

MONIKA HARDYGÓRA
TADEUSZ ŻUR
INSTYTUT GÓRNICtwo
POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ
WROCLAW

METODA DOBORU WIELOPRZEKLADKOWYCH TAŚM PRZENOŚNI- KOWYCH W UJĘCIU NIEZAWODNOŚCIOWYM

W pracy przedstawiono propozycję metody określania prawdopodobieństwa powstania awarii taśmy pod wpływem naprężeń wzdłużnych, przenoszonych przez taśmę. W metodzie tej uwzględniono zmienności rozkładów wytrzymałości i obciążeń taśmy oraz występujące w złączu spiętrzenie naprężeń w przekładkach w wyniku przecięcia jednej z nich.

Od niezawodnej pracy taśmy na przenośniku taśmowym uzależniona jest bezawaryjna i efektywna praca całego systemu transportowego. Biorąc również pod uwagę wysokie koszty zakupu taśm, dobór odpowiednich typów taśm przenośnikowych do warunków eksploatacyjnych jest ważnym problemem, którym zajęto się w niniejszym referacie.

Pod pojęciem niezawodności taśmy będziemy rozumieć prawdopodobieństwo matematyczne, że w założonym czasie eksploatacji taśma przenośnikowa będzie pracowała na przenośniku taśmowym zgodnie ze stawianymi jej wymaganiami. Oznacza to, że taśma będzie przenosić nosiwo wzdłuż przenośnika z zachowaniem określonych wymogów oraz będzie w stanie przejmować obciążenia wzdłużne, niezbędne dla utrzymania jej w ruchu. Zazwyczaj drugi z wymienionych warunków stanowi podstawowe kryterium doboru własności wytrzymałościowych taśmy.

Oprócz tego warunku przy doborze taśmy bierze się pod uwagę dodatkowe kryteria, z których jako ważniejsze można wymienić:

- zdolność przejmowania energii przy uderzeniu w kierunku prostopadłym lub skośnym do płaszczyzny taśmy,
- odporność na przecięcia wzdłużne,
- sztywność taśmy,

- palność ,
- odporność elektryczną powierzchni taśmy itp.

W przenośnikach taśmowych z taśmą elastyczną, w których siły wzdłużne niezbędne do pokonania oporów ruchu są przenoszone przez rdzeń taśmy, kryterium wytrzymałości wzdłużnej należy uznać za podstawowe i zagadnieniu temu poświęcono rozważania niniejszego referatu.

O niezawodności pracy taśmy w powyższym wąskim ujęciu decyduje wytrzymałość wzdłużna oraz obciążenia przyłożone do elementów rdzenia równoległe do osi głównej taśmy. Obciążenia poprzeczne pomija się.

W stosowanych dotychczas metodach przyjmuje się szereg uproszczeń, dotyczących: wytrzymałości taśmy, rozkładu naprężeń w rdzeniu i wielkości obciążeń. Wymaga to wprowadzenia do obliczeń odpowiednio dużego współczynnika bezpieczeństwa, nazywanego słusznie współczynnikiem niewiedzy. Tymczasem teoretyczne i eksperymentalne rozeznanie tych zagadnień zostało zaawansowane tak dalece, że możliwe jest zastosowanie do doboru taśm precyzyjniejszych metod obliczeń uwzględniających rzeczywiste wytrzymałości taśm i rozkłady naprężeń znacznie bliższe rzeczywistych od przyjmowanych dotychczas.

Jako podstawowe kryterium doboru taśmy przyjmuje się określone prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia rdzenia taśmy pod wpływem zmiennych obciążeń wzdłużnych, prowadzące do zmiany stanu pracy w stan awarii.

Taśmy przenośnikowe, tak jak wszystkie obiekty techniczne, wykazują pewną zmienność wytrzymałości oraz poddawane są zmiennym, zależnym od warunków pracy, obciążeniom. Niezawodność taśmy można więc oszacować na podstawie dokładnej analizy własności wytrzymałościowych oraz obciążeń, jakim taśma jest poddawana podczas pracy na przenośniku.

