Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 21 (1975)

Artikel: Die Bemessung dynamisch beanspruchter Stahlkonstruktionen von Tagebaugrossgeräten

Autor: Olzscha, Hartmut

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-18772

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Bemessung dynamisch beanspruchter Stahlkonstruktionen von Tagebaugrossgeräten

Design of the Steel Structure for Huge Surface Mining Machines under Dynamic Loads

Dimensionnement de la structure métallique des excavateurs géants, soumis à des sollicitations dynamiques

Hartmut OLZSCHA
Dipl.-Ing.
VEB Schwermaschinenbau Lauchhammerwerk
Lauchhammer / DDR

Die Stahlkonstruktionen von Tagebaugeräten werden vorwiegend durch den Transport und das Lösen von inhomogenen Böden ungleichförmig belastet. Hieraus resultiert die Entstehung von schwingenden Erregungen und von Stößen. Die dynamischen Belastungen und damit die Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffes begrenzt die Lebensdauer der Stahlkonstruktionen dieser Geräte. Im allgemeinen wird die Lebensdauer der Tagebaugroßgeräte mit 20 Jahren angegeben. Wir kennen jedoch Schaufelradbagger, die 1936 gebaut wurden und heute noch in Betrieb sind und ebenso Abraumförderbrücken, die 1939 gefertigt wurden und bei denen heute noch eine Leistungssteigerung beabsichtigt ist. Im folgenden wird vorwiegend von Schaufelradbaggern und Abraumförderbrücken berichtet, die im VEB Schwermaschinenbau Lauchhammerwerk konstruiert und produziert werden und an denen Messungen vorgenommen wurden.

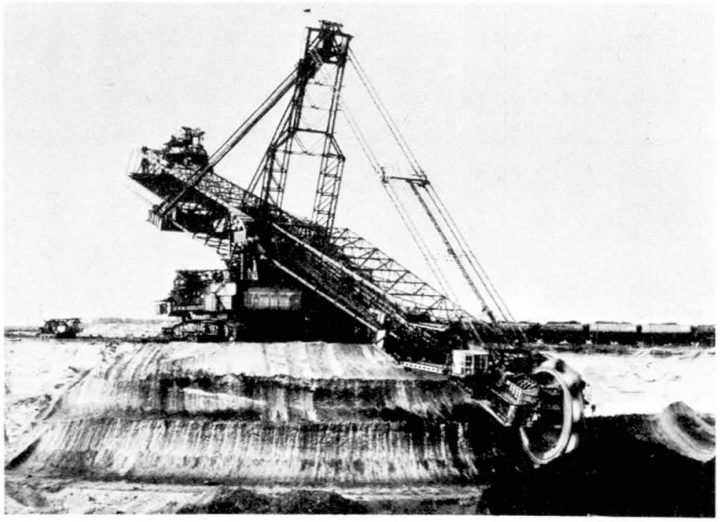

Bild 1: Schaufelradbagger SRs 1500 im Tiefschnitt

Das Problem für eine optimale Dimensionierung der Stahlkonstruktion liegt in der Erfassung der tatsächlichen Spannungsausschläge jedes Bauteiles über einen längeren Zeitraum, um möglichst von einem Dauerfestigkeitsnachweis zu einem Betriebsfestigkeitsnachweis übergehen zu können. Dadurch würde eine Erhöhung der Lebensdauer oder eine bessere Materialausnutzung erreicht werden. Eine Quelle für die Ermittlung der dynamischen Belastungsgrößen, nach der sich der Berechnungsingenieur richtet, ist der in der DDR gültige Standard für Tage-

baugroßgeräte: die TGL 13 472. Hierin sind Schwingbeiwerte festgelegt, die die Dynamik des Gerätes berücksichtigen. Das Prinzip ist hierbei das Erhöhen der statischen Belastung aus der Eigenmasse und den Verkehrslasten (Hauptlasten) um ± 5 bis ± 15 % in Form von vertikal gerichteten statischen Ersatzkräften:

$$P_{dyn} = \pm \psi \cdot \sum P_{stat}; \qquad \psi = \pm (0{,}05 \ldots 0{,}15).$$

