Einfluss der Zerspanbedingungen ermittelt:

- Schnittgeschwindigkeit und Vorschub
- Schnitttiefe
- Kühlschmiermittel

Aus technischer Sicht ist der Lösungsansatz bestätigt. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz auch bei anderen, weitaus komplexeren Teilen z.B. für Pumpen genutzt werden könnte. Hierfür sind weitergehende Forschungstätigkeiten erforderlich, um ein Verziehen der Teile nach der Fertigung zu vermeiden.

Für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Einführung sind aus kaufmännischer Sicht alle Glieder der Wertschöpfungskette vom Materiallieferant bis zum Automobilhersteller zu berücksichtigen. Diese vielen Fertigungsstufen sind auf mehrere Unternehmen verteilt. Beim Neuanlauf einer Fertigung ist der technische und organisatorische Abstimmungsaufwand beherrschbar.

Um bei bestehenden Produkten den bisherigen Stahl durch den neuen zu ersetzen ist ein extrem hoher Aufwand zum Abgleich der jeweiligen einzelnen technologischen Dokumentationen und FreigabeprozEDUREN erforderlich.

Da mehrere Unternehmen an der Wertschöpfung beteiligt sind ist nicht immer sichergestellt, dass auch jeder Partner unmittelbar für sich einen wirtschaftlichen Vorteil aus der neuen Technologie ziehen kann. Hier sind neue Ansätze zu erarbeiten um aus der Gesamtbetrachtung heraus jeden Partner für die neue Technologie zu gewinnen.

6. Bewertung der neuen Legierung

Parallel zur Analyse der Ergebnisse wurden diese auch bewertet. Tabelle 5 zeigt die Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse. Der rote Pfeil verdeutlicht die Umsetzung der Projektidee anhand des Werkstückes nach Abbildung 1 (Einsatzstahl 16MnCrS5+Pb wird ersetzt durch modifizierten AFP-Stahl 38MnVS6 mod). Die Analyse der Werkstoffeigenschaften wurde wieder in Kooperation mit dem Labor für Werkstofftechnik der Hochschule Furtwangen, Campus Tuttlingen umgesetzt.

Stahlgruppe	Konventioneller Stahl	V15 v.	Kennzeichnung Hochleistungs Stahl	V15 v.	V15 + in %	Material Ausführung	
Einsatzstähle	16MnCrS5 1.7139	300	EPE 1.7139	425	29%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	20MnCrS5 1.7149	290	EPE 1.7149	410	29%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	16MnCrS5+Pb 1.7142	340	EPE+ 1.7142	380	11%	+C gezogen (h9) EN10277/ 10278	
	18CrNiMo7-6 1.6587	220	EP18 1.6587	280	21%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
Vergütungsstähle/ AFP-Stähle	42CrMoS4 +A 1.7227	180	EP42 +A 1.7227	220	18%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	42CrMoS4 +QT 1.7227	160	EP42 +QT 1.7227	200	20%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	50CrV4 / 51CrV4 1.8159	170	EP50 1.8159	225	24%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	30CrNiMo8 1.8500	180	EP30 1.8500	235	23%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	31CrMoV9 1.7707	150	EP31 1.7707	180	17%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	44SMn28 1.0762	450	EPH 1.0762	510	12%	+C gezogen (h9) EN10277/ 10278 R _e 800 – 960 N/mm ²	
	44SMn28 mod 1.0762	410	EPH+ 1.0762	480	15%	+C gezogen (h9) EN10277/ 10278 R _e 980 – 1100 N/mm ²	
	38MnVS6/-mod 1.1303	180 / 170	EPC / EPCmod 1.1303	265 / 270	36%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
	Konstruktionsstähle/ Maschinenbaustähle	S355J2G3 1.0570	330	EPS355 1.0570	460	28%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060
		S235JR 1.0037	350	EPS235 1.0037	465	25%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060
C15R / E 1.1140 / 1.1141		330	EP15 1.1140 / 1.1141	450	27%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
C35R / E 1.1180 / 1.1181		320	EP35 1.1180 / 1.1181	440	27%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
C45R / E 1.1201 / 1.1191		230	EP45 1.1201 / 1.1191	360	36%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
C55R / E 1.1209 / 1.1203		210	EP55 1.1209 / 1.1203	330	36%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
C60R / E 1.1223 / 1.1221		200	EP60 1.1223 / 1.1221	310	35%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	
C63 1.1213		240	EP53 1.1213	370	35%	+SH geschält (h9h11) EN10277/ 10278 +AR gewalzt EN 10060	

Tabelle 5: Übersicht Stahlgüten nach V15

Meilenstein 3 des Projektes, Herstellung und Testphase wurde erreicht.

