Verbesserung des Eigenschaftsprofils thermisch gespritzter Schichten aus Manganhartstählen und metastabilen austenitischen Stählen während der spanenden Bearbeitung

(IGF-Nr.: 16.033 BG / Laufzeit 01.04.2009 - 31.09.2011)

Stand der Arbeiten im März 2011

Ziel des Projekts

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die spannungsinduzierte martensitische Umwandlung zur Randschichtverfestigung bei der spanenden Endbearbeitung von thermisch gespritzten Schichten aus Manganhartstählen und metastabilen austenitischen Stählen technisch nutzbar zu machen.

Die Verfestigung von Manganhart- und metastabilen austenitischen Stählen als Bulk-Material ist bekannt und wird über die chemische Zusammensetzung und eine Wärmebehandlung bzw. über die im Einsatz auftretenden Oberflächenbelastungen herbeigeführt. Die Verfestigung von Manganhartstählen im geschmiedeten Zustand während einer spanenden Bearbeitung ist ebenso ein bekanntes Phänomen, jedoch fehlen Kenntnisse über das Verfestigungsverhalten von Schichten, die ein Erstarrungsgefüge aufweisen, wie es z. B. nach dem thermischen Spritzen vorliegt.

An dieser Stelle setzt das beantragte Forschungsvorhaben an. Nach dem Beschichten mittels thermischer Spritzverfahren soll während der anschließenden zerspanenden Nachbearbeitung eine endkonturierte, verfestigte und somit verschleißbeständige Schicht erzeugt werden.

Aktuelle Arbeiten

Die Höhe der Flächenpressung, die nötig ist, damit bei thermisch gespritzten austenitischen Manganstählen eine martensitische Umwandlung stattfindet, ist noch weitestgehend unbekannt. Zu deren Ermittlung sollen die hergestellten Manganhartstahlschichten systematisch verschiedenen Flächenpressungen ausgesetzt werden. Dabei helfen die Untersuchungen, die mit perlitischem Schienenstahl in verschiedenen Forschungsarbeiten in der Vergangenheit durchgeführt wurden.

Neben Eisen-Mangan-Legierungen bei denen eine Gitterumwandlung durch Wärmebehandlung bzw. hoher Flächenpressung hervorgerufen wird, zeigen auch Eisen-Kohlenstoff-Legierungen eine ähnliche Eigenschaft. Dieses Phänomen ist besonders bei perlitischem Schienenstahl zu beobachten. Entsprechende Erscheinungen werden auch als „weiße Schichten“ bezeichnet, da sie makroskopisch mit bloßen Augen zu beobachten sind. Die Meinungen bezüglich des Entstehungsmechanismus gehen stark auseinander. Während ein Teil der Experten der Meinung ist, dass die weiße Schicht ein thermisch induzierter Martensit ist, gibt es Veröffentlichungen, die zeigen, dass diese auch durch hohe Flächenpressung ohne Erreichen der Austenitisierungstemperatur (krz -> kfz) herstellbar sind. Die Wachstumsrate hängt von der Höhe der Belastung (Achsenbelastung), der Form der Schienenstrecke (Kurve, gradlinig), der Geschwindigkeit und der Zyklenzahl der Belastungen ab.
In dem Sonderforschungsbereich 605 "Elementarreibereignisse" wurden die Grundlagenuntersuchungen zu den technischen Reibpaarungen "Scheibenbremse" und "Rad/Schiene-Kontakt" untersucht. Verschiedene Abteilungen der Bundesanstalt für

Materialprüfung waren in diesem Sonderforschungsbereich tätig, unter anderem die Abteilung VI.2 „Rastersondenmikroskopie, Tribologie und Verschleißschutz“. Die Reibverschleißversuche wurden an einer Verschleißmaschine, Typ Amsler (Abbildung 1), durchgeführt. Das Prinzip der Verschleißmaschine basiert auf Überrollversuchen mit definierten Schlupfwerten und Pressungen zwischen zwei Scheiben (Abbildung 2).

