

Die Anwendung des Widerstands-Rollnaht-Beschichtens bei der Instandsetzung von Bauteilen

Ing. G. Kastner, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

Das Widerstandsauftragschweißen (auch Widerstands-Rollnaht-Beschichten und nachfolgend mit WRB abgekürzt) wurde in der UdSSR für das Beschichten von Bauteilen aus Stahl und Gußeisen nutzbar gemacht.

Das Verfahren, zu dem in [1] bereits ein allgemeiner Überblick gegeben wurde, ist eine Bereicherung bereits vorhandener Instandsetzungsmöglichkeiten. Nachfolgend wird über erste Ergebnisse mit importierten WRB-Anlagen berichtet.

1. Grundlagen des WRB-Verfahrens

Das WRB-Verfahren beruht auf dem Prinzip des Widerstandsnahtschweißens, wie es in der Industrie zur Anwendung kommt (Bild 1):

- Der Zusatzwerkstoff 4 (z. B. Blechstreifen) wird in die Führung 5 eingelegt und durch die zwei gegenüberliegenden Rollenelektroden 1 und 2 (eine Cu-Legierung) mit Hilfe der Elektrodenanpreßkraft F_E an das Schweißteil 3 gepreßt.
- Durch Impulsgeber werden Schweißimpulse (I_S Schweißstrom) erzeugt, deren Länge (t_S Stromzeit) und Abstand (t_P Pausenzeit) zueinander einstellbar sind.
- Durch gleichförmige Rotation des Schweißteils und gleichzeitigen Vorschub der Rollenelektroden erfolgt eine Beschichtung.

2. WRB-Anlagen

Zwei WRB-Anlagen aus der UdSSR wurden für das Beschichten und Härten erprobt:

- WRB-Anlage OKS-9862 A, die auf der Basis der Drehmaschine Typ 1 K 62 als Drehvorrichtung aufgebaut ist
- WRB-Anlage OKS-12296, die eine eigene Drehvorrichtung mit hydraulischem Antrieb hat.

Einige technische Daten der WRB-Anlage OKS-12296 sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Beim elektrischen Anschluß ist der Standard TGL 190-240/03 zu beachten, denn der höchstzulässige Spannungsabfall darf nicht überschritten werden. Die Anlagen werden deshalb an die betriebliche Trafostation angeschlossen. Für jeden Maschinentyp sind die optimalen Schweißparameter zu ermitteln.

3. Grund- und Zusatzwerkstoffe

Grundwerkstoffe:

Rotationssymmetrische Einzelteile landtechnischer Arbeitsmittel bestehen vorwiegend aus

- unlegierten und niedriglegierten Einsatz- und Vergütungsstählen
- allgemeinen Baustählen
- in wenigen Fällen aus korrosionsträgen, höherfesten, verschleißfesten oder hochlegierten Stählen und Gußeisen (z. B. Keilriemenscheiben).

Folgender Wärmebehandlungszustand liegt vor:

- ohne Wärmebehandlung (normalisiertes Gefüge)
- Vergütungsgefüge (Festigkeit 700 bis 1 200 MPa)

- gehärtet auf 50 bis 62 HRC.

Bisher wurden Probekörper und Bauteile aus folgenden Werkstoffen beschichtet:

- St 38 u-2
- 16MnCr5, Härte 60 ± 2 HRC und ungehärtet
- 20MnCr5, Härte 62 ± 2 HRC
- 20MoCr5, Härte 58 ± 2 HRC
- C45, Härte 58 HRC und ungehärtet
- C60, Härte 62 HRC und ungehärtet

Zusatzwerkstoffe:

Verarbeitet wurde bisher Rundstahl nach Tafel 2.

4. Verfahrenstechnische Untersuchungen

4.1. Messungen

Die ermittelten Meßwerte der Anlage OKS-9862 A sind nicht auf die Anlage OKS-12296 übertragbar, da sich die Anlagen konstruktiv unterscheiden.

Daraus lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Bei gleichem Wert des Primärstroms am Anzeigergerät beträgt der Sekundär-schweißstrom I_S der OKS-12296 das 1,27fache des I_S der OKS-9862 A.
- Der Einfluß des Bleches auf Schweißwerte ist vernachlässigbar.
- Der Unterschied der elektrischen Werte zwischen WRB und Widerstands-Rollnaht-Härten (WRH) ist vernachlässigbar.
- Die Werte am Druckmanometer für die Druckrollen stimmten mit den erzeugten Druckkräften nicht überein.
- Bei größer werdendem Durchmesser des Werkstücks wird bei gleichem Phasenanschnitt ϕ der Schweißstrom kleiner.

