

Józef PARCHAŃSKI

POMIARY NAPRĘŻEŃ W OGNIWIE ŁAŃCUCHA PODCZAS PRACY NA ŁUKU PRZENOŚNIKA

Streszczenie. Za pomocą opracowanego, wykonanego i wywzorcowanego unikatowego przetwornika zmierzono siły działające w łańcuchu przenośnika oraz zmierzono naprężenia istniejące przy wewnętrznych powierzchniach prostych odcinków ogniw łańcucha. Pomiarzy przeprowadzono podczas produkcji samochodów osobowych. Na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych oraz wyników pomiarów przemysłowych podano przyczyny rozrywania ogniw łańcucha przenośnika. Sformułowano sposoby umożliwiające minimalizację awaryjności przenośnika samochodów.

1. WSTĘP

Z badań symulacyjnych opisanych w artykule [2] wynika, że maksymalne wartości naprężeń rozciągających istnieją przy wewnętrznych powierzchniach połówek ogniw bezpośrednio stykających się z rolkami na łukach toru pracującego przenośnika. Dokładność wyników badań symulacyjnych zależy od dokładności cyfrowego modelu badanego obiektu oraz od dokładności określenia wartości rozmiarów obiektu i właściwości materiału obiektu,

STRESS MEASUREMENTS IN A CHAIN LINK DURING OPERATION ON THE BEND OF THE CONVEYOR

Summary. The forces acting on the chain links of a conveyor and the stress present on the inner surfaces of the straight sections of such links were measured using a unique transducer, which was designed, developed and calibrated specially for this purpose. Measurements were taken during the actual manufacturing of vehicles. The root causes of breaks occurring in such chain links were identified on the basis of analyses conducted on the results of simulations and industrial measurements. Countermeasures enabling the minimising of related breakdowns on the vehicle conveyor line were suggested.

1. INTRODUCTION

Simulations described in article [2] show that the maximum values of the tensile stress exist on the inner surfaces of the internal chain link, which is in direct contact with the rollers on the bend of the conveyor. The accuracy of such simulations depends on the accuracy of the digital model created for the object under investigation, including the accuracy of all dimensions and representation of the material used in the real object. Such param-

wprowadzonych do odpowiedniego programu (np. PRO-MES 4.4). Niedokładności obliczeń numerycznych wykonanych za pomocą współczesnych programów przystosowanych do wyznaczania wartości konkretnych wielkości fizycznych (np. naprężenia mechanicznego, pola magnetycznego, temperatury itd.), na ogół są o rząd mniejsze niż niedokładności spowodowane założeniami upraszczającymi modele cyfrowe, niedokładnościami wymuszeń działających na obiekty oraz różnicami między założonymi a rzeczywistymi właściwościami obiektów. Jeżeli jest to możliwe, to należy przeprowadzić pomiary przemysłowe lub laboratoryjne i przeanalizować wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych.

2. POMIARY PRZEMYSŁOWE

Na podstawie wyników badań symulacyjnych i pomiarów laboratoryjnych opisanych w artykule [1] oraz na podstawie wyników badań symulacyjnych przedstawionych w artykule [2], opracowano unikatowy przetwornik pomiarowy. Przetwornik służy do pomiarów chwilowych wartości sił w łańcuchu lub do pomiarów chwilowych wartości naprężeń na wewnętrznych powierzchniach ogniwi łańcucha, pracujących na prostych fragmentach toru przenośnika lub przemieszczających się po rolkach na jego łukach. Zastosowano też unikatowy układ elektroniczny umożliwiający rejestrację chwilowych (w tym maksymalnych) wartości sił lub naprężeń w ogniwach pracujących na wybranych fragmentach toru przenośnika (w tym na jego łukach). Naprężenia rozciągające ogniwa zmierzono na całej długości toru przenośnika (ok.

ters are input into the simulation software e.g. PROMES 4.4. The inaccuracy of numerical calculations, conducted using software developed specially to determine physical parameters such as stress, magnetic field and temperature etc., are usually one factor smaller than the inaccuracy resulting from assumptions made to simplify the digital model, forces acting on the object and the differences between the assumed and real properties of the object under investigation. If these are possible, then industrial or laboratory measurements must be conducted and the results analysed.