AP 7 Optimierung der Legierungsbestandteile

Abschließend wurden die Legierungsbestandteile sowie die Parameter des Prozesses Diffusionsglühen weiter optimiert. Hierbei hat sich bestätigt, dass immer die gesamte Fertigungskette berücksichtigt werden muss um die Möglichkeiten der neuen Technologie optimal zu nutzen.

AP 8 Projektdokumentation

Die Projektdokumentation wurde erstellt.

Meilenstein 4 des Projektes: Abschließende Bewertung der Verarbeitungseigenschaften. Grundrezeptur optimiert wurde erreicht.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Aus technischer Sicht ist der Lösungsansatz bestätigt.

- Entwicklung eines Werkstoff ohne Bleianteil, der besser zerspanbar ist als gehärtete Werkstoffe
- Substitution des Härteprozesses durch vorbereitendes Diffusionsglühen
- Keine Pb- Anteile mehr bei Produkten, welche insb. verschleißresistent sein müssen.

Ziel war zudem der Nachweis der Funktionalität und energetischen sowie wirtschaftlichen Effizienz aus Sicht des Gesamtprozesses.

Bisher ist das Diffusionsglühen noch eines der am wenigsten verbreiteten Glühverfahren, so dass neue Anwendungsfelder generiert werden können, welche wiederum durch die prozessualen und wirtschaftlichen Vorteile öffentlich Verbreitung finden können.

Um bei bestehenden Produkten den bisherigen Stahl durch den neuen zu ersetzen ist ein extrem hoher Aufwand zum Abgleich der jeweiligen einzelnen technologischen Dokumentationen und Freigabeprozeduren erforderlich.

Tabelle 6 verdeutlicht die Einsparungen entlang der Fertigungskette.

Prozessschritt	Vorher	Nacher
0. Diffusionsglühen		
1. Zulieferung Rohmaterial		
2. Zerspanen (Drehen, Bohren, Fräsen)		
3. Reinigen		
4. Kontrolle		
5. Verpacken, Logistik		
6. Einsatzhärten		
7. Reinigen		
8. Verpacken, Logistik		
9. Richten		
10. Hartdrehen/ Schleifen		
11. Reinigen		
12. QS: 100% Kontrolle		
13. Verpacken/ Logistik		
14. Phosphatieren (optional)/ Produkt-integration		

Tabelle 6: Vergleich der bisherigen Prozessschritte (rot) mit den neuen (grün)

Anhand des konkreten Produktbeispiels nach Abbildung 1 wurden folgende konkreten Ergebnisse erreicht:

Die Zerspanzeit liegt etwa ca. 15% höher als beim ursprünglichen Material. Die Werkzeugstandzeit ist etwas geringer. Dafür entfallen mehrere Zeit- und Energieaufwändige Verarbeitungsschritte. Der Ausschuss nach dem Härten wurde von 15-20% auf 0% ge-

senkt. Damit entfällt auch die Nacharbeitung (Richten), Senkung von 50% auf 0%. Die Tests wurden an einer neuen Fertigungslinie für ein neues Produkt durchgeführt. Damit waren keine aufwändigen Änderungen in den Technologien, Dokumentationen und Freigaben notwendig und die wirtschaftlichen Vorteile konnten voll zum Tragen kommen.

Bezogen auf eine Materialmenge von 500 Tonnen pro Jahr werden allein durch die energetischen Einsparungen in der Fertigungskette 578 Tonnen CO₂ eingespart (Tabelle 7).

