

Bild 5. Vergleichsspannung in der Nabe einer quergepreßten und einer geklebten Welle-Nabe-Verbindung (nach [4])

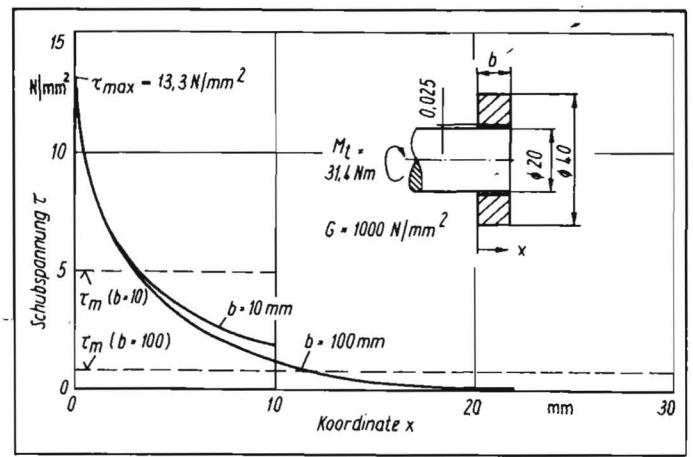


Bild 7. Schubspannungsverlauf über der Nabenbreite b einer geklebten Welle-Nabe-Verbindung (nach [4])

4. Zusammenfassung

Vorentscheidend für die grundsätzliche Möglichkeit des Einpressens oder Einklebens einer Verschleißbuchse ist die vom Maschinenkonstrukteur gewählte Gestaltung der Welle-Nabe-Verbindung. Schmale und dünnwandige Naben, die zudem noch die Möglichkeit des Einbringens einer Zentrierung erlauben, sollten geklebt werden. Bei dicken, langen Naben – und damit meist auch großen Momenten – bietet sich die Preßverbindung an.

Mit den vorliegenden Untersuchungen konnte für die Ersatzteilkategorie der Welle-Nabe-Verbindung der experimentelle Nachweis erbracht werden, daß sowohl gepreßte

wie auch geklebte Verbindungen in den beschriebenen und ähnlich gelagerten landtechnischen Einsatzfällen anwendbar und in 3 Instandsetzungen unter werkstattmäßigen Bedingungen möglich und zulässig sind.

Literatur

- [1] Pursche, G.; Gropp, H.: Belastbarkeit und Lebensdauer von Preßverbindungen mit phosphatierten Paßflächen. IfL-Mitteilungen, Dresden 22 (1983) 6, S. 225–229.
- [2] Pursche, G.; Gropp, H.; Rost, B.: Zur Anwendung beschichteter Preßverbindungen. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 170–174.
- [3] Petersohn, H.-J.: Einbeziehen von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regene-

rierungsvarianten für Einzelteile. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 174–177.

- [4] Altmik, K.: Untersuchung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens geklebter Welle-Nabe-Verbindungen. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 3123. Leverkusen: Westdeutscher Verlag 1982.
- [5] Hahn, O.; Otto, G.; Muschard, W.: Geklebte Welle-Nabe-Verbindungen als Alternative zu konventionellen Verbindungen. VDI-Bericht Nr. 360, Düsseldorf (1980) S. 103–107.
- [6] Zscherper, J.; Reichenheim, H.: Prüfstandsergebnisse zur eingeklebten Verschleißbuchse an der Kegelradwelle des E684. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Forschungszentrum des Landmaschinenbaus, BT Automatisierungstechnik Leipzig, Bericht 1984 (unveröffentlicht). A 4525

Untersuchungen zur Wiederholbarkeit der Einzelteilstandsetzung am Beispiel des Achsschenkelbolzens des Traktors ZT 300

Dozent Dr.-Ing. K. Rößner, KDT/Dipl.-Ing. A. Schmidt, KDT
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Problemstellung

Landmaschinen arbeiten mehr als 80% ihrer Nutzungsdauer als instand gesetzte Maschinen. Da sich die tatsächliche Nutzungsdauer landtechnischer Arbeitsmittel in Zukunft weiter erhöhen wird, gewinnt die Frage der Wiederholbarkeit der Einzelteilstandsetzung (ETI) an Bedeutung.

