

Einzelteilinstandsetzung

Am 21. und 22. November 1985 veranstaltet der Fachausschuß Einzelteilinstandsetzung im Fachverband Land-, Forst- und Nahrungsgütertechnik der KDT in Schwerin seine 5. Informationstagung. Sie steht unter dem Thema „Aufgaben der Einzelteilinstandsetzung zur Durchsetzung einer hohen Material- und Energieökonomie bis 1990“.

Anläßlich dieser Tagung haben wir im ersten Themenkomplex unseres Novemberheftes einige interessante Beiträge zur Einzelteilinstandsetzung zusammengestellt. Die spezielle Aufmerksamkeit der Landtechniker verdienen dabei u. a. die neuen technologischen Verfahren und der Einsatz neuer Auftragwerkstoffe sowie die technisch-ökonomischen Untersuchungen zur Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung.

Die Redaktion

Instandsetzung von Zahn- und Kettenrädern – Ergebnisse und Erfahrungen

Dipl.-Ing. H. Kulwatz, KDT/Dr.-Ing. J. Stibbe, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

1. Einleitung

Auf dem Gebiet der Einzelteilinstandsetzung (ETI) sind in den zurückliegenden Jahren mit der Spezialisierung und der damit verbundenen Einführung moderner Regenerierungsverfahren bedeutende Erfolge erzielt worden. Jetzt kommt es darauf an, Einzelteile, die bisher nicht oder nur in Ausnahmefällen instand gesetzt werden, zu regenerieren. Diese Einzelteile weisen aber zum großen Teil komplizierte Formen auf, die mit den bisher üblichen Auftragverfahren nicht oder nicht produktiv instand gesetzt werden können. Zu diesen Einzelteilen gehören die Zahn- und Kettenräder, die im Rahmen von Grundlagenforschungen an der Ingenieurhochschule Berlin [1, 2] untersucht und für die entsprechende Verfahren zur Instandsetzung erarbeitet wurden. An Zahn- und Kettenrädern können generell folgende Schäden auftreten:

- Verschleiß der Hauptverzahnung
- Brüche in der Haupt- und Schaltverzahnung
- Seitenverschleiß der Schaltverzahnung
- Pittingbildung
- Schleifspuren
- Freßerscheinungen
- Verschleiß in den Bohrungen und Nabenprofilen
- Risse
- Deformierungen infolge des Einwirkens von Fremdkörpern
- Abplatzungen
- Verformungen.

2. Schadensanalyse

Die Arten der Schäden und die Häufigkeit des Anfalls sind je nach Zahnrad- und Kettenradtyp sehr verschieden und auf die unterschiedliche Belastung zurückzuführen. Im Rahmen einer Schadensanalyse an den Hauptträgern 1 bis 3 des Wechselgetriebes des Traktors ZT300 [3] wurden z. B. folgende Schäden mit nachstehendem prozentualem Anfall ermittelt (Stichprobengröße $n = 74$, ohne Vorauswahl):

- Ohne Nacharbeit wiederverwendbarer Anteil der Hauptträger beträgt (in der Reihenfolge 1 bis 3) 0%, 4,0% und 2,7%.
- Schwerpunkt des Verschleißes ist der Schaltzahnring, der bei allen Zahnradern

instand gesetzt bzw. erneuert werden muß (100%, 96%, 97,3%).

- 78 % der Hauptträger 1, 77 % der Hauptträger 2 und 92% der Hauptträger 3 sind in der Bohrung verschlissen. (Da mit der Erneuerung des Schaltzahnringes die Bohrung nachgearbeitet werden muß und dies nicht innerhalb des Betriebsgrenzmaßes möglich ist, fallen ebenfalls alle Bohrungen zur Instandsetzung an.)
- Der Verschleiß an der Außen-Schrägstirnradverzahnung beträgt für die Hauptträger 1 bis 3 45%, 54% bzw. 67%.
Daraus ergibt sich die Regenerierung der Funktionsstellen.

3. Grundvarianten der Aufarbeitung

Für die aufgeführten Verschleißstellen an den Zahn- und Kettenrädern wurden von der Ingenieurhochschule Berlin folgende technologische Möglichkeiten zur Instandsetzung vorgeschlagen (s. a. [1, 2]):

- Umformung zur direkten Instandsetzung der Verzahnungen in den Varianten
 - Materialverdrängung mit Hilfe eines Druckwulstelements
 - Materialverdrängung durch Durchsetzen
 - Materialverdrängung einer aufgetragenen Materialreserve
 - Aufweiten
- Fügetechnik zur indirekten Instandsetzung der Verzahnungen
 - Elektronenstrahlschweißen radial
 - Elektronenstrahlschweißen axial.

