

**POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING**

5(3)/2015, 13-21

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Łukasz DYSARSKI, Janusz RAK

PASY ZĘBATE SPECJALNE STOSOWANE W PRZEMYSŁE

Streszczenie: W pracy przedstawiono stan rozwoju pasów zębatach specjalnych stosowanych w różnych dziedzinach przemysłu, jak również rosnące obszary zastosowań otwierające nowe możliwości dla producentów i użytkowników maszyn.

Słowa kluczowe: pas zębata, przemysł, pokrycie, guma, PVC, poliuretan

1. WPROWADZENIE

Pasy zębata specjalne (zaliczane do grupy elastycznych napędów) stały się bardzo ważnym elementem maszyn, stosowanych w zautomatyzowanych liniach produkcji zakładów przemysłowych na całym świecie.

Przez długie lata podstawowym zadaniem pasów zębatach (zwanymi również synchronicznymi) było przeniesienie siły z napędu wału czynnego na bierny, poprzez sprzężenie kształtowo-cierne pasa z kołem zębatach. Obserwuje się dynamiczny rozwój nowych zastosowań pasów zębatach, wykonujących różnorodne synchroniczne funkcje transportujące, zastępujących coraz częściej taśmy transportujące. Ich zastosowanie rozszerza możliwości automatyzacji linii technologicznych. Podnoszą się możliwości produkcyjne oraz zwiększa się wydajność i efektywność. Produkowane towary uzyskują powtarzalność, co przekłada się na stabilizację jakości i zmniejszenie odpadu produkcyjnego.

Celem pracy było przedstawienie, uporządkowanie oraz ocena budowy i eksploatacji pasów zębatach specjalnych, pokrytych warstwami funkcjonalnymi, ze względu na zastosowania w przemyśle.

Celem dodatkowym było przybliżenie technik nanoszenia warstw, powłok funkcjonalnych na grzbiet pasa zębatach oraz scharakteryzowanie cech materiałowych pokryć.

2. BUDOWA I ZASTOSOWANIE PASÓW ZĘBATYCH SPECJALNYCH

Pierwsze wzmianki o elastycznych napędach sięgają 1830 roku, gdy powstały pasy płaskie wykonane z elementów gumowych. Przekazywanie napędu odbywało się przy dużych wielkościach sił wstępnych, co zwiększało znacznie eksploatacyjne obciążenie maszyn. Zastosowanie w kolejnych latach pasów

mgr inż. Łukasz DYSARSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, Chiorino Sp. z o.o., ul. Piękna 13, 85-303 Bydgoszcz, e-mail: lukasz.dysarski@gmail.com

dr hab. inż. Janusz RAK, Chiorino Sp. z o.o., ul. Piękna 13, 85-303 Bydgoszcz, e-mail: rak@bazafirm.pl

okrągłych wykonanych z użyciem tkanin tylko nieznacznie poprawiło warunki pracy przekładni. W 1890 roku wykorzystano po raz pierwszy pasy klinowe wykonane z kilku warstw skóry. Materiał, z którego je wykonano nie zabezpieczał jednak stałych wartości napięcia wstępnego z powodu dużej rozciągliwości skóry. Przełomowy był rok 1917, gdy rozpoczęto produkcję pasów klinowych dla przemysłu motoryzacyjnego z umieszczonymi w poprzecznym przekroju pasa kordami. Kolejne modyfikacje dotyczyły konstrukcyjnych i materiałowych zmian, w tym rozwiązań z odkrytymi bokowymi powierzchniami i poprzecznymi zębami, znacznie poprawiając możliwości nośne oraz trwałość przekładni.