Eine zunehmende Verwendung instand gesetzter Einzelteile (IET) statt Neuersatzteile (NET) beeinflusst die Zuverlässigkeit instand gesetzter Technik und den zur Ersatzteilbereitstellung nötigen Aufwand. Die optimale Gestaltung dieses Einflusses setzt die Planbarkeit der ETI voraus [1]. Eine entscheidende Rolle für den anwender- und herstellerseitigen Nutzeffekt kommt dabei der Zuverlässigkeitssicherung instand gesetzter Einzelteile zu.

IET sind nach den gleichen Prinzipien wie NET in die Zuverlässigkeitsanforderungen einzubeziehen. Nur so ist es möglich, Vor-

aussetzungen für eine hohe Qualität aller Ersatzteile zu schaffen. Untersuchungen ergaben, daß bei der ETI Sicherheitsteile einbezogen werden müssen, denn auch sie sind prinzipiell instandsetzungswürdig und instandsetzungsfähig [2]. Da Sicherheitsteile einer geforderten Überlebenswahrscheinlichkeit entsprechen müssen und der Wiederholfaktor der ETI einen entscheidenden Einfluß auf die Zuverlässigkeit hat, ist die Wiederholbarkeit an konkreten Positionen zu untersuchen. Deshalb werden an der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Wissenschaftsbereich Instandhaltung, im Auftrag des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen solche Untersuchungen durchgeführt. Durch sie soll eine Methodik der Vorgehensweise zur Feststellung der Wiederholbarkeit erarbeitet werden. Mit der Bestimmung der Wiederholbarkeit kann ein unbegründet zu niedrig liegender Wiederholfaktor ausge-

schlossen werden, aus der Sicht der Material- und Energieökonomie sind Reserven erschließbar.

Des weiteren sind diese Untersuchungen aus Gründen der Schutzgüte erforderlich. Der Zuverlässigkeitsnachweis, speziell der Haltbarkeitsnachweis, bietet dazu die Grundvoraussetzung.

2. Ausgangssituation

Bei der Feststellung der Wiederholbarkeit der ETI an aus der Praxis stammenden Teilen muß auf folgende Probleme hingewiesen werden:

- Die Teile sind sehr unterschiedlich geschädigt.
- Obwohl die Technologie eine Kennzeichnung der Wiederholung der ETI vorsieht, werden die Teile nicht gekennzeichnet.
- Nicht für alle untersuchungswürdigen Teile existieren gemessene dynamische Belastungsverläufe, die eine Zusammen-

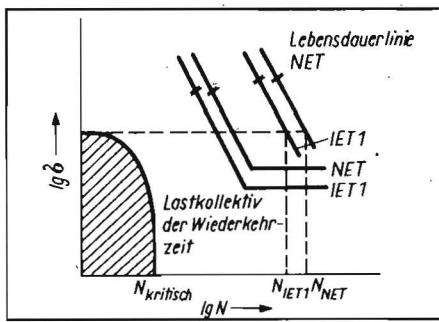


Bild 1. Vorgehensweise zur Feststellung der Wiederholbarkeit der ETI

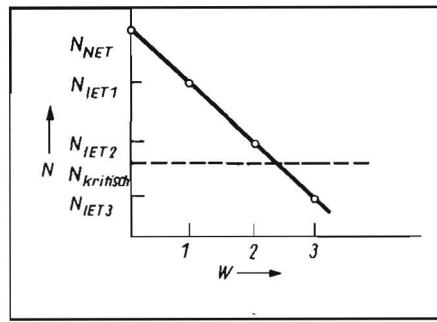


Bild 2. Festlegung der Wiederholbarkeit W der ETI

stellung des für Lebensdaueruntersuchungen notwendigen Lastkollektivs ermöglichen.

- Die Wiederholbarkeit der ETI ist bei Bremssteilen mit 2 und bei Lenkungsteilen mit 3 festgelegt. Es existieren jedoch keine wissenschaftlich begründeten verallgemeinerungswürdigen Erkenntnisse. Die Aussagen beziehen sich auf Expertenbefragungen, Erfahrungen aus der Praxis sowie auf Laborversuche bei verschiedenen Stahlproben.