Aufgrund des in der Praxis erreichten Standes kann eingeschätzt werden, daß mit beiden aufgeführten Grundverfahren die Instandsetzung der Zahn- und Kettenräder effektiv, qualitätsgerecht und umfassend möglich ist. Deshalb sollen die o. g. technologischen Möglichkeiten nachfolgend näher erläutert werden.

3.1. Umformung von Verzahnungsteilen

3.1.1. Materialverdrängung mit Hilfe eines Druckwulstelements (Bild 1)

Hierbei wird am Stempel ein Druckwulstelement angebracht, das die Materialreserve aus dem Steg des Zahnrades in Richtung der verschlissenen Verzahnung verschiebt. Bei

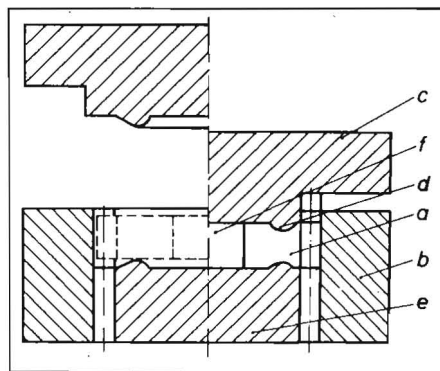


Bild 1. Werkzeug mit Druckwulstelement; a Einzelteil, b Matrize, c Stempel, d Druckwulstelement, e Auswerfer, f Dorn
- - - Einzelteil vor dem Umformen
— Einzelteil nach dem Umformen

Bedarf kann auch am Auswerfer ein Druckwulstelement angebracht werden, so daß dann ein beidseitiger Materialfluß in Richtung der verschlissenen Verzahnung ermöglicht wird. Anzuwenden ist dabei eine verzahnte Matrize, in der sowohl Stempel und Auswerfer geführt als auch das Werkstück aufgenommen und dessen Umformung bezogen werden. Dieses Prinzip wird bei der Umformung der Kettenräder im VEB LIW Demmin angewendet [4].

3.1.2. Materialverdrängung durch Durchsetzen (Bild 2)

Hierbei kommt eine verzahnte Matrize zur Anwendung, in die der mit Stirnschräge verzahnte Stempel eingreift. Das Einzelteil mit Verschleiß im Zahnstirnbereich ist so in die Matrize einzulegen, daß der Verschleiß nach unten zeigt. Der Stempel setzt dann die Verzahnung durch, so daß der Verschleiß ausgeglichen wird. Die Anwendung ist bei Zahnradern vorgesehen. Dazu ist aber erst der Aufbau der Umformeinheit mit entsprechendem Umformvermögen im VEB LIW Pritzwalk erforderlich.

3.1.3. Materialverdrängung einer aufgetragenen Materialreserve

Vor der Anwendung der Umformung ist bei

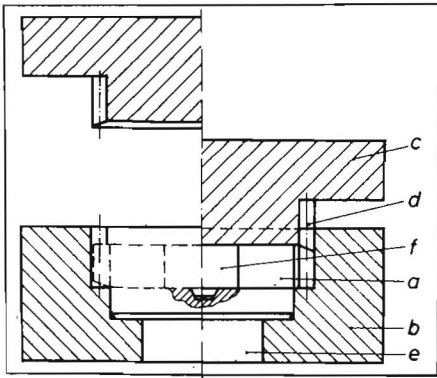


Bild 2. Werkzeug zum Durchsetzen;
 a Einzelteil, b Matrize, c Stempel, d Verzahnung des Stempels mit Stirnschräge zum Durchsetzen, e Auswerfer, f Dorn
 - - - Einzelteil vor dem Umformen
 — Einzelteil nach dem Umformen

diesem Prinzip eine Materialreserve durch ein Auftragverfahren, zum Beispiel MAG-Auftragschweißen, aufzubringen. Anschließend ist die Umformung durchzuführen, wobei die technologischen Varianten „Druckwulstelement“ und „Durchsetzen“ angewendet werden können. Das Verfahren wird ab Ende 1985 im VEB LIW Demmin bei der Instandsetzung der Kettenräder mit größerem Verschleiß eingesetzt [4].