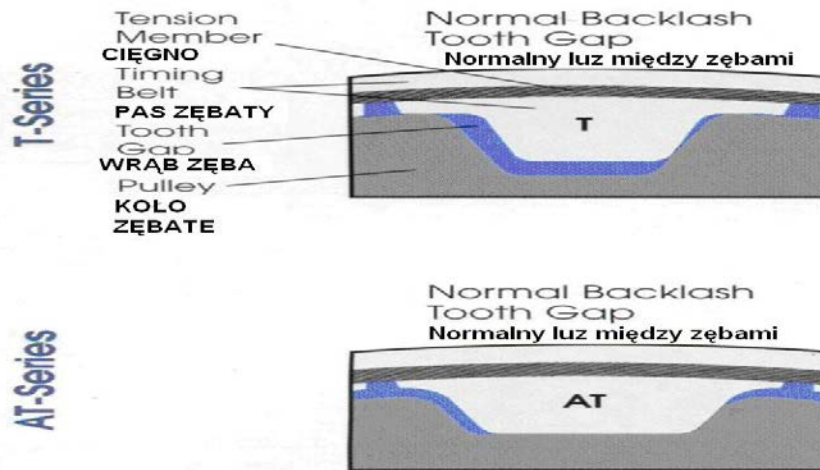
Pierwsze pasy zębate wykorzystane w maszynach do szycia wyprodukowano w USA w 1945 roku. Wykonano je z elastomeru, potocznie zwanego gumą. Z uwagi na fakt, że pierwsze konstrukcje pasów zębatych powstały w Stanach Zjednoczonych, stosowano w określeniu ich podstawowych parametrów, takich jak podziałka czy szerokość, calowy system miar. Został on znormalizowany normą DIN/ISO 5296:2012.

W oznaczeniu pasów zębatych użyto oznaczeń literowych: MXL, XL, L, H, XH, XXH, przy czym każdemu oznaczeniu literowemu przyporządkowano narastająco wielkość podziałki będącej częścią ułamkową cala. Za profil zęba przyjęto trapez współpracujący z trapezowym wrębem koła. Opieranie pasa zębatego na łuku opasania zachodzi na zewnętrznej powierzchni koła. Konstrukcja ta zapewnia kształtowe zazębienie pasa i koła, gwarantując synchronizację ruchu, wysoką sprawność, zmianę prędkości kątowej, nieznaczne wielkości siły napięcia wstępnego, niski poziom hałasu, pracę bez użycia smarów i inne.

W 1948 r. wyprodukowano pierwszy pas zębaty poliuretanowy, wzmocniony linkami nośnymi stalowymi. Trapezowy profil zęba pasa poliuretanowego oznaczono jako T. Mechanizm współpracy pasa z kołem pasowym był identyczny jak w pasach gumowych, co nie prowadziło do istotnych zmian w wielkości przenoszonych mocy przekładni.

Wprowadzenie na rynki pasa zębatego o profilu AT istotnie zwiększyło możliwości nośne przekładni, co wynika w pierwszej kolejności ze zmian wielkości profilu pasa, poprawy zazębienia w wyniku zmiany kąta pochylenia zęba, jak również ze zmian charakteru współpracy koła i pasa (opieranie zęba pasa na dnie wrębu koła). Na rysunku 1 przedstawiono zarys współpracy pasa zębatego z koła zębatym.

W kolejnych latach opracowano nowe profile HTD, STD, RTD (rys. 2), stosowane początkowo w pasach gumowych, a w późniejszym czasie i w pasach poliuretanowych. Profile tych pasów miały istotny wpływ na poprawę procesu zazębienia, zwiększając trwałości przekładni, a zwiększona masa zęba prowadziła do poprawy ich możliwości nośnych.

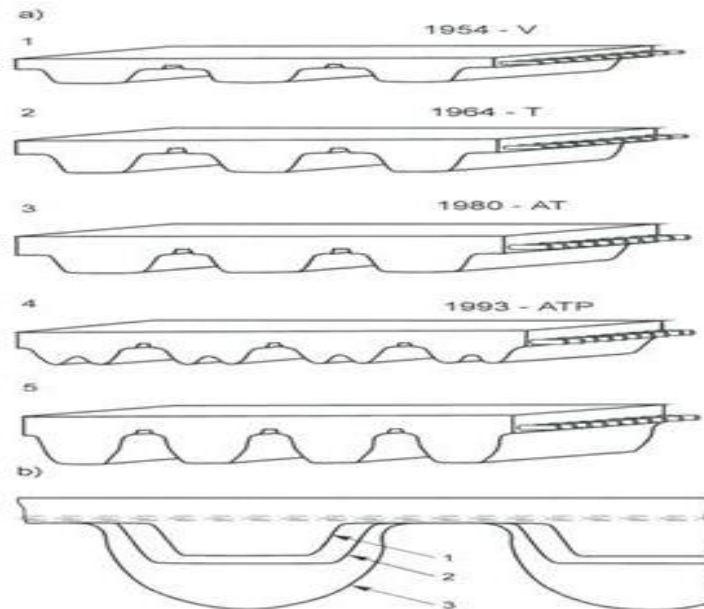


Rys. 1. Współpraca koła z pasem zębatym synchronicznym serii AT oraz T [1]
 Fig. 1. The cooperation of the gear – belt synchronous AT and T [1]