1. Analiza wytrzymałości taśmy

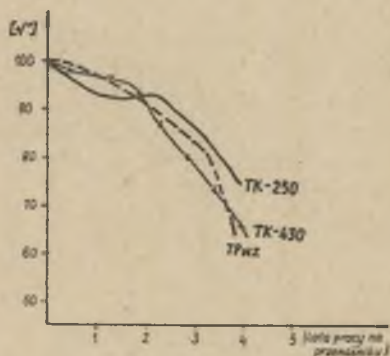
Rzeczywista wytrzymałość taśm przenośnikowych z rdzeniem wielowarstwowym uzależniona jest od następujących czynników:

- zmienności wytrzymałości nowych taśm przenośnikowych ,
- spadku wytrzymałości w funkcji czasu pracy na przenośniku.

Wytrzymałość taśmy tkaninowej, będącej ciałem niejednorodnym o budowie warstwowej, zależy od rodzaju i jakości wykonania przekładek oraz od jakości zawulkanizowania ich w taśmę. Nawet najlepiej wykonane taśmy będą wykazywały pewną zmienność wytrzymałości. W przeprowadzonych badaniach wytrzymałościowych [1] taśm produkcji krajowej zmienność tego parametru osiągała powtarzalne wyniki, np. taśma TK-250-6,8%, TPwz - 10%. Badania te potwierdziły, że nie popełniając zbyt dużego błędu, można przyjąć rozkład wytrzymałości taśm jako normalny.

Taśma podczas pracy na przenośniku zużywa się w następstwie uszkodzeń mechanicznych rdzenia taśmy i okładek. Również materiał, z którego

wykonany jest rdzeń taśmy, pod wpływem działania czynników otoczenia i w miarę upływu czasu podlega procesowi starzenia. Wszystkie te zmiany mają wpływ na pogarszanie się wytrzymałości taśmy. Dla ujęcia tego czynnika w obliczeniach konieczna jest znajomość zależności wyrażającej zmienność wytrzymałości w funkcji czasu. Charakter tych zmian przedstawiają krzywe na rys. 1, wyrażające zmiany średnich wartości wytrzymałości w funkcji czasu kilku typów taśm produkcji krajowej [1].



Rys. 1. Spadek wytrzymałości na rozciąganie w funkcji czasu pracy na przenośniku

Niestety dostatecznie ogólne ujęcie tej zależności jest trudne, gdyż charakter krzywej wartości średnich i zmiany parametrów zmienności są zależne nie tylko od własności taśmy, ale również od właściwości przenośnika, warunków eksploatacji i konserwacji taśm, rozwiązań konstrukcyjnych przenośników taśmowych itp.

Z tego powodu dogodniej jest dobierać taśmy przy założeniu, że w chwili zdejmowania jej z przenośnika na skutek zużycia okładek prawdopodobieństwo zerwania taśmy jest utrzymane na

określonym poziomie.

Wymaga to przyjęcia do obliczeń odpowiednio obniżonej wytrzymałości średniej i parametrów zmienności występujących w taśmach używanych. Na ogół przy doborze taśmy dysponuje się danymi katalogowymi i parametrami zmienności taśm nowych. W dalszych rozważaniach przyjmuje się je więc jako miarodajne wielkości wyjściowe, wprowadzając jedynie wyznaczony eksperymentalnie współczynnik uwzględniający obniżenie wytrzymałości rdzenia taśmy w czasie jej eksploatacji.

Przejście ze stanu pracy do stanu awarii następuje, gdy naprężenie w rdzeniu lub w jego elementach skalowych osiągnie lub przekroczy ich wytrzymałość na rozrywanie.

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia taśmy wyrazi się więc zależnością:

$$P(K_{zr} < K_{ti}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_{ti}} e^{-\frac{(K_{zr} - K_n)^2}{2\sigma^2}} \cdot \sigma \cdot \frac{1}{K_{zr}} \cdot dK_{zr} \quad (1)$$

gdzie oznaczają:

K_{zr} - wytrzymałość taśmy na zerwanie, kN/m;

K_{t1} - naprężenie w rdzeniu taśmy, kN/m;

K_n - średnia oczekiwana wytrzymałość taśmy, kN/m;

\bar{G} - odchylenie standardowe wytrzymałości taśmy nowych, kN/m

Przyjmuje się przy tym, że wytrzymałość nominalna katalogowa jest średnią oczekiwaną dla rozpatrywanej populacji taśm oraz pomija się wpływ eksploatacji na wytrzymałość.