3.1.4. Aufweiten

Beim Aufweiten wird der Werkstoff des Zahnrades von der Bohrung oder vom Steg in Richtung der Verzahnung verdrängt. Dazu wird eine zylindrische Matrize benutzt. Der Kopfkreisdurchmesser des Einzelteils schlägt am Innenmantel der Matrize an und begrenzt die Umformung.

Die Einführung des Verfahrens ist auf der Umformanlage des VEB LIW Pritzwalk vorgesehen, wobei dann auch schrägverzahnte Zahnräder umgeformt werden.

Zur Umformung von Zahn- und Kettenrädern muß generell festgestellt werden, daß dafür eine Presse notwendig ist, die keinen festen Hub hat, da die umzuformenden Einzelteile aufgrund des unterschiedlichen Verschleißes und der unterschiedlichen Fertigung große Volumenschwankungen aufweisen. Als geeignet für die Erfüllung derartiger Aufgaben unter den Bedingungen und für die Einzelteilsortimente der landtechnischen Instandsetzung erweisen sich Reibspindel- oder Bogenstatorpressen mit einer Umformkraft von rd. 6000 kN.

Zur notwendigen Erwärmung vor der Umformung sind Mittelfrequenzinduktionsanlagen (z. B. Typ ME 110/8) am günstigsten, da sie – ein schnelles Erwärmen ermöglichen, was sich günstig auf eine geringe Zunderbildung und damit geringe Entkohlung auswirkt
 – einen guten Wirkungsgrad haben und damit Energie einsparen
 – umweltfreundlich sind
 – eine örtliche Erwärmung am Einzelteil bis zur Umformtemperatur (rd. 1100°C) ermöglichen.

3.2. Elektronenstrahlschweißen

3.2.1. Elektronenstrahlschweißen radial

Beim Elektronenstrahlschweißen radial (Bild 3) muß sich das Einzelteil unter dem Elektronenstrahl drehen, wobei die Werk-

stückachse zum Elektronenstrahl einen Winkel von rd. 90° einnimmt [1].

Nach diesem Prinzip werden folgende Einzelteile instand gesetzt [5]:

- Anlasserritzel
 Anschweißen eines neu gefertigten Zahn- teils an den wiederverwendeten Schaft
- Halbachse und Vertikalwelle der angetriebenen Vorderachse des Traktors MTS-52
 Anschweißen eines vorgedrehten Rohlings an die wiederverwendete Welle. Der Rohling wird nach dem Elektronenstrahl- schweißen gedreht und anschließend verzahnt und gehärtet.
- Getrieberäder
 An das durch Umformen der Bohrung und Abarbeiten des verschlissenen Schalt- zahnringes vorbereitete Zahnteil wird durch Schweißen ein vorgefertigter Schaltzahnring angefügt. Anschließend erfolgen das Härten und die Fertigbear- beitung der Bohrung.

Alle aufgeführten Einzelteile werden auf der Elektronenstrahlschweißanlage ESA 30/5 im VEB LIW Pritzwalk in Serie instand gesetzt.

3.2.2. Elektronenstrahlschweißen axial

Das Einzelteil muß sich ebenfalls unter dem Elektronenstrahl drehen (Bild 4), wobei die Werkstückachse zum Elektronenstrahl parallel angeordnet ist. Ein Drehen des Werkstücks und damit das Schweißen von beiden Seiten ist möglich, wenn die Schweißtiefe von einer Seite nicht ausreicht.

Für diese technologische Variante gibt es bisher noch kein Überleitungsbeispiel im VEB LIW Pritzwalk.

Allgemein sind beim Elektronenstrahlschweißen folgende technologische Voraussetzungen und Bedingungen zu erfüllen:

