

NUMERIC CALCULATION ROLL UP PROCESS OF PISTON'S RING FROM STEEL TAPE

**Andrzej Kaźmierczak
Krzysztof Szynalski
Wojciech Zabłocki**

*Division of Vehicles and Combustion Engines
Institute of Machine Design
Wroclaw University of Technology
Lukasiewicza 7/9, 50-370 Wroclaw, Poland
tel.: +48713477918, fax: +48713227645
email: andrzej.kazmierczak@pwr.wroc.pl*

Abstract

In article shortened description of technology was introduced roll up of steel rings of pistons' combustions' engines and used of this process numeric model to calculation of deformations and loads in tape. This technology makes possible the elimination of casting with process of production of piston rings. View of device to rolling up from steel tape the rings, views of seat of 6 rolls of steel tape as well the working unit rolling up the tapes of device to rolling up the rings, scheme of team formative, formative rolls, steel chromic sealing piston ring, the material characteristics of tape, geometrical model of arrangement of roll rolling up - the tape: a) scheme of whole model, b) the fragment of model of arrangement rolling up, discreet model of arrangement of roll rolling up - the tape, function of burden, tensions in elements of tape, tensions in elements of ring, discreet model of ring to calculations under static load are presented in the paper too.

Keywords: *combustion engine, steel sealing piston ring*

OBLICZENIA NUMERYCZNE PROCESU ZWIJANIA PIERŚCIENIA TŁOKOWEGO Z TAŚMY STALOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono skrócony opis technologii zwijania stalowych pierścieni tłokowych silników spalinowych oraz model numeryczny tego procesu wykorzystywany do obliczania odkształceń i obciążeń w taśmie. Technologia ta umożliwia wyeliminowanie odlewania z procesu wytwarzania pierścieni tłokowych. Fotografia urządzenia do zwijania pierścieni z taśmy stalowej, fotografie zespołu 6 rolek podawczych taśmy stalowej oraz zespołu roboczego zwijania zwijki urządzenia do zwijania pierścieni, schemat zespołu kształtującego rolki kształtujące, stalowy uszczelniający chromowany pierścień tłokowy, właściwości materiałowe taśmy, model geometryczny układu rolki zwijające – taśma: a) schemat całego modelu, b) fragment modelu układu zwijania, model dyskretny układu rolki zwijające – taśma, przebieg funkcji obciążenia, naprężenia w elementach taśmy, naprężenia w elementach pierścienia, model dyskretny pierścienia są prezentowane także w artykule.

Słowa kluczowe: *silnik spalinowy, stalowy uszczelniający pierścień tłokowy*

1. Technologia stalowych pierścieni uszczelniających

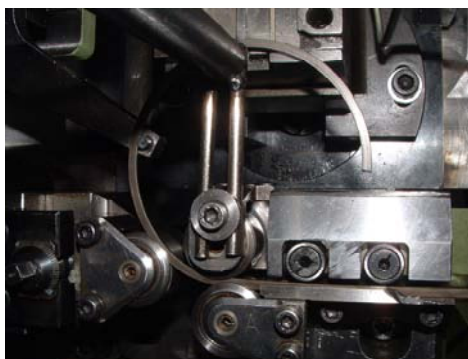
Proces zwijania uszczelniających pierścieni oraz lamelek pierścieni olejowych jest prowadzony na urządzeniu produkcji japońskiej firmy Teijin Seiki przedstawionym na rys. 1.

Urządzenie umożliwia zwijanie pojedynczych pierścieni lub zwijki w postaci spirali. Po zwinieniu zwijka jest rozcinana i podlega dalszej obróbce, zgodnie z procesem technologicznym. Materiałem wejściowym jest taśma stalowa wstępnie ukształtowana dla pierścieni stalowych i

łamek pierścieni olejowych w postaci prostokątnej. Jest ona podawana ze zwoju za pomocą zespołu 6 rolek przedstawionych na rys. 2., które stanowią integralną część urządzenia. Napęd rolek jest ściśle związany z elementami roboczymi.