Aufgrund der Kooperation mit der BAM können die beschriebenen Versuche nun auch an Manganhartstahlschichten durchgeführt werden. Das Ziel ist dabei, schlupffrei, durch Variation der Überrollparameter und Pressungen, den Umwandlungsdruck der austenitischen Manganhartstahlschichten festzustellen.

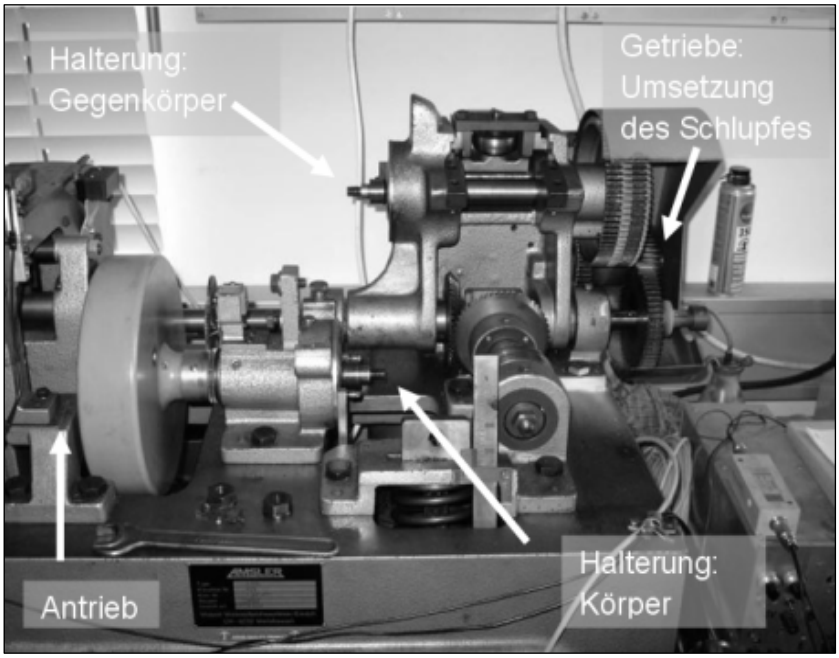

Abb. 1: Verschleißapparatur, Typ Amsler, BAM, Abt. VI.2

Die Maße der notwendigen Probenkörper sind in Abb. 2 wiedergegeben. Bei den Probenkörpern handelt es sich um runde Scheiben mit einem Durchmesser von 42 mm und einer Dicke von 10 mm.

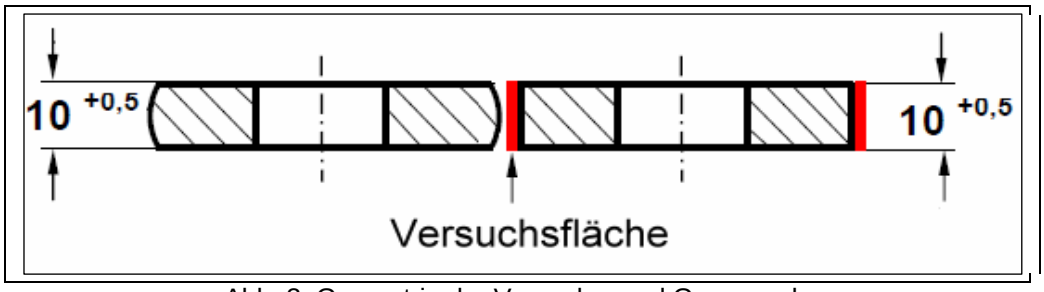

Abb. 3: Geometrie der Versuchs- und Gegenprobe

Die Gegenkörper wurden aus artgleichem Stahl gefertigt. Zusätzlich wurden die Kontaktflächen der Gegenkörpern ballig geformt, um eine höhere Flächenpressung zu erzeugen (Abb. 3).

Der Verschleißprüfstand ist in der Lage, eine Flächenpressung von bis zu 3 GPa bei einer maximalen Umdrehungsgeschwindigkeit von 2000 min^{-1} zu erreichen.

