

Dwayne DAVID
Józef PARCHAŃSKI

**WYZNACZENIE NAPRĘŻENIA
ROZCIĄGAJĄCEGO W OGNIEWIE
ŁAŃCUCHA POCIĄGOWEGO,
W WARUNKACH PRACY NA ŁUKU,
NA PODSTAWIE CYFROWEGO
MODELU OGNIWA**

Streszczenie. Metodą elementów skończonych wyznaczono wartości naprężeń rozciągających σ_x , σ_y i σ_z w kierunkach osi X, Y i Z podczas pracy wewnętrznego ogniwa łańcucha pociągowego typu F-100 na łuku linii montażowej. Łańcuchy pociągowe służą do przemieszczania samochodów wzdłuż linii montażowej. Naprężenia obliczono na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni oraz na środkowej ścianie za pomocą cyfrowego modelu ogniwa. Podczas przemieszczania się ogniwa po rolkach na łuku linii montażowej, naprężenie na wewnętrznej powierzchni ogniwa jest jednostronnie zmienne, a jego wartość maksymalna jest tym większa im większa jest krzywizna łuku. Maksymalna wartość naprężenia może być kilka razy większa niż podczas pracy ogniwa na prostym odcinku linii montażowej. Natomiast naprężenie na zewnętrznej powierzchni ogniwa zmienia znak z naprężenia rozciągającego na ściskające o dużej wartości.

**DETERMINING THE TENSILE
STRESS IN A DRIVE CHAIN LINK
UNDER CONDITIONS
OF EXPLOITATION AROUND
A BEND, USING A DIGITAL MODE**

Summary. The tensile stress values σ_x , σ_y and σ_z in the direction of the X, Y and Z axes were calculated for a F-100 internal chain link under conditions of exploitation similar to those on the bend of an assembly line, using the finite elements method. The chain links form a part of the drive system, which moves cars along the assembly line. The stress values were calculated for the outer and inner surfaces as well as on the middle wall of the internal chain link using its digital model. During the movement of the chain link over the rollers along the bend, the stress values for the inner surface varied without changing signs and their maximum value increased as the severity of the bend increased. The maximum stress values, under conditions of exploitation around the bend, were several times greater than those for exploitation on straight sections of the assembly line. On the other hand, the stress values for the outer surface of the chain link changed signs from tensile to compressive. The compressive stress values were large.

1. WSTĘP

Wewnętrzne i zewnętrzne ogniwa typu F-100 stanowią integralną część układu napędowego przenośnika linii montażowej samochodów. W przypadku pęknięcia ogniwa dochodzi do postoju linii i powstają duże straty z tym związane. W artykułach [1, 2] wyznaczono m.in. naprężenia rozciągające i ścinające w oryginalnym wewnętrznym ogniwie typu F-100 w warunkach pracy na prostych odcinkach linii montażowej na podstawie cyfrowego modelu ogniwa. Przeanalizowano rozkład naprężeń rozciągających i ścinających w ogniwie i określono ich wpływ na awaryjność ogniwa. Wykazano, że największy wpływ na trwałość ogniwa, a tym samym trwałość łańcucha pociągowego linii montażowej mają naprężenia rozciągające działające w kierunku siły osiowej ogniwa. Z tego względu w tym artykule analizuje się naprężenia rozciągające. Jak stwierdzono w artykule [3], duże naciski działają na zewnętrzne, górne i dolne powierzchnie ogniwa podczas jego przemieszczania się po rolkach. Naciski te są większe wtedy, kiedy ogniwo przemieszcza się po rolkach na łuku o mniejszym promieniu. W tym artykule wyznaczono metodą elementów skończonych [1] rozkład naprężeń rozciągających w warunkach pracy ogniwa na łuku przenośnika i określono wpływ krzywizny łuku na trwałość ogniwa.