Die Auswahl des zu untersuchenden Teils (Achsschenkelbolzen des Traktors ZT 300) erfolgte aus folgenden Gründen:

- Der Achsschenkelbolzen ist ein Sicherheitsteil.
- Es sind gemessene dynamische Belastungsverläufe vorhanden.
- In der Praxis existieren rd. 50000 Achsschenkelbolzen des ZT 300.
- Das Teil hat eine hohe Häufigkeit in der Instandsetzung.

3. Vorgehensweise zur Feststellung der Wiederholbarkeit der ETI

Die als Ausgangssituation gezeigten Probleme sind zu beachten. Demzufolge müssen mehrfach instand gesetzte Teile hergestellt werden, indem diese mit dem sie zwischen 2 spezialisierten Instandsetzungen belastenden Nutzungsdauerkollektiv beauftragt werden.

Der Achsschenkelbolzen ist ein Dauerteil, was durch praktische Untersuchungen bestätigt wurde. Mit einer mittleren Wiederkehrzeit von 3 Jahren wird die Vorderachse des ZT 300 spezialisiert instand gesetzt. Demzufolge ist das Lastkollektiv der Wiederkehrzeit zu ermitteln.

Existieren keine gemessenen dynamischen Belastungsverläufe, die über den Einsatzspiegel des landtechnischen Arbeitsmittels eine Zusammenstellung des für die Lebensdauerberechnung notwendigen Lastkollektivs gestatten, so ist ein Kollektiv aus dem von

Schilling entwickelten Normkollektivsystem für den Landmaschinen- und Traktorenbau [3] zu entnehmen. Dieses ist jeweils auf die maximal auftretende Spannung und auf gemessene Kollektivumfänge der jeweiligen Baugruppe zu beziehen. Als Ausgangspunkt einer sich anschließenden Lebensdauerermittlung dient des weiteren die Wöhlerlinie. Ziel des Wöhlerversuchs ist ein funktionaler Zusammenhang von Oberspannung und Lebensdauer bis zum Eintritt der definierten Schädigung der Probe. Auf jeweils 2 Spannungshorizonten werden jeweils 9 Teile mit Hilfe des Einstufenversuchs zu Bruch gefahren (Standard TGL 19336). Um die Wöhlerlinie der einmal instand gesetzten Teile (IET 1) zu erhalten, werden Neuersatzteile mit dem Lastkollektiv der Wiederkehrzeit mit Hilfe des Blockprogrammversuchs belastet, anschließend werden sie instand gesetzt.

In der Praxis finden sehr unterschiedliche Technologien der ETI des Achsschenkelbolzens Anwendung. So wird z. B. im VEB LIW Parchim der Originaldurchmesser von 50 mm bei der ersten Instandsetzung auf einen Durchmesser von 49,5 mm geschliffen. In der zweiten Instandsetzung wird er auf einen Durchmesser von 49,0 mm geschliffen und galvanisiert. Diese Reihenfolge wiederholt sich bis zur 4. Instandsetzung. Der VEB LIW Triptis setzt den Achsschenkelbolzen durch 3 Schleifstufen (Ø 49,75 mm, Ø 49,50 mm, Ø 49,25 mm) instand, dann wird er auf einen Durchmesser von 49,0 mm abgeschliffen und galvanisiert.

Um bei der Prüfung auf die mögliche Wiederholbarkeit schließen zu können, wendet der Bearbeiter eine „scharfe“ Regenerierung (jeweils auf einen Durchmesser von 49,0 mm schleifen und galvanisieren) an. Der Durchmesser von 49,0 mm stellt die maximale Schwächung des Kerndurchmessers dar. Bei Sicherheitsbetrachtungen muß mit dem extremsten Fall gearbeitet werden.

Die so einmal instand gesetzten Teile werden mit Hilfe des Einstufenversuchs zu Bruch

gefahren. Da bei genormter Schädigung keine große Streuung zu erwarten ist, wird angenommen, daß die Wöhlerlinien parallel zueinander verlaufen. Dazu sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Eine weitere Stichprobe, die ebenfalls mit dem ermittelten Kollektiv belastet wurde, wird instand gesetzt und zum zweiten Mal mit dem ermittelten Kollektiv belastet und instand gesetzt.