Rys. 1. Fotografia urządzenia do zwijania pierścieni z taśmy stalowej
Fig.1. View of device to rolling up from steel tape the rings

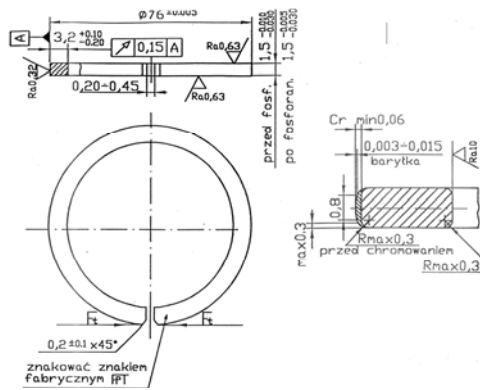


Rys. 2. Fotografie zespołu 6 rolek podających taśmę stalową oraz zespołu roboczego zwijania zwojki urządzenia do zwijania pierścieni
Fig.2. Views of team of 6 rolls of steel tape as well the working unit rolling up the tapes of device to rolling up the rings

Na rys. 2. widoczna jest taśma stalowa pomiędzy parami rolek. Z rolek jest ona podawana na elementy zwijające zwojkę lub pojedyncze pierścienie. Elementami wykonawczymi są trzy rolki, których odległość pomiędzy nimi jest ściśle sterowalna i stanowi o średnicy zwojki (rys. 2). Decydującą rolę w tworzeniu niekołowego kształtu pierścienia odgrywa trzpień formujący.

2. Modelowanie numeryczne procesu zwijania pierścieni

Kształtowanie pierścieni tłokowych uszczelniających odbywa się w urządzeniu, którego zdjęcie pokazano na rys. 1., natomiast schemat zespołu kształtującego (zwijającego) ilustruje rys.



Rys. 5. Stalowy uszczelniający chromowany pierścień tłokowy
Fig.5. Steel chromic sealing piston ring

Jednym z podstawowych narzędzi wykorzystywanych w analizach inżynierskich jest metoda elementów skończonych [6, 7]. Metoda ta znajduje powszechne zastosowanie w modelowaniu numerycznym zarówno konstrukcji, jak i procesów (zjawisk) fizycznych. Umożliwia prowadzenie symulacji obiektów lub zjawisk poddanych oddziaływaniom, których charakter jest stały lub zmienny w czasie.

Narzędziem analizy był moduł LSDyna [1], zastosowany w modelowaniu procesu zwiwania pierścienia stalowego z taśmy stalowej.

W numerycznym modelowaniu zwiwania pierścienia przyjęto następujące założenia:

- zastosowano algorytm typu *explicit* (jawny) [2, 4] do rozwiązania równań dynamiki konstrukcji z zakresie nieliniowym,
- przyjęto nieliniowy model materiału sprężysto-plastycznego bilinearny, z modelem kinematycznego umocnienia (Bilinear Kinematic Hardening),
- w modelu odwrócono ruch układu, tzn modelowano ruch rolek kształtujących względem nieruchomej taśmy.

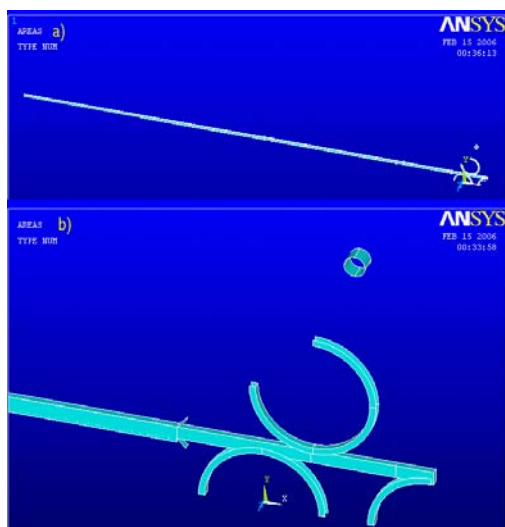
Schemat geometryczny modelu pokazano na rys. 6.