Diese Verfahrensweise wurde offensichtlich von den Förderbrücken, wo sie auch heute noch angewendet wird, auf die Schaufelradbagger übertragen. Dagegen sind bei den letzteren Schwingungseinflüsse aus der Erregung durch das Graborgan bei den immer härter werdenden Einsatzbedingungen nicht genügend berücksichtigt. Andererseits wirken belastungserhöhend nach der Vorschrift die Schwingwirkungen verschiedener Ausleger, die gleichzeitig ohne Beachtung der zugehörigen Frequenzen und Schwingformen zu addieren sind. Als weitere Spannungsausschläge sind nach dem Standard das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Reißkraft und Fördergut einzusetzen, was oft nicht als Erhöhung des Grenzspannungsverhältnisses erkannt wird, ebenso die Ortsveränderlichkeit der vertikalen Lasten beim Schwenken von Auslegern. Nach der Neufassung der TGL 13 472 im Oktober 1973 sind sehr sinnvoll die Reibungskräfte den Hauptlasten zugeordnet worden und dadurch bei dem Ermüdungsfestigkeitsnachweis zu berücksichtigen. Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß nach dem Standard vorwiegend statische und quasistatische Lasten durch eine uneingeschränkte Addition im Grenzspannungsverhältnis erfaßt werden, um damit evtl. die rein dynamischen Lasten zu kompensieren. Ob das gerechtfertigt ist, darüber geben die durchgeführten Schwingungsmessungen Auskunft, über die noch zu berichten ist. Zumindest kann eine Unter- oder auch Überbemessung einzelner Bauteile danach nicht exakt voraus berechnet werden.

Bild 2: 60 m Abraumförderbrücke

Eine Unterteilung in der TGL 13 472 in einen Dauerfestigkeitsnachweis (2×10^6 mal ertragbare Oberspannung) und einen Zeitfestigkeitsnachweis ($0{,}5 \times 10^6$ mal ertragbare Oberspannung) ist sinnvoll für eine Verlängerung der Lebensdauer bei gleichem Materialeinsatz. Viele Lastspielzahlen an den Geräten, z. B. die Einschalthäufigkeiten des Hubwerkes von Radauslegern bei Baggern sowie der Förderstromwechsel und die Auszugsveränderungen bei Abraumförderbrücken bewegen sich in dieser Größenordnung.

Weitere Möglichkeiten zur Angabe von Belastungsannahmen bestehen in der experimentellen Ermittlung. Durch die Erstellung von Meßprogrammen werden Belastungskollektive geschaffen, um die Häufigkeiten von Stützweitenänderungen und Schwenkstellungen sowie Umschalthäufigkeiten von Förderströmen und Überrollungen durch Langzeitmessungen zu erfassen. Ferner ist die Ermittlung von abhängigen und unabhängigen Schwinglasten sowie deren

Gleichzeitigkeit in der Wirkung festzustellen. Die Präzisierung der Belastungswerte über längere Zeiträume ermöglicht die Anwendung des Betriebsfestigkeitsnachweises, der in Zukunft immer stärker vervollkommnet werden muß. Die Grundlage hierzu bildet eine umfangreiche Datenerfassung der Belastungskollektive, die auch an den Tagebaugroßgeräten gegenwärtig in einen systematischen Zustand übergeleitet wird.

Für die Bestimmung von dynamischen Spannungen an Tagebaugeräten durch Berechnungsmodelle liegen z. Z. noch wenig Erfahrungen vor. Obwohl diese Methode der Spannungsberechnung sehr geeignet erscheint, sind jedoch die wissenschaftlichen Grundlagen noch nicht so aufbereitet, daß sie dem reinen Rechnungsgang zugeführt werden können. Die erste Schwierigkeit besteht in der Annahme eines geeigneten Schwingungsmodells für Schaufelradbagger. Abraumförderbrücken bleiben hierbei außer Betracht, da sie wenig zu Schwingungen neigen. Die bisher angesetzten Modelle erstrecken sich vom Fünfmassensystem bis zum Ersatz jedes Stabes durch eine diskrete Feder. Für diese Modelle lassen sich die Eigenfrequenzen und die Schwingformen berechnen. Hierbei werden zuerst freie Systeme untersucht, also ohne Erregung und Dämpfung. Diese Ergebnisse können zur Beurteilung der Resonanz einzelner Bauteile herangezogen werden. Für jede dynamische Berechnung ist es unbedingt erforderlich, diese durch Meßergebnisse abzugleichen. So werden z. B. die elastischen Werte der Ringträgerunterbauten und Raupenabstützungen auf gemessene Parameter abgestimmt. Diese Rechnungen werden auch zur Abschätzung des Einflusses von Parametervariationen auf die Eigenfrequenzen verwendet.