Der Versuchsplan ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 1: Versuchsplan

Versuchspaar	Belastung [GPa]	Überrollungszahl	Geschwindigkeit [m/min]
A	3,00	100	120
B	1,50	100	120
C	0,75	100	120

Zur Herstellung der Versuchsproben wurden zwei zylindrische Proben aus St37 (Abbildung 4) hergestellt. Die Proben wurden dann an der TU Chemnitz mit Hartmangan-Lichtbogenspritzdraht beschichtet (Schichtdicke 1 mm). Der Spritzdraht der Firma CORODUR weist folgende chemische Zusammensetzung auf:
0,8 – 1,2 Gew.% C
0,3 – 0,6 Gew. Si
12 – 14 Gew.% Mn
Basis: Eisen

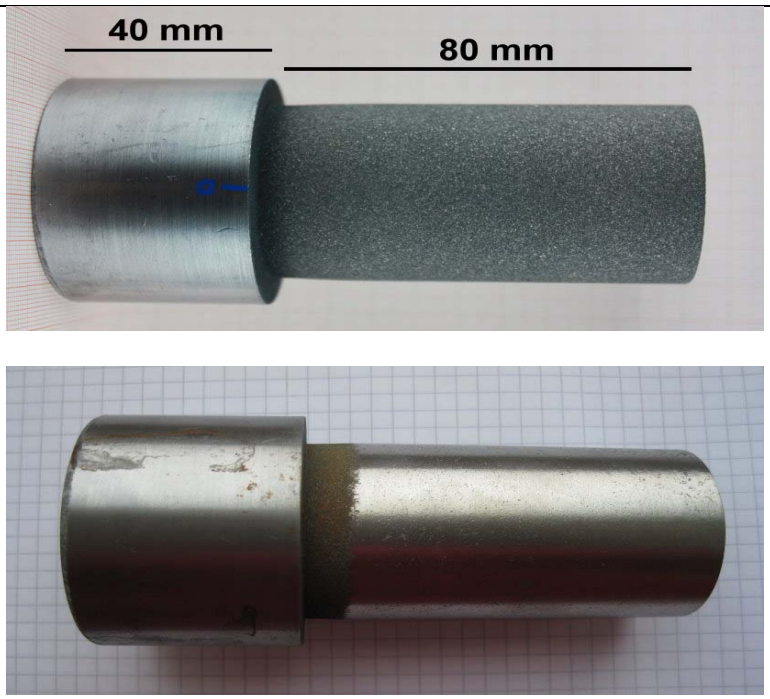

Abb 4: Versuchsproben nach der Beschichtung und nach dem Drehen

Nach dem Drehen wurden Scheiben mit einer Dicke von 10 mm mittels Drahterodierenherausgetrennt.

Die Untersuchungen an der BAM werden in KW 15 durchgeführt. Danach werden die Proben metallographisch präpariert und röntgenographisch untersucht.

Untersuchungen an HVOF-Schichten

Da bei der letzten PbA-Sitzung intensiv darüber diskutiert wurde, ob die detektierte Härtesteigerung aus der Verdichtung der Porosität oder aus der Martensitbildung resultiert, wurden zusätzlich zum Arbeitsplan Spritz- und Zerspanversuche an der TU-Chemnitz

durchgeführt. Um dichte Schichten einzustellen, wurde anstelle des Lichtbogendrahtspritzens das hochkinetische HVOF-Verfahren angewendet.

Der HVOF-gespritzte Mn-Hartstahl vom Typ X120Mn12 ist in der Abbildung 5 dargestellt. Die Schichten wurden nachfolgend durch Fräsen und Drehen bearbeitet und mit 316L Schichten verglichen.