Die Messung erfolgte durch das ZIS Halle mit folgenden Geräten:

- LM 13 D (Peco Elektroschweißtechnik, BRD) für Strom- und Spannungsmessung
- DKM 3 000 N (VEB Kraftmeßgerät Halle) für Kraftmessung.

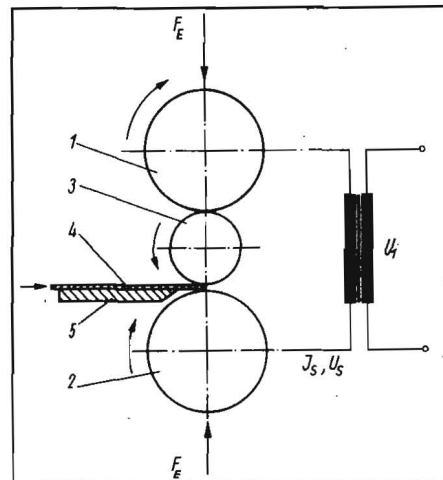


Bild 1. Prinzip des Widerstands-Rollnaht-Beschichtens von Wellen (Erläuterung im Text)

Tafel 1. Technische Daten der WRB-Anlage OKS-12296

- verschweißbare Blechdicke	max. 1,0 mm
- Durchmesser aufzuarbeitender Teile	10 bis 100 mm
- größte Länge aufzuarbeitender Teile	1 000 mm
- Nennschweißstrom I_{2N}	5,6 kA
- Sekundärleerlaufspannung U_{2L}	2,82 bis 6,43 V
- Anschlußleistung P_{An}	36 kW
- Auftragleistung P_A	60 cm ² /min
- Drehzahl des Aufnahmefutters n	0 bis 25 min ⁻¹ stufenlos
- Längsvorschub des Supports s	2,5 und 3 mm/U
- Elektrodenanpreßkraft F_E	200 bis 250 kPa
- Abmessungen WRB-Anlage (LBH)	1 960 × 1 200 × 1 500 mm
- Stromunterbrecher (LBH)	660 × 400 × 1 250 mm
- Masse m	1 000 kg
- Luftanschluß p	0,6 MPa
- Kühlwasser Menge	max. 10 l/min
- Druck p	0,3 MPa

Tafel 2. Werkstoffgüten und -dicken beim Einsatz von Bandstahl als Zusatzwerkstoff

lfd. Nr.	Bandstahlgüte	Dicke in mm
1	St Gu / St 38 u-2 / St 42 u-2	0,5 / 0,5; 1,0; 1,5 / -
2	16MnCr / 13Cr3	1,0 / 0,5
3	30Mn5 / C25 / C35 / St 50-2	0,7 / - / 0,5 / 0,3
4	C45 / Ck55 / 50CrV4	1,0 / 0,5; 0,7 / 0,5

4.2. Ergebnisse der Versuchsdurchführung

4.2.1. WRB-Verfahren mit Stahlblech

Mit dem WRB-Verfahren wurden Wälzlager-sitze, Gleitlagerflächen und Nadellagerlauf-flächen mit Stahlblech beschichtet. Dabei wurden folgende Einflüsse betrachtet:

- Die Sekundärspannung bleibt bei unterschiedlicher Dicke des Zusatzwerkstoffes beim Beschichten annähernd konstant.
- Gute Ergebnisse wurden mit 0,5 mm dik-kem Blech erzielt, während 1,0 mm dickes

Blech eine schlechtere Bindung mit dem Grundwerkstoff brachte.