Einspareffekte				
Treibhauseffekt (Einsparung) durch Logistik				
Pos	Beschreibung	Menge	Einheit	Bezug
1	Stückmenge Menge pro Jahr	500,00	t p.a.	Beispielmenge aus Antrag für ein Produkt
2	LkW Verbrauch	40,00	l/100km	LKW mit 40 Tonnen Zuladung
3	Fahrtstrecke	50,00	km, einfach	Prozessschritt 5 oder 8
4	Notwendige Fahrten Gesamtprozess/ Jahr	2,00	St.	Prozessschritt 5 und 8
5	Anzahl Fahrten bei 500t	12,50	St.	bei 40 t Ladung je Fahrt
6				
7	Gesamtstrecke/ Jahr	1.250,00	km	Pos 3-5
8	Gesamtverbrauch LKW/ Jahr	500,00	l/p.a.	Pos 7 und 2
9	Energieeinsatz/Arbeit je l Diesel	35,60	MJ/l	Internet
10	Energieeinsatz/Arbeit Diesel/ Jahr	17.800,00	MJ/p.a.	Pos 8 und 9
11	Treibhauseffekt je Liter Diesel	2,64	kg CO ₂ / liter	Internet
12	Treibhauseffekt pro Jahr durch Logistik	1,32	t CO₂ / p.a.	Pos 12 und 8
Treibhauseffekt (Einsparung) Einsatzhärten				
Pos	Beschreibung	Menge	Einheit	Bezug
13	Leistung Herdwanenofen	120,00	kW	T max 850 °C
14	Härtevorgang	6,00	h	Antrag
15	Energiemenge je Härtevorgang	720,00	kWh	Pos 13 und 14
16	Menge pro Härtevorgang	500,00	kg	Antrag
17	Anzahl Härtevorgänge/ Jahr	1.000,00	St./p.a.	Antrag
18	Energiemenge/ Jahr	720.000,00	kWh p.a.	Pos 17 und 15
19	Arbeit p.a.	2.592.000,00	MJ p.a.	Pos 18
20	Energiedichte von Erdgas	36,00	MJ/kg	Wikipedia
21	Erforderliche t Erdgas/ Jahr	72,00	t p.a.	aus 19 und 20
22	Treibhauseffekt je t Erdgas	3,21	t CO ₂ Äq./t	Umweltbundesamt
23	Treibhauseffekt pro Jahr durch Einsatzhärten	231,12	t CO₂ p.a.	
Treibhauseffekt (Einsparung) durch spanende Bearbeitung				
Pos	Beschreibung	Menge	Einheit	Bezug
24	Leistung Drehmaschine	40,00	kW	Annahme Drehzentrum mittlere Leistungsklasse
25	Leistung Fräsmaschine	40,00	kW	Annahme Fräszentrum mittlere Leistungsklasse
26	Summe der Leistung	80,00	kW	
27	Energie pro h	80,00	kWh	
28	Eingriffszeit pro Teil (Fräsen und Drehen)	1,00	min	Annahme
29	Bearbeitungszeit 500 t/ 500.000 St.	8.333,33	h	Pos 1 und 28
30	Energieaufnahme p.a.	666,67	MWh	Pos 26 und 29
31	Arbeit p.a.	2.400.000,00	MJ p.a.	Pos 30
32	Treibhauseffekt Strom (elektr.) Bezug 1 MWh	0,52	t CO ₂ Äq./t	Umweltbundesamt
33	Treibhauseffekt pro Jahr durch spanende Verarbeitung	346,00	t CO₂	Pos 30 und 32
Bruttoeinsparung:		578,44	t CO₂	

Tabelle 7: Energetische Einsparungen

Aufgrund des stabilen Fertigungsprozesses konnte der ursprüngliche Halbzeugdurchmesser von 45 mm auf 41 mm verringert werden. Zusammen mit der Senkung des Ausschusses beim Härten (von 15 auf 0 %) wurden die in Tabelle 8 gezeigten Materialeinsparungen erzielt.

	Menge in t	Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA), 0,376 t/t (Elektrostahl)	Kumulierter Energieaufwand (KEA), 7,221 GJ/t (Elektrostahl)	Treibhauseffekt (GWP), 0,399 t CO ₂ -Äq/ t (Elektrostahl)
Stab, 45 mm Durchmesser	500			
Ausschuss 15 %	75			
Stab 41 mm Durchmesser	415			
Einsparung Stahl	160	60 t	1155 GJ	64 t

Tabelle 8: Materialeinsparungen durch Halbzeug mit geringeren Abmessungen

Der Modellcharakter der neuen Lösung ist dadurch gegeben, dass für diesen Werkstoff und den Prozess keine Einschränkung auf die Branche besteht. Die Kfz- Industrie hat keine Hoheit über das Projektergebnis. Der Geschäftszweck von econsteel ist es, möglichst vielen Kunden diesen Werkstoff zugänglich zu machen und den Kunden Anwendungen und die Vorteile des Prozesses aufzuzeigen.