- Zusammenpressen der Teilsegmente beim Schweißen mit 0,5 MPa/cm².
- Der Spalt darf nicht mehr als 0,05 mm betragen.
- Die Flächen müssen bearbeitet sein, die Rauhtiefe darf nicht mehr als 15 µm betragen.
- Die äußeren Kanten der zu verbindenden Flächen müssen mit Fasen von 1 × 45° versehen sein, damit der Elektronenstrahl zentriert werden kann.
- Die Teilsegmente müssen zueinander zentriert sein, was durch die Teile selbst mit Zentrierbund und Senkungen oder durch geeignete Vorrichtungen erfolgen muß.
- Die Abweichungen bei Rotation der Teilsegmente unter dem Elektronenstrahl zum Schweißspalt dürfen 0,05 mm nicht überschreiten.
- Der Kohlenstoffgehalt der zu verbindenden Flächen darf 0,23 % nicht überschreiten, weil es sonst zu Aufhärtungen und damit Rißbildungen kommt.
- Da es zu einer metallischen Verbindung durch Aufschmelzen der zwei aneinanderliegenden Flächen kommt, ist kein Zusatzwerkstoff erforderlich.
- Das Elektronenstrahlschweißen ist aufgrund der Schweißgeschwindigkeiten bis zu 1 m/min ein produktives Verfahren.
- Infolge geringer Wärmeeinwirkzone tritt kein Bauteilverzug ein.

4. Kettenradinstandsetzung

Als erstes Beispiel für die Anwendung der Umformung von Verzahnungen wurde mit der Serieninstandsetzung von Kettenrädern begonnen. Realisiert werden die bereits beschriebenen technologischen Varianten:

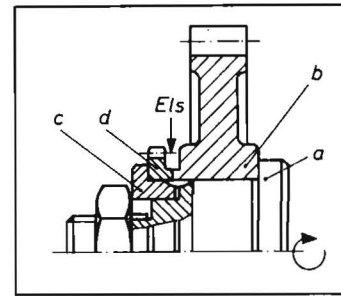


Bild 3. Schweißdorn für das Elektronenstrahlschweißen radial;
 a Dorn, b Grundkörper, c Zentrier- und Spannring, d Schaltzahnring

- Materialverdrängung mit Hilfe eines Druckwulstelements
- Materialverdrängung einer aufgebracht Materialreserve.

Dazu wird die im VEB LIW Demmin vorhandene Anlage zur Ventilinstandsetzung, bestehend aus Umformeinheit und Induktionserwärmungsanlage, die bisher nicht voll ausgelastet war, genutzt.

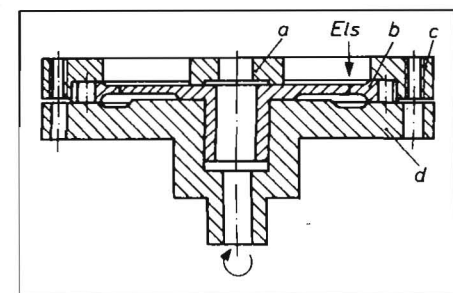
Derzeitig werden 4 Kettenradpositionen instand gesetzt und für 5 weitere die Vorbereitungen zur Instandsetzung getroffen. Davon entfallen auf den Feldhäcksler E280 3 Positionen mit rd. 5000 Stück/Jahr (Ersatzteilnummer 0203889410/0203459230/0203839740) und auf den Kartoffelsammelroder E665 6 Positionen mit rd. 6000 Stück/Jahr (Planlistennummer 06577/06807/07006/07263/07356/07359). Für die Umformung der Kettenräder sind komplizierte Umformwerkzeuge (Bild 5) erforderlich. Sie bestehen aus

- einer Matrize mit Nabenprofil zur formschlüssigen Aufnahme des Kettenrades
- dem profilierten Auswerfer, der in das Profil der Matrize eingreift und an seiner Oberseite einen Druckwulstansatz zur Umformung des Kettenrades von unten aufweist
- dem Stempel, der, ebenfalls profiliert und mit Druckwulst versehen, die gleichen Umformfunktionen wie der Auswerfer ausführt.

Die Herstellung der Matrize erfolgt künftig aus Qualitätsgründen nicht durch Stoßen, sondern durch Drahterodieren. Die Profile von Stempel und Auswerfer müssen mit entsprechenden Kettenradfräsern hergestellt werden. Gegenwärtig gibt es für die Kettenradinstandsetzung folgende abnutzungsbedingte Grenzen:

- Bei der Umformung mit Druckwulstelement an Stempel und Auswerfer kann der Verschleiß der Zähne bis max. 25% der

Bild 4. Schweißwerkzeug für das Elektronenstrahlschweißen axial;
 a Druckscheibe, b Zahnring mit Nabe, c Druckring, d Grundplatte