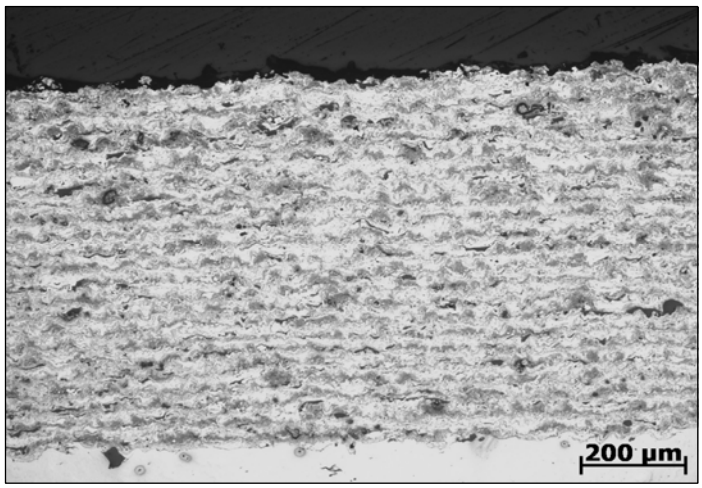

Abb. 5: HVOF-Spritzschicht aus X120Mn12

Bei der Nachbearbeitung der Schicht zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Zerspankräfte auf die Aufhärtung (Abbildung 6). Hohe Passivkräfte, die aus hohen Schnittgeschwindigkeiten resultieren, korrelieren mit der Härtezunahme. Die Kurve für X120Mn12 zeigt, dass die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit von ca. 80 m/min zu einer Vervierfachung der Passivkräfte und zu einer Härtesteigerung um knapp 100 HV0,3 führt. Gegenüber dem unbearbeiteten Zustand beträgt die Härtezunahme über 200 HV0,3. Als Referenzprobe wurde 316 L getestet, der erwartungsgemäß keine Härtezunahme gegenüber dem unbearbeiteten Zustand zeigt.

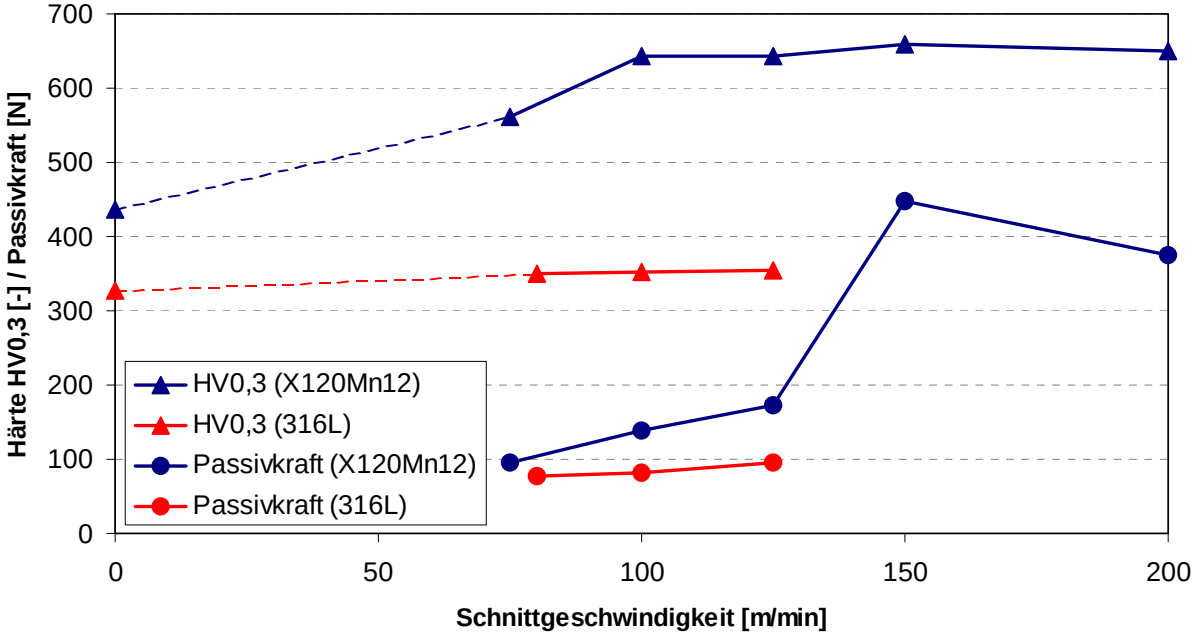

Abb. 6: Einfluss der Schichtnachbearbeitung auf die Kleinlasthärte für X120Mn12 und 316L

Als weitere Einflussgröße wurden die Schneidstoffe variiert, wobei sich deutliche Unterschiede im Schichtverhalten zeigen. Es ist zu vermuten, dass der Schneidstoff einen starken Einfluss auf die Temperatur im Bereich der Zerspanungszone hat und dies auf die Schichteigenschaften rückwirkt. Dies erklärt auch den Härteabfall bei maximalen Schnittgeschwindigkeiten (Abbildung 7 -> vergleiche HM und CBN). Auch das Glattwalzen hat einen starken Einfluss, wobei Härtesteigerungen um bis zu 50 HV0,3 dokumentiert wurden.

