

Dr inż. Jarosław BARTNICKI, dr inż. Janusz TOMCZAK
Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Lublin

Analiza teoretyczna procesu zaciskania tulei ze stopu aluminium 5050 na końcówkach lin

Theoretical analysis of clamping process of a sleeve from aluminum alloy 5050 at the cables endings

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano procesy technologiczne wykonawstwa końcówek lin i cięgien stosowanych zwłaszcza w branży mechanicznej i budowlanej. Opisano sposoby wykonawstwa zakończeń użytkowych tych wyrobów za pomocą procesu zaciskania tulei końcowych. W miejsce najbardziej rozpowszechnionej metody zaciskania tulei końcówek za pomocą wkładek umieszczanych w prasach zaproponowano walcowanie za pomocą segmentów bruzdowych. Uzyskane w wyniku analizy numerycznej MES wyniki wykorzystano w projekcie przyrządu do praktycznej realizacji tego procesu.

Abstract

In this paper, technological processes of cables and strings endings manufacturing, used mainly in mechanical and building industries, are discussed. The ways of manufacturing of functional endings of these products by means of sleeves clamping process are described. In the place of the most widely used method of ends sleeve clamping by means of pads placed in presses, rolling by means of groove segments was proposed. Results obtained in numerical analysis FEM were used in designing a machine for practical realization of this process.

Słowa kluczowe: zaciskanie, MES, końcówki lin

Key words: clamping, FEM, cables endings

1. WSTĘP

Liny i cięgna znajdują bardzo szerokie zastosowania w różnych dziedzinach przemysłu. Spotykamy je zarówno w prostych mechanizmach typu hamulec, zamek lub przepustnica, jak i w bardzo zaawansowanych projektach budowlanych, gdzie elementy te podtrzymują przęsła mostów lub stanowią odciągi masztów [1]. Dobór odpowiedniego przekroju liny lub cięgna oraz materiału, z którego wykonywane są te wyroby, jest stosunkowo prosty. W obliczeniach inżynierskich uwzględnia się w tym wypadku następujące czynniki: wytrzymałość statyczna i dynamiczna, wydłużenie, pełzanie itd.

1. INTRODUCTION

Cables and strings are widely used in various industrial branches. They can be met in simple mechanisms such as brake, lock and throttling valve or in more complex building projects, in which these elements support bridge spans or constitute mast guys [1]. The choice of appropriate cable or string section and material from which these products are made is relatively simple. In engineering calculations the following factors are considered in this case: static and dynamic resistance, elongation, creeping, etc.

Po uwzględnieniu danych materiałowych określa się metodę wykonania końcówek lin w sposób gwarantujący uzyskanie nie niższych, niż dla rdzenia liny, charakterystyk mechanicznych [2].

Jedną z najpewniejszych metod wykonywania końcówek lin jest sposób stosowany do niedawna bardzo szeroko w żeglarstwie polegający na zaplataniu końcówki liny krzyżując kolejno i zaginając wchodzące w jej skład druty. Ta żmudna i pracochłonna metoda została jednak zastosowana przez proces zaciskania na linach tulei z różnymi zakończeniami. Rozwiązanie to znajduje obecnie najszersze zastosowania w przemyśle maszynowym i motoryzacji.

W przypadku masywnych lin konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie, końcówki lin są specjalnie przygotowywane (wywijanie haczykowatych zakończeń drutów) i następnie zalewane staliwem tworząc kausze. Tak wykonywane liny odciągowe do masztów przechodzą następnie próbę przepięzania, która weryfikuje ich wytrzymałość oraz pozwala na uzyskanie rzeczywistej długości po wydłużeniu.

W niniejszym artykule skupiono się wyłącznie na procesie zaciskania tulei ze stopów aluminium na końcówkach lin.