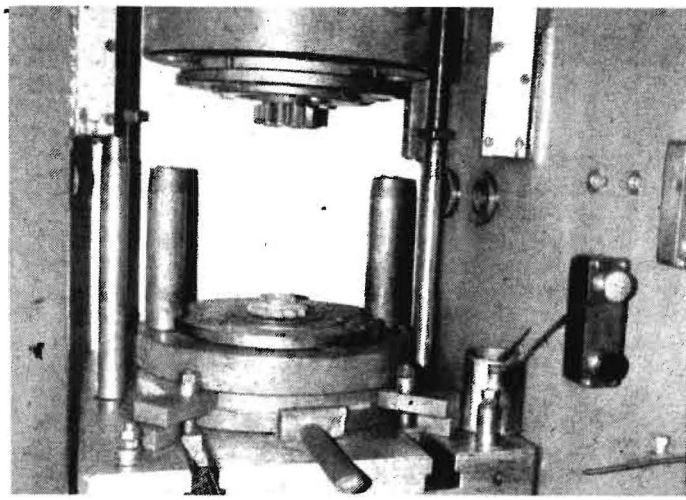


Bild 5. Bogenstatorpresse mit Umformwerkzeugen zur Kettenradumformung mit Kettenrad in Umformausgangsstellung

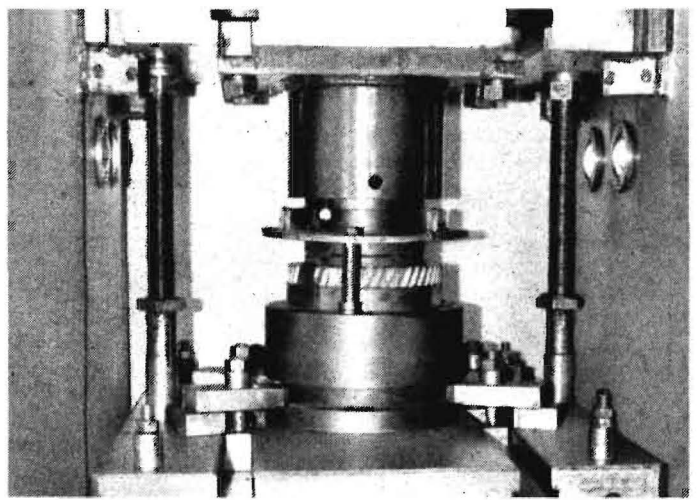


Bild 6. Bogenstatorpresse mit Umformwerkzeugen zur Bohrungsumformung und Getrieberad in Umformendstellung

Zahndicke und max. 10% der Zahnbreite betragen.

- Bei der Umformung einer aufgebracht Materialreserve sowie Druckwulstelement an Stempel und Auswerfer kann der Verschleiß der Zähne bis max. 50% der Zahndicke und bis 25% der Zahnbreite betragen.

Bedingungen für die Anwendung der technologischen Variante „Aufbringen einer Materialreserve“ sind:

- Die aufgebrauchte Materialreserve muß genügend Volumen enthalten, um den Verschleiß und die Zugaben auszugleichen.
- Um die Bildung von Schmiedefalten zu verhindern, ist eine möglichst flache Nahtgestaltung notwendig.
- Das Zusatzmaterial muß so gewählt werden, daß keine wesentlichen Eigenschaftsunterschiede zwischen Zusatzwerkstoff und Grundwerkstoff bestehen.

5. Bohrungsinstandsetzung

Wie bereits erwähnt, ist zur qualitätsgerechten Instandsetzung der Getrieberäder auch die Regenerierung von Bohrungen erforderlich. Da sich in den meisten Bohrungen dieser Teile Nadellagersitze befinden, ist die Anwendung von Auftragverfahren bisher nicht möglich, da diese die erforderliche Verschleiß- bzw. Haftfestigkeit nicht garantieren. Bei der Umformung von Getrieberadbohrungen (Bilder 6 und 7) wird als Materialreserve der verschlissene Schaltzahnring genutzt und damit durch den arteigenen Werkstoff die Bauteilzuverlässigkeit erreicht.