Ciekawym rozwiązaniem z początku lat 90. było wprowadzenie na rynek pasa zębatego typu ATP w poliuretanie. Zwiększenie powierzchni nośnej pasa poprzez umieszczenie w przekroju masy zęba dodatkowego wybrania współpracującego z odpowiednio ukształtowanym zarysem dna wrębu koła pasowego skutkowało dalszymi możliwościami zwiększenia przenoszonych mocy. Dalsze lata rozwoju to w pierwszej kolejności poszukiwania nowych materiałów o zwiększonej trwałości, mogących znaleźć zastosowanie w dotychczasowych profilach. Rozwiązania te zastosowano w pasach typu GT2, GT3, CXPIII, CXAIII, OmegaII, RPP Platinum czy PolyChain. Zwiększały one istotnie możliwości nośne przekładni z pasem zębatym.

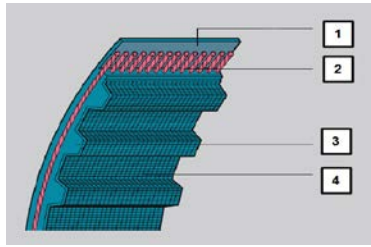
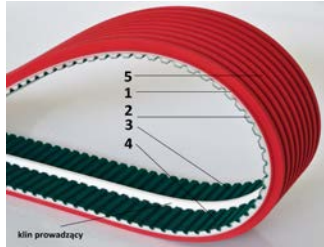
Ostatnie dziesięciolecie poświęcone było poszukiwaniom nowych rozwiązań umożliwiających wykorzystanie synchronicznej pracy przekładni z pasem zębatym w różnych dziedzinach transportu. Stronę zewnętrzną pasa zaczęto wykorzystywać do nanoszenia różnych powłok zapewniających odpowiednią przyczepność do szerokiej gamy transportowanych materiałów (rys. 2).

Pas zębaty różni się od pasa zębatego specjalnego pokrytego, jednym zasadniczym elementem. Jest to dodatkowa warstwa lub warstwy, które zostały umieszczone na grzbiecie pasa (tab. 1).



Rys. 2. Rozwój kształtu i wysokości zęba pasów synchronicznych: a) rozwój konstrukcyjny: 1 – zarys prostokątny, 2 – trapezowy, 3 – trapezowy wykonany z nowego materiału i wzmocniony kordem, 4 – podwójny ząb, 5 – ewolwentowy; b) rozwój wysokości zęba: 1 – pas o zarysie trapezowym, 2 – pas o zarysie trapezowym stosowany w silnikach spalinowych, 3 – pas o zarysie półokrągłym HTD o wyższej zdolności napędowej
 Fig. 2. Development shape and height of the tooth synchronous belts: a) the development of engineering: 1 – a rectangular, 2 – trapezoid, 3 – trapezoid made of new material and reinforced cord, 4 – double tooth, 5 – involute; b) development of tooth height: 1 – strip trapezoidal, 2 – trapezoidal belt used in internal combustion engines, 3 – strip outline HTD edging higher drivability

Tabela 1. Różnica w budowie pomiędzy pasem zębatym zwykłym a specjalnym pokrytym
 Table 1. The difference in structure between a timing belt and special covered timing belt

Budowa pasa zębatego	Budowa pasa zębatego specjalnego pokrytego
	
1 – grzbiet pasa zębatego 2 – linki nośne (kord stalowy/kewlarowy) 3 – ząb 4 – tkanina lub dodatkowe włókna	1 – grzbiet pasa zębatego 2 – linki nośne (kord stalowy/kewlarowy) 3 – ząb 4 – tkanina lub dodatkowe włókna 5 – warstwa lub warstwy różnych materiałów o funkcji transportującej

