

2.3.3. Zużycie cierne

Ta forma zużycia zachodząca w parach kinematycznych maszyn cechuje się ubytkiem masowym, do wartościowania którego używa się na ogół grubości zużytej warstwy - h , lub zużytej objętości materiału- U . W badaniach i rozważaniach aplikacyjnych używa się wspomnianej już (patrz p.2.2.10) teorii zużycia przez mikro skrawanie w wersji stacjonarnej, gdzie prędkość zużycia γ jest stała. W takim wypadku grubość zużytej warstwy w funkcji czasu eksploatacji wyrazi się zależnościami [126]:

$$h = \gamma \cdot \theta = kpv\theta = kps \quad (2.19)$$

gdzie: h - grubość ścieranej warstwy, γ - prędkość zużycia, θ - czas eksploatacji, k - współczynnik, p - nacisk jednostkowy w parze kinematycznej, v - prędkość względna elementów pary, s - przebyta droga. Dla zużycia objętościowego słuszne jest prawo Archarda [41], [126]

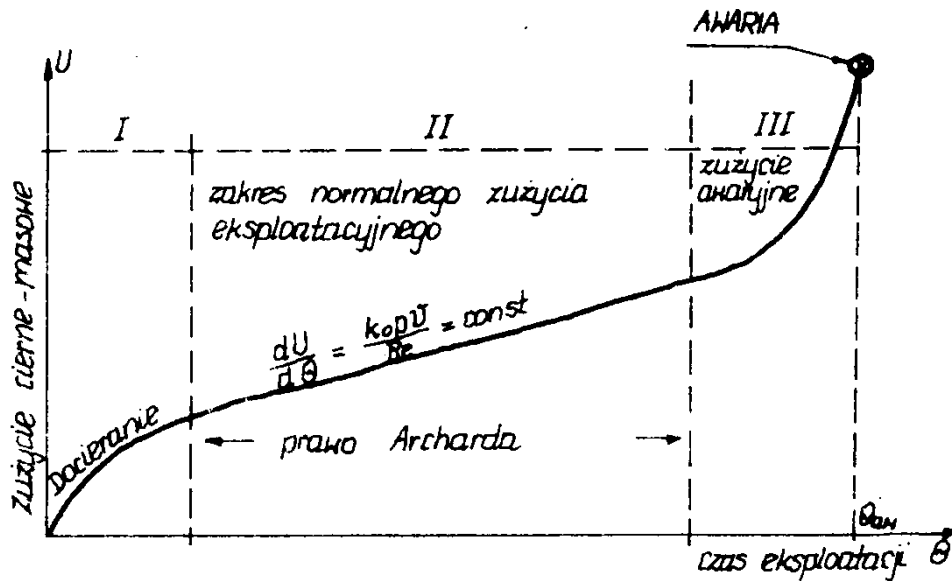
$$U = \frac{k_o p}{R_e} \cdot v \cdot \theta = \frac{k_o p a}{R_e} \quad (2.20)$$

gdzie zużycie cierne wyraźnie uzależnia się od ilorazu nacisku jednostkowego p do granicy plastyczności materiału R_m , tutaj k_o podobnie jak k w (2.19) Jest pewnym współczynnikiem zależnym od warunków i materiału pary kinematycznej, rodzaju smaru itp.

Mimo dużego wysiłku badawczego w dziedzinie zużycia cierne nie ma jeszcze rozeznania o wpływie drgań na prędkość zużycia. Wyobrażając sobie najprostsze parę kinematyczną czop-panewka z drganiami względnymi w warunkach eksploatacyjnych, musimy uwzględnić składowa dynamiczną $p_d(t)$ nacisku we wzorze (2.19).

$$h = kpv\theta = k[p_0 + p_d(t)]v \cdot \theta \quad (2.21)$$

gdzie: p_0 - część stacjonarna nacisku jednostkowego, $p_d(t)$ - część dynamiczna nacisku o amplitudzie proporcjonalnej do amplitudy drgań względnych czop-panewka. Z powyższego wzoru widać prostą proporcjonalność zużycia masowego (cierne) do amplitudy drgań, co obserwuje się wielokrotnie w praktyce eksploatacyjnej dla tzw. zużycia liniowego -normalnego. Jeśli jednak amplitudy drgań przekroczą wartość graniczną dopuszczalną dla danej pary kinematycznej, a wynikającą z luzu i grubości warstwy smarnej, to nastąpią momenty suchego kontaktu elementów pary i s : kość zużywania się rośnie lawinowo. Sytuację tę zobrazowano graficznie na rysunku 2.18.

