Pilotanlage zur Instandsetzung von Bodenplatten an den Raupenfahrwerken der Tagebaugroßgeräte mittels 3D-Plasma-Auftragschweißen

Hans Küpper, Dr. Frank Schreiber, Matthias Hackel, Werner Lindenhoven

1 Übersicht / Overview

Die vorliegende Abhandlung beschäftigt sich mit Konzeption und Realisierung einer automatisierten Roboteranlage zur Instandsetzung an Kettengliedern von Tagebaugroßgeräten. Hierbei werden die erforderlichen Roboterprogramme nach einer Laservermessung automatisch generiert. Durch Plasma-Pulver-Auftragsschweißen wird gezielt das durch Verschleiß abgetragene Material ersetzt, wobei die Ermittlung des Volumens durch Vergleich der Ist-Geometrie mit der Soll-Geometrie erfolgt.

The present paper concerns the conception and realization of an automated robot system for repair at chain links of open cast mining major items of equipment. The necessary robot programs are generated automatically after a laser measurement. The material which is cleared away by wear will be replaced by plasma powder welding, whereby the determination of the volume takes place via comparison of actual geometry with target geometry.

2 Chronik

Seit gut 150 Jahren wird im Rheinland im industriellen Maßstab Braunkohle gefördert und veredelt. Die Förderung findet heute mit Schaufelradbaggern statt. Diese Geräte haben ein Dienstgewicht bis zu 14.100to bei einer Höhe von bis zu 94m und einer Länge von bis zu 230m. Es sind dies die größten fahrbaren Fördergeräte der Welt.

Schaufelradbagger 293 im Tagebau Hambach

3 Fahrwerksgruppen à 4 Fahrwerke

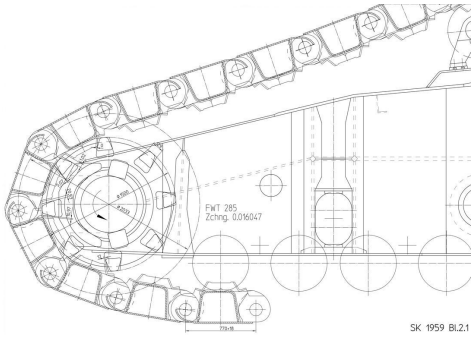
An diesen Geräten werden Bodenplatten als Fahrwerksketten verwendet, um die enorme Auflast der Geräte auf den teilweise lockeren Untergrund zu übertragen. Dabei wurden von den Geräteherstellern bis zu 12 Ketten mit je 50 Bodenplatten gewählt. Die Geräte verfügen weiter über eine fahrbare Beladung, so dass je Gerät ca. 750 Bodenplatten benötigt werden.

Während der nahezu 50-jährigen Entwicklung der Großgeräte wurden diese im Laufe der fortwährenden technischen Entwicklung immer größer und so sind eine Reihe unterschiedlicher Bodenplatten im Einsatz.

Bei über 26000 gleichzeitig im Einsatz befindlicher Bodenplatten beträgt die Aufliegezeit / Standzeit von Bodenplatten durchschnittlich 4,9 Jahre (Stand 2003), was einem jährlichen Wechsel von ca. 5300 Bodenplatten entspricht.

3 Konstruktion und Verschleiß

Die Funktion des Systems Fahrwerk hängt von einer einwandfreien Umlenkung um den Turas (Scharnierung) und einem sauberen Eingriff der Nocken ab. Hierzu muss die Geometrie stimmen und Verschleißgrenzmaße müssen zwingend eingehalten werden.



Umlenkung der Bodenplatten um den Turas.

Die durch die Witterung stark variablen Einsatzbedingungen der Tagebaugroßgeräte führen zu enormen Belastungen gerade im Fahrwerksbereich.

Ein Verschleiß tritt an den Bodenplatten hauptsächlich an den Höckerflächen durch den Turaseingriff und an den Bohrungen durch die Scharnierbewegung um den Turas auf.

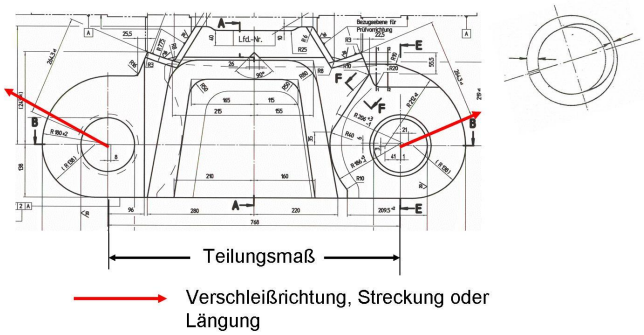
Verschleiß der Höckerflächen durch Turaseingriff

Ein typisches Verschleißbild an den Höckerflächen wird beson-

ders deutlich durch das Aufsetzen einer Schablone, die den Urzustand erkennen lässt. Ein ähnlich starker Verschleiß ist auch an den Buchsen und Bohrungen zu sehen.

Bohrungsverschleiß aufgrund der Scharnierbewegung um den Turas

Eine andere Darstellung macht die Verschleißrichtungen und auch Ausmaße deutlich bzw. stellt die Bedeutung der berechneten Verschleißgrenzmaße dar. Besonderes Augenmerk muss immer auf das Teilungsmaß und die Bohrungsposition zu den Höckerflächen gerichtet werden.