2. MODEL NUMERYCZNY PROCESU ZACISKANIA TULEI

Najbardziej rozpowszechnioną formą zaciskania końcówek w postaci tulei na linach stalowych jest stosowanie prasy wyposażonej we wkładki półokrągłe o długości i średnicy dostosowanej do zaciskanej pary lina – tuleja. Rzadszym wariantem tej metody jest wprowadzenie, w miejsce wkładek półokrągłych odpowiedników dających w efekcie zacisk w formie sześciokąta.

Istotą uzyskania właściwego połączenia w obu tych przypadkach jest wprowadzenie materiału zaciskanej tulei pomiędzy poszczególne druty splecionej liny. Niewielkie wady powierzchni zewnętrznej (wyływka) są redukowane poprzez powtórzenia procesu z jednoczesnym obróceniem wykonanego połączenia.

After considering material data, the method of cables endings manufacturing is determined in such a way that obtaining not lower than for cable core mechanical characteristics is guaranteed [2].

One of the most reliable method of cables endings manufacturing is the method used so far in yachting and based on cable splicing by crossing and bending of wires. This demanding and time consuming method was, however, used by means of clamping process of a sleeve with various endings on cables. This solution is presently widely applied in machine and automotive industries.

In the case of large constructional cables used in building industry, cables endings are specially prepared (wires hooked endings burring) and next poured by cast steel constituting thimbles. Such made guy cables for masts undergo later test of overstraining, which verifies their resistance and allows for obtaining actual length after elongation.

This paper presents only the process of a sleeve clamping from aluminum alloys at the cables endings.

2. NUMERICAL MODEL OF A SLEEVE CLAMPING PROCESS

The most popular way of clamping of endings in the form of sleeve on steel cables is the application of a press equipped with semi-circular pads of length and diameter adjusted to the clamped pair cable-sleeve. Less popular variant of this method is inserting, in the place of semi-circular pads, semi-circular equivalents, which give, in the result, clamp in the form of hexagon.

The essence of obtaining proper connection in both of these cases is implementing the material of clamped sleeve between particular wires of the spliced cable. Small faults of external surface (flash) are reduced by repetition of the process with turning of the connection at the same time.

Proponowaną alternatywą do przedstawionej powyżej, szeroko stosowanej technologii zaciskania na prasach, jest wprowadzenie walcowania wzdłużnego za pomocą odpowiednio zaprojektowanych segmentów roboczych [3].

Idea tego rozwiązania została przedstawiona na rys. 1. Uwidoczniono na nim początkowy i końcowy etap procesu zaciskania tulei metodą walcowania.

W analizie numerycznej procesu zaciskania tulei na linie stalowej za pomocą walcowania zastosowano komercyjny pakiet oprogramowania DEFORM 3D. W obliczeniach przyjęto przestrzenny model odkształceń. Ze względu na to, że proces w warunkach rzeczywistych odbywa się na zimno, celem uproszczenia założono izotermiczne warunki kształtowania. Ponadto, przyjęto iż tuleje wykonywane są ze stopu aluminium 5050 (AlMg1,5) [4]. Znajduje to odzwierciedlenie w niektórych wyrobach motoryzacyjnych i lotniczych.