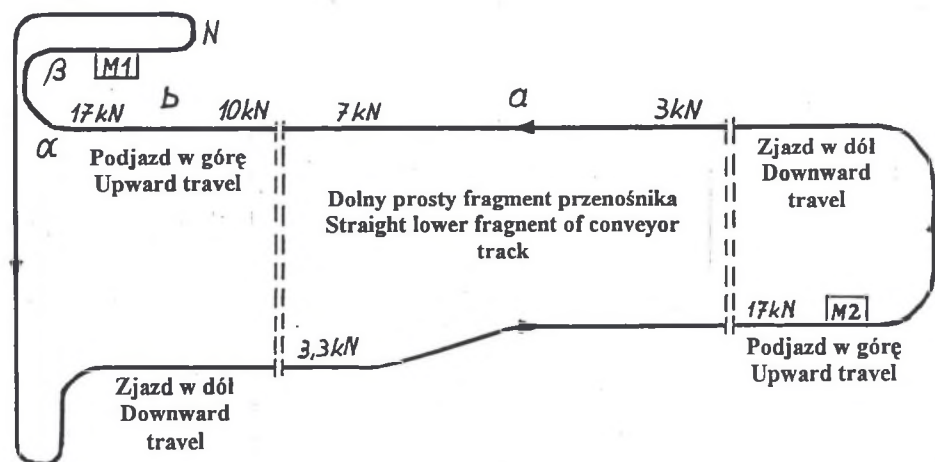
2. INDUSTRIAL MEASUREMENTS

On the basis of simulations and laboratory measurements described in article [1] and the results of simulations presented in article [2], a unique measurement transducer was developed. This transducer was used to measure the instantaneous values of forces acting on the chain and of the stress on the inner surfaces of the chain link, during exploitation on the straight sections of the conveyor and on the bends. A unique electronic system, which enables the recording of instantaneous values of forces and stress within the chain link, including maximum values, was used. The tensile stress within the chain link was measured throughout the entire length of the conveyor (approx. 500 m – 5000 F-100 chain links).

500 m – ok. 5000 ogniw łańcucha typu F-100).

Na rysunku 1 przedstawiono widok z góry badanego toru przenośnika samochodów osobowych. Zaznaczono wybrane proste fragmenty „a” i „b” toru przenośnika, napędy łańcucha M1, M2, stację N napinającą łańcuch oraz wybrane łuki α i β toru przenośnika. Na dolnych fragmentach toru przenośnika karoserie samochodów są na wysokości korzystnej do montażu poszczególnych elementów, więc tu odbywa się ich montaż. Na górnych fragmentach toru przenośnika (ok. 7 m nad podłogą) są zainstalowane napędy M1, M2 oraz stacja N napinająca łańcuch przenośnika. Czasowe przebiegi sił lub naprężeń zarejestrowane na wybranych fragmentach toru przenośnika przedstawiono na rys.2-5.

Fig.1 shows the top view of the vehicle conveyor track. The fragments labelled “a” and “b” are the straight sections. The drive motors are labelled M1 and M2, while the tension regulator is labelled N. α and β represent the bends of the conveyor under investigation. On the bottom section of the conveyor system, the vehicle bodies are situated at heights enabling comfortable assembly of sub components. On the upper section, approximately 7 metres above floor level, there are the drive motors M1 and M2 and the conveyor tension regulator N. The force and stress values registered on the chosen sections of the conveyor track are shown in Fig.2-5.