1. INTRODUCTION

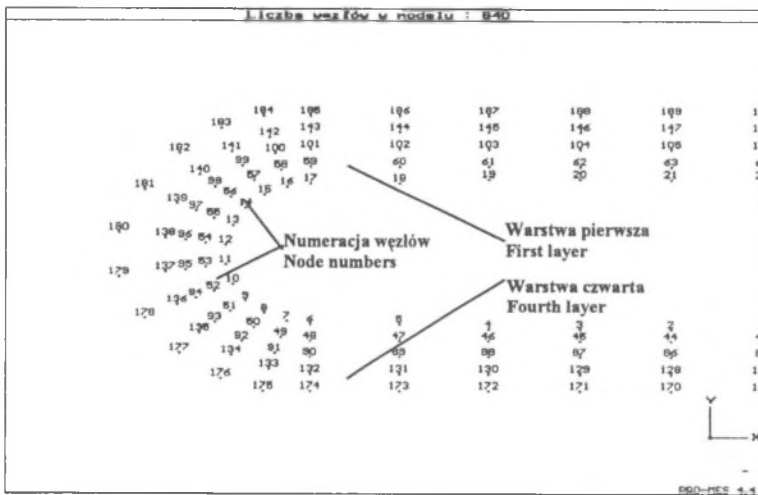
Internal and external F-100 type chain links form an integral part of the drive systems of assembly line conveyors. In the event of a chain link bursting, the assembly line stops and huge losses are incurred. Among others, in papers [1, 2] the tensile and tangential (shearing) stresses present in an original, type F-100, internal chain link under conditions of exploitation on the straight sections of an assembly line were determined using a digital model of the internal chain link. The tensile and tangential stress distributions, within the chain link, were analysed and their influence on the durability of the chain link was determined. It was shown that the most significant influence on the durability of the chain link and thus on the assembly line drive system was exerted by the tensile stress components acting in the direction of the axial force applied to the chain link. For this reason, this paper analyses tensile stress. As was shown in [3], there are large forces acting on the outer, upper and lower surfaces of the chain link while it is passing over rollers on the assembly line. These forces increase even further as the chain link travels along bends of decreasing radius. The tensile stress distribution within the chain link, under conditions of exploitation along the bend of an assembly line, was determined in this paper using the Finite Element method. The influence of the radius of the bend on the durability of the chain link was also defined.

2. WYNIKI KOMPUTEROWEJ
SYMULACJI NAPRĘŻEN
ROZCIĄGAJĄCYCH
CYFROWEGO MODELU
WEWNĘTRZNEGO OGNIAWA
TYPU F-100

Podobnie jak w artykule [3], cyfrowy model oryginalnego wewnętrznego ogniwa typu F100 składa się z 840 węzłów i 504 elementów. Podział modelu ogniwa na warstwy, węzły, elementy i części oraz ich numerację przedstawiono na rys. 1÷4.

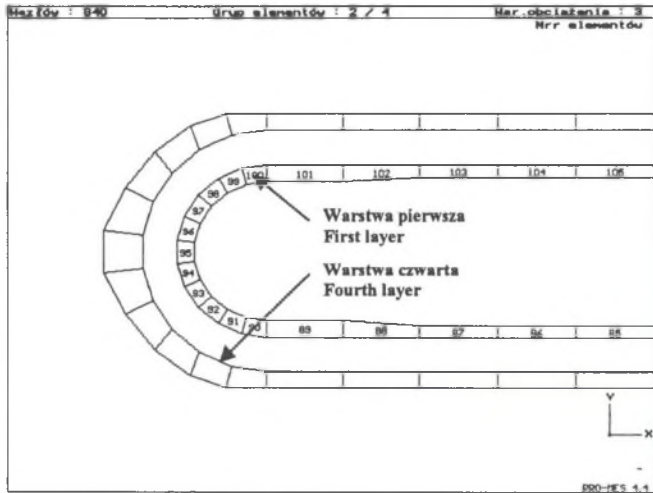
2. THE RESULTS OF COMPUTER
SIMULATIONS OF THE TENSILE
STRESS WITHIN A DIGITAL, F-
100 INTERNAL CHAIN LINK
MODEL

As in paper [3] the digital model of the original, F-100 internal chain link comprises of 840 nodes and 504 elements. The subdivision of the chain link into layers, nodes, elements and parts as well as their numbering system is shown in Fig. 1÷4.