Przykładowe profile pasów zębatych:

- T5 – T10 – T20 – TK10 K13/K6
- AT3 – AT5 – AT10 – AT20 – ATK10 K13/K6, ATP 10, ATP15
- SAT10, BAT10, SAT15, SAT20
- MXL – XL – L – H – XH – XXH
- HTD3M –HTD5M – HTD8M – HTD14M
- RTD5M – RTD8M – RTD14M
- STD 3M – STD 4,5M – STD5 – STD8 – STD14
- EAGLE5 – EAGLE8 – EAGLE10 –EAGLE14

Niektóre z podanych powyżej przykładowych oznaczeń profili mogą występować w wersji podwójnie uzębionej. Pasy zębate podwójnie uzębione są dedykowane do przenoszenia wysokich momentów obrotowych w przekładniach bezluzowych.

3. METODY POKRYĆ PASÓW ZĘBATYCH I STOSOWANE MATERIAŁY

Pas zębaty specjalny pokryty składa się z pasa zębatego, na którego grzbiecie znajduje się pokrycie, zwane również nakładką lub warstwą.

Wykorzystuje się następujące metody nanoszenia pokryć na pasy zębate:

- pokrywanie na zimno (klejenie grzbietu pasa zębatego z dodatkową warstwą, np. elastomer naturalny, guma komórkowa EPDM)



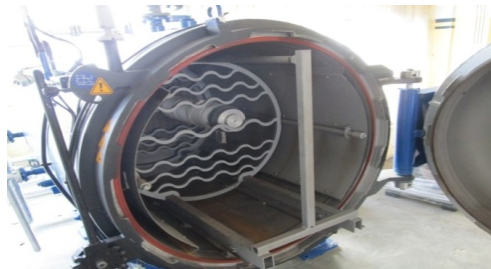
Pas zębaty oraz materiał наносzony na grzbiet pasa podczas sklejania

- pokrywanie na gorąco (klejenie z użyciem gorącego strumienia powietrza, dla materiałów typu polichlorek winylu, poliuretan termoplastyczny)



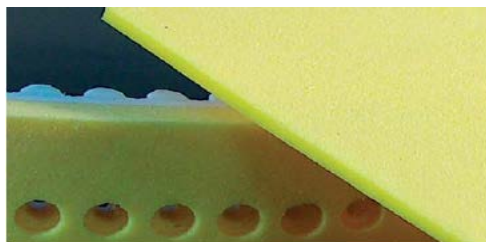
Maszyna do pokrywania pasów zębatych; na grzbiet pasa pod wpływem gorącego powietrza наносzona jest warstwa PU za pomocą ekstrudera ręcznego

- pokrywanie za pomocą wulkanizacji – wulkanizacja pasa zębatego odbywa się w autoklawie. Wypełniają go para i gorące powietrze, które wytwarzane jest przez generator pary. Na dedykowaną do długości formę nakłada się pas zębaty gumowy lub poliuretanowy, następnie nanosi mieszankę gumową w stanie przedwulkanizacyjnym. Kolejno następuje umieszczenie materiału w zbiorniku autoklawu, gdzie przy odpowiednio dobranych parametrach (tj. temperatura, czas i ciśnienie) następuje proces wulkanizacji. Po zakończonym cyklu chłodzi się materiał, a następnie przekazuje do obróbki wykańczającej (usuwanie warstwy zgorzeli)



Zbiornik autoklawu z przygotowanym materiałem do wulkanizacji

- pokrywanie przy użyciu metody sprayowania (nanoszenie powłok poliuretanowych, silikonowych, teflonowych przy użyciu pistoletu, tzw. natrysk)



Pas zębaty pokryty specjalny, w którym przy nanoszeniu nakładki na grzbiet pasa została zastosowana metoda sprayowania

Istnieją następujące rodzaje materiałów stosowanych na pokrycia pasów zębatych [2]:

a) pokrycia z materiałów komórkowych

Pokrycia wykonane z pianki elastomerowej lub poliuretanowej są łatwo ściśliwe, dzięki komórkowej strukturze materiału. Najczęściej znajdują zastosowanie w przemyśle szklarskim i papierniczym, przenośnikach podciśnieniowych, systemach etykietarek, transporcie lekkich i kruchych produktów (tab. 2).