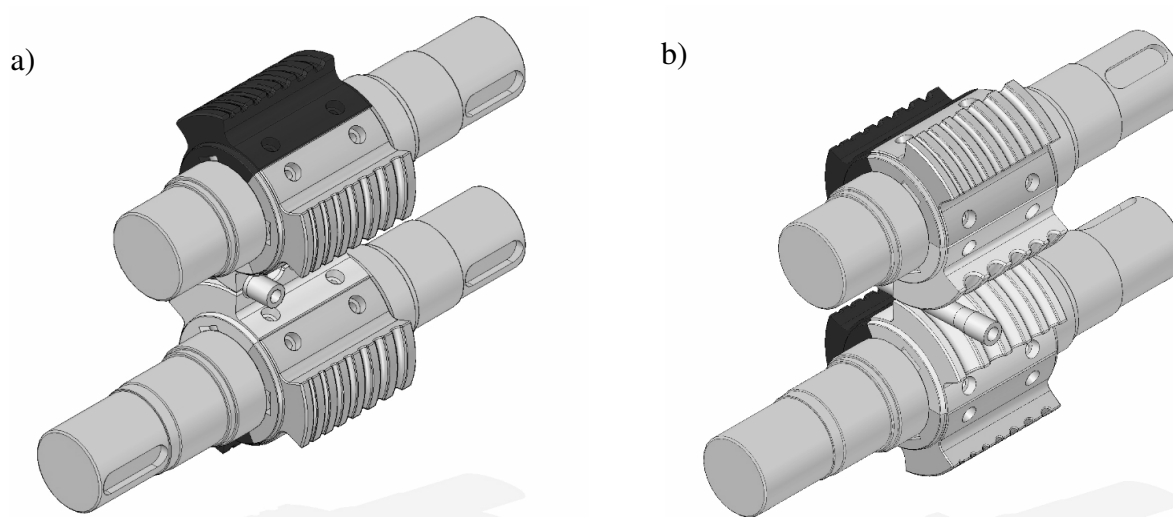
W założeniach przyjęto zaciskanie tulei na linach stalowych o średnicach od $\varnothing 10$ do $\varnothing 18$ mm. Do obliczeń numerycznych wytypowano tuleje o średnicach wewnętrznych odpowiadających średnicom lin, dodając naddatek wymiarowy na łatwe wprowadzenie liny do środka tulei (około 0,5 mm).

An alternative technology to the discussed above widely used technology of clamping on press is implementation of elongated rolling by means of properly designed working segments [3].

This solution is presented in Fig.1. In this Figure, the first and the last stage of the sleeve clamping process by means of rolling are shown.

In numerical analysis of the sleeve clamping process on steel cable by means of rolling, commercial software DEFORM 3D was used. Three dimensional state of strain 3D was assumed in calculations. Due to the fact that the process in reality takes place in cold conditions, isothermal forming conditions were assumed as simplification. Moreover, it was assumed that sleeves are made from aluminum alloy 5050 (AlMg1.5) [4]. It is reflected in certain automotive and aviation products.

It was also assumed that the sleeve is clamped on steel cables of diameter from $\varnothing 10$ to $\varnothing 18$ mm. For numerical calculations needs, sleeves of internal diameters corresponding to cables diameters were considered, adding dimensional allowance for easy cable implementation into the sleeve (about 0.5 mm).