Die allgemeine Darstellung eines Schwingungssystems kann durch folgende Differentialgleichung beschrieben werden:

$$M.\ddot{x} + C.x + K.\dot{x} = P \qquad /4/$$

Die Probleme bei der Anwendung auf Schaufelradbagger ergeben sich bei der Darstellung der Dämpfungsmatrix K und der Erregung P. Die Massenmatrix M und die Steifigkeitsmatrix C können aus der statischen Berechnung entnommen werden, da sie bei der Berechnung von Fachwerksystemen im Rechenprogramm enthalten sind. Schwieriger ist es bereits bei der Ermittlung der Dämpfungsmatrix K, wobei man auf geschätzte Werte angewiesen ist. Falls Messungen vorhanden sind, gelten diese nur für eine bestimmte Schwingform. Die Schwierigkeiten steigen weiter bei der Erfassung der Erregung. Für die Schaufelradbagger kommt die periodische, die stoßartige, die stochastische und auch die Selbsterregung in Betracht. Die am meisten beobachtete und beschriebene Erregung ist die Nickschwingung, die besonders beim Einsatz in extrem harten Bodenschichten auftritt. Sie wird von vielen Autoren als ein selbsterregtes Schwingungssystem bezeichnet /1/2/4/.

Die Beschreibung der Erregerkräfte geht jedoch nicht über qualitative Angaben hinaus, so daß hierzu noch ausführliche Studien notwendig werden, um aus diesem komplizierten Prozeß dynamische Spannungsausschläge in der Stahlkonstruktion errechnen zu können. Dynamische Spannungen beim Beschleunigen und Verzögern von schwenkbaren Auslegern werden bei der Bemessung der Hauptlasten auf Ermüdungsfestigkeit erfaßt, wenn ihre Beschleunigungswerte 2 % der Erdbeschleunigung übersteigen.

Können die dynamischen Spannungsanteile in der Stahlkonstruktion von Tagebaugroßgeräten nur in Ausnahmen errechnet werden, so verbleibt noch die Möglichkeit an gleichartigen bereits ausgeführten Geräten Spannungsmessungen durchzuführen.

So wurden z. B. an einem Schaufelradbagger SRs (K) 2000, der in einem Steinkohlentagebau unter extremen Einsatzbedingungen arbeitet, umfangreiche Spannungsmessungen vom Institut für Leichtbau Dresden im Auftrage des Lauchhammerwerkes vorgenommen. Besonders wurden die Punkte untersucht, bei denen die Nickschwingungen wesentliche Spannungsamplituden in der Stahlkonstruktion erzeugen. Durch die Messung ergab sich, daß besonders diese Schwingform einen dominierenden Einfluß auf die dynamischen Beanspruchungen fast aller Bauteile des Geräteoberbaues hat. Bei Geräten mit einer geringeren Schaufelanzahl war der Eingriff einer Schaufel als Erregerimpuls zu erkennen. Beim SRs (K) 2000 mit 22 Schaufeln und einer maximalen Schüttungsfrequenz von 1,5 Hz ist diese Abhängigkeit nicht mehr vorhanden. Die gemessenen Spannungen setzen sich aus einem quasistatischen Anteil z. B. aus der Reißkraft und einem rein dynamischen Anteil z. B. aus den Torsionsbiegeschwingungen am Radausleger zusammen. In den Versuchen wurde hierzu ermittelt, daß der quasistatische Anteil der Reißkraft nur maximal 75 % des Wertes annehmen kann, mit dem er in die statische Berechnung eingeht. Für einen Zugstab im vorderen Bereich des Radauslegerobergurtes ergab die Überlagerung mit dem Eigenspannungszustand absolute Spannungsspitzen von + 1100 kp/cm² bzw. – 100 kp/cm² /3/. Die Anschlüsse des Stabes sind in ihrer Konstruktionsform der Dauerfestigkeitslinie IV nach der TGL 13 500 zuzuordnen und ergeben bei einem Grenzspannungsverhältnis von $\varkappa = -0{,}1$ eine zulässige Dauerfestigkeitsspannung von 1410 kp/cm² und damit noch eine genügende Sicherheit.