Pasy zębate specjalne stosowane w przemyśle

Tabela 2. Pokrycia z materiałów komórkowych stosowane na pasach zębatych specjalnych
Table 2. Covering material – cellular for special timing belt

Nazwa	Materiał	Kolor	Twardość [ShA]	Odporność temperaturowa	Odporność na oleje i tłuszcze	Atest spożywczy	Współczynnik tarcia
CELLOFLEX	mikrokomórkowy elastomerowy poliuretan	żółty brązowy	–	+80°C	średnia	nie	0,3
POROL	guma komórkowa	czarny	15	+70°C	średnia	nie	1,0
PU YELLOW 50	poliuretan	żółty	50	+70°C	wysoka	nie	0,4
PU YELLOW 70	poliuretan	żółty	70	+80°C	wysoka	nie	0,3
Sylomer niebieski	elastomerowy poliuretan	niebieski	–	+70°C	średnia	nie	0,5
Sylomer zielony	elastomerowy poliuretan	zielony	–	+70°C	średnia	nie	0,5
Sylomer brązowy	elastomerowy poliuretan	brązowy	–	+70°C	średnia	nie	0,5

b) pokrycia z materiałów PVC oraz PU

Polichlorek winylu (PVC) ma wysoki współczynnik tarcia i wysoką odporność na działanie kwasów.

Ze względu na swoją uniwersalność jest stosowany w przemyśle ceramicznym, szklarskim oraz papierniczym, systemach oznakowania oraz pakowania. Niektóre rodzaje PVC mają atest spożywczy i są stosowane w tej branży na każdym etapie produkcji.

Spośród wszystkich materiałów syntetycznych i mieszanek gumowych poliuretan (PU) zapewnia najlepszą odporność na ścieranie. Pokrycia poliuretanowe różnej twardości używane są do pokrywania pasów. Materiał ten idealnie odnajduje swoje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, np. procesie obróbki drewna, ceramiki i szkła oraz w przemyśle spożywczym (tab. 3).

Tabela 3. Pokrycia z materiałów PVC i PU stosowanych na pasach zębatych specjalnych
Table 3. Covering material – PVC and PU for special timing belt

Nazwa	Materiał	Kolor	Twardość [ShA]	Odporność temperaturowa	Odporność na oleje i tłuszcze	Atest spożywczy	Współczynnik tarcia
FISHBONE PU	PU	transparentny	70/85	+70°C	średnia	nie	0,7
AVAFC	PU	transparentny	85	+70°C	wysoka	nie	0,7
PVC Zielony	PVC	zielony	60	+90°C	wysoka	nie	0,9
Supergrip zielony PVC	PVC	zielony	50	+90°C	wysoka	nie	0,9
Supergrip czerwony PVC	PVC	czerwony	50	+80°C	średnia	nie	0,9
PVC BIAŁY	PVC	biały	60	+90°C	średnia	tak	1,0
Supergrip 12 czerwony PVC	PVC	czerwony	50	+80°C	średnia	nie	0,9

c) pokrycia z materiałów elastomerowych

Do pokrywania pasów stosowanych jest wiele różnych materiałów gumowych syntetycznych i naturalnych.

Dzięki wysokiemu współczynnikowi tarcia i odporności temperaturowej, elastomery znajdują zastosowanie w: przemyśle papierniczym, ceramicznym, obróbce drewna, przemyśle szklarskim, systemach pakujących, systemach transportowych korzystających z podciśnienia (tab. 4).

Tabela 4. Pokrycia z materiałów gumowych stosowanych na pasach zębatych specjalnych
Table 4. Covering material – rubber for special timing belt