Nachfolgend werden die aus verfahrenstech-

nischen Untersuchungen resultierenden technologischen Schritte, Parameter und Ergebnisse der Bohrungs- und Getrieberadinstandsetzung dargelegt:

- 1.Überschleifen des Kopfkreisdurchmessers als spätere Spann- und Bezugsfläche für die weitere Bearbeitung
- 2.MAG-Schweißen des Freistiches hinter dem Schaltzahnring zur Verhinderung von Rissen
- 3.Überdrehen der MAG-Schweißnaht
- 4.Induktive Erwärmung der Bohrung in der Umformzone (d. h. für rd. 12 mm Schichtdicke) auf eine Umformtemperatur von 1100°C mit Hilfe einer Mittelfrequenzinduktionsanlage mit speziellem Induktor (Bild 8)
5. Umformung der Bohrung mit einem speziellen Umformwerkzeug (Bilder 9 und 10) auf einer Bogenstatorpresse
Die Bohrung wird bei der Umformung um 0,6 bis 0,9 mm über die gesamte Länge zusammengedrückt, was zur späteren Bearbeitung auf Nennmaß ausreicht. Das Aufmaß wird dabei von den Paßdornen, die sich während der Umformung in der Bohrung befinden, begrenzt.
6. Restlichen Schaltzahnring abdrehen und Vorbereitung der Schweißnaht
In selbiger Einspannung ist die Bohrung für das Spannen auf der Spannvorrichtung für das Elektronenstrahlschweißen vorzudrehen.
7. Schleifen der Fügestelle
8. Anfertigung des neuen Schaltzahnringes einschließlich der Verzahnung
9. Spannen der zwei Teilsegmente auf einer

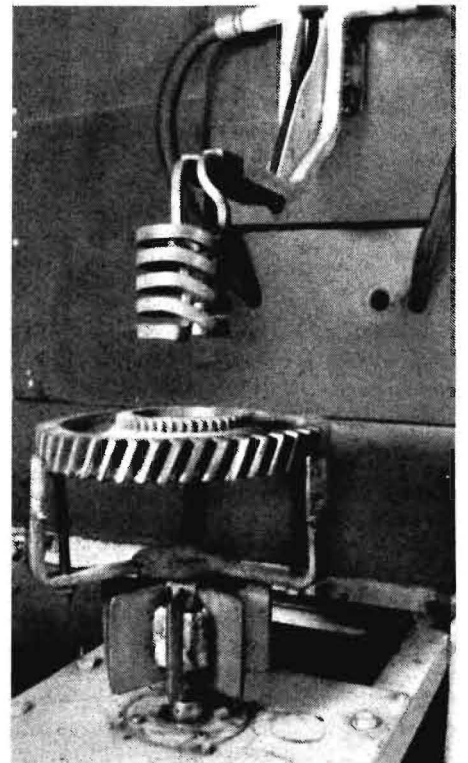


Bild 8. Mittelfrequenzinduktionserwärmungsanlage mit Induktor zur Bohrungserwärmung und Getrieberad in Zufuhr- und Abnahmestellung (das Getrieberad wird zur Erwärmung angehoben, so daß sich der Induktor axial und radial zentrisch in der Bohrung befindet)

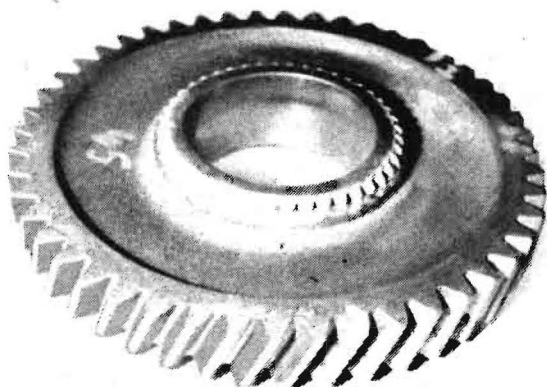


Bild 7
In der Bohrung umgeformtes Getrieberad

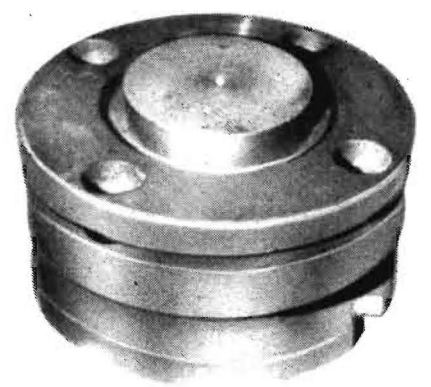


Bild 9 ▶
Stempel mit folgendem Distanzring und konischem Paßdorn

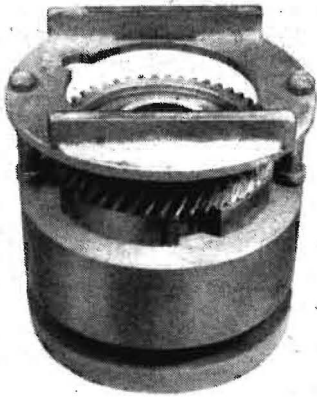


Bild 10. Matrize mit Auswerferplatte und Abstreifeinrichtung sowie aufgelegtem Getrieberad

- speziellen Elektronenstrahlschweißvorrichtung (Bild 11)
- 10. Elektronenstrahlschweißen (Bild 12)
- 11. Schweißnahtprüfung mit Ultraschall
- 12. Karbonitrierhärten
- 13. Bohrung und Planfläche auf Paßmaße der Neuteile schleifen
- 14. Endkontrolle und Konservierung.