Durch anschließende Einstufenversuche ermittelt man die Wöhlerlinie für zweimal instand gesetzte Teile (IET 2). Dieselbe Vorgehensweise ergibt sich bis zur n-ten Wiederholung der ETI. Durch eine entsprechende analytische Ermittlung der Lebensdauerlinie kann zu unterschiedlich instand gesetzten Teilen die jeweils mögliche Lastwechselanzahl ermittelt werden.

Das Kriterium für die Festlegung der Wiederholbarkeit ist die Lastwechselanzahl, die ein Teil in der Wiederkehrzeit bis zur nächsten Instandsetzung ohne Ausfall überstehen muß.

Die so ermittelte Wiederholbarkeit der ETI kann durch ein mehrmaliges Belasten mit dem für 3 Jahre ermittelten Kollektiv und mehrmaliges Instandsetzen bis zum eintretenden Bruch überprüft werden. In den Bildern 1 und 2 ist die Vorgehensweise dargestellt. In Tafel 1 ist der Versuchsaufwand für die Ermittlung einer möglichen Wiederholbarkeit von 2, bezogen auf $N_{kritisch}$ (Bild 2), zusammengestellt.

Da diese Versuche einen sehr großen Zeit- und Kostenaufwand haben, sind zur Entscheidungsfindung für die Durchführung von Untersuchungen zur Feststellung der Wiederholbarkeit ökonomische Betrachtungen notwendig.

Mit dem an der Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Wissenschaftsbereich Instandhaltung, entwickelten Rechenprogramm INSTA 7/83 kann durch ermittelte Instandsetzungshäufigkeiten von Einzelteilen bei vorgegebener Wiederholbarkeit der ETI, vorgegebenen Daten für Variationskoeffizienten, Überlebenswahrscheinlichkeit und Betriebsgrenze als Charakteristik des Schädigungsverhaltens der ökonomische Nutzen nachgewiesen werden. In diesem Programm ist es möglich, Teile mit unterschiedlichem Abnutzungsverhalten, wie es sich bei vielen Teilen nach der Instandsetzung gezeigt hat, zu berücksichtigen.

Eine Anwendung auf den Achsschenkelbolzen des ZT 300 ergab für eine Wiederholbarkeit der ETI größer 3 einen ökonomischen Nutzen von rd. 140000 M je Jahr, bezogen auf die festgelegte Wiederholbarkeit für Lenkungsteile von 3. Diese Aussage gestattet die Durchführung der Versuche im Institut für Leichtbau Dresden. Da diese Versuche zur Feststellung der Wiederholbarkeit sehr zeit- und kostenaufwendig sind, wird gegenwärtig an der analytischen Bestimmung der Wiederholbarkeit gearbeitet. Es muß aber schon jetzt eingeschätzt werden, daß diese analytische Bestimmung einen überschlägigen Charakter hat, zur genauen Bestimmung der Wiederholbarkeit der ETI jedoch immer experimentelle Untersuchungen hinzugezogen werden müssen. Mit der analytischen und experimentellen Bestimmung der Wiederholbarkeit wird es erstmals möglich sein, den Einfluß verschleißbedingter Schädigungsgrenzen zu ermitteln und zu berücksichtigen. Zwischen der verschleißbedingten Schädigungsgrenze, dem Schädigungsver-

Tafel 1. Versuche zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der ETI (ESV Einstufenversuche, BPV Blockprogrammversuche; 54 Prüfteile)

Wöhlerlinie NET	Lastkollektiv L1 bis zur 1. Instandsetzung	Wöhlerlinie IET 1	L2	Wöhlerlinie IET 2	L3	Wöhlerlinie IET 3
18	9	9				
	9		9	9		
	9		9		9	9
	9		9		9	Lebensdauerpunkt
18 ESV	36 BPV	9 ESV	27 BPV	9 ESV	18 BPV	9 ESV

L1 = L2 = L3

halten und der zulässigen Wiederholbarkeit besteht ein unmittelbarer Zusammenhang. Liegt am Einzelteil nach der Wiederkehrzeit geringer Verschleiß vor, wird die Wiederholbarkeit der ETI weitaus höher sein als bei hohem Verschleißbetrag, denn es kann angenommen werden, daß diese Teile höheren dynamischen Belastungen ausgesetzt gewesen sind. Hierzu sind noch weitere wissenschaftliche Untersuchungen notwendig.