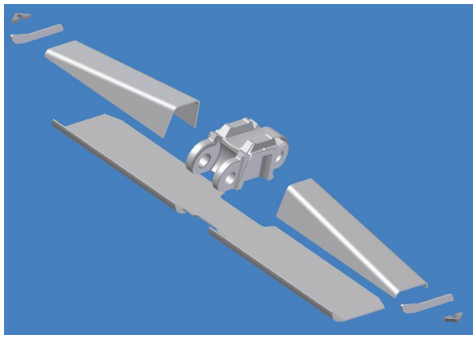
4 Instandsetzungsaufnahme

An allen ausgebauten Bodenplatten werden im Werk seit vielen Jahren Instandsetzungsaufnahmen durchgeführt, die einerseits Aussagen machen über eine Verschrottung oder Instandsetzung und andererseits wichtige Daten für einen KVP (kontinuierlichen Verbesserungsprozess) liefern.
Sind die Verschleißgrenzmaße überschritten, so werden diese Bodenplatten heute verschrottet. Nachfolgend die Gründe, die zu einer Verschrottung führen können:

- Überschreitung von Verschleißgrenzmaßen, die nicht mehr wiederhergestellt werden können
- Überschreitung der Bohrungsgrenzmaße und somit Unterschreitung des erforderlichen Querschnittes (z.B. aufgrund zu langer Aufliegezeit)
- Überschreitung der letzten Instandsetzungsstufe und somit Unterschreitung des erforderlichen Querschnittes
- Risse im Augenbereich
- Schlechter Allgemeinzustand der Bodenplatte, Risse, Korrosion etc.

5 Neufertigung

Der Aufbau der Bodenplatten wurde im Laufe der Jahre den Erfordernissen, aber auch der Fertigung angepasst. So besteht eine Bodenplatte lediglich aus 6(8) Komponenten.



Komponenten Bodenplatte

Schake 1

Grundblech 1

Querträger 2

Endblech 2

Anschlagaugen 2

Die Arbeitsschritte der Bodenplatten-Neufertigung:

- Positionierung der Schake in Vorrichtung 1
- Ausrichtung der beiden Querträger in Vorrichtung 1 zur Schake
- Schweißen der Verbindung Querträger / Schake mit 1.4370
- Demontage der geschweißten Baugruppe aus Vorrichtung 1
- Einlegen des Grundbleches in Vorrichtung 2
- Ausrichtung der geschweißten Baugruppe zum Grundblech in Vorrichtung 2
- Anheften der Endbleche an Grundblech und Querträger
- Schweißen der restlichen Nähte an der Bodenplatte mit G3Si1 (SG2 alt)
- Montage von 3 bis 5 Bodenplatten zu einer transportfähigen Einheit (< 5 to) inkl. Anschweißen von Sicherungsblechen und Anschlagaugen

Bereits seit 1995 wird die Neufertigung von Bodenplatten auf einer Roboteranlage durchgeführt. Die Arbeitsschritte der Bodenplatten-Neufertigung sind in den vergangenen 30 Jahren ausreichend optimiert und eine weitere Automatisierung der heute aktuellen konstruktiven Gestaltung der Bodenplatten ist wirtschaftlich nicht mehr vertretbar.

Hersteller Fa. Reis Obernburg
Roboter-Typ RV16
Baujahr 1995

6 Instandsetzung

Sind die Verschleißgrenzmaße noch nicht erreicht, werden die Bodenplatten instand gesetzt, wobei bis zu 4 Instandsetzungsstufen von Beginn an geplant und möglich sind.

- Demontage der angelieferten Kettensegmente (3 oder 5 Bodenplatten) zu einzelnen Bodenplatten, ggf. ausbrennen der Buchsen
- Instandsetzungsaufnahme mit Entscheidung Instandsetzung / Verschrottung

Heutiger Ablauf einer Instandsetzung:

- Beseitigung von Graten an der Schake und Rissen in den Blechteilen
- MAG-Aufschweißen der Höckerflächen von Hand
- ggf. Aufbohren der Bohrungen auf neue Instandsetzungsstufe
- Einpressen neuer Buchsen
- Montage von 3 bis 5 Bodenplatten zu einer transportfähigen Einheit

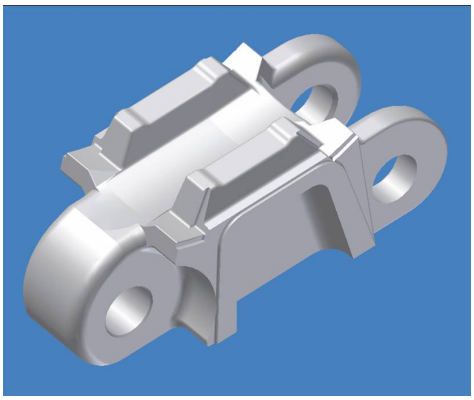
Allgemein gilt, dass instand gesetzte Bodenplatten ca. 90 % der Standzeit einer neuen Bodenplatte erreichen. Dies wird hauptsächlich damit erklärt, dass Schritt für Schritt durch die Reparaturstufen das Teilungsmaß um einige mm vergrößert wird.

7 Schweißungen an der Schake

Die Hauptkomponente einer Bodenplatte ist die Schake, ein massives Gussteil, welches in der Mitte eine Laufbahn hat, über welche die Räder der Fahrwerke rollen. Bei dem eingesetztem Werkstoff X120Mn13 handelt es sich um einen hochlegierten austenitischen Werkstoff, welcher kaltverfestigend und für diesen Einsatz hoch verschleißfest ist. Allerdings ist dieser Werkstoff schwer schweißbar, da

- er aufgrund des hohen Kohlenstoffgehaltes nur mit einem austenitischen Zusatzwerkstoff geschweißt werden kann,
- längere Temperatureinbringung zur Ausscheidung von Korngrenzenkarbiden führt, was eine Versprödung des Werkstoffes zur Folge hat.

Die Schaken werden lösungsgeglüht und abgeschreckt angeliefert, eine Wärmebehandlung ist nicht mehr möglich.