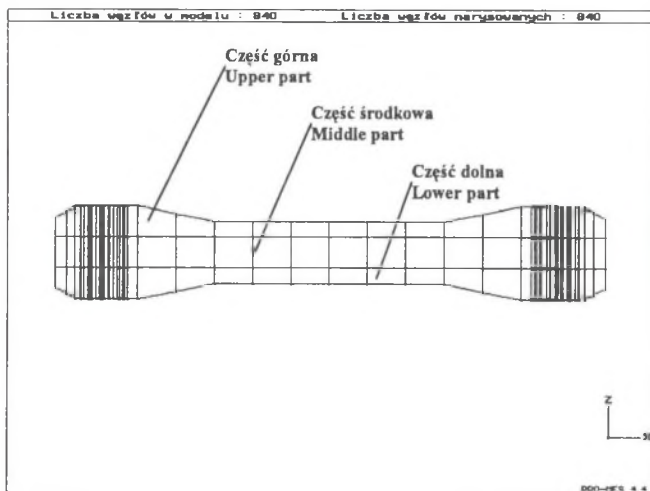
Rys. 1. Podział ogniwa na warstwy i węzły – część dolna lewej połowy ogniwa, widok od dołu. Widok z góry jest identyczny, o numeracji węzłów od 631 do 840

Fig. 1. The subdivision of the chain link into layers and nodes – the lower part of the left half is shown from the bottom. The top view is identical, but the node numbers are from 631 to 840



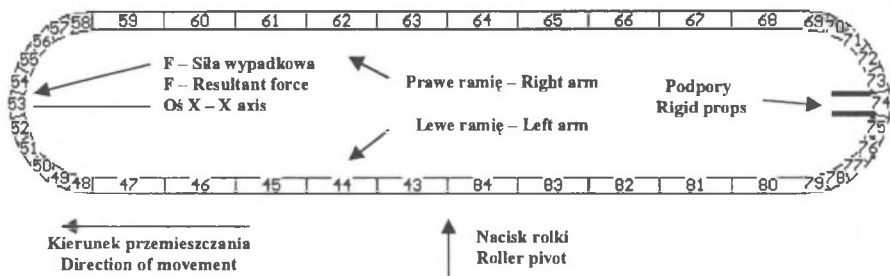
Rys.2. Podział ogniwa na elementy – część górną lewej połowy ogniwa. Warstwa pierwsza ponumerowana – dla pozostałych warstw układ jest identyczny. Elementy od 1 - 42 – część dolna, 43 - 84 – część środkowa, 85 - 126 – część górną

Fig.2. The subdivision of the chain link into elements – the upper part of the left half is shown. The first layer is numbered – the layout of the remaining layers is identical. Elements no. 1 - 42 form the lower part, 43 - 84 form the middle part and 85 - 126 form the upper part of the chain link



Rys.3. Wewnętrzne ogniwo łańcucha typu F-100. Podział ogniwa na części – widok z boku

Fig.3. The subdivision of the F-100 internal chain link into parts – side view



Rys.4. Numeracja elementów warstw – część środkowa ogniwa ponumerowana – dla pozostałych części układ jest identyczny. Elementy od 1 - 42 – część dolna, 43 - 84 – część środkowa, 85 - 126 – część górna

Fig.4. The chain link parts numbering system - the middle part of the chain link is numbered. The layout of the other parts is identical. Elements no. 1 - 42 form the lower part, 43 - 84 form the middle part and 85 - 126 form the upper part of the chain link

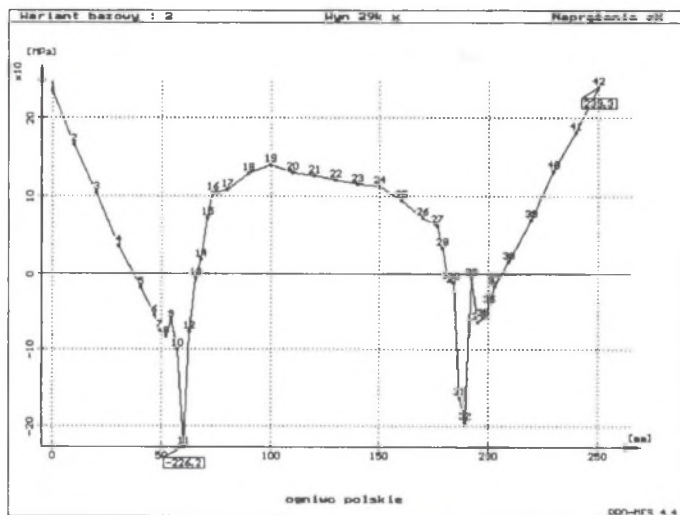
Punkty podparcia umieszczono tak samo jak w artykule [3]. Aby zasymulować nacisk rolek na ogniwo na łuku przenośnika, dodatkowo podparto węzły o numerach 379 i 589, znajdujące się w środku płaszczyzny tworzonej przez lewą powierzchnię zewnętrzną ogniwa przemieszczającego się w przód. Nieco inaczej niż w artykule [3] obciążono elementy 11, 53 i 95 ciśnieniem. Zadano ciśnienia składowe na dwie ściany tworzące ten sam kąt prosty każdego z powyższych elementów. Wartości ciśnień składowych dobrano tak, aby ciśnienie wypadkowe odpowiadało sile równej 20 kN, działającej w kierunku przemieszczania się ogniwa po łuku (kierunek osi X). W dotychczasowych pracach wykazano, iż naprężenia σ_y i σ_z działające w kierunku osi Y i Z są małe lub zerowe i nie wpływają znacząco na trwałość ogniwa.