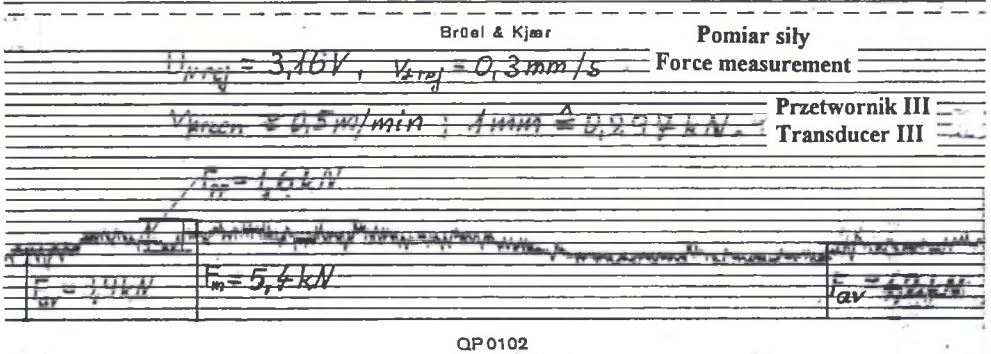
Rys.1. Widok z góry toru przenośnika samochodów osobowych
Fig.1. Top view of the vehicle conveyor track

Z rysunków 1 i 2 wynika, że na dolnych prostych fragmentach przenośnika o łącznej długości ponad 300 m, średnie wartości sił

Fig.1 and 2 show that on the 300 m straight, bottom section the average values of the forces acting on the chain amount to

działających w poszczególnych fragmentach łańcucha wynosiły 3-7,5 kN, czyli 13-33% znamionowej wytrzymałości łańcucha ($F_N = 23 \text{ kN}$). Międzyszczytowe zmiany siły były mniejsze niż 1,6 kN, czyli mniejsze niż 7% F_N .

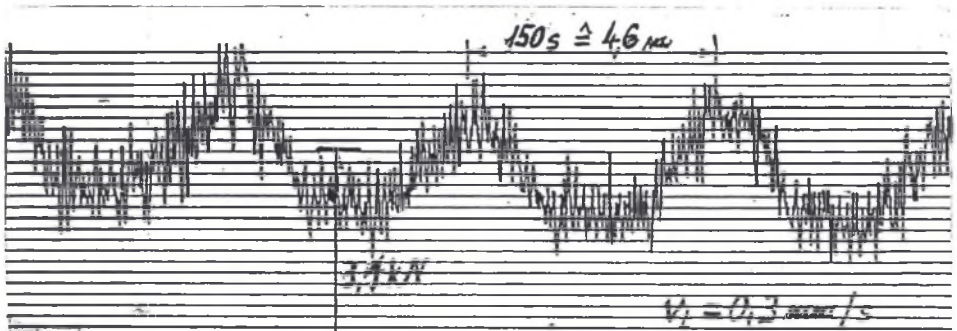
between 3 and 7.5 kN, which is between 13% and 33% of the rated force of the chain ($F_N = 23 \text{ kN}$). The differences in the force values between peaks were less than 1.6 kN, i.e. less than 7% of F_N .



QP 0102

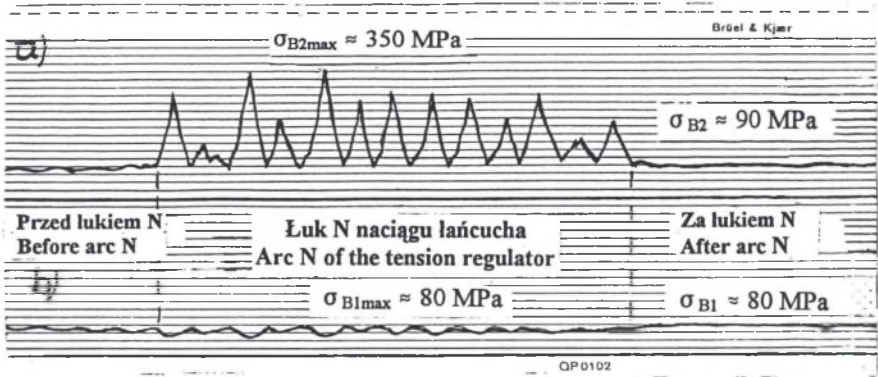
Rys.2. Wybrany przebieg chwilowych wartości siły rozciągającej ogniwa łańcucha pociągowego na prostym poziomym fragmencie „a” toru przenośnika

Fig.2. A fragment of the tensile force instantaneous values graph recorded during the exploitation of the chain link on the straight, horizontal fragment “a” of the conveyor