W modelu dyskretnym zastosowano dwa typy elementów skończonych:

- nieodkształcalne (RIGID) elementy powłokowe typu SHELL163 – do odwzorowania kształtu powierzchni rolek zwiwiających oraz układu prowadzenia taśmy,
- objętościowe elementy SOLID164 z bilinearnym modelem sprężysto-plastycznego odkształcenia plastycznego z umocnieniem kinematycznym (Bilinear Kinematic) – do odwzorowania taśmy zwiwanej w pierścieniu; charakterystyki modelu materiałowego podano w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości materiałowe taśmy [5]
Table1. The material characteristics of tape [5]

Wielkość	Oznaczenie	Wartość	Jednostki
Moduł sprężystości wzdłużnej Younga	E_x	2.06e5	MPa
Gęstość	ρ	7850	kg/m ³
Ułamek Poissona	ν	0.3	
Wytrzymałość na rozciąganie	R_m	1960 - 2060	MPa
Granica sprężystości	R_e	1600 - 1720	MPa
Granica sprężystości do obliczeń	σ_y	1600	MPa
Moduł sprężystości styczny	E_T	1000	MPa



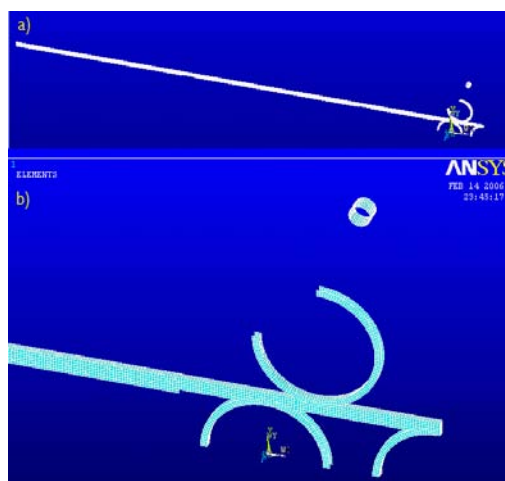
Rys. 6. Model geometryczny układu rolki zwijające – taśma: a) schemat całego modelu, b) fragment modelu układu zwijania

Fig. 6. Geometrical model of arrangement of roll rolling up - the tape: a) Scheme of whole model, b) The fragment of model of arrangement rolling up

Model zjawisk kontaktowych zachodzących pomiędzy układem prowadzenia taśmy, rolkami kształtującymi a taśmą, z której zwijany jest pierścień, przyjęto w następujący sposób [3]:

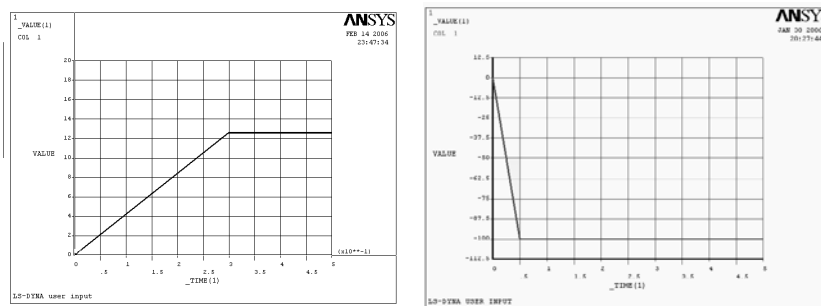
- kontakt „rolki kształtujące – taśma” opisano elementami kontaktowymi typu SURFACE FORMING,
- kontakt „prowadnica – taśma” opisano kontaktem typu SURFACE AUTOMATIC.

Model dyskretny układu pokazano na rys. 7. Układ rolek zwijających dyskretyzowanych elementami SHELL RIGID uwzględnia jedynie powierzchnie robocze rolek. Do budowy modelu użyto 18393 elementów o 26349 węzłach, w tym 7098 elementów typu SHELL RIGID.



