

# Nowe spojrzenie na problem połączeń pasów zębatych

## New approach to the problem of toothed belt joining practice

GRZEGORZ DOMEK  
ANDRZEJ KOŁODZIEJ\*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.499

Pasy zębate coraz częściej spotyka się w skomplikowanych systemach napędowych i przenośnikowych. W tych przypadkach konstruktorzy są zmuszeni do stosowania pasów łączonych. W artykule omówiono sposoby i jakość połączeń takich pasów. Przedstawiono nowe sposoby wzmocnienia połączeń oraz równanie opisujące dopuszczalne odkształcenie zęba w obszarze połączenia. **SŁOWA KLUCZOWE:** pasy zębate, połączenia pasów zębatych, pasy napędowe i przenośnikowe

*Toothed belts are used in complex timing and transmission systems with increasing frequency. This often requires the manufacturers in certain applications to have the belts joined end to end. This paper addresses the issue of methods and quality of such joints. Presented are new ways of making the joints stronger to which an equation revealing the permitted ultimate deformation of the teeth within the joint area is added.*

**KEYWORDS:** toothed belts, toothed belt joints, timing belts, transmission belts

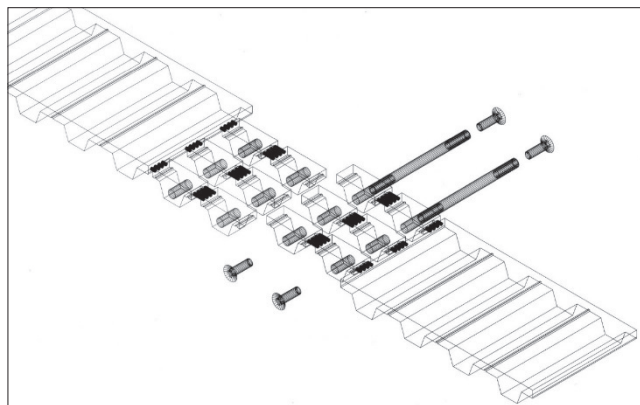
Wymiana pasa zębatego stanowiącego część skomplikowanego układu napędowego i współpracującego z wieloma kołami jest bardzo kłopotliwa, ponieważ wymaga demontażu całej maszyny lub wprowadzenia wstęgi pasa i połączenia go w obwód po zamontowaniu na kołach. Łączenie pasa w maszynie wymaga specjalistycznego sprzętu, a często jest wręcz niemożliwe [3,4]. Zastosowanie połączenia w pasie znacząco obniża jego zdolność do przenoszenia momentu obrotowego – zazwyczaj do 50% (tak wskazują analizy dotychczasowych rozwiązań), w zależności od jakości procesu zgrzewania. Mimo to wielu konstruktorów stosuje w systemach sterujących i transportowych pasy łączone [1, 2]. W odpowiedzi na zapotrzebowanie rynku wraca się do dawno porzuconych rozwiązań. I tak, pomysły sprzed 40 lat pojawiły się obecnie jako „nowości” [11, 12].

Analogicznie do innych połączeń części w maszynie połączenia pasów zębatych napędowych i przenośnikowych można podzielić na rozłączne i nierozłączne – zgrzewane i klejone. Rodzaj połączenia częściowo jest zdeterminowany przez materiał, z którego wykonano pas.