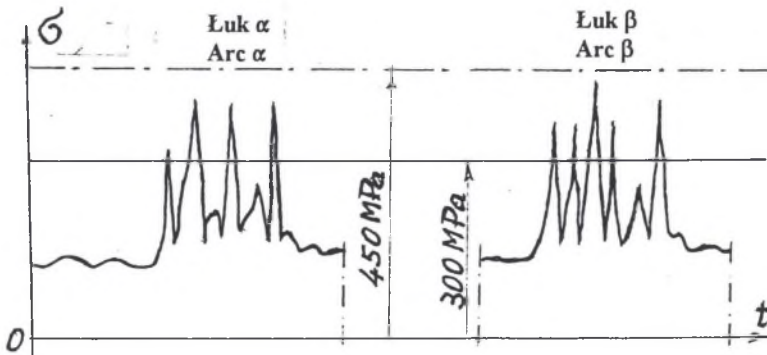
Rys.3. Wybrany przebieg chwilowych wartości siły rozciągającej ogniwa łańcucha pociągowego na prostym fragmencie „b” toru przenośnika, na podejździe w górę

Fig.3. A fragment of the tensile force instantaneous values graph recorded during the exploitation of the chain link on the straight fragment “b” of the conveyor, on the ascending slope



Rys.4. Wybrane przebiegi chwilowych wartości naprężeń rozciągających, na łuku N stacji napinającej łańcuch przenośnika: a) na wewnętrznej powierzchni połówki ogniwa stykającej się z rolkami, b) na wewnętrznej powierzchni drugiej połówki ogniwa nie stykającej się z rolkami

Fig.4. A fragment of the tensile stress instantaneous values graph recorded during the exploitation of the chain link on the bend of the tension regulator N: (a) stress on the inner surface of the half of the chain link in contact with the rollers, (b) stress on the inner surface of the half of the chain link not in contact with the rollers



Rys.5. Chwilowe wartości naprężeń na wewnętrznych powierzchniach połówek ogniw stykających się z rolkami na wybranych łukach α i β toru przenośnika

Fig.5. The instantaneous values of the stress on the inner surfaces of the half of the chain link in contact with the rollers on the chosen bends, α and β , of the conveyor track

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany siły na prostym fragmencie „b” toru przenośnika na podejździe w górę. Największe wartości siły rozciągającej łańcuch przenośnika działały na podejździe przed napę-

Fig.3 shows the changes in the forces acting on the straight fragment “b” of the conveyor during the ascent. The largest tensile forces acting on the conveyor chain were present on the approach to the M1

dem M1, wciągającym w górę pod kątem ok. 30° całkowicie zmontowane samochody, a więc o największym ciężarze. Widoczny jest okres T zmian siły wynoszący $T \approx 2,5$ minuty. Odległości między poszczególnymi podwieszkami samochodów wynosiły $L = 4,6$ m. Liniowa prędkość przenośnika wynosiła $v = L/T = 1,84$ m/min. Gdy samochód z dolnego położenia zaczęło wciągać w górę, to siła rozciągająca łańcuch zaczęła rosnąć. Gdy samochód zaczął wjeżdżać na górny poziomy fragment toru przenośnika, to siła zaczęła naleć. Maksymalne zmiany siły wynosiły ok. 3,8 kN, czyli ok. 17% F_N . Maksymalne wartości siły rozciągającej łańcuch przed napędem M1 wynosiły ok. 17 kN, czyli ok. 74% F_N .

Interesujące wyniki chwilowych wartości naprężeń zmierzonych w ogniwach pracujących na łuku N stacji napinającej łańcuch przedstawiono na rys.4. Na wewnętrznych powierzchniach połówek ogniw bezpośrednio stykających się z rolkami na łuku N stacji naprężenia są znacznie większe (rys.4a) niż naprężenia istniejące w ogniwach na prostych fragmentach przenośnika. Zmierzone maksymalne naprężenia na łuku N stacji napinającej łańcuch przenośnika nie przekraczały 350 MPa. Natomiast na wewnętrznych powierzchniach połówek ogniw nie stykających się z rolkami maksymalne naprężenia na łuku przenośnika (rys.4b) są tego samego rzędu jak naprężenia na prostym fragmencie toru przenośnika, czyli ok. 80 MPa. Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi chwilowych wartości naprężeń na wewnętrznych powierzchniach połówek ogniw bezpośrednio stykających się z rolkami na wybranych łukach α oraz β przenośnika.