The rigid props were placed in the same positions as in paper [3]. In order to simulate the force exerted by the rollers on the chain link, moving along the bend of the assembly line, additional rigid props were placed at nodes 379 and 589. These nodes are situated in the middle of the plane formed by the left, outer surface of the chain link while it is moving forward. Pressure was applied to elements 11, 53 and 95 in a slightly different way to that of paper [3]. Pressure components were applied to the same pair of walls, forming a right angle with each other, of each element. The pressure values were chosen in such a way as to obtain a resultant pressure equivalent to a force of 20 kN acting in the direction of motion of the chain link along the assembly line bend (the direction of the X axis). Papers to date have shown that the values of the σ_y and σ_z tensile stresses, acting in the direction of the Y and Z axes, are small or zero and these do not exert any significant influence on the durability of the chain link.

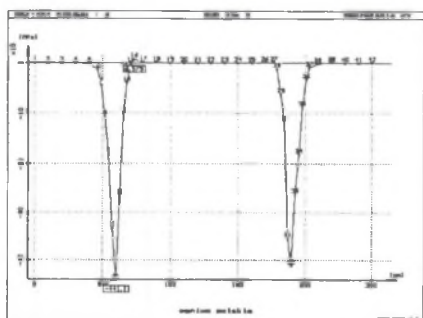
Część dolna

Lower part

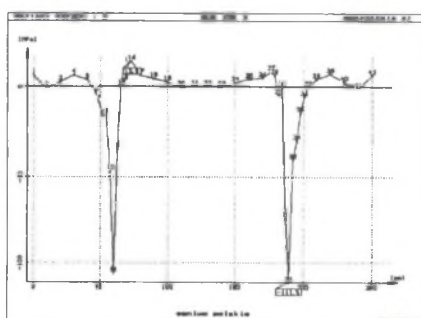
a)



b)



c)



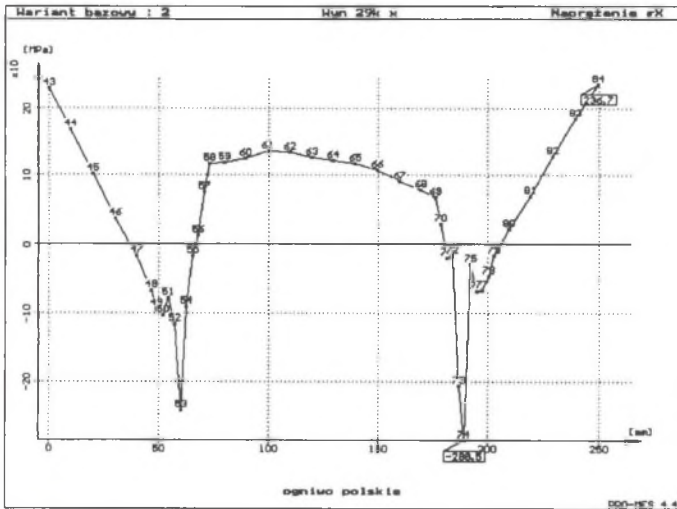
Rys.5. Wykresy naprężeń na wewnętrznej powierzchni pierwszej warstwy dolnej części modelu ogniwa: a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y , c) naprężenie σ_z

Fig.5. The stress on the inner surface of the lower part of the first layer of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