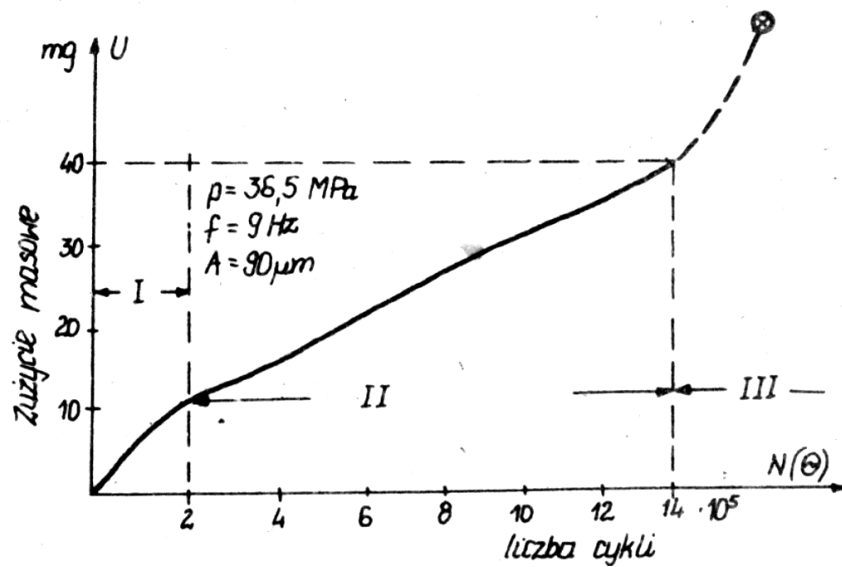


Rys.2.18. Etapy zużycia ciernego w parach kinematycznych maszyn [28]

Ważną odmianą zużycia ciernego jest jego połączenie ze zmęczeniem powierzchniowym oraz korozją, co nosi nazwę frettingu. Fretting zachodzi w połączeniach elementów maszyn wykazujących mikro przemieszczenia względne (nity, sworznie, wpusty, sprzęgła palcowe), a nawet w parach kinematycznych (łożyska, przekładnie) w obecności dużego tarcia (na ogół na sucho) i atmosferze korozyjnej. Usunięcie jednego z tych czynników likwiduje przeważnie proces zużycia przez fretting. Produkty frettingu to z jednej strony tlenki o objętości większej od objętości materiału, z którego powstały, a z drugiej zużycie zmęczeniowe powierzchni w postaci mikropęknięć i szczelin. Objętościowy ubytek materiału U na skutek frettingu da się wyrazić przybliżonym wzorem [28]

$$U = \left[\frac{k_0 \sqrt{p} - k_1 p}{f} + k_2 A p \right] N \quad (2.22)$$

gdzie, k_0, k_1, k_2 - współczynniki stałe, p - nacisk jednostkowy, A - amplituda przemieszczeń drgań względnych w połączeniu, f - częstotliwość drgań, N - liczba cykli drgań. Widać z powyższego, że drgania (zarówno amplituda jak i częstotliwość) są tutaj czynnikiem determinującym intensywność procesu zużycia. A dla stałej częstotliwości f ubytek masy zależy liniowo od nacisku w połączeniu p , amplitudy ruchu względnego A oraz liczby cykli drgań N . Ilustrację tej zależności jest rysunek 2.19 zaczerpnięty z [28].



Rys.2.19. Przykładowe zużycie masowe przy frettingu stali miękkiej w atmosferze azotu [28]

Tutaj również widać dwa stadia rozwoju zjawiska frettingu, a można się domyślać stadia III, co zaznaczono symbolicznie na rysunku. W stadium I następuje zarodkowanie frettingu, stadium drugie można by nazwać liniowym zużyciem eksploatacyjnym, jako że liczba cykli N jest w prostym związku z czasem eksploatacji (θ) i wreszcie stadium trzecie - gwałtowna utrata własności funkcjonalnych połączenia bądź pary kinematycznej.

Podsumowując powyższe wnioski o zużyciu ciernym i wpływie drgań, można powiedzieć, że dla samego zużycia ciernego drgania są czynnikiem przyspieszającym proces zużywania się, zaś dla frettingu drgania są czynnikiem warunkującym tę formę zużycia. W obu przypadkach drgania zaś mogą odgrywać rolę wskaźnika intensywności zużywania się pary cierniej bądź kinematycznej.