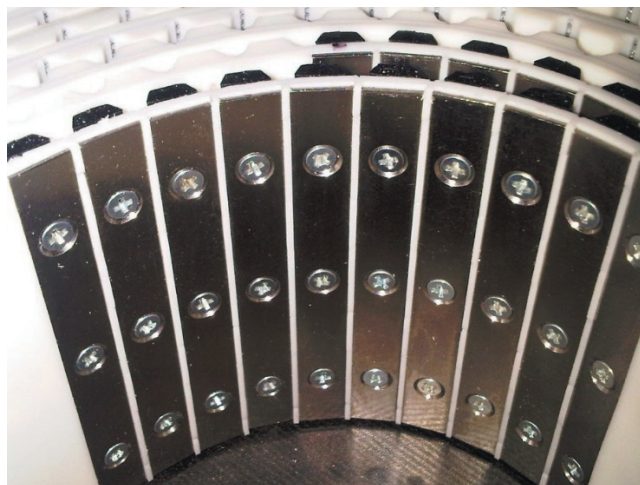
W połączeniach rozłącznych wyróżnia się połączenia: śrubowe (rys. 1), sworzniowe i zaciskowe (rys. 2). W przypadku każdego z tych rodzajów połączeń dąży się do zmian konstrukcyjnych pozwalających na przenoszenie przez pas większych sił oraz skrócenie czasu montażu. Wszystkie rodzaje połączeń wykonuje się w pasach z materiałów termoplastycznych. Jeżeli polimer jest duroplastem, możliwe jest tylko połączenie klejone lub rozłączne.

W przekładni z pasem zębatym siła jest przenoszona z koła pasowego poprzez zęby na warstwę nośną [5, 6], której jakość decyduje o właściwościach mechanicznych pasa. W osi obojętnej kordu znajduje się oś zginania pasa, na której mierzone są podziałki pasa i koła. Właściwe połączenie ma spowodować jak najmniejszy spadek wytrzymałości na rozciąganie warstwy nośnej i zachowanie podziałki pasa w obszarze połączenia.

W połączeniu śrubowym trudność stanowi przygotowanie końców pasa do łączenia, a następnie takie zaciśnięcie śrubami, aby usztywnić ząb (rys. 1). W połączeniach zacis-



Rys. 1. Połączenie śrubowe – MULCO

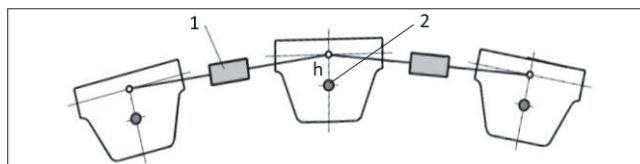


Rys. 2. Połączenie zaciskowe w systemie ATN

kowych końce kordu zaciska się – za pomocą specjalnej złączki – w sposób uniemożliwiający ich wzajemne przemieszczanie się. Zaciśnięcie warstwy nośnej odbywa się wewnątrz zębów lub po usunięciu części z nich (rys. 2). Powrót w ostatnim czasie do połączeń sworzniowych wynika wyłącznie z łatwości ich przygotowania – wystarczy do tego proste stanowisko ślusarskie. Samo połączenie jest jednak obarczone wieloma wadami.

Na skutek umieszczenia sworzni wewnątrz zęba następuje skrócenie podziałki pasa  $\Delta P$  na łuku opasania koła, zależne od odległości sworzni od osi obojętnej warstwy nośnej  $h$  oraz od liczby zębów na łuku opasania koła  $z_0$  (rys. 3):

$$\Delta P = - \frac{2h\pi}{z_0}$$



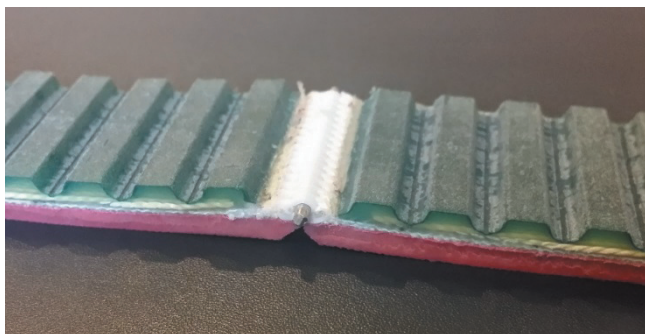
Rys. 3. Połączenie pasa zębatego: 1 – na wysokości kordu, 2 – sworzniowe wewnątrz zęba ( $h$  – odległość sworzni w zębie od osi obojętnej warstwy nośnej)