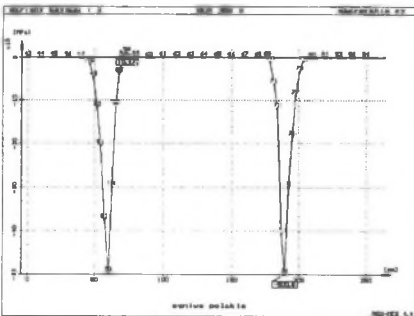
Część środkowa

Middle part

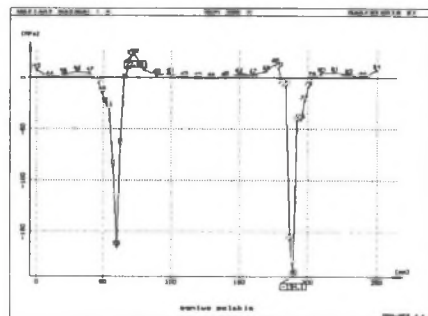
a)



b)



c)



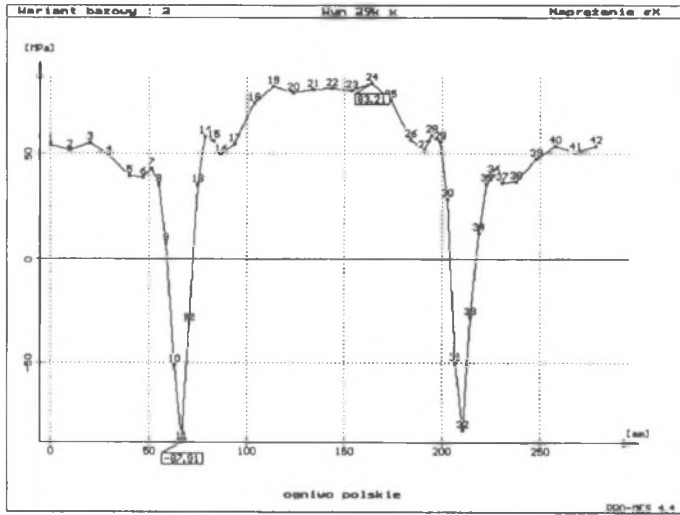
Rys.6. Wykresy naprężeń na wewnętrznej powierzchni pierwszej warstwy środkowej części modelu ogniwa: a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y , c) naprężenie σ_z

Fig.6. The stress on the inner surface of the middle part of the first layer of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

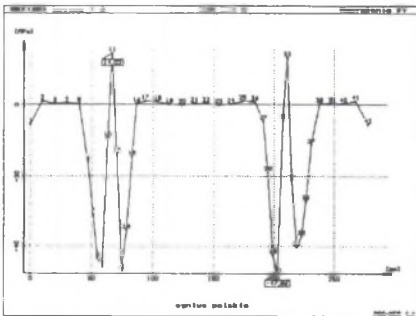
Część dolna

Lower part

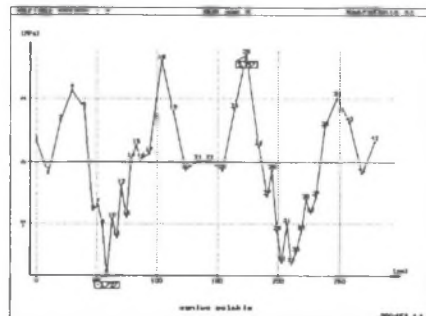
a)



b)



c)



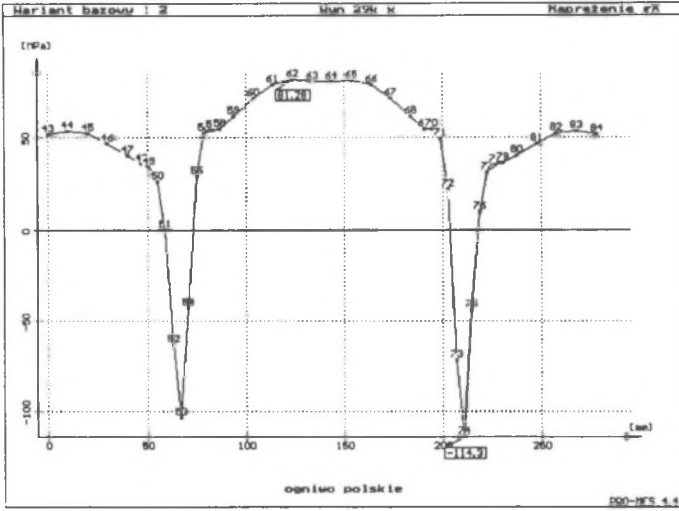
Rys.7. Wykresy naprężeń na środkowej ścianie między drugą a trzecią warstwą dolnej części modelu ogniwa: a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y , c) naprężenie σ_z

Fig.7. The stress on the middle wall between the second and third layers of the lower part of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