Rys. 7. Model dyskretny układu rolki zwijające – taśma: a) cały model, b) fragment modelu układu zwijającego

Fig.7. Discrete Model of arrangement of roll rolling up - the tape: a) The whole model, b) The fragment of model of arrangement rolling up

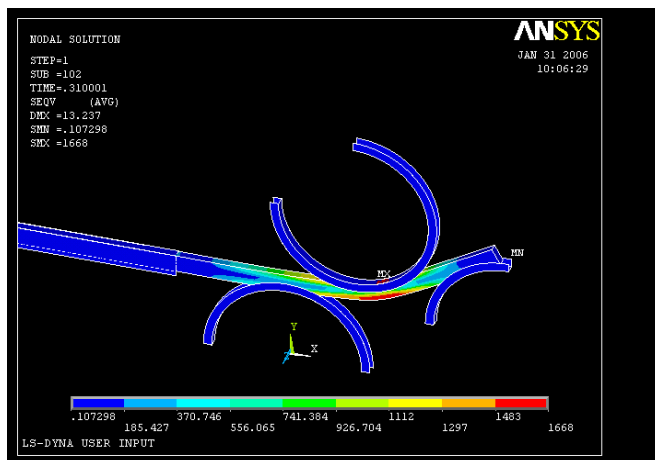


Rys. 8. Przebieg funkcji obciążenia: a) dla pierwszego kroku; obciążenia, b) dla drugiego kroku; zwijania pierścienia
 Fig.8. Function of burden: a) for first load step, b) for second step rolling up the ring

Model obciążenia realizowano w dwóch krokach:

- w pierwszym kroku odwzorowano ruch rolki „B” od położenia początkowego do położenia roboczego (wprowadzanie taśmy do przyrządu), ruch opisany funkcją pionowego przemieszczenia rolki „B” zgodnie z przebiegiem pokazanym na rys. 8a,
- w drugim kroku nadano zespołowi rolek kształtujących oraz prowadnicy ruch z prędkością roboczą, opisany funkcją pokazaną na rys. 8b.

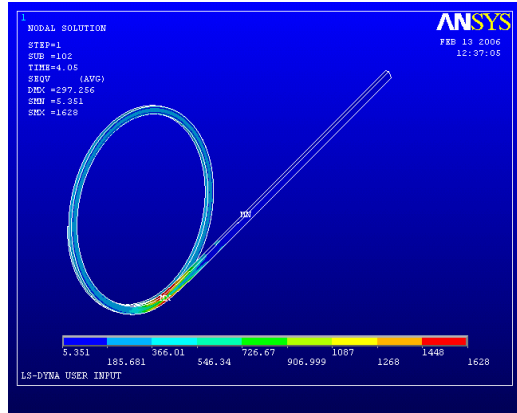
W wyniku pierwszego kroku obliczeń uzyskano położenie robocze (zagięcie taśmy), stanowiące punkt początkowy zawijania pierścienia. Rozkład naprężeń węzłowych odkształconego modelu pokazano na rys. 9.



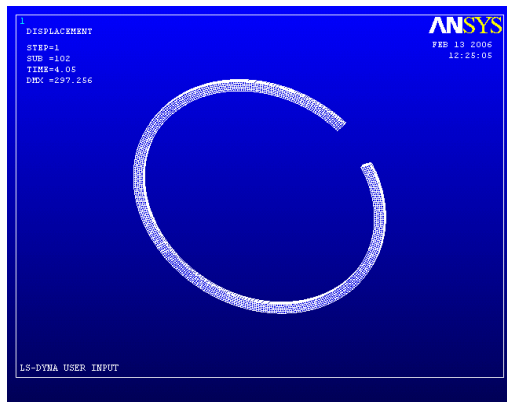
Rys. 9. Naprężenia w elementach taśmy (dla pierwszego kroku obciążenia)
 Fig.9. Tensions in elements of tape (for first load step)

W drugim kroku obliczeń modelowano względny przesuw taśmy między rolkami zwijającymi, tzn. nieodkształcalnym elementom rolek oraz elementom układu prowadzenia taśmy nadano ruch ($V_x = 200 \text{ mm/s}$) wzdłuż nieruchomej taśmy, zgodnie z obciążeniem opisany przebiegiem pokazanym na rys. 9b.