Die Bindung der Werkstoffpartner wurde anhand von metallographischen Aufnahmen sowie durch stufenweises Abschleifen der Schichten bis 0,02 mm Dicke und einseitig in den Grundwerkstoff untersucht.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurde fest-gestellt:

- Die beste Bindung wurde bei den Werk-stoffpartnern ermittelt, die aus gut-

Tafel 3. Ergebnisse der Härtemessung der mit MAG-Auftragschweißen behandelten und auf der WRB-Anlage OKS-12296 gehärteten Probekörper und Bauteile

Grundwerkstoff	MAG-Schweißdrahtgüte	Härte HV 5		Härtesteigerung in %
		vor WRH	nach WRH	
St 42	—	347	—	—
	10MnSi6	327	422	29
	30MnCrTi5	401,5	477	19
C60 gehärtet	—	729,5	—	—
	10MnSi6	337	505	50
	30MnCrTi5	407	618	52
16MnCr5 EGH	—	801	—	—
	10MnSi6	242	445	84
	30MnCrTi5	270	515	91

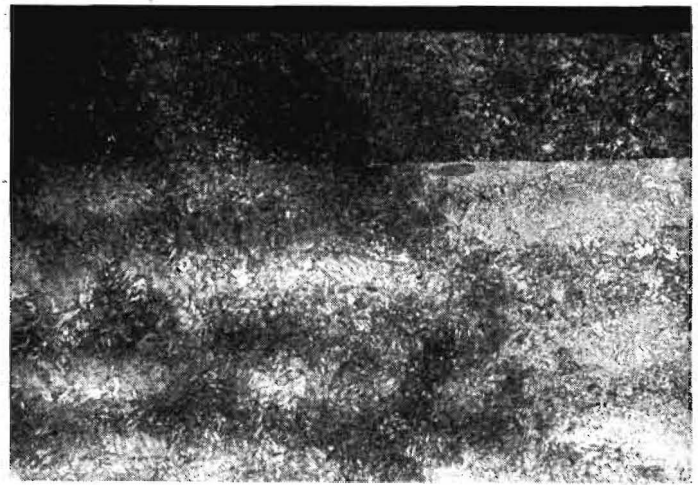


Bild 2 Übergang WRB-Naht Bandstahl C35/Grundwerkstoff 16MnCr5 (nicht aufgekühlt)

Tafel 4. Härtewerte verschieden behandelter Probekörper und Bauteile

lfd. Nr.	Benennung	Härte in HRC
1	Nadel- und Gleitlager einsatzgehärtet	48 ... 62
2	MAG-AS / 30MnCrTi5 und WRH	46
3	MAG-AS / 50MnCrTi4 und WRH	52
4	16MnCr5 einsatzgeh. und WRB/C35	54 ... 58
5	16MnCr5 nicht aufgekühlt und WRB/C35	55 ... 60
6	MAG-AS / 45CrSi34 (DUR 600)	57
7	MAG-AS / 50MnCrTi4 (DUR 300)	25 ... 40
8	MAG-AS / 30MnCrTi5 (DUR 250)	23 ... 34

Tafel 5. Vergleich einiger technisch-ökonomischer Werte zwischen MAG-Auftragschweißen und WRB

Benennung	MAG-AS	WRB
Schweißgeschwindigkeit in m/min	0,4	0,6
Schweißvorschub ϕ in mm/U	2,5 ... 4	2,5 ... 3
Auftragleistung in cm ² /min	14	20

schweißbaren Werkstoffen wie St 38 und St 42 bestehen.

- Mit zunehmendem C-Gehalt und zunehmender Härte nahm die Bindung ab. Dabei blätterte die Schicht bei einer Dicke von 0,02 mm teilweise streifenförmig ab, und die Risse nahmen zu.
- Gute Ergebnisse für Praxisbedingungen wurden z. B. mit Bandstahl aus C35 auf 16MnCr5 gehärtet erzielt. C35 ist zäher als höher gekohlter Werkstoff und haftet besser.
- Die zu beschichtende Oberfläche muß metallisch rein und fettfrei sein. Frisch gestrahlte Oberflächen brachten keine bessere Bindung.

Für die Qualität der Bindung zwischen den Werkstoffpartnern sind maßgeblich die Strompulslänge t_s , die Pausenpulslänge t_p , der Phasenanschnitt ϕ und die Elektrodenkraft F_E verantwortlich.

Als optimale Werte für $T = 1/50$ s (1 Periode) wurden ermittelt:

- $t_s = 6$ T
- $t_p = 5$ und 6 T
- $F_E = 1\ 250 \dots 1\ 500$ N.

Der Phasenanschnitt ϕ wurde so eingestellt, daß gerade noch kein Durchschmelzen der Blechoberfläche eintrat. Die Rollenelektroden (geforderte Breite 5 mm) müssen sauber sein und in voller Breite genutzt werden, da sonst eine Erhöhung des Kontaktwiderstands eintritt. Damit entsteht eine erhöhte Wärmeentwicklung, was wiederum zur weiteren Anlagerung von Stahlpartikeln an den Cu-Elektroden führt.