Schake
Teilung: 770mm
Masse: 880kg
Werkstoff:
X120Mn13

7.1 Verbindungsschweißung bei Neufertigung:

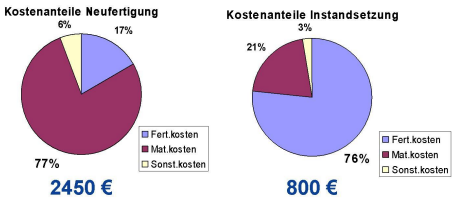
- Zusatzwerkstoff 1.4370
- Prozess 135 MAG-Schweißen von Hand
- Schweißen mit niedriger Streckenenergie
- Schweißungen an mehreren Schaken oder div. Positionen im Wechsel, so dass die Bauteile möglichst kalt bleiben.

7.2 Auftragsschweißung:

- Zusatzwerkstoff Corodur 250 K
- Prozess 135 MAG-Schweißen von Hand
- Problem: Der Grundwerkstoff ist aufgrund der Kaltverformung verfestigt und versprödet, auch hat sich Martensit gebildet
- Schweißung je nach Volumen ggf. an mehreren Flächen im Wechsel, so dass das Bauteil möglichst kalt bleibt.
- höhere Grundfestigkeit als das Gussteil im Neuzustand

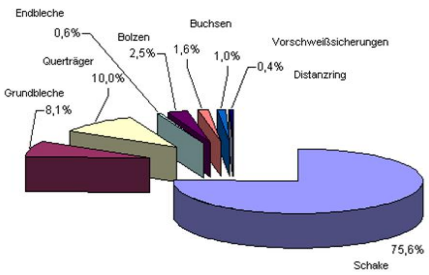
8 Jährlicher Bearbeitungsumfang und Kostenüberblick

Von den etwa 5300 Bodenplatten, die jährlich ausgebaut werden, werden gemäß den Instandsetzungsaufnahmen bis zur Hälfte neu gefertigt und der Rest instand gesetzt. Die Kostenanteile der Neufertigung und der Instandsetzung unterscheiden sich grundlegend. So sind in der Neufertigung die Materialkosten mit über 75 % der entscheidende Kostenanteil. Bei der Instandsetzung spielen naturgemäß die Lohnkosten die entscheidende Rolle.



Kostenaufteilung (2003)

Detailiertere Kostenaufteilung der Neufertigung am Beispiel der größten Bodenplatte 770 x 3700mm mit gegossenen Schakenbohrungen (Stand 2003)



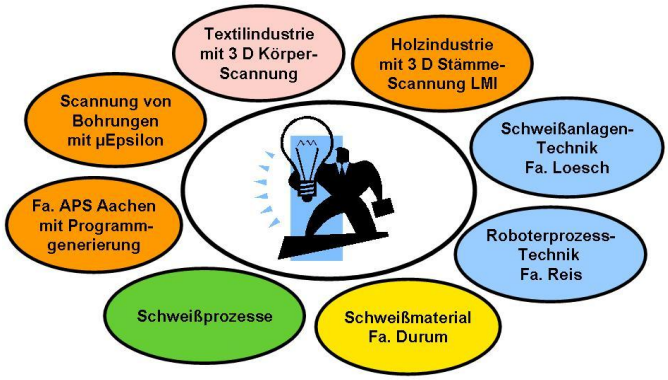
Kostenaufteilung der Komponenten einer Bodenplatte 770 x 3700 mit gegossenen Schakenbohrungen (2003)

Da die Materialkosten (Einkauf von Guss) nach mehreren Reduzierungsversuchen in den vergangenen 15 Jahren unter Wahrung der für die automatisierte Neufertigung mittels Roboter erforderlichen Qualitätsansprüchen nicht weiter gesenkt werden können, wurde ein neues Ziel angestrebt:
Vermeidung der Verschrottung von Bodenplatten und Untersuchung der Möglichkeiten eines erhöhten und optimierten Instandsetzungsaufwandes.

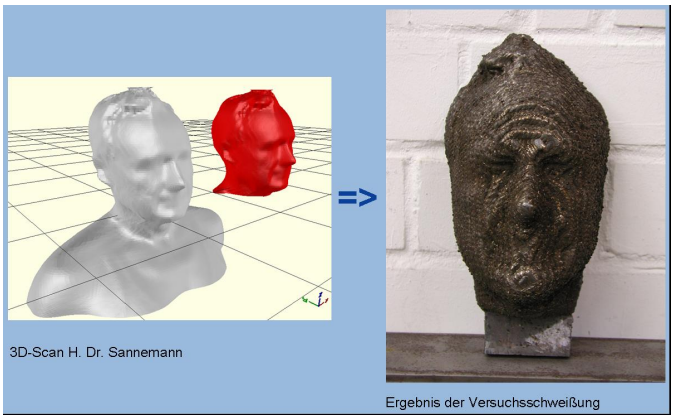
9 Planung einer Instandsetzungs-optimierung

Um dem Anspruch einer optimierten Instandsetzung bis hin zu einer annähernden Qualität einer Neufertigung gerecht werden zu können, mussten verschiedene technische Applikationen in div. Industrien zusammen betrachtet werden.

Zusammenfügung diverser Applikationen in der Industrie



Die größte Unbekannte und der Teil des Projektes zu dem keinerlei Erfahrungen vorlagen, war die Software zur automatischen Erzeugung von Roboterprogrammen. Diese sollte von der Fa. APS Europäisches Zentrum für Mechatronic Aachen kommen. Der für den Werkstattbereich verantwortliche Oberingenieur stellte sich als Versuchsobjekt zur Verfügung. Nach einer 3D-Vermessung im Bekleidungshaus Weingarten in Köln und einer Aufbereitung der Daten bei der Firma Human Solutions wurde im Dezember 2002 die gescannte Person schweißtechnisch partiell reproduziert. Die Erzeugung der Roboterprogramme erfolgte automatisiert durch ein System, das bei und durch Fa. APS erstellt wurde.



Bereits im Vorfeld hatte es im Hause APS Voruntersuchungen an einer Schake gegeben, um Scanner zu testen.