3.3 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse, zusätzliche Umweltentlastung

Vorteile die sich aus der neuen Lösung ergeben sind:

- Verkürzung der Prozesskette
 - Weniger Transportprozesse
 - Kein Härteprozess mehr
 - Kein Richtprozess, da eine Zerspanung nur einmalig vorgenommen werden muss.
 - Einsparung von Entfettungsmaßnahmen und Reinigungsprozessen
- Verkürzte Lieferzeit
- Es werden Werkstoffe mit hoher Festigkeit für Anwendungen qualifiziert, die bislang Bleianteile im Werkstoff enthielten, um eine Verarbeitbarkeit wirtschaftlich zu ermöglichen. Der neue Werkstoff ist teilweise etwas schlechter zerspanbar, jedoch besser als die bislang gehärteten Einsatzstähle
- Kein Ausschuss durch Verzug des Werkstoffes. Bei 500 t eines einzelnen Produktes entstehen jedes Jahr ca. 50t Ausschuss.
- Fertigungsprozess:
 - Diffusionsglühen bei über 1.000 °C bei bis zu 50h Prozesszeit kann schon im Stahlwerk umgesetzt werden und wird unter anderem von der Abwärme der Schmelzöfen gespeist. Eine zusätzliche Energiezuführung erfolgt nach derzeitiger Erkenntnis nicht.
 - Keine Aufkohlungsmedien mehr notwendig, wie sie beim Glühen eingesetzt werden
 - Weitere Einsparungen durch Nebenprozesse

Abbildung 3 verdeutlicht das Anwendungspotenzial von modifizierten Werkstoffen. Durch Verkürzung der Fertigungskette, Senkung des Ausschussanteils und Endkonturnahe Halbzeugabmessungen können je nach Anwendungsfall zwischen 10 und 35 % Stahl eingespart werden.

Optimierung der Zerspanbarkeit: Vergleich konventionelle Güten mit *econPRO* Güten

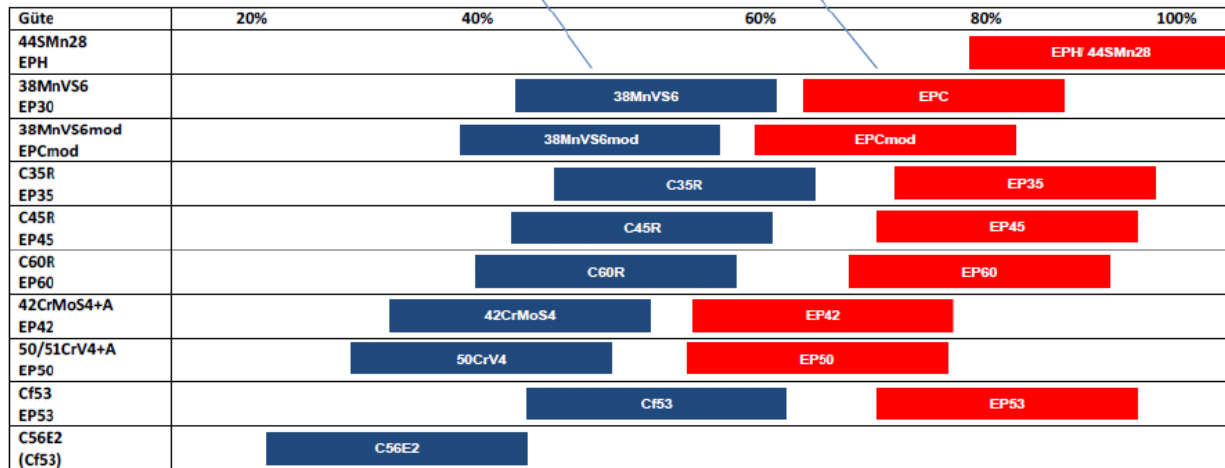


Abbildung 3: Werkstoffvergleich Zerspanbarkeit

Der Werkstoff wird von econsteel vertrieben werden. Vermarktungsansatz ist die Einsparung von Prozessen und damit Zeit und Kosten der Automobilzulieferindustrie. Zudem kann auf bleihaltige Werkstoffe verzichtet und Ausschuss vermieden werden.