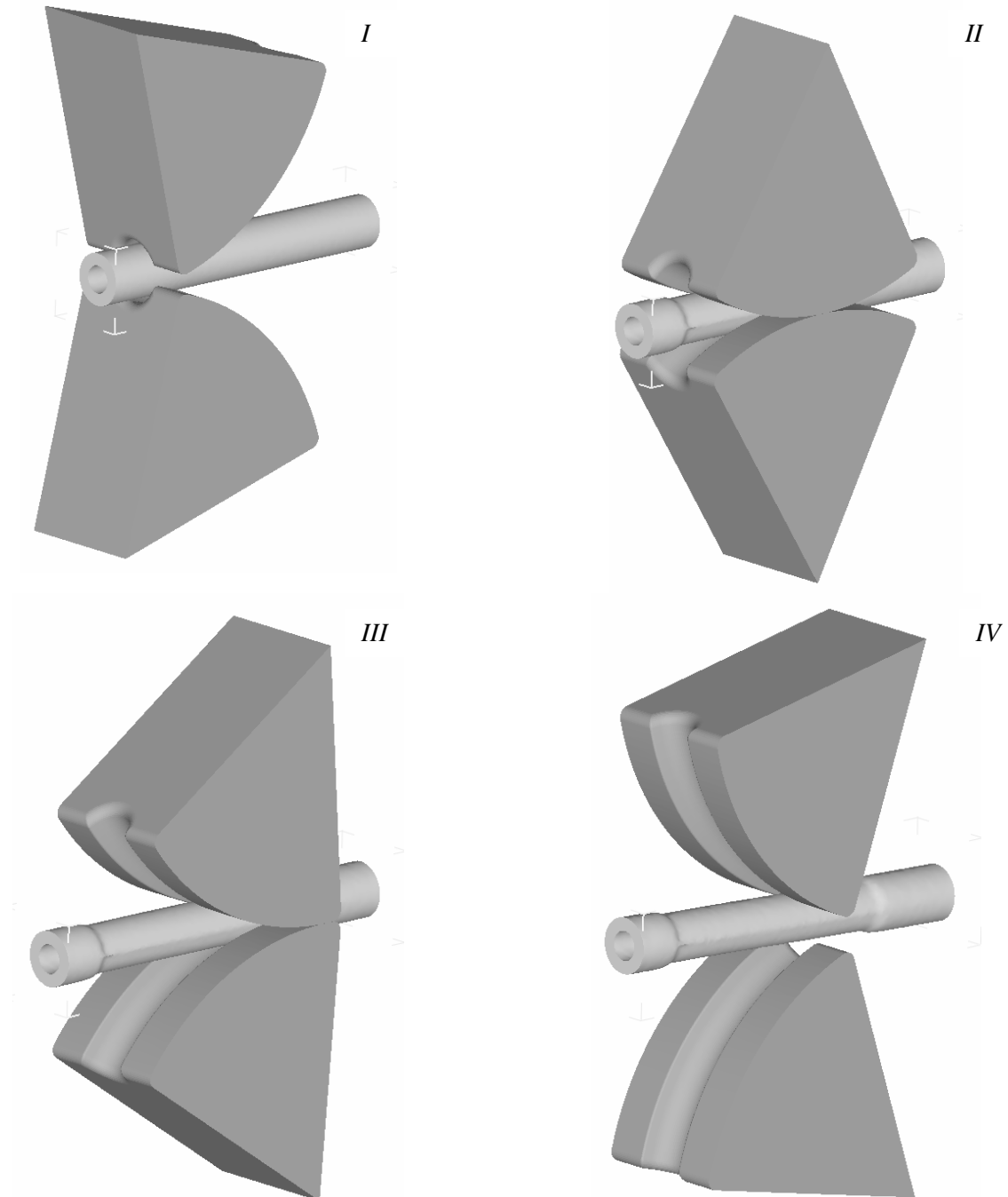
Rys. 1. Schemat procesu zaciskania tulei za pomocą walcowania: a) początek procesu , b) koniec procesu
 Fig. 1. Schema of sleeve clamping process by means of rolling: a) the first stage of the process, b) the last stage of the process

3. ANALIZA NUMERYCZNA MES PROCESU ZACISKANIA TULEI

Kolejne stadia procesu zaciskania tulei w wybranym przypadku kształtowania za pomocą wkładek brzdowych zamocowanych na walcach (rys. 1) podano na rys. 2.

3. NUMERICAL ANALYSIS FEM OF A SLEEVE CLAMPING PROCESS

The stages of the sleeve clamping process in a chosen variant of forming by means of groove pads mounted on rolls (Fig. 1) are given in Fig. 2.