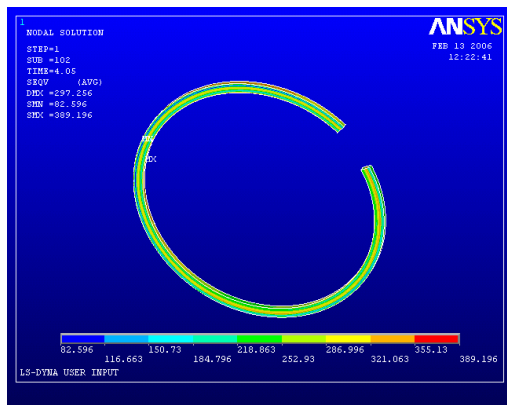
Widok zwiniętej taśmy pierścienia (dwa zwoje) pokazano na rys. 10., natomiast na rys. 11. oraz 12. przedstawiono odpowiednio widok uformowanego pierścienia oraz rysunek warstw naprężeń na długości jednego pierścienia.



Rys. 10. Widok zwiniętej taśmy pierścienia
Fig.10. View of rolled up tape of ring

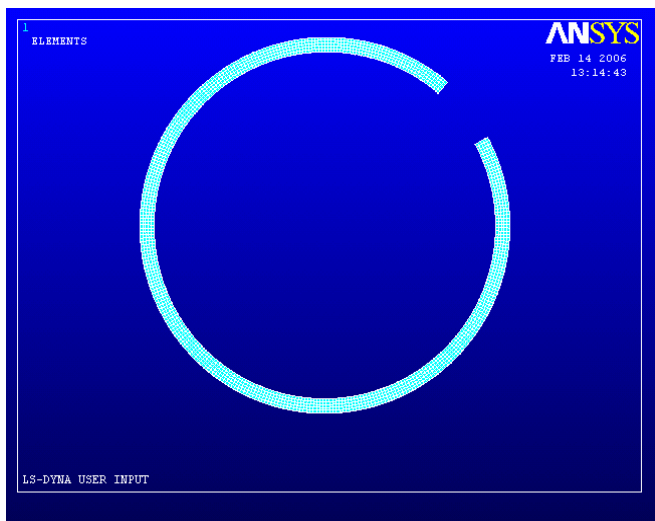


Rys. 11. Widok odkształconego pierścienia
Fig.11. View of deformed ring

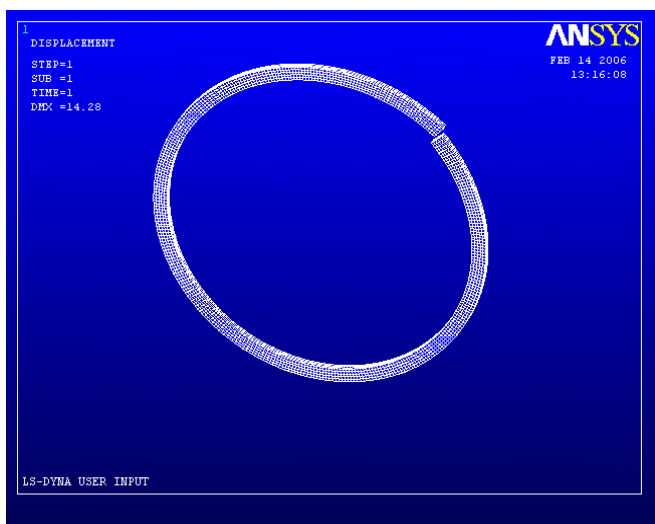


Rys. 12. Naprężenia w elementach pierścienia (dla drugiego kroku obciążenia)
Fig.12. Tensions in elements of ring (for second load step)