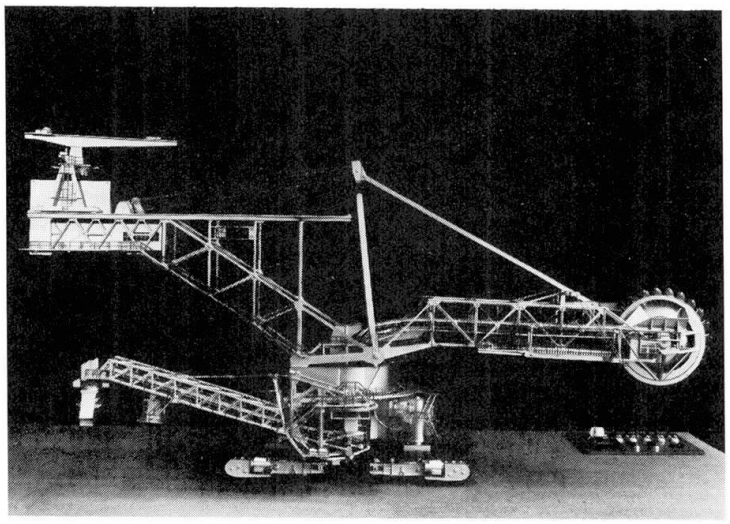

Bild 3: Schaufelradbagger SRs (K) 2000 (Modell)

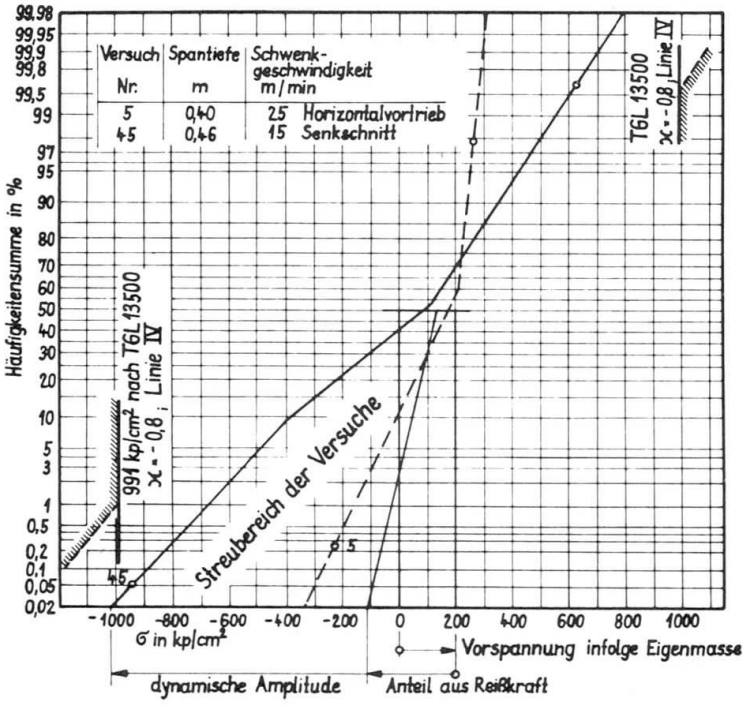

Bild 4: Spannungskollektiv für einen Obergurtstab des Ballastauslegers Meßstelle 52