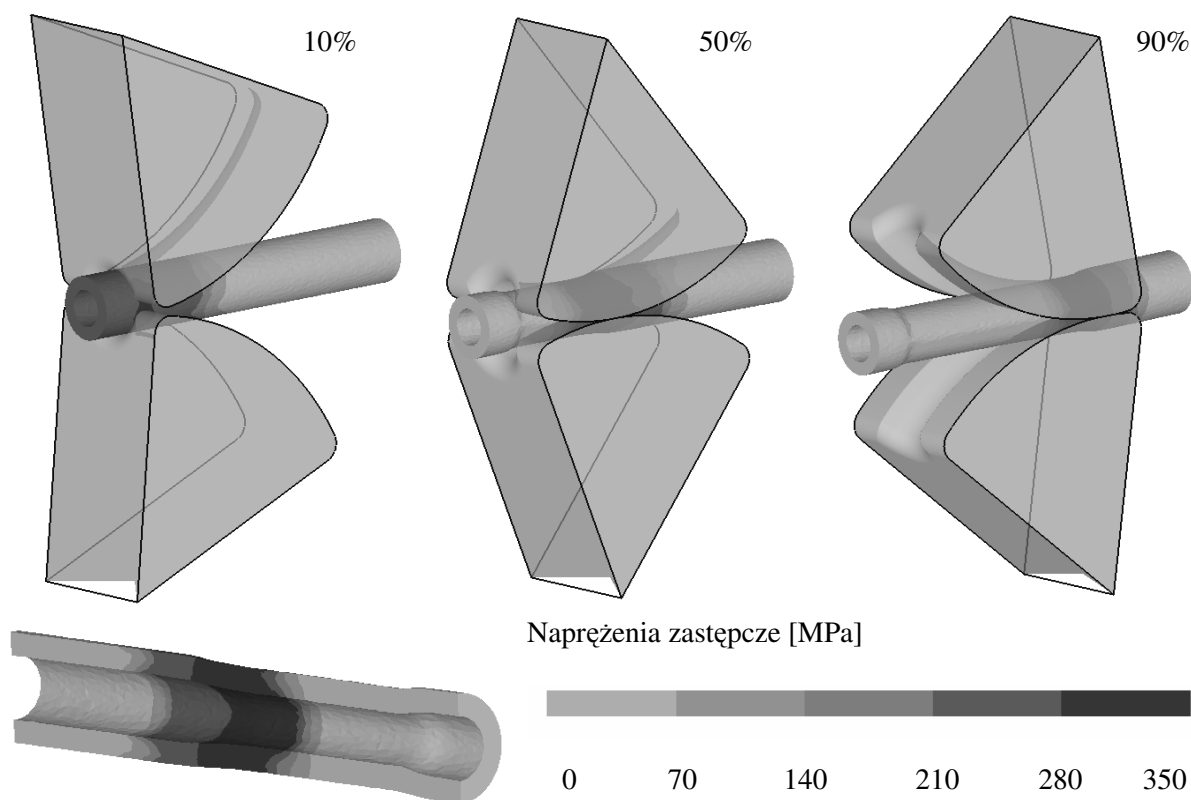
Rys. 2. Kolejne etapy (I-IV) zaciskania tulei aluminiowej 5050 za pomocą wkładek brzdowych
Fig. 2. Stages of aluminum sleeve 5050 clamping by means of groove pads

Z uwagi na trudności z zamodelowaniem wprowadzanej do tulei liny stalowej [5] w obliczeniach zrezygnowano z wprowadzania tego elementu, przyjmując, że redukcja średnicy wewnętrznej tulei na poziomie 4-5 mm będzie wystarczająca dla uzyskania właściwego połączenia trwałego. W doborze stopnia redukcji średnicy kierowano się pomiarami tradycyjnie zaciskanych końcówek na linach stalowych.

Celem właściwego ustalenia kształtu wkładek bruzdowych przeznaczonych do zaciskania tulei przeanalizowano rozkłady naprężeń występujących w tulejach w trakcie procesu zaciskania. Przykładowe rozkłady naprężeń zastępczych dla wybranego przypadku zaciskania tulei aluminiowej 5050 o średnicy wewnętrznej $\varnothing 16$ mm podano na rys. 3.

Due to difficulties with remodeling of the inserted into the sleeve steel cable [5], in calculations this element was omitted, assuming that reduction of internal diameter at the level 4-5 mm would be adequate to obtain appropriate fixed connection. The choice of degree of diameter reduction depended on the measurement of traditionally clamped endings on steel cables.

In order to determine precisely the shape of groove pads determined for sleeve clamping, distributions of stresses present in sleeves during clamping were analyzed. The examples of reduced stresses for the chosen case of clamping of aluminum sleeve 5050 of internal diameter $\varnothing 16$ mm is shown in Fig. 3.