drive unit, which pulled completely assembled vehicles, the heaviest loads, upwards at a 30-degree angle. There is a visible period of change in the forces, T , amounting to approximately 2.5 minutes. The distance between the vehicle racks amounted to 4.6 metres. The line velocity was $v = L/T = 1.84$ m per minute. When the lowest positioned vehicle started the ascent, the tensile forces acting on the chain started to rise. When the vehicle approached the highest, level fragment of the conveyor track, the forces decreased. The maximum difference in the forces amounted to 3.8 kN, approximately 17% F_N . The maximum value of the tensile forces acting on the chain on the approach to the M1 drive unit was approximately 17 kN or 74% F_N .

Interesting instantaneous value stress results were recorded for the chain links operating on the bend N of the tension regulator as shown in Fig.4. The stress values on the inner surfaces of the halves of the chain links in direct contact with the rollers on the N bend are significantly larger than those of the chain links on the straight sections of the conveyor track. The maximum measured stress value on the bend of the tension regulator N did not exceed 350 MPa. However, on the inner surfaces of the halves of the chain links not in contact with the rollers, the maximum stress values on the bend of the conveyor are similar to those of the stress present on the straight fragments of the conveyor track, approximately 80 MPa. Fig.5 shows the instantaneous values of the stress on the inner surfaces of the halves of the chain links in direct contact with the rollers on the chosen bends, α and β .

3. WNIOSKI

Badania symulacyjne oraz przemysłowe pomiary sił i naprężeń w ogniwach łańcucha na prostych fragmentach oraz na łukach toru przenośnika umożliwiły wskazanie przyczyny rozrywania ogniw łańcucha przenośnika samochodów osobowych. Szczególnie niekorzystna jest praca ogniw na łukach o dużej krzywiznie. Maksymalne wartości naprężeń rozciągających ogniw są wprost proporcjonalne do siły rozciągającej łańcuch i do krzywizny łuku [2]. Maksymalne wartości naprężeń na wewnętrznych powierzchniach ogniw pracujących na łukach przenośnika są znacznie większe niż podczas pracy ogniw na prostych fragmentach przenośnika.

Istnieje dobra zgodność wyników badań symulacyjnych [2] z wynikami pomiarów przemysłowych przedstawionych na rys.4. Na wewnętrznych prostych odcinkach połówek ogniw bezpośrednio stykających się z rolkami na łukach toru przenośnika maksymalne wartości naprężeń rozciągających (rys.4a) są znacznie większe niż na wewnętrznych powierzchniach prostych odcinków drugich połówek ogniw nie stykających się bezpośrednio z rolkami (rys.4b), a te mają wartości zbliżone do naprężeń w ogniwach pracujących na prostych fragmentach przenośnika (rys.4 – patrz wykresy wartości naprężeń przed i za łukiem odciążu).

Zgodnie z teorią Wöhlera, ze wzrostem liczby cykli zmian naprężenia działającego w ogniwach łańcucha – maleje zmęczenie-wa wytrzymałość materiału ogniw. Jeżeli np. statyczna wytrzymałość na rozciąganie nowych ogniw wynosi $R_m = 880$ MPa, a maksymalne wartości naprężeń w ogni-

3. CONCLUSIONS

The computer simulations and industrial measurements of the forces and stress within the chain links on the straight sections and bends of the conveyor track made it possible to identify the root causes of the chain links bursting. The exploitation of the chain links on the small radius bends (sharp arc) is significantly harmful [2]. The maximum value of the stress on the inner surfaces of the chain links operating on the bends are significantly greater than those occurring during operations on the straight sections of the conveyor track.

There is good compatibility of the computer simulation results [2] with those obtained from industrial measurements presented in Fig.4. On the inner straight, surfaces of the halves of the chain links in contact with the rollers, the maximum values of the tensile stress (Fig.4a) are significantly greater than those of the inner surfaces of the straight sections of the other halves, which did not make contact with the rollers (Fig.4b). These have values similar to those of the stress on the straight sections of the conveyor (Fig.4 – see the graphs before and after the tension regulator bend).