Der Einfluß des Werkstückdurchmessers ist relativ klein, da der Ohmsche Widerstand der Welle gegenüber dem Kontaktwiderstand Rollenelektrode–Zusatzwerkstoff Blech gering ist. Die Stromstärke sinkt bei Verdopplung des Werkstückdurchmessers nur auf den 0,39fachen Wert der Ausgangsstromstärke.

4.2.2. Metallaktivgas-Auftragschweißen (MAG-Auftragschweißen) und Widerstands-Rollnaht-Härten (WRH)

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der WRB-Anlagen ist das Härten. Die Durchführung erfolgt wie beim WRB-Verfahren mit gleichen Werten, nur ohne Zusatzwerkstoff. Verschweißt wurden Drähte aus DDR-Produktion der Güten 10MnSi6, 30MnCrTi5 und 50MnCrTi4, die anschließend dem WRH-Verfahren unterzogen wurden.

Notwendige Arbeitsgänge bei der Einzelteilinstandsetzung sind:

- MAG-Auftragschweißen
- Vordrehen
- WRH
- Schleifen.

Die Ergebnisse der Härtemessung der mit diesem Verfahren behandelten Proben und Einzelteile sind in Tafel 3 zusammengestellt. Eine Härtesteigerung von 29 bis 84 % wurde bei der Werkstoffkombination Schweißgut aus 10MnSi6/aufhärbarer Grundwerkstoff erreicht, wobei die verbleibende Schichtdicke max. 0,15 mm betrug.

4.2.3. Aussagen zur Werkstoffuntersuchung

Die metallographischen Untersuchungen und Härtemessungen wurden im VEB IFA-Motorenwerke Nordhausen durchgeführt.

Bei Verwendung von Vergütungsstählen als Zusatzwerkstoff (Bandstahl) traten Risse auf, die nicht in den Grundwerkstoff gehen und damit keine zusätzliche negative Beeinflussung der Dauerfestigkeit bedeuten. Die Ergebnisse der Härtemessung enthält Tafel 4. Es wurde eine Mikrohärtigkeit $H_m = 637,5 \dots 846,4$ vom C35 auf 16MnCr5 (einsatzgehärtet) gemessen.

Das Gefüge besteht gemäß Bild 2 im Übergang Blech/WRB-Naht aus Martensit und angelassenem Martensit in der Schweißnaht sowie im Blech. Die Wärmebeeinflussung beim MAG-Auftragschweißen in die Tiefe des Grundwerkstoffs ist doppelt so groß wie beim WRB/WRH.

5. Untersuchungen zur Verschleiß- und Dauerfestigkeit

Wegen der Neuheit der WRB/WRH-Verfahren sind Verschleiß- und Dauerfestigkeitsuntersuchungen erforderlich.

Auf WRB-Anlagen aufgeschweißte Schichten sind nicht mit dem Grundwerkstoff vermischt, d. h. beim Schweißen verbrennen und verdampfen keine Legierungselemente. Demzufolge haben sie Grundwerkstoffeigenschaften. Verschleißuntersuchungen werden deshalb z. Z. nur beim Beanspruchungsfall Nadellager durchgeführt.

In der betriebseigenen Erprobung laufen z. Z. 6 Einzelteilpositionen der Traktoren ZT 300 und ZT 303.

Dauerfestigkeitsuntersuchungen werden an repräsentativen Einzelteilpositionen vorbereitet. Weitere Dauerfestigkeitsergebnisse werden aus der genannten Einsatzerprobung erwartet.

6. Derzeitige Anwendung der WRB-Anlagen

Die Auswahl der Einzelteile wurde nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Einzelteile mit komplizierter Gestalt, bei denen der Aufwand für das thermische Spritzen sehr hoch ist
- Einzelteile, bei denen sich die Plastbeschichtung mit dem Plastpulver EFP 60 nicht besonders bewährt hat
- Einzelteile zum Zweck der Anwendung von einheimischen Zusatzwerkstoffen mit anschließendem Härten (WRH).

Das derzeitige Aufarbeitungssortiment im ersten Anwendungsbetrieb für WRB, dem VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk Gardelegen, beläuft sich auf rd. 5 Einzelteilpositionen. Das Sortiment an Einzelteilen für die WRB/WRH-Behandlung wird mit Zunahme der Erfahrungen schrittweise erweitert.