Diese gesamte Technologie befindet sich seit dem II. Quartal 1985 in der Serienproduktion. 1985 sollen noch 1090 Getrieberäder mit Bohrungen umgeformt werden. Im Sortiment sind folgende Positionen enthalten:

- Haupträder 1, 2 und 3 des Getriebes ZT 300
- Vorgelegeräder 1 und 2 des Getriebes ZT 300.

In der technologischen Erprobung befinden sich die Getrieberäder 3. und 4. Gang des W-50-Getriebes.

6. Zusammenfassung

Im Beitrag werden die Grundvarianten der Zahnrad- und Kettenradinstandsetzung durch Umformung und Elektronenstrahlschweißen dargelegt. Der Stand der Überleitung wird erläutert. Praxiswirksam sind z. Z. bei 5 Getrieberädertypen die Bohrungsumformung, bei 4 Kettenradpositionen die Umformung der Verzahnung und bei 8 Zahnradpositionen die Instandsetzung durch Elektronenstrahlschweißen. In der Perspektive ist der Umfang der Zahnrad- und Kettenradinstandsetzung durch Sortimentserweiterung sowie Einsatz weiterer Grundmittel zu vergrößern.

Literatur

- [1] Hübner, G.: Untersuchung ausgewählter Verfahrenfolgen der Fertigungstechnik in der Aufarbeitung von Einzelteilen mit komplizierter Innen- und Außenform unter besonderer Berücksichtigung der Bearbeitung von Werkstoffen höherer Festigkeit. IH Berlin, Forschungsbericht 1981 (unveröffentlicht).
- [2] Hübner, G.: Verfahrenstechnische Untersuchungen schrägverzahnter Zahnräder und partiell aufgetragener Schichten. IH Berlin, Forschungsbericht 1983 (unveröffentlicht).
- [3] Mantow, E.: Schadensanalyse an den Hauptträgern 1 bis 3 des Wechselgetriebes und den Stirnrädern der Triebvorderachse ZT300/303. VEB PVB Charlottenthal, Studie 1983 (unveröffentlicht).
- [4] Kulwatz, H.: Überleitung der Zahn- und Kettenradinstandsetzung im Bereich der landtechnischen Instandsetzung. VEB PVB Charlottenthal, Bericht 1985 (unveröffentlicht).
- [5] Schliemann, R.: Instandsetzung von Zahn- und Kettenrädern durch Elektronenstrahlschweißen. VEB PVB Charlottenthal, Teilschlußbericht 1985 (unveröffentlicht). A 4527