4. Zusammenfassung

Infolge der verlängerten Nutzungsdauer landtechnischer Arbeitsmittel gewinnt die Einzelteilinstandsetzung immer mehr an Be-

deutung. Um der gesellschaftlichen Anforderung gerecht zu werden, 50% des Ersatzteilbedarfs aus instand gesetzten Einzelteilen abzudecken, sind Überlegungen durchzuführen, inwieweit das ETI-Sortiment erweitert werden kann. Untersuchungen ergaben, daß auch Sicherheitsteile in die ETI einzubeziehen sind, denn auch sie sind prinzipiell instandsetzungswürdig und instandsetzungsfähig. Da der Wiederholfaktor der ETI einen entscheidenden Einfluß auf die Zuverlässigkeit eines Einzelteils hat, bietet die dargestellte Vorgehensweise die Möglichkeit, die Wiederholbarkeit der ETI an konkreten Positionen zu untersuchen.

Literatur

- [1] Ihle, G.; Opitz, B.: Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effekts der Verwendung von instand gesetzten Einzelteilen. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 12, S. 551-553.
- [2] Petersohn, H.-J.: Beitrag der Landmaschinenindustrie zur weiteren Verbesserung der Materialökonomie durch die Einzelteilinstandsetzung. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 12, S. 557-559.
- [3] Schilling, U.: Beitrag zum analytischen Betriebsfestigkeitsnachweis auf der Grundlage von Normkollektiven des Landmaschinen- und Traktorenbaues. TU Dresden, Sektion 13, Dissertation 1976. A 4517

Technologische Fortschritte bei der Instandsetzung von Einzelteilen mit Hilfe des galvanischen Eisenauftrags

Dozent Dr.-Ing. G. Kamenarow, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung
Dr.-Ing. A. Ponomarjew, Technische Hochschule Nowgorod, UdSSR

Verwendete Formelzeichen

D_a	A/dm ²	Anodenstromdichte
D_k	A/dm ²	Kathodenstromdichte
D_v	A/l	volumenbezogene Stromdichte
I_a	A	Anodenstrom
I_k	A	Kathodenstrom
S_k	dm ²	Oberfläche der Kathode
β		Asymmetriekoeffizient
ϑ	°C	Temperatur des Elektrolyten

1. Einleitung

Der galvanische Eisenauftrag gehört zu den progressiven Verfahren, mit denen verschlissene Stahlteile von LKW, Traktoren und Landmaschinen qualitätsgerecht instand gesetzt werden können. Die relativ hohe Auftraggeschwindigkeit der sich dendritisch ausscheidenden Schicht (bis 0,5 mm/h), die einfache chemische Zusammensetzung und die stabile Konzentration des Elektrolyten sowie die Möglichkeit der breiten Variation der Härte der Auftragschicht (je nach Verfahrensparameter zwischen 1200 bis 6500 MPa) gehören zu den Vorteilen dieses Verfahrens. Um es noch effektiver zu gestalten, werden gegenwärtig vielseitige technologische Entwicklungen betrieben.

2. Senkung der Temperatur des Elektrolyten

Die Notwendigkeit der Erwärmung des Elektrolyten bei der Eisenausscheidung auf 60 bis 95°C zählt zu den wesentlichen Nachteilen des Verfahrens. Der Auftrag aus dem kalten Elektrolyten ist bei Kathodenstromdichten von $D_k = 0,1 \dots 3,0$ A/dm² grundsätzlich möglich, führt jedoch zur wesentlichen Senkung der Produktivität. Zu den neuesten Maßnahmen zur Beseitigung dieses Nachteils gehört die Anwendung asymmetrischer Ströme [1], die zu einer wesentlichen Zunahme der Kathodenstromdichte bei einer Temperatur des Elektrolyten von $\geq 20^\circ\text{C}$ führt. Die Form des asymmetrischen Stroms zeigt Bild 1.

Zur Charakterisierung des Verfahrens werden die zwei Parameter Kathodenstromdichte $D_k = I_k/S_k$ und der Asymmetriekoeffizient $\beta = I_k/I_a = D_k/D_a$ herangezogen.