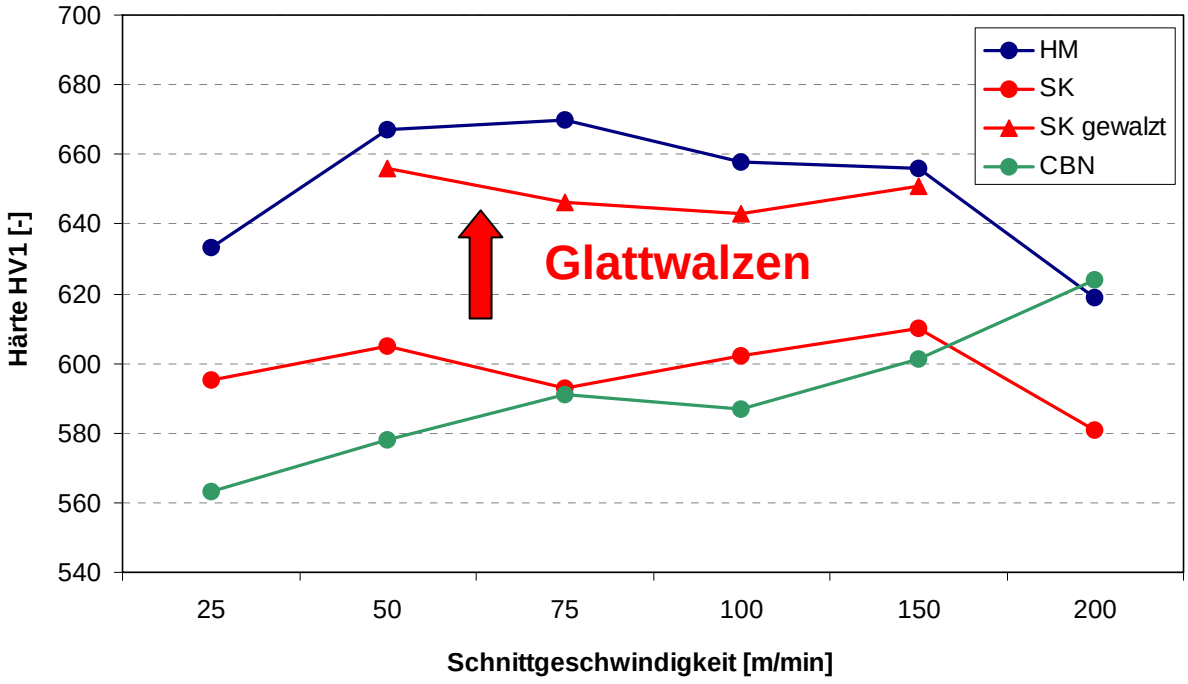

Abb. 7: Einfluss des Schneidstoffs bzw. Glattwalzens auf die Kleinlasthärte für X120Mn12 und 316L

Der für HVOF-Schichten Nachweis der Leistungssteigerung der Schichten durch gezielte Bearbeitungsstrategien wurde erbracht, wobei die ermittelten Werte als obere Grenzwerte der möglichen Leistungssteigerung bei LiBo-Schichten anzusehen sind. In weiteren Optimierungsversuchen für das Lichtbogenspritzen gilt es nun, diese Maximalwerte möglichst annähernd zu erreichen.

Weitere Messergebnisse

Aktuell laufen XRD-Messungen an der TU-Berlin im Institut für Metallische Werkstoffe. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie die Ergebnisse von Rockwellhärtemessungen werden auf der kommenden Sitzung des FA2-Sitzung präsentiert.