Die maßgebenden Stäbe des Ballastauslegers werden dagegen in der Summe der Spannungen nur durch einen sehr geringen statischen Anteil beansprucht. Die quasistatischen und dynamischen Anteile aus der Nickschwingung bilden bei diesen Bauteilen die

gravierenden Spannungen und überwiegen bei weitem die nach dem Standard anzusetzenden dynamischen Einflüsse. Erst durch die Schadensakkumulation aus den oszillografisch aufgezeichneten Meßergebnissen ließen sich mittels der Spannungskollektive die zulässigen Dauerfestigkeitswerte der TGL 13 500 erreichen. Durch die Meßergebnisse wird auch deutlich, daß einzelne höhere Spannungsspitzen auf Grund ihrer Häufigkeiten durch die zulässigen Zeitfestigkeitswerte abgedeckt werden. Die quantitative Zusammensetzung der Meßergebnisse zeigte, daß die dynamischen Anteile höhere Beanspruchungen liefern, als sie nach der TGL 13 472 zu berücksichtigen sind, während die statischen und quasistatischen Anteile danach überbewertet werden.

Bei der dominierenden Größe der dynamischen Spannungsanteile in vielen Teilen der Konstruktion ergibt sich die Frage nach der Reduzierung dieser Werte. Hierzu sind bisher 3 Wege beschritten worden:

1. Es soll eine Verminderung der spanabhebenden Kräfte durch die Veränderung der Schneidgeometrie erreicht werden.
2. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Dämpfung der großen Schneidkräfte bereits am Schaufelradantrieb, um sie nicht erst in die Konstruktion überzuleiten. Versuche sollen die Wirkung einer luftgefederten Getriebeabstützung mit Dämpfung klären.
3. Zur Minderung von Schwingungen lassen sich auch Tilgersysteme einbauen, die aber erhebliche konstruktive Probleme ergeben. Bei einem Schaufelradbagger mittlerer Größe (z. B. 2150 t Dienstgewicht) müßte der gesamte Gegengewichtsballast von ca. 60 t als Tilgermasse mit einer Tilgerfrequenz von 0,4 bis 0,5 Hz und einer statischen Absenkung von ca. 1,0 m in der Tilgerfeder gelagert werden /5/. Hierbei bedarf jedoch die Selbsterregung noch einer speziellen Untersuchung.

Aus dem bisher Gesagten ist zu erkennen, daß die Dimensionierung der Stahlkonstruktion vorerst noch nach den Belastungsangaben des Standards gepaart mit Meßergebnissen an gleichartigen Geräten erfolgen muß. Die Meßergebnisse beweisen, daß die in der TGL zu niedrig angesetzten dynamischen Spannungsausschläge durch die ungünstige Überlagerung und die als gleichzeitig angenommenen unabhängigen Schwingwirkungen auch bei den am stärksten belasteten Stäben kompensiert werden. Das bedeutet jedoch nicht, daß die im Standard angegebenen Schwingbeiwerte keiner Verbesserung bzw. Ergänzung bedürfen. Das ist umsomehr erforderlich, da diese Werte in keiner Weise dem dynamischen Verhalten eines Schaufelradbaggers qualitativ und quantitativ gerecht werden.

Die Nachweise auf Ermüdungsfestigkeit, die in der DDR für Stahlkonstruktionen nach der TGL 13 500 zu führen sind, haben sich für die meisten Kerbformen hinsichtlich der angegebenen zulässigen Spannungen gut bewährt. Nachteile in der konstruktiven Ausbildung zeigten sich

1. bei Biegeträgern, deren Halsnähte durch Kontaktwirkung Radlasten übertragen sollen (vergleiche Bild 5 a),
2. bei einschnittigen Niet- oder Schraubenverbindungen (vgl. Bild 5 b,c),
3. bei Lagern, Gelenkpunkten und Gleitführungen, wenn wie bisher üblich, die Reibungskräfte nicht im Dauerfestigkeitsnachweis berücksichtigt wurden,
4. bei Blechen, die in Dickenrichtung auf Zug belastet werden.