Parametry zmienności określa się na podstawie badań próbek taśm produkowanego typu. W analizie prawdopodobieństwa zerwania taśmy po przyjętym czasie pracy w przenośniku założymy występującą zmienność wytrzymałości taśm używanych równą zmienności określonej dla taśm nowych a wpływ czasu wyrażony będzie spadkiem wytrzymałości średniej. Wytrzymałość taśm po okresie eksploatacji określimy z zależności

$$K_e = k_s \cdot K_n \quad ?$$

gdzie

k_s - współczynnik określający utratę wytrzymałości taśmy w czasie eksploatacji, $k_s = 0,55 \div 0,7$ wg. zależności na rys. 1,

wobec tego odchylenie standardowe wytrzymałości taśm używanych wyrazi się zależnością

$$\bar{G}_e = \alpha \cdot k_s \cdot K_n,$$

gdzie

$\alpha = \frac{\bar{G}}{K_n}$ zmienność wytrzymałości taśm nowych.

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia taśm używanych określi zależność

$$P(K_{zr} \leq K_{t1}) = \frac{1}{\alpha \cdot k_s \cdot K_n \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_{t1}} e^{-\frac{(K_{zr} - k_s \cdot K_n)^2}{2 \alpha^2 k_s^2 \cdot K_n^2}} dK_{zr} \cdot (2)$$

Byłoby wskazane ustalenie wymagań dotyczących parametrów zmienności, które powinny być dotrzymane przez producentów taśm, ażeby nie dopuścić do wystąpienia niedopuszczalnie dużych odstępstw od wartości katalogowej.

2. Analiza obciążeń

Taśma podczas pracy na przenośniku poddawana jest obciążeniom wynikającym z warunków ruchu. Wśród tych obciążeń najważniejszymi są:

- naprężenie wywołane napięciem taśmy w ruchu ustalonym oraz podczas rozruchu i hamowania,
- naprężenia wywołane zmianami wydłużeń w rdzeniu, na bębnie, na odcinkach przejściowych i na łukach.

Rozpatrując naprężenia wywołane napięciem taśmy określono na podstawie przeprowadzonych w GIG-u i Poltegorze badań siły, występujące w taśmach podczas pracy na przenośniku, oraz ich rozkład zmienności. Na podstawie tych badań można przyjąć, bez popełniania większego błędu, że rozkład sił w taśmie jest rozkładem normalnym. Prawdopodobieństwo wystąpienia siły mniejszej lub równej sile zrywającej taśmę wyrazi się równaniem:

$$P(S_1 \leq S_{zr}) = \frac{1}{G_s \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{S_{zr}} e^{-\frac{(S_1 - S)^2}{2G_s^2}} dS_1, \quad (3)$$

gdzie:

- S_1 - siła chwilowa w rdzeniu taśmy przenośnikowej, N,
- S_{zr} - siła zrywająca rdzeń taśmy, N,
- S - średnia siła w taśmie w czasie rozruchu, N,
- G_s - odchylenie standardowe wartości sił w rdzeniu taśmy, N.

Ponieważ obciążenie w taśmie wynosi:

$$K_t = \frac{S_1}{B}, \quad (4)$$

gdzie

B - szerokość taśmy, m - wartość stała

to uwzględniając równanie 4 rozkład obciążeń będzie postaci

$$P(K_t \leq K_{t1}) = \frac{1}{G_s \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_{t1}} e^{-\frac{(K_t - K)^2}{2G_s^2}} dK_t. \quad (5)$$

Dodatkowe obciążenia rdzenia taśmy, które należy uwzględnić w prowadzonej analizie, będą wywołane wpływem złącza. Przecięcie kolejnych przekładek w złączu wywołuje dodatkowe naprężenia w rdzeniu taśmy. Z przeprowadzonej analizy teoretycznej i eksperymentalnej w rdzeniu taśmy następuje maksymalne spiętrzenie naprężeń w przypadku przecięcia pierwszej przekładki, gdyż następna po niej musi przenieść aż blisko 60 % obciążenia przenozonego poprzednio przez przekładkę przeciętą. Jeżeli uwzględnimy dodatkowo fakt występującej zmienności modułów sprężystości poszczególnych przekładek, to przypadek, w którym będzie największe spiętrzenie naprężeń, nastąpi wtedy, kiedy pierwsza przekład-

ka będzie najbardziej sztywna ze wszystkich przekładek w rdzeniu taśmy, natomiast kolejna po niej będzie miała najmniejszą sztywność. Ponieważ wtedy nastąpi przekazanie całości naprężeń z przekładki przeciętej przekładce drugiej, wzrost naprężeń w tej przekładce będzie dwukrotny (współczynnik spiętrzenia naprężeń $k_m \approx 2$) [2], co w konsekwencji spowoduje zerwanie przekładki i dalej całej taśmy. Uwzględnienie tego przypadku może być zapisane prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia $P[A]$ polegającego na losowym ułożeniu się przekładki pierwszej o najmniejszym module sprężystości a drugiej o największym module sprężystości. Maksymalne i minimalne wartości są to wartości ekstremalne, wyznaczone na danym poziomie istotności przy stwierdzonej zmienności.