\* Dr hab. inż. Grzegorz Domek, prof. UKW (gdomek@ukw.edu.pl) – Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, dr hab. inż. Andrzej Kołodziej, prof. PWSZ (a.kolodziej@ip.pwsz.kalisz.pl) – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu

Tego rodzaju połączenia mogą przenosić tylko niewielkie siły obwodowe; siła napięcia wstępnego w pasie także powinna być znacznie mniejsza od nominalnej. W celu zmniejszenia efektu skrócenia podziałki pasa i zwiększenia siły obwodowej stosuje się połączenia sworzniowe z wykorzystaniem zawiasów umieszczonych w warstwie nośnej.

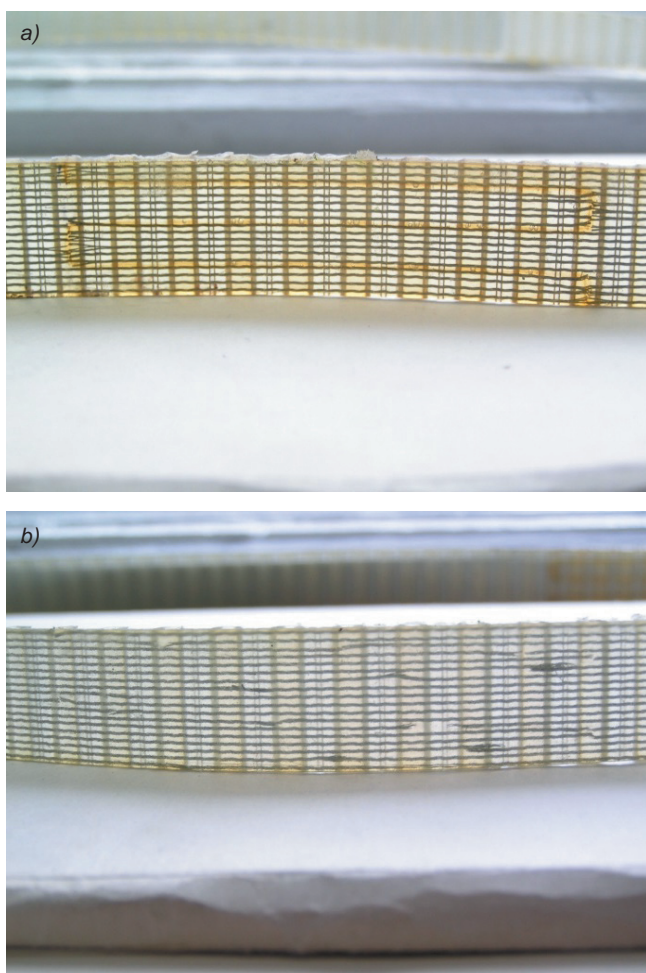
W zależności od rodzaju kordu stosuje się różne zawiasy:

- metalowe – w przypadku kordu stalowego,
- z tworzywa sztucznego – w przypadku kordu z włókien szklanych, poliestrowych lub węglowych (rys. 4).



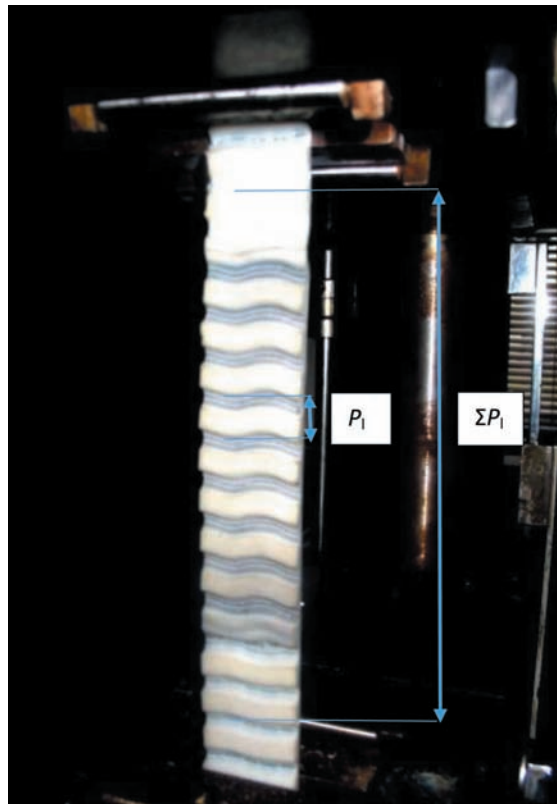
Rys. 4. Połączenie sworzniowe z zawiasem spiralnym