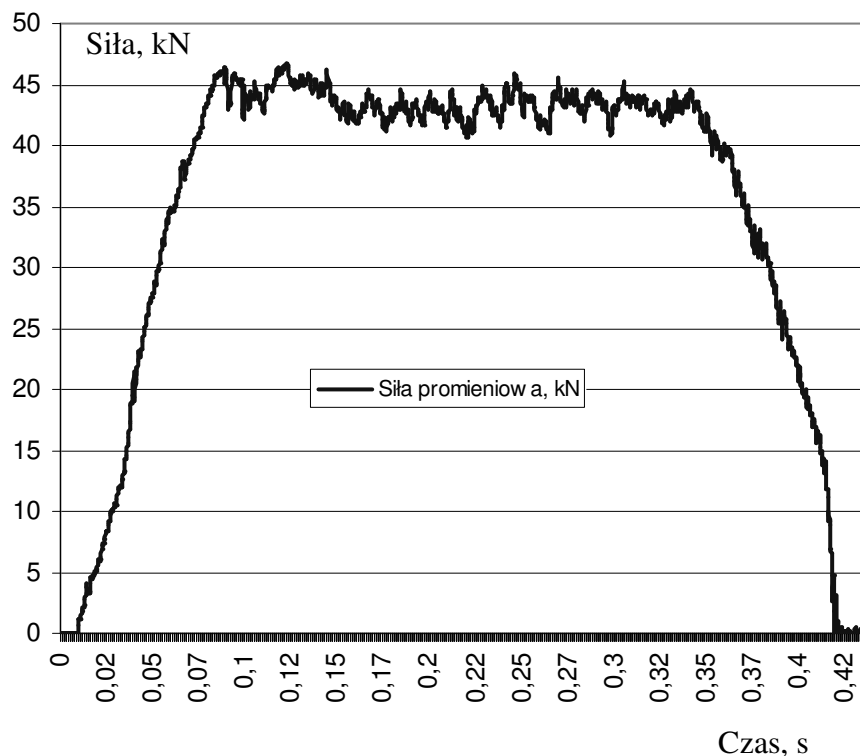
Rys. 3. Rozkłady naprężeń zastępczych w kolejnych etapach procesu zaciskania tulei aluminiowej 5050
Fig.3. Distributions of reduced stresses at the particular stages of aluminum sleeve 5050 clamping process

Jak wynika z przekroju wzdłużnego zaciskanej tulei pokazanej na rys. 3, naprężenia zastępcze w uplastycznionej strefie wyrobu osiągają wartości zbliżone do 280 MPa. Zapewnia to właściwą redukcję średnicy wyrobu. Wyższe wartości naprężeń obserwowane na zewnętrznych ściankach tulei związane są z tendencją do formowania się niewielkiej wypłytki. Zjawisko to jest skutecznie ograniczane niewielką szczeliną pomiędzy wkładkami bruzdowymi (przyjęto 0,3 mm) i nie jest traktowane jako wada wyrobu.

W projekcie przyrządu do zaciskania tulei bazującym na przedstawionym rozwiązaniu kluczowymi zagadnieniami pozostaje dobór odpowiednich zespołów napędowych z przekładniami oraz zapewnienie właściwej sztywności klatki roboczej warunkującej m.in. zachowanie stałej szczeliny pomiędzy wkładkami. Dla określenia tych parametrów bardzo użyteczne są przebiegi wartości sił występujących podczas procesu zaciskania. Na rys. 4 podano przykładowy przebieg siły promieniowej (zaciskającej tuleję) dla wyrobu o średnicy wewnętrznej $\varnothing 16$ mm.

As it results from longitudinal section of the clamped sleeve shown in Fig. 3, reduced stresses in the product formed area have values close to 280 MPa. This guarantees proper reduction of the product diameter. Larger values of stresses observed on the sleeve external sides are connected with the tendency to form of small flash. This phenomenon is successfully limited by a small gap between groove pads (assumed value 0.3 mm) and it is not treated as the product fault.