7. Ökonomische Betrachtungen

Die folgenden Einschätzungen beruhen auf der Grundlage der genannten WRB-Anlagen und des untersuchten Sortiments.

Nutzungsdauerbezogene ökonomische Aussagen können derzeit noch nicht getroffen werden. Tafel 5 enthält den Vergleich einiger technisch-ökonomischer Werte. Die Werte sind nur realistisch bei Schichtdicken von 0,15 bis 0,3 mm nach der mechanischen Bearbeitung. Der Zusatzwerkstoff muß beim WRB z. Z. noch von Hand zugeführt werden. Deshalb wächst der Zeitaufwand je Beschichtungsstelle noch um 0,5 bis 1,0 min. Eine Mehrmaschinenbedienung ist aus dem Grund z. Z. kaum möglich.

8. Zusammenfassung

Zwei sowjetische Anlagen zum Widerstands-Rollnaht-Beschichten (WRB) wurden auf ihre Anwendbarkeit für die Bauteilaufrarbeitung landtechnischer Arbeitsmittel untersucht. Bisher wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Darstellung der Verfahrensgrundlagen
 - Ermittlung der optimalen technologischen Meßwerte und Parameter zum Beschichten von Bauteilen mit Stahlblech und zum Härten
 - Darstellung der Auswirkungen der wichtigsten Einflußgrößen auf den Beschichtungsvorgang
 - Metallographische Untersuchungen und Härtemessungen
 - Zusammenstellung eines Probesortiments
 - Einsatzmöglichkeiten der WRB-Anlagen
 - erste ökonomische Aussagen
 - erste Einschätzung der Verschleiß- und Dauerfestigkeitsuntersuchungen
 - Erstellung einer Rahmentechnologie zum Beschichten mit Stahlblech und zum Härten sowie zur mechanischen Bearbeitung von Bauteilen für den Anwenderbetrieb.
- Das WRB-Verfahren ist auf den Anlagen zum

Beschichten von Festsitzen und Gleitlagerflächen geeignet, wenn die z. Z. laufenden Dauerfestigkeitsuntersuchungen mit positiven Ergebnissen abgeschlossen werden. Eine Aussage über die Anwendung des Verfahrens für Nadellagersitze kann erst nach Abschluß der Untersuchungen getroffen werden.

Das WRB-Verfahren stellt eine Bereicherung der Aufarbeitungsmöglichkeit von Bauteilen dar.

Literatur

- [1] Poljatschenko, A. V.; Kastner, G.; Kulwatz, H.: Widerstandsauftragschweißen von Bauteilen. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 2, S. 82-83.

A 3887

Anwendung von Polyamid bei der Instandsetzung von Einzelteilen

Dipl.-Ing. R. Puttscher, KDT/Dr.-Ing. J. Stibbe, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

Neben den weit verbreiteten Verfahren des Metallklebens, Gießens und Laminierens kommen als plasttechnische Instandsetzungsmöglichkeiten auch Pulverauftragverfahren zum Einsatz. Solche Auftragverfahren sind z. B. das manuelle und mechanisierte Streuen von Plastpulver. Gegenwärtig wird hierbei fast ausschließlich das Epoxidharz-Beschichtungspulver Epilox RZ 50-71 (frühere Bezeichnung: Epilox EFP 60) angewendet, das sich vor allem bei der Instandsetzung von Wälzlagersitzen bewährt hat. Aber auch Beispiele für die Instandsetzung gleitender Lagerungen sowie von Dichtringsitzen an Wellen und Achsen sind hinreichend bekannt. Oft erfolgt die Anwendung des Epilox RZ 50-71 dann, wenn wegen des möglichen Verzugs oder metallurgischer Veränderungen ein Auftragschweißen nicht möglich ist. Bei Untersuchungen zur Anwendung von Polyamidbeschichtungspulver sollte ein Plastwerkstoff nachgewiesen werden, der in größerem Umfang zur Instandsetzung von Gleitlagersitzen einsetzbar ist und somit die bisherige Platanwendung ergänzt.