Da auf dem deutschen Markt keine geeigneten Lasersensoren zur Vermessung der Höcker zu finden waren, wurde die Suche auf den Europäischen Kontinent ausgedehnt, verlief allerdings genauso erfolglos, so dass die Suche globalisiert, aber auch der Eigenbau eines entsprechenden Lasersensors in Erwägung gezogen wurde. Die Wahl fiel schließlich auf einen Laserscanner, welcher in der kanadischen Holzindustrie eingesetzt wird, um die Baumstämme vor dem Sägewerk zu vermessen. Dort werden aus den Meßdaten normalerweise optimale Zuschnitte ermittelt, auch erfolgt die Verrechnung mit den div. Forstabteilungen direkt auf der Basis der Messdaten.

Machbarkeitsstudie bei APS in Aachen Ende 2002

10 Projektierung einer Pilot-anlage

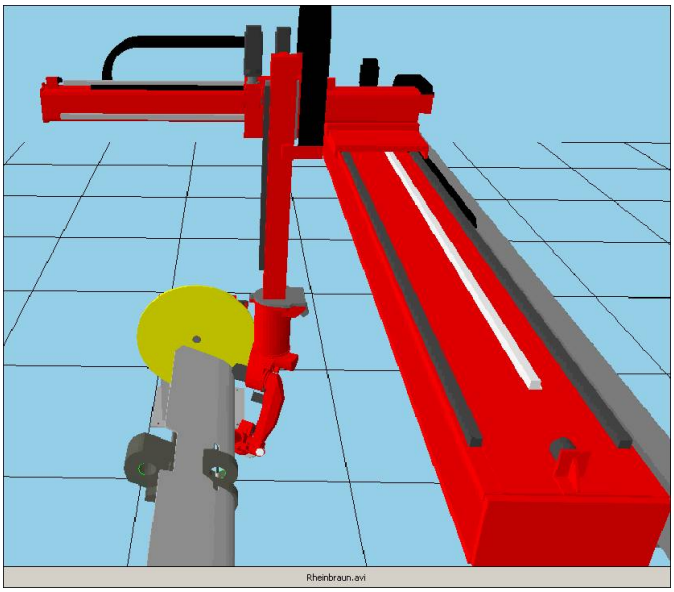
Nach Klärung der Machbarkeit und des Umfanges einer solchen erweiterten Instandsetzung, konnte mit der Projektierung begonnen werden. Der damals geplante und heute reale Funktionsablauf des Systems stellt sich wie folgt dar:

- Positionierung einer Bodenplatte in einer Vorrichtung
- Vermessung der Ist-Geometrie mittels Lasersensor
- Vergleich der Ist-Geometrie mit der Soll-Geometrie aus einer 3D-Zeichnungsdatei
- Bildung einer Differenzgeometrie
- Ausfüllen der Differenzgeometrie mit virtuellen Schweißraupen
- Erzeugung und Übertragung der erforderlichen Roboterprogramme
- Durchführung der Schweißung
- Entnahme der Bodenplatte aus der Vorrichtung
- manuelle Nacharbeit

Aus den gesteckten Zielen und den ersten Voruntersuchungen ergaben sich eine Reihe von Teilprojekten, von welchen der Erfolg des Gesamten abhing:

- Zugänglichkeitsuntersuchung zur Erreichbarkeit aller zu schweißenden Flächen
- Erforderliche Roboterkinematik zur Erreichung aller zu schweißenden Flächen
- Entwicklung bzw. Auswahl geeigneter Lasersensoren zur Vermessung der Bauteilkontur
- Entwicklung einer Software zur automatischen Generierung von Roboterprogrammen
- Nachweis der Realisierbarkeit des Projektes
- Auswahl eines geeigneten Schweißprozesses
- Entwicklung eines geeigneten PTA-Brenners zum Einschweißen der Bohrungen
- Entwicklung geeigneter Schweißzusatzwerkstoffe zum PTA-Schweißen
- Ermittlung von Schweißparametern für einen sicheren Prozess
- Entwicklung einer Kinematik zur Erreichung der Bohrungen bei kleineren Bodenplattentypen
- Entwicklung eines Wechselhals-Systems für den PTA-Brenner zum schnellen Tausch der Verschleißteile

Eine Zugänglichkeitsuntersuchung wurde bei der Fa. Reisrobotics in Obernburg durchgeführt. Das Ergebnis war eine geeignete Roboterkinematik und ein Videoclip, auf welchem dies zu erkennen ist.



Die Vermessung, Auswahl von Scannern, Programmerstellung etc. wurde bei der Fa. APS in Aachen realisiert. In zwei Sonderprojekten wurden die erforderlichen Bearbeitungszeiten so optimiert, dass unter anderem durch Parallelverarbeitung eine Reduzierung von 80 % erreicht werden konnte.

10.1 Schweißprozess

Als nächstes stand die Auswahl eines geeigneten Schweißprozesses an.
Bisher wurde der Prozess 135 (MAG-Schweißen von Hand) eingesetzt, jedoch war der Zusatzwerkstoff nur als Fülldraht lieferbar

- Probleme bei der Drahtförderung bei starker Umlenkung (Zugänglichkeit der Bohrungen)

weiter bildet dieser Schweißzusatz Schlacke ⇒

- Zündprobleme bei der jeweils nächsten Lage
  ⇒ manuelles Entfernen der Schlacke erforderlich

Somit wurde die Wahl eines **anderen Schweißprozesses** erforderlich.