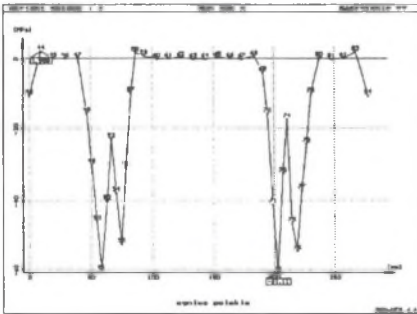
Część środkowa

Middle part

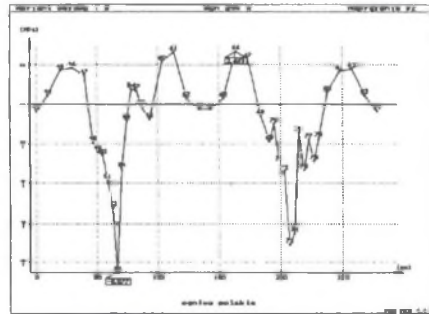
a)



b)



c)



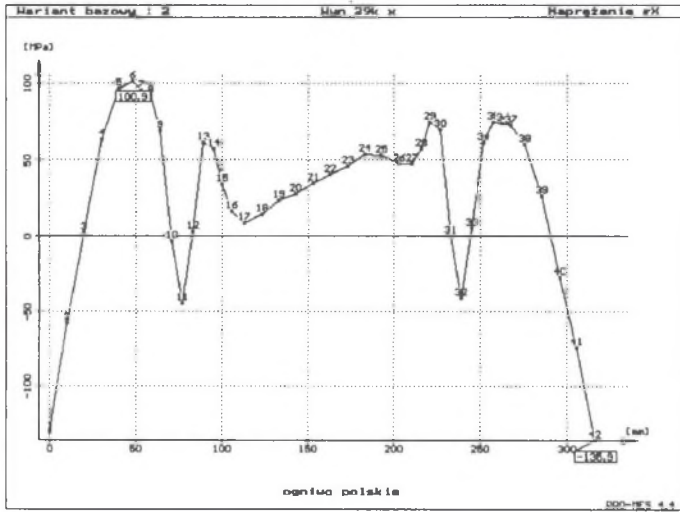
Rys.8. Wykresy naprężeń na środkowej ścianie między drugą a trzecią warstwą środkowej części modelu ogniwa: a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y , c) naprężenie σ_z

Fig.8. The stress on the middle wall between the second and third layers of the middle part of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

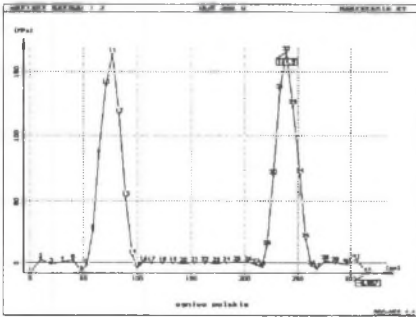
Część dolna

Middle part

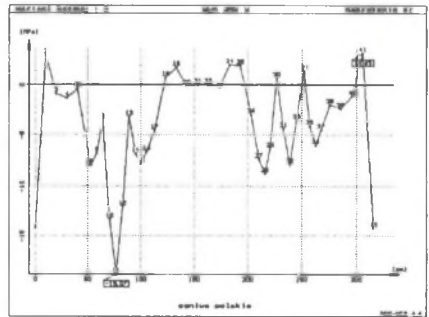
a)



b)



c)



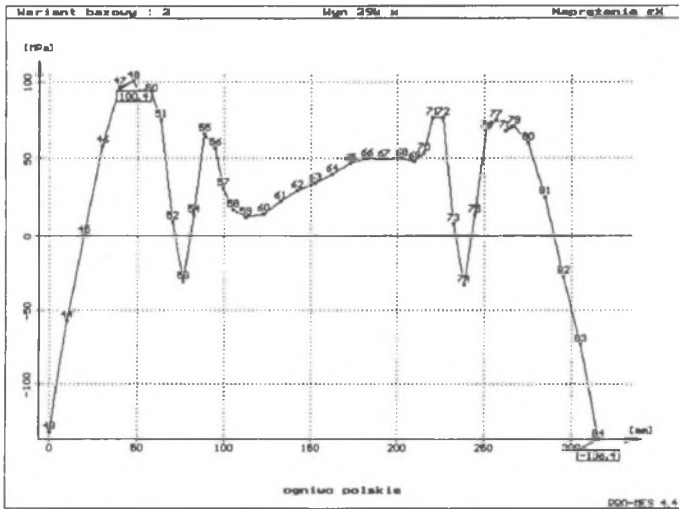
Rys.9. Wykresy naprężeń na zewnętrznej powierzchni czwartej warstwy dolnej części modelu ogniwa: a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y , c) naprężenie σ_z