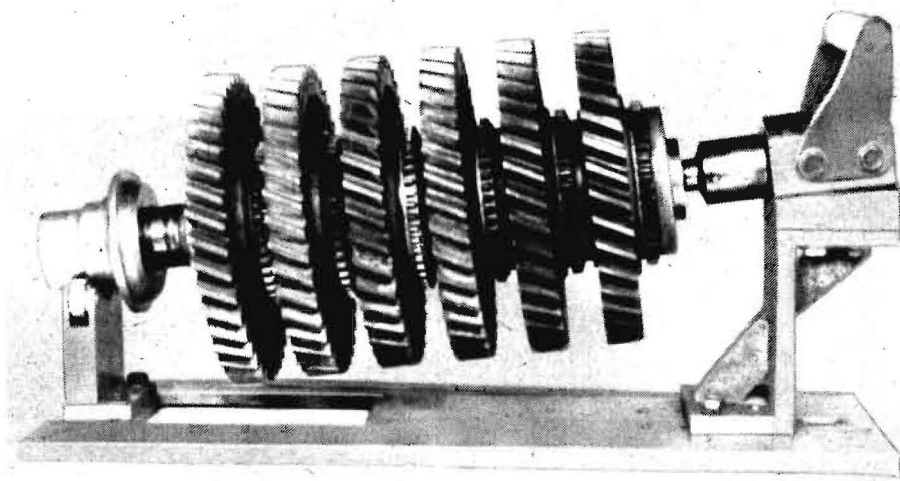
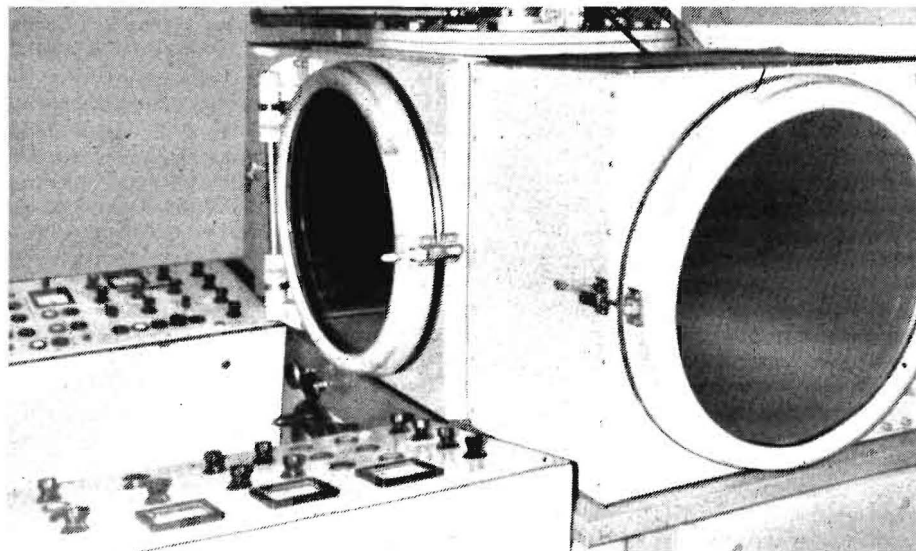


Bild 11. Schweißvorrichtung zum Elektronenstrahlschweißen von gleichzeitig 6 Getrieberädern unter Schräglage

Bild 12. Elektronenstrahlschweißanlage ESA30/5



P-1 beseitigt Rost und schützt vor Korrosion

Ein neues Präparat zum Entfernen von Rost ist an der Technischen Universität Wrocław (VR Polen) gemeinsam mit dem Institut für Plaste und Farbstoffe Gliwice entwickelt worden. Der Effekt dieses neuen Mittels mit der Bezeichnung Rostumwandler P-1 beruht darauf, daß nach einer Einwirkungszeit von etwa 20 min der Rost infolge einer chemischen Reaktion in eine braune bis graue, stark am Grundwerkstoff anhaftende Eisenphosphat-Eisensulfat-Schicht übergeht. Sie schützt das darunterliegende Metall für die Dauer von mindestens drei Monaten vor einer weiteren atmosphärischen Korrosion. Der Korrosionsschutz kann noch verlängert werden, wenn auf diese Schicht ein Syntheselackanstrich oder ein anderes Schutzmittel aufgetragen wird. Der Rostumwandler P-1 ist eine hellbraune, nicht brennbare Flüssigkeit. Er wird verwendet, wenn die Rostschicht auf Stahl bzw. auf bestimmten Gußeisensorten nicht dicker als 2 mm ist. P-1 kann bei Verdünnungen mit Wasser zwischen 1:5 und 1:8 fest anhaftende Rostschichten vollständig beseitigen. Bei größeren Verdünnungen eignet sich P-1 auch als Waschmittel. Der Rostumwandler kann bei fast jedem Wetter aufgetragen werden. Die nach dem Auftragen des Mittels entstandene Schicht ist wasserabweisend. (ADN)

*

Neuer Kettentraktor

Über 200 Anbaugeräte können an den Kettentraktor „Wolgar“ gekoppelt werden, der im Wolgograder Traktorenwerk entwickelt wurde. Die Serienproduktion soll Anfang 1986 beginnen und bis zum Jahr 1990 jährlich 45000 Stück erreichen. Bei einer gegenüber dem Vorgängertyp auf rd. 125 kW verdoppelten Leistung ist der DK-Verbrauch gleich geblieben. Durch eine Kupplung besteht die Möglichkeit, zwei Kettentraktoren „Wolgar“ zu einem Gespann zusammenzufassen, das dann nur von einem Traktoristen bedient wird. (ADN)