In accordance with Wöhler's theory, with the increase in the number of stress fluctuation cycles within the chain link, its dynamic strength decreases. If for example, the static tensile strength of new chain links amounts to $R_m = 880$ MPa, and the maximum stress within the chain link is less than 450 MPa (Fig.5), then the chain link will operate without bursting. If, after a large number of fluctuation cycles (10^8 cycles) the dynamic tensile strength of the

wach są mniejsze niż np. 450 MPa (rys.5), to łańcuch będzie pracować bez pęknięć. Jeżeli po dużej liczbie cykli zmian naprężeń (np. 10^8 cykli), dynamiczna wytrzymałość materiału ogniwi obniży się do np. 300 MPa, to maksymalne wartości naprężeń na wewnętrznych powierzchniach ogniwi przemieszczających się po rolkach na łukach np. α i β toru przenośnika mogą być większe niż 300 MPa. Spowoduje to mikropęknięcia przy powierzchni ogniwi, a po dalszej ich eksploatacji spowoduje rozerwanie najsłabszego ogniwa łańcucha, zatrzymanie przenośnika i duże straty produkcyjne.

Aby zminimalizować awaryjność przenośnika należy:

- zmniejszyć krzywizny łuków. Spowoduje to zmniejszenie składowych sił zginających ogniwa i zmniejszenie maksymalnych naprężeń rozciągających ogniwa,
- rozciąć łańcuch o długości ponad 500 m napędzany przez dwa zsynchronizowane napędy M1 i M2. Przy wadliwie działającej synchronizacji naprężenia mają ekstremalnie duże wartości. Tor przenośnika zbudować z dwóch krótszych przenośników i dwóch krótszych łańcuchów napędzanych jeden przez napęd M1, a drugi przez napęd M2,
- przenieść napędy M1 i M2 przed łuki toru przenośnika, ponieważ za napędami siły w łańcuchu są znacznie mniejsze niż przed napędami. Tym samym naprężenia w ogniwach też będą mniejsze. Jeżeli te zalecenia będą zrealizowane, to nie będzie mikropęknięć i nie będzie awarii przenośnika.

chain link material is reduced to approximately 300 MPa, then the maximum stress values within the chain links operating over the rollers on the bends, α and β , may exceed 300 MPa, thus resulting in microscopic cracks. These cracks, after further exploitation may lead to the weakest chain link bursting, thus resulting in significant losses.

In order to minimise the conveyor breakdowns attributed to the above, the following steps should be taken:

- Increase the radius of the bends – larger arcs. This will result in a reduction of those component forces bending the chain link. It will also reduce the maximum tensile stress within the chain links.
- Cut (separate) the 500 m chain currently being driven by two synchronized drive units M1 and M2. Due to faulty synchronization, the values of the stress within the chain links are very high. Reconfigure the conveyor to obtain two shorter sections each with its own drive unit M1 and M2.
- Transfer the M1 and M2 drive units to sites before the bends because the forces downstream of the drive units are significantly smaller than upstream. Analogically, the stress values will also be lower. If these proposals are effected, then there will be no microscopic cracks and no related breakdowns.

1. Parchański J., David D.: Zmodyfikowane ogniwo typu F-100 jako przetwornik naprężenia i siły. ZN Pol. Śl., S. Elektryka, z. 162, Gliwice 1998, ss. 63-76.
2. Parchański J., David D.: Model łuku przenośnika i wyniki symulacyjnych badań naprężeń w ogniwie łańcucha. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 184. Gliwice 2003, ss. 7-16.
1. Parchański J., David D.: The modified F-100 chain link as a force and stress transducer. ZN Pol. Śl., S. Elektryka, z. 162, Gliwice 1998, pp. 63 – 76.
2. Parchański J., David D.: The conveyor bend model and results of simulations of stress within the chain link. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 184, Gliwice 2003, pp. 7-16.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stefan KUBISA

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 listopada 2002 r.