Mit dem neuen Werkstoff wird econsteel bereits in 2017 erste Umsätze erzielen. Für 2018 sind bisher ca. 500 t des neuen Werkstoffes geplant im Abmessungsbereich von 30-45 mm.

Es werden bereits konkrete Anwendungen in den Bereichen Automobil, Greifertechnik sowie elektromechanische Bauteile bearbeitet.

Neben Lieferungen an Kunden in Deutschland bestehen konkrete Anfragen für den Export in die Türkei und nach Polen.

Das Ergebnis wurde der Gesamtprozess erheblich verkürzt. Hierdurch werden Zeit, Kosten und Energie gespart. In zahlreichen Anwendungen und Produkten kann das Ergebnis Anwendung finden. Sicherlich ist zunächst die Kfz- Industrie bzw. deren Zulieferer im Fokus. Vor dem Hintergrund der weltweiten Beschaffung, und dem weltweiten Vertrieb der Endprodukte, kann der Werkstoff international Anwendungen finden.

Weitere Zielprodukte sind: Gelenke, Wellennaben, Bolzenstifte, Ritzel oder Zahnräder.

Diffusionsgeglühte Stähle sind kaum erhältlich und ermöglichen eine Alleinstellung am Markt. Zudem ist bisher kein weiterer Stahlhersteller bekannt, der das Diffusionsglühen mit Eigenhitze in nennenswertem Umfang durchführt. Hier kommen derzeit insbesondere kleine Stahlwerke in Betracht, die relativ kleine Chargengrößen fertigen. Große Stahlwerke

haben hierfür keine innerbetriebliche Logistik, diese sind mehr auf Massenproduktion ausgerichtet.

3.4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Hr. Schaaf ist Mitglied in einem Arbeitskreis „Innovative Zerspanung“ der Fachhochschule Furtwangen und dem Institut für Werkstofftechnik. Hier erfolgt Networking mit Maschinenherstellern, es werden Vorträge gehalten und Publikationen des Know-hows unterschiedlicher Kompetenzen zu diversen Problemstellungen ausgetauscht.

Zudem besteht eine Kooperation mit der Erwin-Teufel-Schule in Spaichingen. Hier erfolgt die Ausbildung von Zerspanungsfachkräften, welche durch Vorträge eine Sensibilisierung hinsichtlich Zerspanung und Zerspanbarkeit bestimmter Werkstoffe erfahren.

Das Unternehmen ist im Gewerbeverband Oberzentrum e.V.⁴ Villingen-Schwenningen Mitglied, sowie der IHK. Hier findet ein regelmäßiger Austausch statt.

Messen werden überwiegend im lokalen Umfeld besucht, wie etwa die TURNING DAYS⁵ in Villingen Schwenningen, bei denen neue Entwicklungen für die Verbreitung neuer und selbst entwickelter Produkte genutzt wird.

⁴ Siehe auch: <http://www.gvo-vs.de/>

⁵ Quelle: PKM Pforzheim Kongress- und Marketing GmbH; Siehe auch: <http://www.turning-days.de/>

4. Fazit

Aus technischer Sicht ist der Lösungsansatz bestätigt. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz auch bei anderen, weitaus komplexeren Teilen z.B. für Pumpen genutzt werden könnte. Hierfür sind weitergehende Forschungstätigkeiten erforderlich, um z.B. ein Verziehen der Teile nach der Fertigung zu vermeiden.

Für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Einführung sind aus kaufmännischer Sicht alle Glieder der Wertschöpfungskette vom Materiallieferant bis zum Automobilhersteller zu berücksichtigen. Diese vielen Fertigungsstufen sind oft auf mehrere Unternehmen verteilt.

Da mehrere Unternehmen an der Wertschöpfung beteiligt sind ist nicht immer sichergestellt, dass auch jeder Partner unmittelbar für sich einen wirtschaftlichen Vorteil aus der neuen Technologie ziehen kann. Hier sind neue Ansätze zu erarbeiten um aus der Gesamtbetrachtung heraus jeden Partner für die neue Technologie zu gewinnen.

Beim Neuanlauf einer Fertigung ist der technische und organisatorische Abstimmungsaufwand beherrschbar.

5. Literaturverzeichnis

[1] Merkblatt 452 Einsatzhärten, Stahl-Informations-Zentrum

6. Anhänge

keine