Fig.9. The stress on the outer surface of the lower part of the fourth layer of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

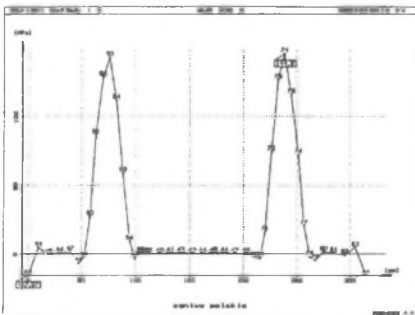
Middle part

Część środkowa

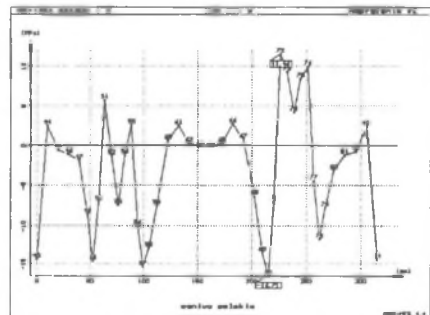
a)



b)



c)



Rys.10. Wykresy naprężeń na zewnętrznej powierzchni czwartej warstwy środkowej części modelu ogniwa:
 a) naprężenie σ_x , b) naprężenie σ_y ,
 c) naprężenie σ_z

Fig.10. The stress on the outer surface of the middle part of the fourth layer of the chain link model: a) σ_x stress values, b) σ_y stress values, c) σ_z stress values

Wykazano również, że wartości naprężenia σ_x w warstwach wewnętrznych mieszczą się w granicach wyznaczonych przez wartości naprężenia na powierzchniach wewnętrznych i zewnętrznych poszczególnych warstw oraz że wartości naprężeń dla części górnej i dolnej są prawie takie same. Z powyższych powodów w tym artykule na rys.5÷10 prezentuje się wartości naprężeń otrzymane dla powierzchni wewnętrznej pierwszej warstwy i powierzchni zewnętrznej czwartej warstwy (rys.2) oraz środkowej ściany między warstwami 2 i 3, środkowej i dolnej części (rys.3) cyfrowego modelu ogniwa.

3. WNIOSKI

Z wyników otrzymanych z badań symulacyjnych przeprowadzonych metodą elementów skończonych za pomocą programu PRO-MES4.4 [1] wynika, iż przy sile osiowej 20 kN i promieniu łuku 488 mm w prawym ramieniu wewnętrzno-go ogniwa typu F 100 na prostym odcinku jego struktury naprężenia rozciągające o wartości $\sigma_x = 125$ MPa (rys.6a, część środkowa, elementy 63 ÷ 64) na wewnętrznej powierzchni są około 4-krotnie większe niż naprężenia rozciągające $\sigma_x = 30$ MPa na zewnętrznej powierzchni na tym samym odcinku. Na lewym ramieniu rozkład naprężenia jest nieco inny. Ze względu na nacisk rolki naprężenia na zewnętrznej powierzchni ogniwa mają charakter ściskający, a ich wartość wynosi maksymalnie (-136) MPa (rys.10a, część środkowa, elementy 43÷84). Na wewnętrznej powierzchni tego samego fragmentu ogniwa naprężenia mają charakter rozciągający, a ich wartość wynosi maksymalnie 237 MPa (rys.6a, część środkowa, elementy 43÷84).

It was also shown that the σ_x tensile stress values in the middle layers fall within the limits determined by the tensile stress values of the inner and outer surfaces and that the stress values for the upper and lower parts are almost the same. Thus, only the tensile stress values for the inner surface of the first layer, the outer surface of the fourth layer (Fig.2) and the wall between the 2nd and 3rd layers, of both lower and middle parts (Fig.3) of the digital model are shown in Fig.5÷10.