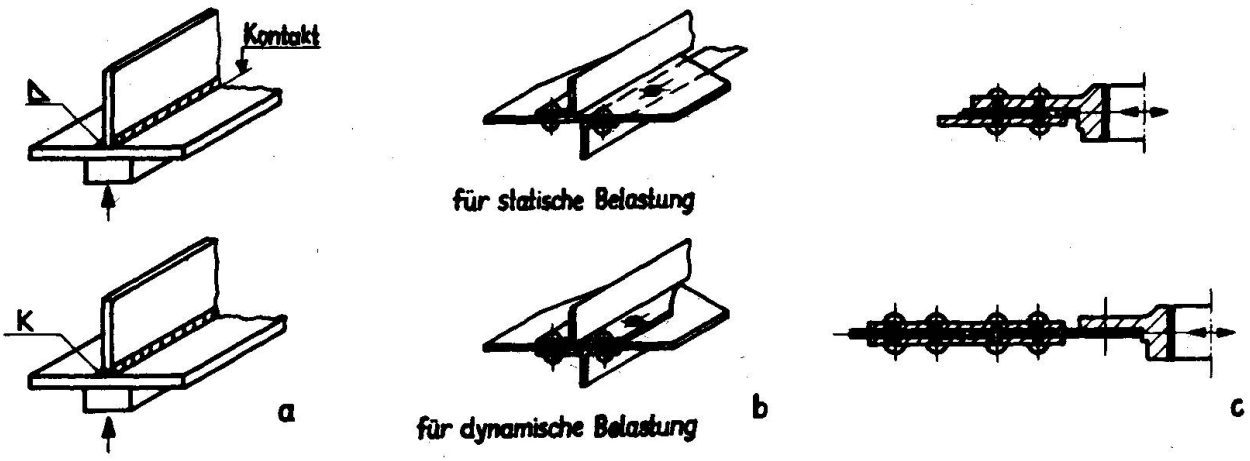

Bild 5: Konstruktive Ausbildung von Detailpunkten

Die Ermüdungsbeanspruchung der Tagebaugroßgeräte ist die gravierende Belastung, die bei nichtfachgerecht ausgeführten Konstruktionen zuerst zum Versagen einzelner Bauteile führt. Je exakter die Belastung und die sich daraus ergebenden Spannungen angegeben werden können, um so präziser wird die Dimensionierung der Bauteile auf Ermüdungsfestigkeit und damit in der Vorherbestimmung ihrer Lebensdauer sein.

Literaturverzeichnis:

/1/ Oehmen, K.-H. - Schwingungen an Tagebaugeräten BWE Bd. 20, H 7 (1968) S. 217 - 222

/2/ Tschudnovsky, W.J. - Der Abbaumechanismus der Schaufelradbagger als selbsterregtes Schwingungssystem Gorni Journal 1966, Nr. 12

/3/ Böhme, K.-H. - Spannungsmessungen am Schaufelradbagger SRs (K) 2000 unter extremen Einsatzbedingungen im Steinkohlentagebau Ekibastus/UdSSR

/4/ Backhaus, E. - Beitrag zur Problematik der Selbsterregung an Schaufelradbaggern Vortrag - Symposium 1974 Donezk

/5/ Langer - Untersuchung zur Schwingungsverminderung an Schaufelradbaggern SRs (K) 2000, IfL-Bericht Nr. 530-12/74

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der Stahlkonstruktion von Schaufelradbaggern und Abraumförderbrücken wurden die Probleme aufgezeigt, die sich bei der Ermittlung der dynamischen Spannungsanteile ergeben.

Bei einer experimentellen Erfassung von Spannungskollektiven zeigte sich, dass selbst einzelne grössere dynamische Lastspitzen noch die gleiche Einsatzdauer dieser Bauteile ermöglichen.

SUMMARY

The problems of the steel structures of bucket wheel dredgers and conveying bridges are presented in relation with the states of dynamic stresses.

The experiment with stresses' states proved that even a few dynamic loads' peaks allow the same service life for the structures' elements.

RESUME

En partant de l'ossature métallique des dragues à godets tournants et des ponts à bandes transporteuses, l'auteur présente les problèmes que pose la détermination de la part dynamique des sollicitations.

L'analyse expérimentale du collectif des contraintes montre que même quelques pointes de sollicitations dynamiques ne réduisent pas la durée de service de ces ossatures.

Leere Seite
Blank page
Page vide