Nazwa	Materiał	Kolor	Twardość [ShA]	Odporność temperaturowa	Odporność na oleje i tłuszcze	Atest spożywczy	Współczynnik tarcia
SUPERGRIP GUMA	guma naturalna	zielony	50	+80°C	niska	nie	1,0
LC-G	guma naturalna	czerwony	45	+90°C	niska	nie	1,1
LINATRILE	guma nitylowa	pomarańczowy	55	+110°C	średnia	nie	1,0
NITRILE	guma nitylowa	czarny	65	+110°C	wysoka	nie	0,7
CORREX	paraguma	brązowy	40	+60°C	niska	nie	0,6
Biała guma NR	guma naturalna	biały	60	+90°C	wysoka	tak	0,
Biała guma	guma	biały	60	+90°C	średnia/niska	nie	0,7
VITON	kauczuk fluorowy	czarny	75	+275°C	wysoka	nie	0,7

d) pokrycia z materiałów specjalnych

W tej grupie znajdują się skrajnie różne materiały znane w przyrodzie i technice, a mianowicie: mieszanki termoplastyczne, guma silikonowa, silikon, termoplastyczne mieszanki gumowe, skóra naturalna i sztuczna oraz teflon (tab. 5).

Tabela 5. Różne pokrycia z materiałów specjalnych stosowane na pasach zębatych specjalnych
Table 5. Special backings for special timing belt

Nazwa	Materiał	Kolor	Twardość [ShA]	Odporność temperaturowa	Odporność na oleje i tłuszcze	Atest spożywczy	Współczynnik tarcia
APL	mieszanka termoplastyczna	purpurowy	55	+60°C	wysoka	nie	0,70
SILIKON	guma silikonowa	transparentny/biały	30	+200°C	wysoka	nie	1,00
SILIKON FDA	guma silikonowa	niebieski	30	+220°C	wysoka	tak	1,10
Skóra chromowa	skóra	szary/brązowy	–	+80°C	wysoka	nie	0,80
TZ PAR	teflon	czerwony	–	+80°C	wysoka	nie	0,18
TECHNOGUM 50	termoplastyczna mieszanka guma	czerwony	50	+80°C	wysoka	nie	0,70
TECHNOGUM 70	termoplastyczna mieszanka guma	czerwony	70	+80°C	wysoka	nie	0,60

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono obecny stan wiedzy na temat pasów zębatych pokrytych specjalnych. Zostały zdefiniowane metody nanoszenia różnych powłok na cięgna zębate oraz określone grupy materiałowe stosowane na grzbiecie pasa. Funkcja transportująca pasów zębatych specjalnych w ostatnich latach stała się podstawową cechą przy przenoszeniu elementów w zakładach produkcyjnych.

Obecnie producenci pasów zębatych inwestują w rozwój pasów specjalnych, poprzez szereg badań nad nowymi materiałami. Spowodowane jest to oczekiwaniami producentów maszyn i zakładów produkcyjnych.

Cel główny i dodatkowy pracy zostały zrealizowane. Przedstawiono oraz uporządkowano informacje dotyczące stanu budowy pasa zębatego specjalnego pokrytego. Przybliżono techniki nanoszenia warstw oraz powłok funkcjonalnych na grzbiet pasa zębatego oraz przedstawiono materiały pokryć (warstw transportujących) i podano ich cechy. W kolejnych pracach zostaną przedstawione wstępne badania wpływu cech geometryczno-konstrukcyjnych pasów zębatych specjalnych na charakterystyki użytkowe. Będzie poruszona problematyka funkcji transportującej cięgien, rozpatrywana ze względu na eksploatację.

LITERATURA

- [1] Katalog firmy Brecco.
- [2] Katalog firmy Chiorino.
- [3] Katalog firmy Elatech.
- [4] Katalog firmy Gates.
- [5] RAK J., DOMEK G.: Nowoczesne przekładnie z poliuretanowym pasem zębatym. Seminarium Naukowe Napędy '96, Politechnika Gdańska, 1996.
- [6] RAK J., DOMEK G.: Zwiększenie możliwości nośnych przekładni z pasem zębatym. Konf. Projektowanie, stosowanie i eksploatacja elementów maszyn oraz urządzeń z tworzyw sztucznych, Politechnika Częstochowska.
- [7] RAK J., KOSATSCHIEWSKI G.: Klassifikation der Leistung wichtiger Treibriemen nach Drehzahl und Scheibendurchmesser. Maschinenmarkt 26, Wurzburg, 1990.

SPECIAL TIMING BELTS USED IN INDUSTRY

Summary: The article presents the state of development of the special timing belts used in various industries. The area of applications is steadily increasing and creates new possibilities for manufacturers.

Keywords: special timing belts, industry, cover, rubber, PVC, PU