Zu Beginn des Auftragprozesses müssen $D_k = 20$ A/dm² und $\beta = 1,25$ betragen. Dabei wird an den instand zu setzenden Flächen sehr intensiv Wasserstoff ausgeschieden und hiermit die Fläche aktiviert. Die Auftraggeschwindigkeit ist während des Prozeßbeginns gering. Erst danach wird der Asymmetriekoeffizient mit einer Anstiegsgeschwindigkeit von $1 \beta/\text{min}$ bis zu $\beta = 8 \dots 10$ vergrößert. Bei dieser Prozeßregelung nimmt der Eisenauftrag rasch zu.

Bei kleineren Werten des Koeffizienten entstehen Eisenschichten, die sehr kleine innere Spannungen und hohe Plastizität aufweisen. Die Adhäsion der galvanisch aufgetragenen Eisenschicht mit dem Grundwerkstoff ist sehr gut.

Das elektrische Schema für die Erreichung der Stromasymmetrie zeigt Bild 2. Die Größen der kathodischen und anodischen Bereiche des asymmetrischen Wechselstroms werden durch den Autotransformator ATR realisiert und die Größe des anodischen Bereiches durch den veränderlichen Widerstand R. An den Amperemetern A_1 und A_2 können die Mittelwerte des kathodischen bzw. anodischen Stroms abgelesen werden.

Da der Elektrolyt nicht erwärmt werden muß, werden die konstruktive Ausführung des galvanischen Bades vereinfacht und Energie eingespart. Dabei verbessern sich die Arbeitsbedingungen der Werk tätigen.

Die Arbeit mit kaltem Elektrolyten erfordert jedoch eine sehr strenge Einhaltung der technologischen Bedingungen.

3. Optimale Auslastung der galvanischen Bäder

Eine große Bedeutung für die Optimierung der Technologie des Eisenauftrags hat die volle Auslastung des Volumens des galvanischen Bades. Diese ist durch die zulässige Stromdichte begrenzt.

Nach [2] werden qualitätsgerechte Eisenauftragschichten bei $D_v = 2 \dots 3$ A/l ausgebildet. Eine darunter liegende Stromdichte führt zu einer nicht voll produktiven Ausla-

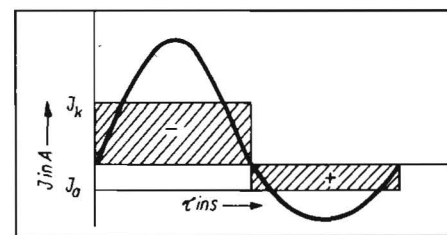


Bild 1. Form des asymmetrischen Wechselstroms

stung des Bades. Bei zu hohen Werten von D_v (> 3 A/l) kommt es zu einem intensiven Dendritenwachstum an den Ecken und Kanten der aufzutragenden Fläche, das zur Verringerung der allgemeinen Schichtdicke und hiermit zu Ungleichmäßigkeiten des Auftrags führt.

4. Vervollkommnung der Oberflächenvorbereitung der Einzelteile für den galvanischen Eisenauftrag

Die instand zu setzenden Teile werden vor dem Auftrag einer Oberflächenvorbereitung unterworfen (Anodenbeizung). Bei Teilen, die eine hohe Härte, komplizierte Konturen und große Ausmaße aufweisen und leicht sind, erfolgt die Beizung am effektivsten in einem Chloridelektrolyt. Dabei scheidet sich Anodenschlamm ab, der in 30%iger H_2SO_4 -Lösung beseitigt wird.

Neuere Untersuchungen [3] befassen sich mit der Beseitigung des Anodenschlammes unmittelbar im Eisenelektrolyt in Abhängigkeit von den Bedingungen des ablaufenden Prozesses. Der dabei erhaltene Reinheitsgrad wurde nach der Methode der Reflexion des Lichtes an der Metalloberfläche nach der Beseitigung der Schlammsschicht ermittelt. Das reflektierte Licht wurde mit Hilfe einer Fozelle aufgenommen. Die ermittelten Abhängigkeiten zwischen der Spannung U und der Temperatur ϑ bzw. der Anodenstromdichte D_a geben die Bilder 3 und 4 wieder. Der Anodenschlamm, der sich bei Tempera-