3. CONCLUSIONS

The computer simulation results obtained using the PRO-MES 4.4 software, which utilises the Finite Element method, show that with an axial force of 20 kN and a bend radius of 488 mm, the tensile stress value for the straight fragment of the right arm, inner surface (Fig.6a, middle part, element 63÷64, $\sigma_x = 125$ MPa) is approximately four times that of the outer surface for the same fragment ($\sigma_x = 30$ MPa). The stress distribution within the left arm is somewhat different. Due to the force exerted by the rollers on the outer surface of the left arm of the chain link, the outer surface stress values are compressive in character and their maximum value is (-136 MPa – Fig.10a, middle part, elements 43÷84). On the inner surface of the same chain link fragment, the stress values are tensile and reach a maximum of 237 MPa (Fig.6a, middle part, elements 43÷84). The quoted maximum values are much lower than the tensile strength of the steel from which the

Przytoczone wartości maksymalne naprężeń są o wiele mniejsze niż wytrzymałość stali $R_m = 880$ MPa, z której zbudowano ogniwa. Jednak porównując wartości i rodzaje naprężeń na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ogniwa przy jego pracy na łuku i na prostym odcinku przenośnika [1, 2], można wnioskować, iż podczas pracy ogniwa na łuku następuje wzrost wartości naprężenia maksymalnego na wewnętrznej powierzchni ogniwa o prawie 100%. Natomiast na zewnętrznej powierzchni ogniwa następuje zmiana naprężenia z rozciągającego (+ 35 MPa) podczas pracy ogniwa na prostym odcinku linii montażowej, na ścisnąjące (- 136 MPa) podczas pracy ogniwa na łuku.

Zgodnie z teorią Whelera podczas obciążenia obiektu (w tym przypadku ogniwa) naprężeniem zmiennym, a zwłaszcza przemiennym (rozciągające – ścisnąjące – rozciągające itd.), wytrzymałość stali maleje wraz ze wzrostem liczby cykli zmian naprężenia. Wytrzymałość stali może się zmniejszyć ponad trzykrotnie, czyli może mieć wartość 250 MPa, a nawet mniej. Z otrzymanych wyników z badań symulacyjnych wynika, że naprężenie maksymalne (239 MPa (rys.5a, część dolna, elementy 1+42) przy sile osiowej 20 kN i promieniu łuku 488 mm) może przekroczyć lokalną wytrzymałość materiału ogniwa. To spowoduje mikropęknięcia przy powierzchni ogniwa. Przy dalszej eksploatacji spowoduje pęknięcie ogniwa, zatrzymanie linii montażowej i duże straty produkcyjne.

chain link is made ($R_m = 880$ MPa). However after comparing the types and values of the stress on the inner and outer surfaces of the chain link, under conditions of exploitation along the bend of the assembly line, with those for exploitation on straight sections of the same line, a significant increase in the maximum values have been observed. This increase amounts to almost 100%. On the outer surface the stress changes character from tensile (+ 35 MPa) to highly compressive (- 136 MPa).

The above mentioned change concerns exploitation along the bend of the assembly line.

According to Wheler's theory, the tensile strength of an object (in this case the chain link) subjected to stress of variable character (tensile - compressive - tensile) decreases as the number of stress change cycles increase. The tensile strength of steel may decrease three times, assuming values as low as 250 MPa or less. The results obtained show that the maximum stress value (239 MPa, Fig.5a, lower part, elements 1+42) under conditions of exploitation $F=20$ kN and bend radius 488 mm, may exceed the local tensile strength of the chain link material, thus causing microscopic cracks to develop on the chain link surface. Further exploitation of such a chain link may lead to its bursting and a breakdown on the assembly line. This incurs significant production losses.

LITERATURA

REFERENCES

1. David D., Parचाński J.: Wyznaczanie naprężenia rozciągającego wewnętrznego ogniwa łańcucha pociągowego typu F-100. ZN Pol. Śl., ser. „Elektryka”, z. 158, Gliwice 1997, s. 19÷42.
2. David D., Parचाński J.: Wyznaczanie naprężenia ścinającego i zredukowanego oraz przemieszczenia określonych punktów wewnętrznego ogniwa łańcucha pociągowego typu F-100. ZN Pol. Śl., ser. „Elektryka”, z. 158, Gliwice 1997, s. 43÷54.
3. David D., Parचाński J.: Doświadczalna weryfikacja wyników symulacji naprężeń w ogniwie łańcucha typu F-100. ZN Pol. Śl., ser. „Elektryka”, z. 162, Gliwice 1998, s. 63÷76.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stefan KUBISA

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 czerwca 1999 r.