Najczęściej stosowanym sposobem łączenia końców pasów jest zgrzewanie (rys. 5). Końce pasów mogą być przygotowane przez producentów w różny sposób [7, 9]. Wykonuje się np. końcówki palcowe, proste lub przesunięte, trójkątne proste lub skośne. Większość rozwiązań znana jest z innych połączeń pasów napędowych i przenośnikowych.



Rys. 5. Połączenie zgrzewane: a) zgrzane końce palcowe proste, b) zgrzane końce trójkątne proste

Zabiegi te mają na celu ograniczenie odkształcenia zębów w obszarze połączenia. Siła obwodowa i siła napięcia wstępnego powodują bowiem większe odkształcenie w obszarze połączenia pasa niż w pozostałej jego części. Połączenie pomiędzy końcami warstw nośnych stanowi tylko polimer, a przemieszczanie się warstwy nośnej na skutek procesów reologicznych wywołuje odkształcenie zębów (rys. 5). W zależności od liczby zębów pasa w sprzężeniu z kołem proces sprzęgania w obszarze połączenia jest wtedy utrudniony [8, 10]. W przypadku tzw. przekładni tangencjalnych, w których tylko jeden ząb koła współpracuje z pasem, wymiar odkształconej podziałki  $P_1$  nie może być większy od podziałki w przekładni powiększonej o luz boczny na kole  $\Sigma P_1$  (rys. 6). Po przekroczeniu tej wartości pas nie mieści się we wrębie koła pasowego i zęby pasa zaczynają przeszkakiwać zęby koła.



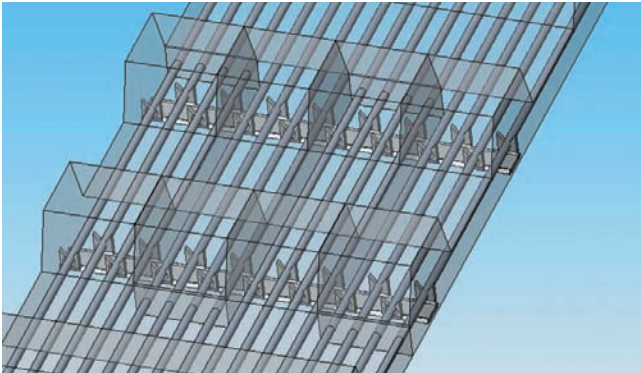
Rys. 6. Próba zrywania pasa łączonego wzmocnionego siatką ( $P_1$  – podziałka odkształcona,  $\Sigma P_1$  – suma odkształconych podziałek w obszarze połączenia)

Jeżeli na łuku opasania występuje większa liczba zębów, wtedy nawet dla mniejszej wartości odkształcenia pojedynczej podziałki suma odkształceń na łuku opasania powoduje problem ze sprzęganiem z kołem. Suma odkształconych podziałek nie może przekroczyć sumy podziałek na łuku opasania koła  $\Sigma P_0$  i dwukrotnej wartości luzu bocznego  $L_s$  (po przekroczeniu tej wartości dochodzi bowiem do interferencji zębów pasa i koła oraz do zerwania pasa):