In the project of a device for sleeve clamping based on the presented solution, the key issues remain the choice of appropriate driving systems with gears and guaranteeing the appropriate rigidity of rolling stand, conditioning e.g. remaining the fixed gap between pads. Distributions of values of forces present during the clamping process are very important to determine these parameters. In Fig. 4, the example of radial force course (sleeve clamping) for a product of internal diameter $\varnothing 16$ mm is given.



Rys. 4. Przebieg siły promieniowej (zaciskającej) podczas procesu kształtowania tulei aluminiowej 5050 o średnicy wewnętrznej $\varnothing 16$ mm

Fig. 4. Radial force (clamping force) distribution during the forming process of aluminum sleeve 5050 of internal diameter $\varnothing 16$ mm

Analiza uzyskanych w obliczeniach przebiegów sił wskazuje na występowanie szybkiego wzrostu wartości sił promieniowych związanych bezpośrednio z zaciskaniem tulei. Utrzymywanie się tych sił na stałym poziomie w trakcie roboczej fazy procesu potwierdza stabilność kształtowania i równomierne płynięcie metalu w strefie uplastycznionej.

Stosunkowo niewielkie wartości sił stycznych potwierdzają, że nie ma konieczności stosowania dodatkowego popychacza w początkowej fazie procesu. Fakt ten znacząco podnosi poziom bezpieczeństwa obsługi projektowanego przyrządu, upraszczając jednocześnie konstrukcję podajnika zaciskanych końcówek.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych wykazano możliwość stosowania procesu zaciskania tulei, np. na linach stalowych, za pomocą walcowania wkładkami bruzdowymi.

W wyniku analizy numerycznej opracowano kształt segmentów narzędziowych pozwalających na równomierne zaciskanie tulei wg wytycznych jednego z producentów tego typu wyrobów. Uzyskane za pomocą analizy numerycznej MES parametry kształtowania wykorzystano w opracowaniu prototypowego stanowiska badawczego celem praktycznej weryfikacji procesu zaciskania końcówek lin. Wyniki badań posłużą do praktycznej weryfikacji obliczeń teoretycznych.

Badania realizowano w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.0101.02-00-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

The analysis of obtained in calculations distributions of forces show the presence of rapid increase of radial forces values connected directly with sleeve clamping. The fact that these forces remain at the constant level during the process working phase confirms the forming stability and even metal flow in the plasticized area.

Relatively small values of tangent forces confirm that there is no need to apply additional pusher in the first stage of the process. This fact considerably increases the safety level of servicing of the designed machine, simplifying construction of clamped endings feeder at the same time.

4. CONCLUSIONS

On the basis of conducted numerical research, it was proved that it is possible to apply the sleeve clamping process to e.g. steel cables by means of groove pads rolling.

In the result of numerical analysis, tools segments shape allowing for even clamping of sleeve, according to the guidelines of one of the manufacturers of these products, was worked out. Obtained by means of numerical analysis FEM forming parameters were used for designing of a prototype research stand for the process of cables endings clamping practical realization. The research results will be used for practical verification of theoretical calculations.

Acknowledgements

Financial support of Structural Funds in the Operational Programme – Innovative Economy (IEOP) financed from the European Regional Development Fund – Project No POID.0101.02-00-015/08 is gratefully acknowledged.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Kowalczyk J., Steininger Z.: Liny stalowe, Wyd. Śląsk, 1963.
- [2] EN 13411-3, Zakończenia lin stalowych – cz. 3, Tuleje i ich zaciskanie.
- [3] Lisowski J.: Walcowanie kuźnicze, WNT Warszawa 1974.
- [4] Dobrzański L.: Metalowe materiały inżynierskie, WNT Warszawa 2005.
- [5] Juraszek J.: Analiza modeli linowych złączy zaciskanych, Hutnik, Wiadomości Hutnicze, 2005, vol. 72 nr 2 s. 66-68.