Prawdopodobieństwo $P[A]$ wynosi

$$P[A] = \frac{(z-r)!}{z!}, \quad (6)$$

gdzie - z - liczba przekładek w rdzeniu taśmy,
 r - liczba przekładek układanych kolejno z uwzględnioną kolejnością.

Wobec tego prawdopodobieństwo wystąpienia obciążeń większych od wytrzymałości będzie iloczynem prawdopodobieństw niezależnych 5 i 6 - ma postać:

$$P(K_t \geq K_{t1}) = \{1 - P(K_t \leq K_{t1})\} \cdot \{1 - P[A]\} =$$

$$= \left(1 - \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_{t1}} e^{-\frac{(K_t - K)^2}{2\sigma_s^2}} dK_t\right) \cdot \left(\frac{z! - (z-r)!}{z!}\right). \quad (7)$$

Natomiast awaria taśmy nastąpi w momencie, gdy naprężenie w taśmie osiągnie wartość większą lub równą wytrzymałości taśmy na zerwanie K_{zr} . Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii wyrazi się ostatecznie zależnością będącą iloczynem prawdopodobieństw wystąpienia wytrzymałości taśmy mniejszej od K_t oraz wystąpienia naprężenia większego od K_t . Prawdopodobieństwo awarii ma postać

$$P(K_{zr} \leq K_t) = \frac{1}{\alpha k_s \cdot k_n \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_t} e^{-\frac{(K_{zr} - k_s \cdot K_n)^2}{2\alpha^2 k_s^2 k_n^2}} dK_{zr} \cdot$$

$$\cdot \left(1 - \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K_{t1}} e^{-\frac{(K_t - K)^2}{2\sigma_s^2}} dK_t\right) \cdot \left(\frac{z! - (z-r)!}{z!}\right) \quad (8)$$

Wnioski

1. Wyprowadzone w pracy zależności teoretyczne pozwalają, korzystając ze stwierdzonych eksperymentalnie rozkładów wytrzymałości, określić prawdopodobieństwo wystąpienia wytrzymałości mniejszej niż założona.
2. Zależności teoretyczne i rozkłady obciążeń umożliwiają określenie prawdopodobieństwa wystąpienia obciążeń większych niż założone.
3. Analiza oczekiwanych wytrzymałości i oczekiwanych obciążeń umożliwia obliczenie prawdopodobieństwa powstania awarii oraz oszacowanie ryzyka powstania awarii na danym poziomie istotności.
4. Przedstawiona ostateczna zależność 8 określa prawdopodobieństwo powstania awarii taśmy, uwzględniając zmienność rozkładów wytrzymałości i obciążeń taśmy oraz spiętrzenie naprężeń w taśmie.

LITERATURA

- [1] Hardygóra M., Żur T.: "Badanie wytrzymałości nowych typów taśm tekstylnych dla górnictwa rud". Praca Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1975, nie publikowana.
- [2] Hardygóra M.: "Wpływ zmienności parametrów wytrzymałościowych taśm na maksymalne naprężenie występujące w taśmach przenośnikowych". Politechnika Wrocławska, Szkoła Jesienna, Podstawowe problemy transportu kopalnianego, Bierutowice 1978.

МЕТОД ПОДБОРА МНОГОПЕРЕДВИЖКОВЫХ ЛЕНТ КОНВЕЙЕРА,
КАК ПРИМЕР НАДЕЖНОСТИ

Резюме

В статье предлагается метод определения вероятности аварии ленты под влиянием поперечных напряжений передаваемых лентой. Метод учитывает перемещению распределения сопротивляемости нагрузки ленты, а также выступающее в соединении накопление напряжений в передвигах в результате перерезания одной из них.

A METHOD OF SELECTION OF MULTIPLY BELTS
FROM THE RELIABILITY POINT OF VIEW

Summary

A suggestion is given in the paper to determine the probability of the belt defects occurrences taking place due to the longitudinal stresses in belts. The discussed method takes into consideration variations of strength and load distributions in belt as well as stress concentration in plies of a joint resulting from cutting one of them.