Hierbei wurden folgende Kriterien zur Auswahl des Schweißprozesses berücksichtigt:

- Prozesssicherheit
- Automatisierbarkeit
- Werkstoffspektrum
- vorliegende Erfahrungen

Die Wahl fiel aus diesen Gründen auf das **PTA-Pulver-Auftragsschweißen**, aber zu diesem Zeitpunkt war kein

- geeigneter PTA-Schweißbrenner verfügbar
- Schweißzusatzwerkstoff in Pulverform verfügbar

10.2 PTA-Schweißbrenner

Zunächst erfolgte eine Recherche für einen geeigneten PTA-Schweißbrenner auf dem Weltmarkt. Da dies jedoch erfolglos verlief, wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Plasmastar ein geeigneter Brenner entwickelt. Hierbei spielten folgende Kriterien eine Rolle:

- Zuverlässigkeit
- Robotereignung
- Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit
- Kosten

PTA-Brenner montiert an Roboter

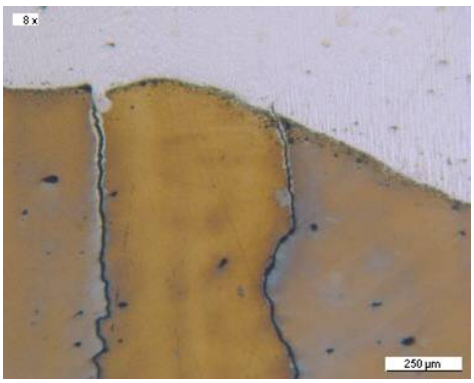
Bereits heute zeigen die Erfahrungen aus den Probeschweißungen, dass der Brenner äußerst robust und sparsam mit Verschleißteilen ist, was auf eine sehr gute Kühlung schließen lässt, worauf ein Hauptaugenmerk bei der Entwicklung gerichtet wurde.

10.3 Schweißzusatzwerkstoff

Neben der Entwicklung eines Roboter-Handlingsystem für die Instandsetzung durch das Plasma-Pulver-Auftragschweißen musste parallel ein entsprechendes Schweißpulver entwickelt werden, das den hohen Anforderungen bei der Schakeninstandsetzung gerecht wird. Folgende Anforderungen standen hierbei besonders im Vordergrund:

- keine negative Beeinflussung des Grundwerkstoffs GX120Mn13 (Versprödung) durch den Schweißprozess
- Schakenbohrung: Beschichtung rissfrei, mit hoher Streckgrenze bzw. kaltverfestigungsfähig, zur Minimierung der Verformungen, mechanisch bearbeitbar
- Schakenhöcker: Beschichtung rissfrei, mit hohem Verschleißwiderstand bzw. Kaltverfestigungsvermögen
- gleicher Zusatzwerkstoff (PTA-Pulver) für das Auftragschweißen im Bohrungs- und Höckerbereich

In der ersten Phase wurde nach umfangreichen Überlegungen und Schweißversuchen an ausgemusterten Schakengrundkörpern handelsübliche Schweißpulver-Hartlegierungen auf Basis NiCrB- und Fe-Vandincarbid-Legierung verschiedener Lieferanten und Hersteller geprüft. Diese konnten allerdings dem hochbeanspruchten Werkstoffsystem Mn-Cr-Ni nicht gerecht werden. Die geforderte hohe Festigkeit wurde hier durch Bildung von Boriden bzw. Carbiden erreicht, die allerdings drastisch die Zähigkeit herabsetzen und die Versprödung im kritschen Übergangsbereich zwischen Schakengrundkörper fördern. Versuche mit Mn-Cr-Ni-B-Werkstoffen scheiterten ebenfalls, da sich durch die Vermischung mit dem C-haltigen Grundwerkstoff Borcarbide bildeten und zu einem ähnlich negativen Resultat führten.



Panzerung mit MnB-Werkstoffen auf Schakenwerkstoff G-X120Mn13

An der Schmelzlinie sind die Korngrenzen des Mn-Hartstahls teilweise geöffnet und teils durch einfließendes Schweißgut gefüllt. Im Bereich der kaltverformten, geschweißten Höckeroberflächen ist durch die Wärmeeinwirkung eine bis zu 2,5 mm tiefe Rekristallisationszone (Umkörnung) entstanden. Schließlich wurde durch die Firma DURUM GMBH in Willich basierend auf den zur konventionellen Instandsetzung eingesetzte Werkstoff CORODUR 250K[1]ein entsprechendes PTA-Schweißpulver entwickelt. Hierzu wurde die chemische Zusammensetzung hinsichtlich der wichtigsten Elemente Mn, Cr, Ni und C an die Anforderungen des Plasma-Pulverschweißens (kein Abbrand, niedrige Vermischung mit dem Grundwerkstoff) angepasst. Die Si-Gehalte wurden in Abstimmung mit dem C-Gehalt modifiziert, um ein gutes Benetzungs- und Schweißverhalten zu erzielen. Die Auftragschweißungen mit der ersten Versuchscharge zeigten ein hervorragendes Schweißbild mit exzellenten Werkstoffkennwerten.

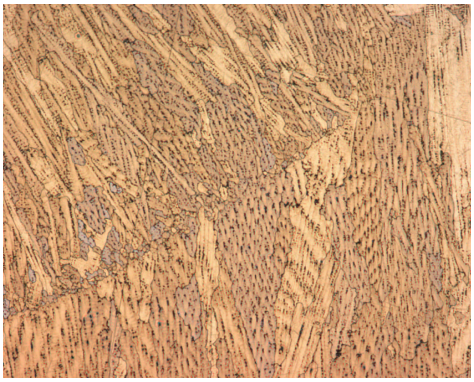
C-%	Si-%	Mn-%	Cr-%	Ni-%	Härte HB
0,5-0,9	0,07-1,5	14-16,5	13,0-15,5	1,0-1,2	241 / 249 / 245 / 250

Mechanische Eigenschaften DURMAT 525PTA

Mechanische Eigenschaften	$Rp_{0,2}$ [N/mm²]	Rm [N/mm²]	A [%]	Z [%]	KV [J]	Härte HB
Aufgetragenes Schweißgut Durum 525PTA	661	973	28,4	30	39 / 41 / 42	306
	659	973	30,6	35		
Schakenwerkstoff GX120Mn13, Richtwerte nach SEW 395 bzw. Richtlinie Nr. 59	>= 300	>= 600	>= 25	--	>= 100	

Chemische Zusammensetzung und Härte

Daher wurde beschlossen, das erfolgreiche Ergebnis zur Instandsetzung der Laufflächen der Schaken umzusetzen. Hierzu wurden 12 Laufflächen von stark verschlissenen Schaken regeneriert, die zum Teil seit Juli 2004 erfolgreich im Einsatz sind. In diesem realen Feldversuch am Gerät soll der Einfluß der Vorschädigung sowie die Arbeitsvorbereitung der zu beschichtenden Funktionsflächen in Korrelation zur Standzeit ermittelt werden.