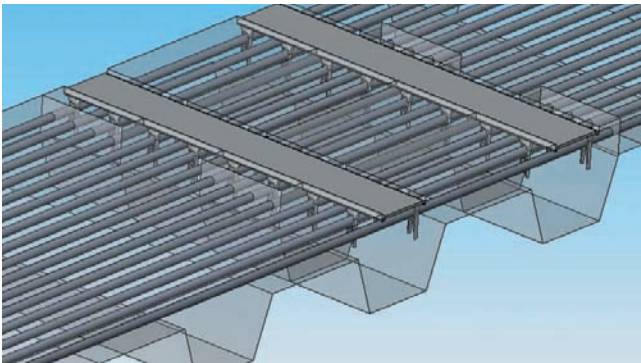
$$\Sigma P_1 \leq \Sigma P_0 + 2L_s$$

Aby zapobiec przemieszczaniu się warstwy nośnej w połączeniu, stosuje się różne metody wzmocnienia i połączenia kordu (rys. 7), a dodatkowo – rozwiązania usztywniające zęby w strefie połączenia.

Badania odkształceń zębów w obszarze połączenia wskazują, że każda forma poprawy połączeń zgrzewanych wpływa na zmniejszenie odkształcenia zębów i tym samym poprawia możliwości przenoszenia sił przez pasy łączone (rys. 8). Najlepsze wyniki uzyskano w przypadku pasów, w których końce kordu połączone i ograniczono możliwość przemieszczania się warstwy nośnej. W zależności od konkretnego



Rys. 7. Projekt wzmocnienia połączenia zgrzewanego



Rys. 8. Usztywnienie połączenia od strony grzbietowej

rozwiązania połączenia końców kordu pas mógł przenosić siły większe o kilka, a nawet o kilkanaście procent.

Z przedstawionych równań wynika, że poprawę warunków sprzężenia pasa łączonego z kołem można uzyskać dzięki zastosowaniu koła pasowego o najmniejszej możliwej liczbie zębów, w wykonaniu standardowym lub w wersji z powiększonym luzem bocznym.

#### LITERATURA

1. Bodnicki M., Pochanke A., Szykiedans K., Czerwiec W. "Experimental and Simulation Test of Dynamic Properties of Stepping Motors". *Proc. 9<sup>th</sup> International Conference MECHATRONICS 2011, Recent Technological and Scientific Advances*. Springer Verlag, 2011: pp. 25÷34.
2. Domek G. "Motion analysis of timing belt used in control systems". *American Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 1, No. 7 (2013): pp. 208÷211.
3. Domek G., Dudziak M., Kołodziej A. "Timing belt gear design for mechatronics system". *Procedia Engineering*. 96(2014): pp. 39÷43.
4. Domek G. "Trends in development of timing belts for new application areas". *Journal of Mechanical and Transport Engineering*. Vol. 1 (2014).
5. Domek G. "Meshing model in gear with timing belt". *Journal of Advanced Materials Research*. Vols. 189÷193 (2011): pp. 4356÷4360.
6. Domek G. "Meshing in gear with timing belts". *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*. Vol. 3, No. 1 (2011): pp. 26÷29.
7. Domek G. "Research on the Contact Area between the Timing Belt and the Toothed Pulley". *World Congress on Engineering (WCE 2011), Lectures Notes in Engineering and Computer Science*. Vol. III: pp. 2242÷2244.
8. Domek G. "Timing belts dynamics model approach". *Journal of Mechanics Engineering and Automation*. Vol. 2, No. 8 (2012): pp. 495÷497.
9. Domek G. "Timing belts in glass processing systems". *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*. Issue 3, Vol. 4 (2013): pp. 108÷111.
10. Dressing H., Holzweissig F. "Dynamics of Machinery, Theory and Applications". Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010.
11. Nagel T. "Zahnriemengetriebe". Munchen-Wien: Carl Hanser Verlag, 2008.
12. Perneder R. "Handbuch Zahnriementchnik". Berlin: Springer Verlag, 2009. ■