1. Beschichtungspulver Miramid H

Das Beschichtungspulver Miramid H besteht

aus Polyamid 6 (PA 6). PA 6 ist ein teilkristalliner Thermoplast. Die Produktion erfolgt im VEB LEUNA-Werke „Walter Ulbricht“. Im Gegensatz zu Polyethylen (bekannt unter der Firmenbezeichnung Mirathen) zeichnet sich Polyamid durch höhere Härte, größere Schlagfestigkeit und wesentlich höhere Verschleißfestigkeit aus und sollte daher innerhalb der thermoplastischen Beschichtungspulver bevorzugt angewendet werden. Da es sich um Thermoplaste handelt, ist im Anschluß an die Beschichtung keine thermische Nachbehandlung (Aushärtung) notwendig. Im Gegensatz hierzu ist beim duroplastischen Epoxidharzpulver Epilox RZ 50-71 eine Aushärtung nach der Art der drucklosen Polyaddition erforderlich. Ferner wird die Verschleißfestigkeit neben dem Gehalt an Graphit und anderem Zusatz bei Epilox RZ 50-71 auch durch die Aushärtebedingungen beeinflusst. Hohe Aushärtetemperatur (kurze Härtezeit) bedeutet geringeren abrasiven Verschleiß und umgekehrt [1]. Eine thermische Nachbehandlung von Polyamidschichten im Umgebungsmedium Luft würde hingegen aufgrund der Verdunstung von aufgenommenem Wasser nur zur Versprödung führen und ist demzufolge nicht zweckmäßig.

Der Auftrag von Polyamidbeschichtungspulver ist generell bei einer Temperatur des Einzelteils von 220 bis 380 °C möglich. Je höher die Temperatur des Einzelteils ist, um so höher ist die Oxydationsfreudigkeit der Schmelze. Deshalb und im Interesse der Energieökonomie sollte nur der untere Temperaturbereich von 230 °C bis 240 °C angewendet werden.

Durch Rezepturenentwicklung ist es möglich geworden, ein sehr thixotropes Produkt mit verbesserter Haftung auf Stahloberflächen anzuwenden [2]. Verschleißuntersuchungen [3] bestätigen die Eignung.

2. Anwendungsbeispiele und Aufgabe der Polyamidnanwendung

Das Erprobungssortiment umfaßt z. B. Lenkzapfen ZT 303, Pendelbolzen ZT 303, Achsschenkel ZT 300, Achsschenkelbolzen ZT 300, Lenkspindelteile ZT 300 und Achsschenkel MTS-50 (Tafel 1).

Diese Positionen werden gegenwärtig durch andere Aufbereitungsverfahren instand gesetzt. So erfolgt z. B. bei Lenkzapfen ZT 303 ein galvanisches Eisenauftragen und bei Pendelbolzen ZT 300 ein MAG-Auftragschweißen (Tafel 2). Durch die Einzelteilinstandsetzung mit Hilfe von Polyamidbeschichtungspulver sollen Alternativlösungen zu diesen bestehenden Aufbereitungsverfahren geschaffen werden. So soll es möglich werden, auch dann eine qualitätsgerechte Instandsetzung auszuführen, wenn teure Anlagen, z. B. für das galvanische Eisenauftragen oder für das Lichtbogenmetallspritzen, im jeweiligen Betrieb nicht vorhanden sind. Dadurch können der Transportaufwand reduziert und die Verfügbarkeit der in Frage kommenden Einzelteile erhöht werden. Hinsichtlich der Materialökonomie der Polyamidnanwendung ist im Vergleich zur Anwendung von Epoxidharz Epilox RZ 50-71 festzustellen, daß die spezifischen Auftragwerkstoffkosten bei Polyamidnanwendung rd. 60 % geringer sind als bei der Epoxidharzanwendung. Sie betragen 0,0434 M/cm³ bei Epilox RZ 50-71 und nur

Pos.	Ersatzteilnummer	Benennung des Einzelteils	Nutzungsdauer in h (per 30. Okt. 1982)
1	0630086106	obere Lenkzapfen ZT 303	1 040
2	0630086101	untere Lenkzapfen ZT 303	1 040
3	721021518	Pendelbolzen ZT 303	950
4	030051029	Achsschenkel ZT 300	900
5	030051015	Achsschenkelbolzen ZT 300	900
6	030052022	Lenkspindelmittelteil ZT 300	750
7	030052017	Lenkspindeloberteil ZT 300	2 580
8	50-3001062(63)-A	Achsschenkel MTS-50	1 200

Tafel 1
Erprobungssortiment für Polyamidbeschichtung (teilweise aus [4] entnommen)