Panzerung mit DURMAT 525PTA Lagenübergang 2-3 Lage

[1]Firma CORODUR FÜLLDRAHT GMBH, Willich

Panzerung mit DURMAT 525PTA auf Lauffläche Schake (Grundwerkstoff G-X120Mn13)

10.4 Programmiersystem

Die größte Herausforderung stellt natürlich das System zur Erzeugung der Roboterprogramme dar. Dieses System sollte von Fa. APS Europäisches Zentrum für Mechatronic in Aachen erstellt werden. Hier beschäftigte sich vor allem H. Hackel (heute Fa. Mabotic) mit der Programmierung des Systems. Die Roboteranlage wurde seitens des Roboterherstellers Reisrobotics in Obernburg gefertigt. Das Einmessen und Kalibrieren der Vorrichtung erfolgte entsprechend den Erfordernissen eines Offline-Programmiersystems. Es entstand ein komplexes, handhabbares System, welches die Bodenplatten automatisiert instand setzt.

10.5 Brennerwechselhals-System

Die Entwicklung eines Wechselhals-Systems für PTA-Brenner ist eine sehr komplexe und schwierige Aufgabe. Mit der Pilotanlage konnte dieser Anspruch noch nicht realisiert werden. Mit einem solchen Wechselhals-System (ähnlich MAG-Brennern) wird es möglich sein, die Brenner variabler und ggf. günstiger zum Wechseln der Verschleißteile zu positionieren. Bei der aktuellen Applikation mit solch langen Maschinenlaufzeiten ist der Wechsel inkl. Schlauchpaket durchaus vertretbar, zumal dank der Robustheit des Systems bisher noch keine Bauteilbearbeitung unterbrochen werden musste.

11 Realisierung

Nachdem die Teilprojekte erfolgreich abgeschlossen wurden, konnte die Anlage ihre Funktionstüchtigkeit unter Beweis stellen.

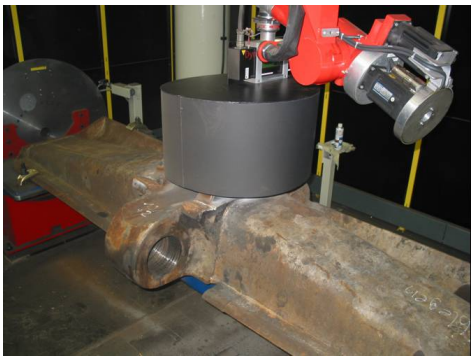
11.1 Vorbereitung

Nach einer Demontage, Instandsetzungsaufnahme und Vorbereitung wird die Bodenplatte in der Vorrichtung der Anlage positioniert. Die Höckerflächen werden mit weißen Kontrastmittel eingesprüht, damit der Lasersensor optimale Meßdaten erzeugen kann. Danach gibt der Mitarbeiter am PC folgende Daten ein:

- Werker-Ident-Nummer
- Bodenplattentyp
- Schakennummer
- Auftragsnummer

11.2 Vermessung/Programmgenerierung

Nun wird durch den Mitarbeiter der Prozess gestartet. Nachdem die Anlage den Laserscanner für die Vermessung der Höcker aufgenommen hat, beginnt der Prozeßschritt der automatischen Vermessung der Schakenhöcker mit dem LMI-Linienscanner. Hierbei erhält der PC zeitgleich Daten vom Scanner und jeweils die aktuellen Positionen des Roboters. Der Roboter fährt bei der Vermessung der Höcker nur eine gerade Bahn. Da es sich bei den Scanner um einen Linienscanner handelt sind somit drei Dimensionen gegeben.

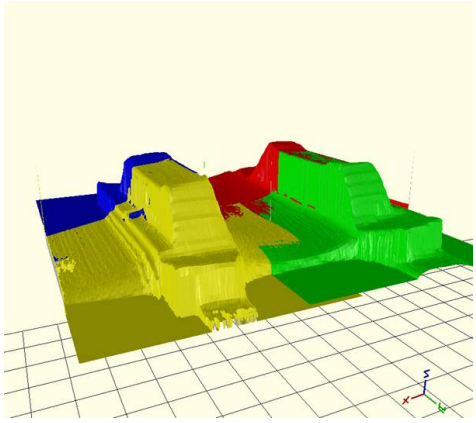


Scannen der Höckerflächen

Aus diesen Daten werden am PC stl-Dateien gebildet, welche die IST-Geometrie der Schake widerspiegeln. Als nächstes werden die Daten auf Sinnhaftigkeit geprüft. Sollten hierbei Fehler festgestellt werden, so erhält der Mitarbeiter eine optische und akustische Meldung und kann den Vorgang nach einer Überprüfung erneut starten. Dann wird der Sensor für die Höcker abgelegt und es wird ein Sensor zur Bohrungsvermessung aufgenommen. Hierbei handelt es sich um einen Punktscanner, welcher nur eindimensionale Daten liefert. Somit muss der Roboter die Oberfläche im Raster abfahren, um die noch erforderlichen zwei Dimensionen zu liefern.