Wynikiem modelowania numerycznego związania pierścienia jest pokazany na poprzednich rysunkach kształt pierścienia swobodnego. W położeniu roboczym kształt kołowy pierścienia przyjmuje po pokonaniu oddziaływań sprężystych, określonych wartością siły sprężystości stycznej F_t (por. rys. 5.). Pod działaniem siły o tej wartości zamek pierścienia nie powinien przekraczać 0.2 – 0.45 mm. W kolejnym etapie modelowania numerycznego przeprowadzono obliczenia sprawdzające ten warunek. Fragment modelu uformowanego pierścienia, pokazany na rys. 13., obciążano statycznie siłą styczną F_t o kilku wartościach od 12 N do 17 N. Na rys. 14. przedstawiono widok odkształconego pod obciążeniem 14 N pierścienia, w którym wartość szczeliny zamka mieściła się w dopuszczalnych granicach.



Rys. 13. Model dyskretny pierścienia do obliczeń pod obciążeniem siłą styczną F_t
Fig. 13. Discreet Model of ring to calculations under static load F_t



Rys. 14. Widok odkształconego pierścienia obciążonego siłą styczną $F_t = 14N$
Fig.14. View of deformed ring the contiguous strength $F_t = 14N$

3. Podsumowanie

Metoda obliczeniowa, zastosowana w modelowaniu numerycznym procesu wytwarzania pierścieni tłokowych zwijanych z taśmy stalowej umożliwiła dobór wstępnych ustawień urządzeń kształtujących. Symulacje numeryczne procesu technologicznego pozwoliły wstępnie ocenić wpływ parametrów procesu na końcowy produkt. Zmiana wymiarów wykonywanych pierścieni wymaga doboru ustawień urządzenia metodą kolejnych prób, których poprawność za każdym razem można ocenić po przeprowadzeniu pomiarów. Możliwość wstępnej oceny wpływu wartości nastawczych urządzenia na końcowy kształt pierścieni umożliwiła przyspieszenie cyklu przygotowania nowych szeregów wymiarowych pierścieni.

Zmiennymi parametrami w procesie numerycznej symulacji zwijania pierścienia stalowego były nastawy (położenie) zespołu rolek kształtujących. Odpowiedni dobór położenia rolek istotnie wpływa na końcowy kształt pierścienia. Na dokładność uzyskanych wyników, tzn. uzyskanie zadowalającej zgodności obliczeniowej geometrii pierścienia z pomiarem wpływają ponadto: stabilność własności materiałowych oraz prędkość podawania materiału (taśmy). W obliczeniach zastosowano teoretyczny model materiału sprężysto-plastycznego bilinearny, z modelem kinematycznego umocnienia. Dokładniejsze odwzorowanie własności materiałowych (w modelu teoretycznym materiału opisane krzywą charakteryzującą zależność naprężenia – odkształcenia), czyli zastosowanie modelu multilinearne, pozwoli uzyskać większą dokładność obliczeniowego odwzorowania.

Podziękowanie

Prezentowane badania są efektem realizacji jednego z zadań projektu celowego nr 6 T07 2003 C/06276 pt.: „Wdrożenie technologii prototypowych pierścieni tłokowych silników spalinowych” realizowanego w latach 2004 – 2005 przez FPT „Prima” S.A. oraz Politechnikę Wrocławską, współfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji.

Literatura

- [1] Ansys LSDyna, Users Guide v.7.1.
- [2] Belytschko, T., Tsay, C. S., *Explicit Algorithms for Nonlinear Dynamics of Shells*, AMD-48, ASME 209-231, 1981.
- [3] Bradley, N. Maker, *Input Parameters for Metal Forming Simulation Using LS-Dyna*. Livermore Software Technology Corp., Livermore, 2000.
- [4] Iluk A., Karliński J., *Jawne całkowanie równań ruchu w nieliniowej dynamice konstrukcji*, Systems JoTSS, vol. 6, 2000.
- [5] Joh. Pengg, AG. Thörl, Steinmark T., *Technical Specification*.
- [6] Rusiński, E., Czmochoowski, J., Smolnicki, T., *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000.
- [7] Zienkiewicz, O. G., Taylor, R. L., *The Finite Element Method. Fourth Edition*, McGraw – Hill Book Company, 1991.