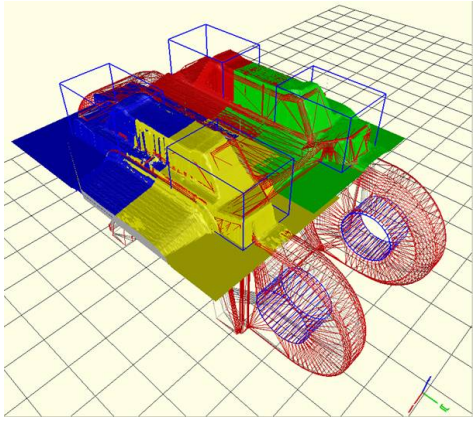
Scannen der Bohrungen

Auch in diesem Fall erhält der PC wieder zeitgleich die Messdaten des Scanners und die aktuellen Roboterkoordinaten, woraus wieder 3D-Daten gebildet und auf Sinnhaftigkeit geprüft werden.
Diese Daten werden nun auf dem Monitor angezeigt und können von dem Mitarbeiter beurteilt werden. Die Überlagerung der Farben in der Mitte des Bildes entstehen bei einer einwandfreien Kalibrierung des Sensors. Sollten die Werkzeugdaten nicht mit dem Werkzeug übereinstimmen, so erscheinen Stufen in der Darstellung.



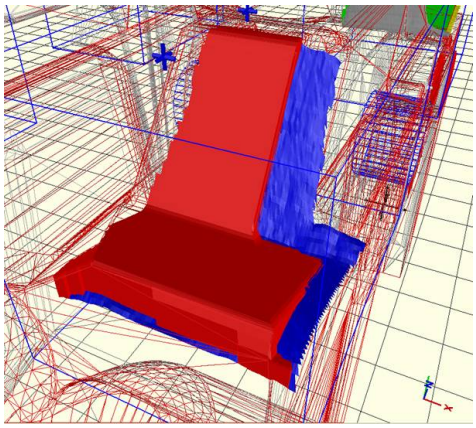
Ergebnis der Vermessung

Diesen Meßdaten, welche den Ist-Zustand widerspiegeln, wird nun eine Zeichnungsdatei überlagert, welche den Soll-Zustand darstellt. Die exakte Kalibrierung der Sollgeometrie zu der realen Vorrichtung erfolgt über ini-Dateien, in dieser werden die kartesischen Nullpunkte und Orientierungen eingetragen.



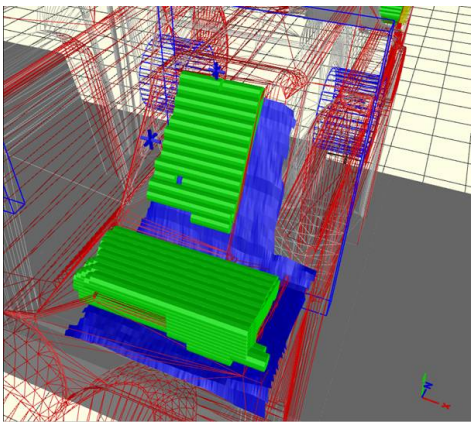
Überlagerung der Vermessung mit CAD-Datei

In dem Bereich der Höcker, aus welchem die roten Linien des CAD-Files herausragen, kann man deutlich erkennen, wieviel Material fehlt. Nun wird vom System eine Differenzgeometrie berechnet. Dies ist das durch Verschleiß abgetragene Material, welches schweißtechnisch ersetzt werden muss.



Berechnete Differenzgeometrie

Diese Differenzgeometrie wird zunächst mit virtuellen Schweißraupen aufgefüllt.

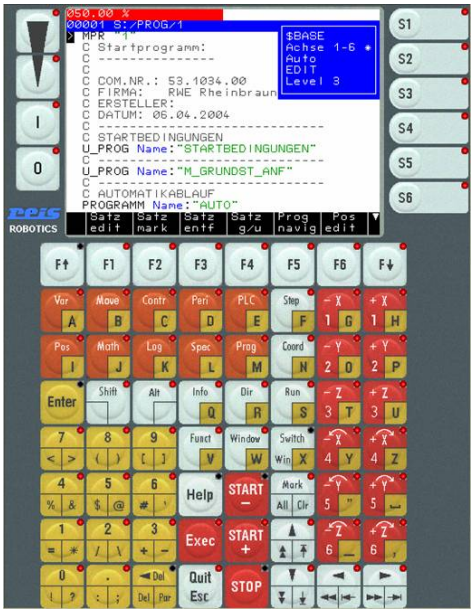


virtuelle Schweißbahnen

Diese virtuellen Schweißbahnen werden zeitgleich als Roboterpositionen gespeichert und aus ihnen werden danach die benötigten Roboterprogramme generiert und automatisch auf den Roboter übertragen.

11.3 Schweißprozess

Der Roboter führt nun die übertragenen Programme aus.



Bedienhandgerät des Roboters mit den automatisch generierten Programmen

Im Vorfeld wurden entsprechende Schweißparameter ermittelt. Dies umfasste auch die sich ergebende Breite und Dicke der Nähte abhängig von den jeweiligen Schweißparametern. Diese Werte sind in ini-Files des Systems hinterlegt und werden zur Programmgenerierung herangezogen. Somit ergibt sich die jeweils aufgetragene Dicke aus der Dicke einer einzelnen Schweißraupe und der Anzahl der aufgetragenen Lagen.

Schweißergebnis Höckerfläche 1

Bei den Höckerflächen kann nicht ganz bis in die Ecke geschweißt werden, da dies aufgrund der Brennergeometrie nicht möglich ist. Der fehlende Bereich wird nach der Roboterbearbeitung manuell aufgefüllt.

Schweißergebnis Höckerfläche 2

Eine weitere Automatisierung an dieser Stelle erscheint derzeit wirtschaftlich nicht sinnvoll, so dass auch für die nächste Zukunft geplant ist diese Stellen manuell zu bearbeiten.

Es ist auf den Bildern ersichtlich, dass es im Randbereich noch Ungänzen gibt. Je nach Vorbereitung des Bauteils kann es zum Abfließen von Endkrater-Schweißgut kommen. Dies ist insbesondere dort zu beobachten, wo Schweißraupen nicht in Wannenlage ausgeführt werden.

Schweißergebnis Höckerfläche 3

Dies spielt jedoch für das Ergebnis keine Rolle, hier kommt es auf die geometrische Lage der Bohrungsmitten zu den Flächen der Schakenhöcker an.

Schweißergebnis Höckerfläche 4

Die entstehenden Nasen werden manuell mit einer Schleifhexe beseitigt.

Bei den Bohrungen ist gut zu erkennen, dass diese nur im erforderlichen Bereich eingeschweißt werden. Deutlich wird auch, dass sich der Verschleiß überwiegend in Zugrichtung aus-

gebildet hat.

Schweißergebnis Bohrung

Schweißergebnis Bohrung

11.4 Bedienereingriffe

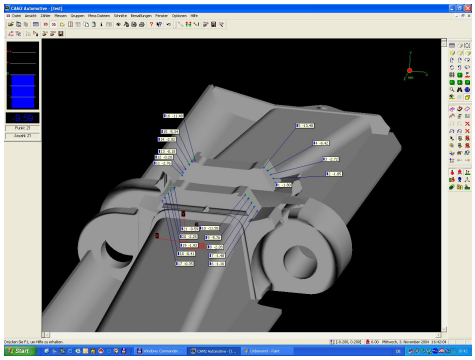
Sollte es während des Automatikprozesses zu Störungen kommen, so kann der Roboter über Makro aufgefordert werden eine Wartungsposition anzufahren, ein manuelles Verfahren des Roboters ist nicht erforderlich. Auch ist es während des Automatikprozesses jederzeit möglich eine Brennerreinigung, Anfahren der Wartungsposition usw. anzufordern. Die Anlage schweißt dann die jeweilige Bahn fertig und fährt anschließend in die angeforderte Position.

Aufrufen von Bedienermakros

Auch an dieser Stelle wurde darauf geachtet, dass die erforderlichen Aktivitäten der Bediener so weit wie möglich reduziert wurden. Das soll allerdings keinesfalls bedeuten, dass an einer solchen Anlage jeder beschäftigt werden kann. Die Einstellung und Motivation der Mitarbeiter entscheidet über die Verfügbarkeit und Lebensdauer einer solchen Anlage.

11.5 Kontrolle der Ergebnisse

Im Verlaufe der Inbetriebnahme stellte sich bereits heraus, dass die Ergebnisse der Schweißungen nicht mit den zur Verfügung stehenden Mitteln kontrolliert werden konnten.
Gerade die Bohrungen sind mit einfachen meßtechnischen Mitteln bei einem vernünftigen Aufwand nicht zu erreichen. Da ein solches System aber eine laufende stichprobenhafte Überwachung erfordert, besteht im Hause noch Handlungsbedarf. Somit wird aktuell über die Anschaffung eines Meßarmes nachgedacht, mit welchem beliebige Geometrien erfasst werden können.



Auswertung mittels Faro-Meßarm und Darstellung der Abweichungen zur Sollkontur bei einer gering verschlissenen Bodenplatte

Ein solcher Meßarm bietet auch die Möglichkeit andere Bauteile zu vermessen und mit einer CAD-Datei zu vergleichen, aber auch beliebige Oberflächen zu erfassen und in ein CAD-System zu übertragen.

12 Zusammenfassung

Die Bemühungen, verschiedene Applikationen aus der Industrie zu einer komplett neuen Applikation zusammenzufassen, wurden durch den Bau und die Inbetriebnahme einer Pilotanlage abgeschlossen. Da es jetzt erstmals möglich ist, den realen Ist-Zustand der Bauteile zu erkennen, zu beobachten und ebenso zu bewerten, wird man mit der Zeit die Verschleißgrenzmaße besser beurteilen können. Dem Anspruch, die Instandsetzung ähnlich Neufertigung auszuführen, kann man damit gerecht werden. Allen Beteiligten ist klar, dass mit diesem System eine neue Ära begonnen hat und die Möglichkeiten mit den Erkenntnissen und Anforderungen wachsen werden.

An dieser Stelle sei noch allen Projektbeteiligten für den Einsatz und die Zusammenarbeit gedankt.

Frechen, im Februar 2005

RWE Power AG
Technikzentrum Tagebaue/HW
Frechener Straße
50226 Frechen (Habbelrath)
Tel.: (49) 2234/935-69140
Fax: (49) 2234/935-69148
e-mail: werner.lindenhoven@rwe.com

MABOTIC - Robotics & Automation
Werk P2
Kalscheurener Str. 19
50354 Hürth
Tel.: (49) 2233/966-421
Fax: (49) 2233/966-571
e-mail: hackel@mabotic.de

APS GmbH
Europäisches Zentrum für Mechatronik
Reutershagweg 4
52074 Aachen
Tel.: (49) 241/8864-126
Fax: (49) 241/875715
e-mail: starke@aps-mechatronik.de

Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik
Im Weidig 1-4
63785 Obernburg
Tel.: (49) 6022/503-0
Fax: (49) 6022/503-110
e-mail: info@reisrobotics.de

Durum GmbH
Linselles Straße 125
47877 Willich
Tel.: (49)2154-4837-0
Fax: (49)2154-483778
e-mail: internet@durmat.com

PlasmaStar GmbH
Ravelsberger Str. 88a
52146 Würselen
Tel.: (49) 2405/95243
Fax: (49) 2405/94594
e-mail: