

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA  
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
w Bydgoszczy

06-Przem 85-86



ZESZYTY NAUKOWE

Nr 9

# MECHANIKA-EKSPLOATACJA

(5)

MATERIAŁY NA ZEBRANIE NAUKOWE  
SEKCJI PODSTAW EKSPLOATACJI MASZYN PAN

BYDGOSZCZ, 12 MARCA 1974

BYDGOSZCZ 1974



WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA  
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
w Bydgoszczy

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 9

# MECHANIKA-EKSPLOATACJA

(5)

MATERIAŁY NA ZEBRANIE NAUKOWE  
SEKCJI PODSTAW EKSPLOATACJI MASZYN PAN

BYDGOSZCZ, 12 MARCA 1974

BYDGOSZCZ 1974

**Redaktor naukowy**

**doc. dr hab. inż. Robert Sikora**

**Wydano za zgodą Rektora**

**Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Bydgoszczy**

UMK zam. 151, nakł. 400, ark. 9,5 N-4 30 04 74, cena zł 9,50

1.00

1.00 9.00

## S P I S   T R E S C I

Strona

Bolesław Wojciechowicz, Stanisław Zwierzchowski: Podstawy metodyczne badań odporności na zużycie materiałów skojarzonych w parach ślizgowych, narażonych na zanieczyszczenie twar - dymi mineralnymi składnikami gleb i gruntów .....	3
Janusz Oprzędkiewicz, Bogusław Pakosiewicz: Pewne zagadnienia kształtowania niezawodności elementów maszyn w procesach technologicznych .....	19
Jan Wojdak: Analiza metod odnowy elementów maszynowych w aspe - kcie optymalizacji trwałości .....	31
Andrzej Jazdon, Ryszard Jedliński, Piotr Jezierski: Ocena nie - zawodności silnika S-38.B4 .....	49
Andrzej Jazdon, Marian Molski, Irena Urbanowicz: Przykłady za - stosowania EMC w badaniach niezawodności .....	67
Ryszard Jedliński: Problematyka technologiczności odnawiania ma - szyn .....	79
Witold Łoś, Kazimierz Zawisłak: Trwałość oraz przebieg zużycia rolkowego 083-1-110 pz PN-67/M-84168 .....	95
Robert Sikora: Kierunki i możliwości stosowania tworzyw sztu - cznych w odnowie maszyn .....	105
Józef Szala: Obliczenia trwałości zmęczeniowej układów w opar - ciu o wybrane hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych i ich doświadczalna weryfikacja .....	117



Bolesław Wojciechowicz  
Stanisław Zwierzchowski

PODSTAWY METODYCZNE BADAŃ ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE MATERIAŁÓW  
SKOJARZONYCH W PARACH ŚLIZGOWYCH, HARAŻONYCH NA ZANIECZYSZCZENIE  
TWARDYMI MINERALNYMI SKŁADNIKAMI GLEB I GRUNTÓW

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia skojarzeń materiałów: stal-staliwo i stal-żeliwo, w parach ślizgowych zanieczyszczonych piaskiem kwarcowym. Przedstawiono klasyfikację metod badania odporności materiałów na zużycie, według procesów zużycia realizowanych przy użyciu tych metod.

Wstęp

Węzły kinematyczne niektórych maszyn pracują w środowisku zapyłonym składnikami gleb i gruntów. Mogą być one obsypywane cząstkami gleb i gruntów lub pracować w ośrodkach zawierających te cząstki. Twarde mineralne ziarna, stanowiące główny składnik większości gleb i gruntów, mogą w takich warunkach przedostawać się na powierzchnie tarcia części węzłowych, powodując znaczny wzrost intensywności ich zużycia. Najintensywniejszemu zużyciu ulegają węzły kinematyczne maszyn pracujących na glebach i gruntach piaszczystych, względnie przerabiających lub obrabiających materiały zawierające ziarna piasku kwarcowego.

Całkowite zabezpieczenie węzłów kinematycznych niektórych maszyn

przed zanieczyszczeniem cząstkami środowiska otaczającego nie zawsze jest technicznie możliwe lub ekonomicznie uzasadnione. Można co najwyżej zmniejszyć ilość zanieczyszczeń przedostających się z otoczenia w obszar tarcia części węzłowych.

W zależności od konstrukcji węzła kinematycznego /kształt, wymiary, uszczelnienia, smarowanie/, zanieczyszczenia mogą być kumulowane w przestrzeni zawartej między powierzchniami ślizgowymi lub przemieszczać się wraz ze środowiskiem je unoszącym.

Ziarna, znajdujące się w przestrzeni między powierzchniami ślizgowymi, biorą udział w procesie zużycia par ślizgowych w sposób pośredni i bezpośredni /6/. Bezpośredni udział ziaren w procesie zużycia rozpoczyna się z chwilą, gdy wejdą one w bezpośredni, równoczesny kontakt z obydwo- ma elementami pary ślizgowej. To znaczy, gdy działają na nie siły w układzie: element - ziarna - element. Ziarna, które znajdują się w przestrzeni między powierzchniami ślizgowymi, lecz nie są w bezpośrednim równoczesnym kontakcie z obydwo- ma elementami, oddziaływać mogą na tarcie i zużycie tych elementów w sposób pośredni, np. utrudniając przepływ smaru.

Ziarna piasku, znajdujące się w przestrzeni zawartej między powierzchniami ślizgowymi, tworzą wraz ze smarem i środowiskiem gazowym tzw. warstwę ścierną /4/. W zależności od mechanizmu oddziaływania z ziarnami, materiały elementów par ślizgowych podzielić można na dwie grupy:

- materiały zmniejszające oddziaływania ściernie ziaren.
- materiały odporne na procesy zużycia występujące w układzie wzajemnego oddziaływania: element - ziarna - element.

Do pierwszej grupy należą te materiały, w które ziarna piasku mogą być wgniatane bez uprzedniego pokruszenia.

Do drugiej grupy należą te materiały, w które wgniecenie ziarna wymaga siły o większej wartości niż siła potrzebna do skruszenia tego ziarna.

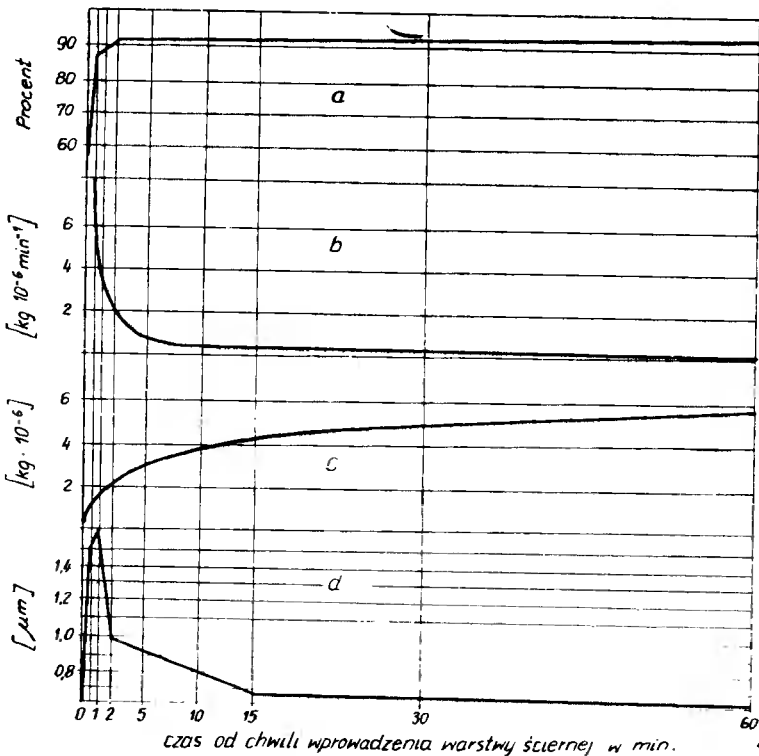
W niniejszym artykule opracowano podstawy metodyczne badań odporności na zużycie skojarzeń materiałów należących do grupy drugiej.



1. Mechanizm zużycia ślizgowego materiałów: stal-stal /staliwo/i stal-żeliwo w parach ślizgowych zanieczyszczonych piaskiem kwarcowym

Ziarna piasku starcowego charakteryzują się dużą twardością. Ich twardość wynosi od 700 do 1100 daN/mm<sup>2</sup> [7]. Siła potrzebna do skruszenia ziarna zależy od jego średnicy i twardości ściskających ziarno elementów. Do skruszenia ziarna o wymiarze poniżej 0,25 mm potrzebne są siły rzędu 1 daN.

Na rysunku 1a przedstawiono wyniki badań kruszenia porcji ziarna piasku, wprowadzonej jednorazowo w obszar tarcia pary ślizgowej o skoja-

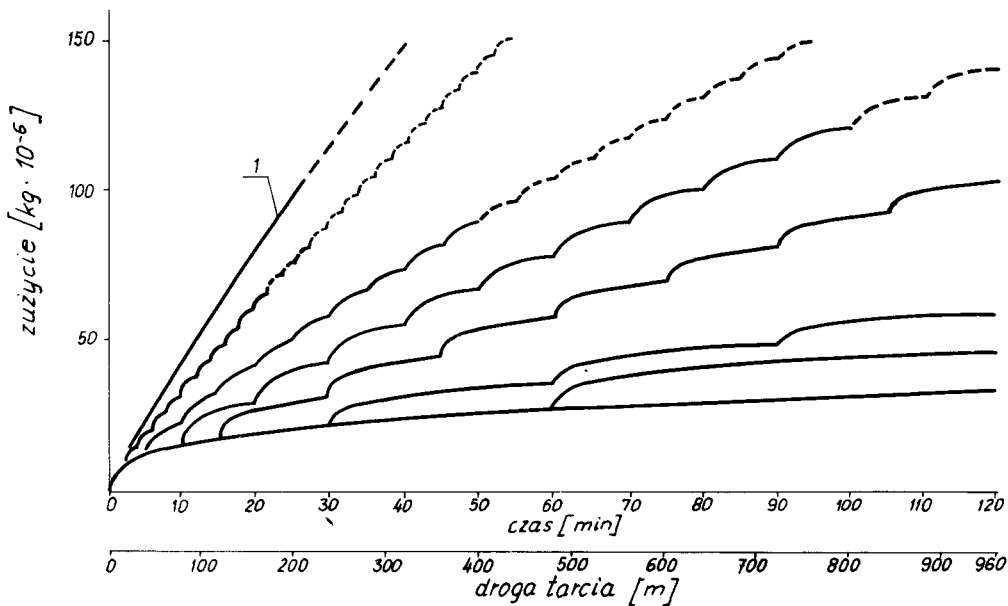


Rys. 1

rzeniu materiałów: stal-żeliwo. Wprowadzono ziarna piasku zmieszane ze smarem maszynowym w proporcji mas piasku do smaru, jak 1:10. Na rysunku przedstawiono zmiany składu frakcyjnego wprowadzonej porcji ziaren piasku w miarę zwiększania czasu jej przebywania w obszarze tarcia /luzie/ pary ślizgowej. Ziarna biorące bezpośredni udział w procesie zużycia ulegają pokruszeniu do pewnych granicznych wymiarów. Wymiary te są porównywalne z wymiarami nierówności powierzchni tarcia. Wraz z rozdrabnianiem się ziaren zmienia się intensywność zużycia pary ślizgowej. Przebieg zużycia oraz zmiany intensywności zużycia pary ślizgowej w czasie mierzone od chwili wprowadzenia porcji ziaren piasku przedstawiono na rysunku lb i lc. Bezpośrednio po wprowadzeniu ziaren intensywność zużycia wzrasta, osiąga pewne maksimum, po czym maleje.

Na rysunku lb zaznaczono tylko malejącą gałąź krzywej zmian intensywności zużycia. Charakterystyczne jest to, że intensywność zużycia pary ślizgowej zanieczyszczonej jest zawsze większa niż intensywność zużycia pary niezanieczyszczonej. Chropowatość powierzchni tarcia zmienia się podobnie, jak intensywność zużycia /rys.ld/. Bezpośrednio po wprowadzeniu ziaren chropowatość wzrasta. Następnie, po osiągnięciu maksimum, maleje. Charakterystyczne jest to, że chropowatość powierzchni tarcia maleje do wartości mniejszych niż chropowatość powierzchni tarcia par ślizgowych niezanieczyszczonych.

W warunkach eksploatacyjnych cząstki gleb lub gruntów przedostają się między powierzchnie ślizgowe w sposób losowy. W związku z tym proces zużycia ma przebieg złożony. Nakładają się losowo jednostkowe procesy, przebiegające w sposób podobny, jak przedstawiono na rysunku lc. Procesy jednostkowe różnią się przede wszystkim intensywnością zjawisk tarcia i zużycia oraz długością drogi tarcia, na jakiej zachodzą. Związane to jest głównie ze zmiennością własności ziaren, biorących udział w poszczególnych procesach jednostkowych, oraz ze zmiennością warunków, w jakich procesy te przebiegają /np. chropowatość powierzchni tarcia w danej chwili i miejscu/.



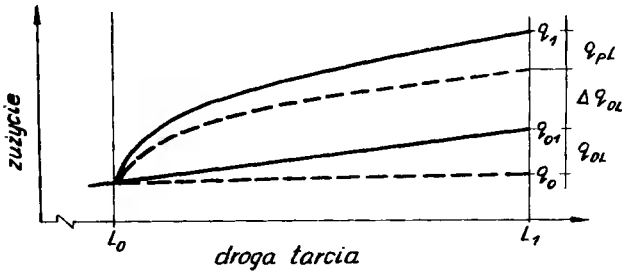
Rys. 2

Na rysunku 2 przedstawiono nakładanie się jednostkowych procesów zużycia pary ślizgowej przy różnej częstotliwości wprowadzania porcji ziaren piasku w obszar tarcia.

## 2. Procesy zużycia skojarzeń: stal-stal /staliwo/ i stal-żeliwo w zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych parach ślizgowych

Skojarzenia materiałów: stal-żeliwo, stal-stal /staliwo/ w parach ślizgowych niezanieczyszczonych ulegają zużyciu utleniającemu, zużyciu adhezyjnemu i zużyciu ściernemu. W zależności od warunków i parametrów tarcia wiodące znaczenie ma zużycie utleniające lub adhezyjne. Zużycie ściernie występuje przede wszystkim w okresie "docierania" par ślizgowych. Jest ono również wtórnym skutkiem zużycia adhezyjnego. Wskutek dużej chropowa-

tości powierzchni tarcia, spowodowanej wrywaniem się cząstek materiałów, zużyciu adhezyjnemu towarzyszy zużycie o charakterze mechanicznym [3].



Rys. 3

Różnice procesów zużycia par ślizgowych niezanieczyszczonych i zanieczyszczonych ziarnami niasku można wykazać, analizując jednostkowy przebieg zużycia przedstawiony na rysunku 3.

Gdyby w obszar tarcia pary ślizgowej nie wprowadzono porcji ziaren, wartość zużycia na drodze tarcia  $L_0 L_1$  wynosiłaby:

$$q_{CL} = q_{O1} - q_0 \quad /1/$$

Po wprowadzeniu ziaren wartość zużycia wynosi:

$$q_L = q_1 - q_0 \quad /2/$$

Wprowadzone ziarna piasku spowodowały na drodze tarcia  $L_0 L_1$  przyrost zużycia równy:

$$q_{pL} = q_L - q_{CL} \quad /3/$$

Budowa krystaliczna i własności fizyko-chemiczne ziaren niasku kwarcowego stanowią o tym, że jego ziarna mogą działać niszcząco na elementy maszyn tylko w sposób mechaniczny. Nie można założyć, że procesy towarzyszące mechanicznemu działaniu ziaren na warstwy wierzchnie sklejonych materiałów i procesy powstawania i niszczenia tych warstw, charakterystyczne dla warunków podczas nieobecności ziaren, zachodzą równoległe i niezależnie od siebie. Pod pojęciem procesów zużycia należy rozumieć ca-

kość zjawisk fizycznych, chemicznych i mechanicznych, zachodzących w warstwach wierzchnich materiałów w procesie tarcia; zarówno tworzących te warstwy, jak i niszczących je /mechanizm oddzielania cząstek materiałów/. Ziarna piasku nie tylko oddzielają cząstki materiałów, ale w bezpośrednich oddziaływaniach w układzie: element - ziarna - element, powodują również zmiany własności tych warstw.

Można zatem przyjąć, że ziarna piasku przyczyniają się do wzrostu intensywności procesów zużycia adhezyjnego i utleniającego. Wartość zużycia  $q_{pL}$ , określana według oznaczeń na rysunku 3 i równań /1/, /2/, /3/, zawiera zatem pewien przyrost  $\Delta q_{OL}$  wartości zużycia  $q_{OL}$ . Wartość  $q_{pL}$  można zapisać:

$$q_{pL} = \Delta q_{OL} + q'_{pL} \quad /4/$$

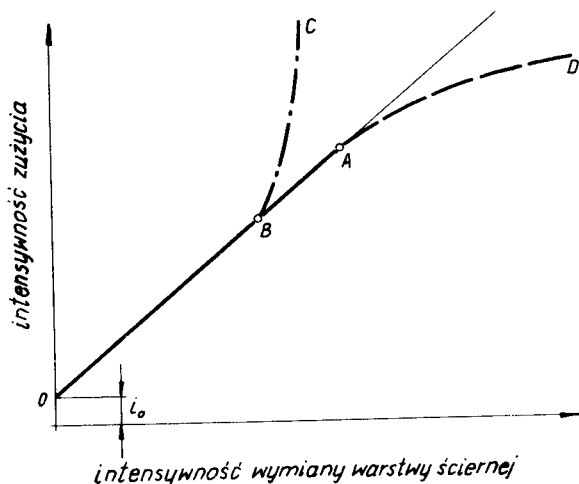
Wartość zużycia  $q'_{pL}$  spowodowana jest procesami zużycia o charakterze mechanicznym, występującymi w parach ślizgowych niezanieczyszczonych, jak i zanieczyszczonych. Określa się je jako zużycie ściernie. Wartości zużycia  $q_{OL}$  i  $\Delta q_{OL}$  spowodowane są przede wszystkim procesami zużycia utleniającego i adhezyjnego.

### 3. Wpływ ilości zanieczyszczeń wprowadzanych w obszar tarcia pary ślizgowej

Na rysunku 4 przedstawiono ilustrację graficzną zmian intensywności zużycia w zależności od intensywności doprowadzania ziaren piasku/masa ziaren wprowadzonego piasku odniesiona do jednostki drogi tarcia/.

Intensywność zużycia wzrasta wprost proporcjonalnie do intensywności doprowadzania ziaren piasku. Powyżej pewnej intensywności doprowadzania ziaren, część z nich przepływa przez obszar luzów nie wchodząc w bezpośredni, równoczesny kontakt z obydwojema elementami pary ślizgowej. Ziarna te nie biorą bezpośredniego udziału w procesie zużycia.

Dalsze zwiększanie intensywności doprowadzania ziaren nie powoduje wzrostu wartości zużycia. Na rysunku 4 zaznaczono to schematycznie krzywą OBAD. Zakres proporcjonalnego wzrostu uwarunkowany jest geometrią pary ślizgowej i prędkością ruchu względnego jej elementów. Decydują one bowiem o ilości ziaren doprowadzanych z obszaru luzów w obszar tar-



Rys. 4

cia elementów. Taką zależność intensywności zużycia od intensywności doprowadzania ziaren obserwuje się przy małych obciążeniach. Przy dużych obciążeniach odchylenie od zależności liniowej nastąpić może wskutek jakościowych zmian procesów zużycia. Zaznaczono to schematycznie linią OBC. Poczynając od pewnej wartości intensywności doprowadzania ziaren, odpowiadającej punktowi B, dalsze jej zwiększanie powoduje gwałtowny wzrost intensywności zużycia. Następuje to wskutek wzrostu intensywności zużycia przez szepianie adhezyjne, które z kolei przechodzi w zużycie cieplne. Odchylenie od zależności liniowej między intensywnością zużycia i intensywnością doprowadzania ziaren następuje przy tym mniejszej wartości doprowadzania ziaren, im wyższe są wartości prędkości i obciążenia pary ślizgowej. W zakresie zależności liniowej prędkość nie wpływa istotnie na zużycie. Zwiększanie prędkości, przy ustalonym obciążeniu, powoduje jednak przesunięcie się punktu B w kierunku mniejszych intensywności doprowadzania ziaren.

#### 4. Zmiany kierunku i prędkości ruchu względnego elementów

Zmienność kierunku ruchu powoduje niewielki wzrost wartości zuży-

cia parv ślizgowej w stosunku do wartości zużycia przy ruchu jednokierunkowym. Ten wzrost wartości zużycia można wyjaśnić następująco:

- ilość ziaren doprowadzanych z obszaru luzów łożyskowych w obszar tarcia elementów przy ruchu dwukierunkowym może być większa niż przy ruchu jednokierunkowym,

- odporność materiałów na zużycie przy ruchu dwukierunkowym może być mniejsza niż przy ruchu jednokierunkowym.

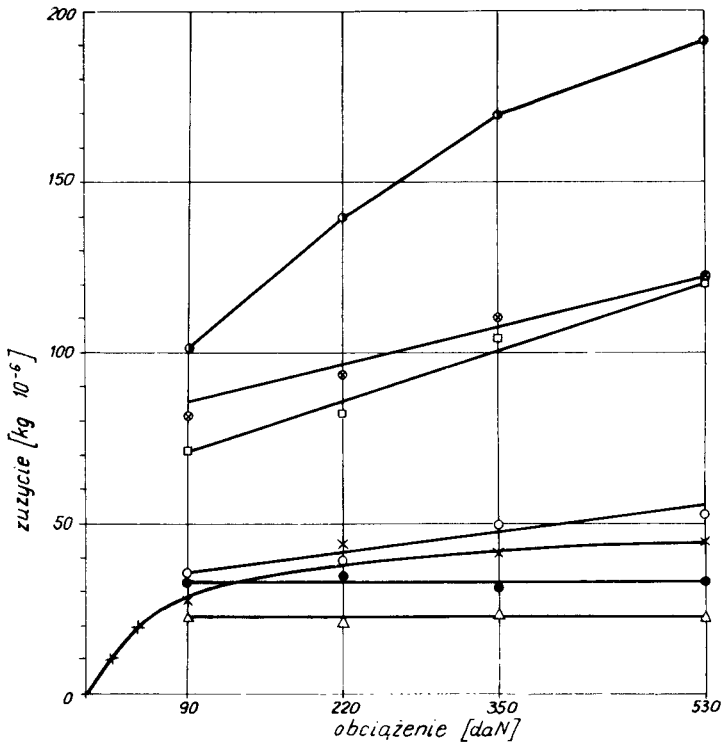
Jeżeli geometria badanej pary ślizgowej nie ulega zmianie, różnica ilości ziaren doprowadzanych z obszaru luzów w obszar tarcia przy ruchu jednokierunkowym i dwukierunkowym jest w przybliżeniu jednakowa dla wszystkich badanych skojarzeń materiałów. Z tego powodu wartości względnych odporności materiałów na zużycie, wyznaczone w badaniach przy ruchu jednokierunkowym i dwukierunkowym, nie powinny się istotnie różnić.

W związku z różną odpornością materiałów na zużycie przy ruchu jednokierunkowym i dwukierunkowym mogą się różnić wartości zużycia. Natomiast wartości względnych odporności materiałów na zużycie /określone jako bezwymiarowe wskaźniki, będące stosunkiem wartości zużycia dwóch materiałów/, wyznaczone w badaniach przy ruchu jednokierunkowym i dwukierunkowym, mogą się nie różnić istotnie. Te same materiały, uszeregowane według wzrastających wartości względnych odporności na zużycie, wyznaczonej w badaniach przy ruchu jednokierunkowym, zachowują swą kolejność w takim samym szeregu, sporządzonym na podstawie badań przy ruchu dwukierunkowym. Zmiany wartości prędkości nie mają istotnego wpływu na wartość zużycia. Stwierdzenie to jest prawdziwe w przedziale zmian wartości prędkości, w którym chwilowe wartości maksymalne nie przekraczają wartości granicznych dla danej pary ślizgowej /np. punkt B na rysunku 4/.

## 5. Zmienności obciążeń

Zużycie czopów i panwi łożysk, obciążonych siłami o wartościach sinusoidalnie zmiennych, zależy od wartości średniej danego obciążenia

zmiennego. Zużycie przy obciążeniu dynamicznym ma wartość porównywalną /nie różniącą się istotnie/ z wartością zużycia przy obciążeniu statycznym P, jeżeli wartość P jest równa średniej wartości obciążenia zmiennego. Stwierdzenie to jest prawdziwe w przedziale obciążeń zmiennych, w którym chwilowe wartości maksymalne obciążeń zmiennych nie przekraczają



- x staliwa średnioodpuszcza ne - stal 45
- o staliwa wysokoodpuszcza ne - stal 45
- staliwa wysokoodpuszcza ne - stal 5
- \* staliwa niskoodpuszcza ne - stal 5
- staliwa niskoodpuszcza ne - stal 45
- żeliwa - stal 5
- Δ żeliwa - stal 45

Rys. 5



wartości granicznych dla danej pary ślizgowej. Badania wpływu sinusoidalnych zmian obciążenia na zużycie przeprowadzono dla łożyska o skojarzeniu materiałów: stal-żeliwo. Na jeden obrót czopa wypadają 3,2 i 1 okres zmian obciążenia. Badania przeprowadzono w zakresie wartości obciążeń od 0 do 225 daN. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań skojarzeń stali ze staliwami i stali z żeliwami w przedziale obciążeń 0 do 530 daN. Każdą parę ślizgową badano przy obciążeniach 88, 220, 353 i 530 daN. Kolejność obciążeń każdego skojarzenia materiałów zmieniano według czterech kombinacji. Badania te wykazały, iż zmiany kolejności obciążeń nie mają istotnego wpływu na wartości zużycia i względne odporności materiałów na zużycie.

Zależność zużycia od obciążenia w przedziale od 0 do 530 daN można opisać równaniem krzywej wykładniczej. Jednak w przedziałach obciążeń 0 ÷ 44 daN i 88 do 530 daN wyniki badań dają się opisać lepiej równaniami prostych.

## 6. Struktura i właściwości mechaniczne materiału elementu współpracującego z badanymi

Najczęściej przyjmuje się, że wiodącym procesem zużycia węzłów kinematycznych, zanieczyszczonych składnikami gleb i gruntów, jest zużycie ściernie. Metody laboratoryjnych badań nad doborem materiałów na części węzłowe opierają się na założeniu, iż węzły kinematyczne zanieczyszczone tymi ziarnami ulegają wyłącznie zużyciu ściernemu. Do metod tych zaliczamy: metody tarcia o płótno ściernie i te metody badań, w których ziarna doprowadzane są w sposób ciągły z dużą intensywnością w obszar tarcia par ślizgowych lub próbek materiałów. Stosując te metody badań można ocenić odporność materiałów na zużycie w procesach skrawania, wykruszania, odrywania, wielokrotnych odkształceń plastycznych i sprężystych. Stosując te metody, stwierdza się korelacje między odpornością materiałów na zu -

życie a ich twardością i modułem sprężystości.

Ziarna piasku charakteryzują się dużą twardością. Jednak są one kruche i posiadają małą wytrzymałość na ściskanie. Biorąc udział w procesie zużycia ulegają pokruszeniu. Wraz z rozdrabnianiem się ziaren zmienia się intensywność zużycia. Zmieniają się również jakościowe procesy zużycia skojarzonych materiałów.

Ziarna o względnie dużych wymiarach, w porównaniu z wartością  $R_a$  chropowatości powierzchni tarcia, powodują przede wszystkim procesy zużycia ściernego. Natomiast ziarna o wymiarach porównywalnych z wartością  $R_a$  chropowatości powierzchni tarcia powodują przede wszystkim wzrost intensywności procesów zużycia utleniającego i adhezyjnego. Ziarna te mogą działać niszcząco tylko na strefy warstwy wierzchniej, graniczące bezpośrednio z powierzchnią tarcia. Własności mechaniczne tych stref mogą się istotnie różnić od własności materiału. Odporność materiałów na procesy zużycia spowodowane tymi ziarnami może nie mieć bezpośrednich związków ze wskaźnikami makroskopowych własności mechanicznych skojarzonych materiałów.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań par ślizgowych, smarowanych smarem maszynowym, zanieczyszczonych piaskiem kwarcowym w proporcji wagowej piasku do smaru jak 1:10. W czasie wymiany warstwy ścierniej wprowadzono do luzów pary ślizgowej 3 gramy smaru, w tym około 0,3 grama piasku. Droga tarcia między kolejnymi wymianami warstwy ścierniej była stała i odpowiadała 500 obrotom wałka. Badano staliwa hartowane a następnie nisko, średnio i wysoko odpuszczone oraz żeliwa w skojarzeniu ze stalami: 45 hartowaną i St 5 normalizowaną. W przedziale obciążeń od 88 do 530 daN intensywność zużycia żeliw i staliw badanych w skojarzeniu z hartowaną stalą 45 nie zależy istotnie od obciążenia. Natomiast badanych w skojarzeniu ze stalą St 5 jest istotnie zależna od obciążenia. W skojarzeniu ze stalą 45 /struktura martenzytyczna/ odporne na zużycie są staliwa o strukturach węglików stopowych na tle ferrytu stopowego /wysoko-odpuszczone/ oraz o strukturach sorbitycznych. W skojarzeniu ze stalą St 5

/struktura perlityczno-ferrytyczna/ bardziej odporne na zużycie są stali o strukturach martenzytu odpuszczonego. W skojarzeniu ze stalią 45S najmniej odporne na zużycie są stali o strukturach martenzytu odpuszczonego. W skojarzeniu ze stalią St 5 najmniej odporne na zużycie są stali o strukturach węglików na tle ferrytu.

Wielkość porcji ziaren wprowadzanych jednorazowo w obszar tarcia badanych par ślizgowych oraz częstotliwość wprowadzania tych porcji znacznie przekraczały wartości, mogące występować w warunkach eksploatacyjnych. Jednocześnie smar maszynowy wprowadzany razem z ziarnami zapobiegał tworzeniu się szczepów adhezyjnych oraz przyczyniał się do zmniejszenia intensywności zużycia utleniającego. Mimo to, stwierdzonych w badaniach zależności zużycia od obciążenia oraz związków między odpornością na zużycie i wartością zużycia badanych żeliw i staliw a strukturą i składem chemicznym skojarzonych materiałów nie można wyjaśnić wychodząc z założenia, że wiodącym procesem zużycia było zużycie ściernie.

## 7. Klasyfikacja metod laboratoryjnych badań nad doborem materiałów na elementy par ślizgowych zanieczyszczonych piaskiem

Laboratoryjne metody badań nad doborem materiałów na elementy par ślizgowych zanieczyszczonych piaskiem, według realizowanych przy ich pomocy procesów zużycia podzielić można na dwie zasadnicze grupy:

I. Metody, przy pomocy których realizuje się wyłącznie procesy zużycia ściernego, to znaczy procesy tworzące wielkość  $q'_{pL}$ .

II. Metody, przy pomocy których realizuje się procesy zużycia tworzące wielkość:  $q_L = q_{OL} + q'_{pL} + \Delta q_{OL}$ .

Do metod grupy I należą:

- 1/ metody tarcia o płótno ściernie,
- 2/ metody wzajemnego szlifowania,
- 3/ metody, w których toczy się krążek po krążku lub krążek po

płaszczyźnie, a ziarna doprowadzane są w sposób ciągły w obszar tarcia.

Do metod grupy II należą:

1/ metody, w których ziarna piasku doprowadzane są w obszar tarcia par ślizgowych:

- okresowo,
- w sposób ciągły,

2/ metody, w których krążek po krążku lub krążek po płaszczyźnie toczy się z poślizgiem, a ziarna piasku doprowadzane są w sposób ciągły w obszar tarcia.

Stosując metody z grupy II, na udział poszczególnych wielkości  $q_{OL}, q'_{pL}$ ,  $\Delta q_{OL}$  w mierzonej wartości zużycia  $q_L$  wpływać można przez:

- 1b - intensywność doprowadzania ziaren,
- 1a - ilość /wagowo/ doprowadzonych jednorazowo ziaren i częstość doprowadzania porcji ziaren,
- 2 - stopień poślizgu i intensywność doprowadzania ziaren.

Pomimo we wszystkich tych metodach na udział poszczególnych procesów zużycia w tworzeniu końcowej wartości zużycia  $q_L$  wpływać można poprzez zmiany:

- warunków tarcia /tarcie suche, tarcie graniczne/,
- parametrów tarcia /prędkości i obciążenia/,
- własności materiału elementu współpracującego.

Niedostateczną korelację wyników badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych odporności materiałów na zużycie kładzie się głównie na barw różnicy kinematyki i dynamiki par ślizgowych, badanych w laboratorium i w warunkach eksploatacyjnych. Obserwuje się tendencje do budowy stanowisk badawczych, które możliwie dokładnie odtwarzają kinematykę i dynamikę par ślizgowych.

Wydaje się, iż przyczyną niedostatecznej korelacji należy szukać raczej w różnicy procesów zużycia, którym podlegają skojarzenia materiałów w warunkach badań laboratoryjnych i w warunkach badań eksploatacyjnych. Na podobieństwo procesów zużycia należy zwrócić uwagę przy budowie

tkim przy opracowywaniu metodyki badań.

#### Literatura

1. Gasiński L.: Wpływ zmienności obciążenia na zużycie łożysk ślizgowych narażonych na zanieczyszczenie piaskiem. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1967.
2. Jeszke T.: Wpływ zmienności ruchu na zużycie łożysk ślizgowych zanieczyszczonych ziarnami piasku. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1965.
3. Nosowski J.G.: Wlijanije gazowej sriedy na iznos metalałow. Kijew 1968.
4. Służyński E.: Badania zużycia łożysk ślizgowych w warunkach ciągłego dopływu ścierniwa przy zmiennej częstotliwości smarowania. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1968.
5. Tienienbaum M.M.: Iznosostojkost' konstrukcyjnych materiałow i detaliej maszin pri abraziwnom iznasziwanii.
6. Wojciechowicz B.: Studia nad mechanizmem zużywania się pary ślizgowej w obecności zanieczyszczeń. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Poznańskiej, Rozprawy Nr 14, 1966.
7. Wojciechowicz B.: Wpływ zanieczyszczenia ziarnami piasku na zużycie łożysk ślizgowych, Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1963.
8. Zwierzchowski St.: Dobór tworzyw na elementy par ślizgowych pracujących w warunkach zużycia ściernego. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1971.

METHODICAL PRINCIPLES OF RESISTANCE STUDIES FOR USE OF MATERIAL  
COUPLING IN SLIDING PAIRS, EXPOSED TO POLLUTION WITH  
HARD MINERAL COMPONENTS OF CLAY AND SOILS

/Summary/

In the paper the results are presented of investigations of material coupling: steel - cast steel and steel - cast iron wear in sliding pairs non - polluted and polluted by quartz sand. Classifications are given of investigation methods of material couplings resistance to wear according to realized process of wear, applying these methods.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СТОЙКОСТИ  
НА ИЗНОС МАТЕРИАЛОВ СОЕДИНЁННЫХ В ПАРАХ  
ТРЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТЫЕ ЗАСОРЕНИЮ ТВЁРДЫМИ МИНЕРАЛАМИ  
СОСТАВНЫМИ ЧАСТЯМИ ПОЧВЫ И ГРУНТА

/Резюме/

Статья содержит результаты исследований износа соединений: сталь-литая сталь, сталь-чугун в парах трения засорённых песком кварца.

Одновременно приведена классификация методов исследования износостойкости материалов.

Janusz Oprzędkiewicz  
Bogusław Pakosiewicz

PEWNE ZAGADNIENIA KSZTAŁTOWANIA NIEZAWODNOŚCI ELEMENTÓW MASZYN  
W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH

W pracy wysunięto pogląd, że stosunkowo niewielkie zwiększenie niezawodności wszystkich elementów maszyny drogą zastosowania odpowiednich procesów technologicznych daje duży przyrost niezawodności.

Na przykładzie obróbki wiórowej ukazano możliwości uzyskania określonego stanu WW przez dobór parametrów obróbki. Zwrócono również uwagę na różnice między kształtowaniem potencjalnej i rzeczywistej trwałości i niezawodności elementów.

1. Niezawodność maszyny a niezawodność jej elementów

Najczęściej okres istnienia elementów maszyn dzieli się na trzy zasadnicze fazy: przedprodukcyjną, produkcyjną i poprodukcyjną. Problemy niezawodnościowe fazy pierwszej i ostatniej były i są nadal przedmiotem bardzo wielu prac, natomiast faza druga, w której zachodzi kształtowanie poziomu niezawodności założonego przez projektanta i zabezpieczonego przez eksploatację, nie jest jeszcze obecnie dostatecznie rozpracowana i choćby z tego powodu warto podać parę uwag oraz rezultaty prac z zakresu kształtowania niezawodności elementów maszyn w procesach technologicznych.

Założmy, że rozpoczęto produkcję określonych maszyn, które nie spełniają ustalonych uprzednio wymagań niezawodnościowych, bądź też należy zwiększyć ich niezawodność w związku z podwyższeniem poziomu technicznego.

Na ogół maszyna składa się z  $r$  rodzajów elementów o łącznej liczbie:

$$N = \sum_{i=1}^r N_i ,$$

gdzie:

$N_i$  jest liczbą elementów  $i$ -tego rodzaju, niezbędną do wykonania maszyny.

Z uwagi na to, że wytwarzana maszyna składa się, z założenia, jedynie z elementów niezbędnych, uszkodzenie dowolnego elementu prowadzi do uszkodzenia całej maszyny, a jego niezawodność, w przypadku gdy elementy składowe są niezawodnościowo niezależne, można zapisać w postaci:

$$R_N = \prod_{i=1}^r R_{N_i} ,$$

gdzie:

$$R_{N_i} = \prod_{j=1}^{N_i} P_{ij} .$$

Jest to niezawodność lokalna ze względu na  $i$ -ty rodzaj elementów, natomiast  $p_{ij}$  / $j = 1, 2, \dots, N_i$ / jest niezawodnością poszczególnych elementów  $i$ -tego rodzaju.

Z podanych zależności widać, że dla ustalonego  $N$  niezawodność maszyny /przy stałej strukturze/ zależy wyłącznie od niezawodności jej elementów.

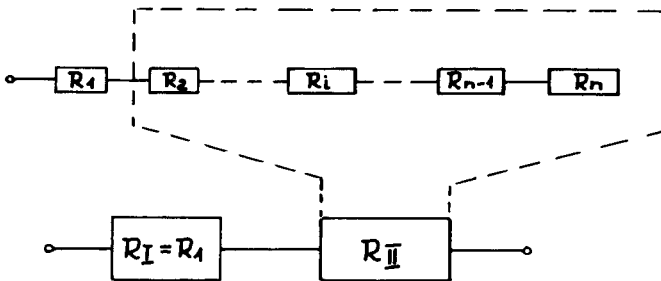
Jeżeli niezawodność globalna  $R_N$  jest niższa od niezawodności wymaganej  $R_T$ , wówczas w wielu przypadkach istotne zwiększenie niezawodności



maszyny można osiągnąć przez stosowanie odpowiedniej strategii polepszania niezawodności jej elementów.

Przyjął się niesłuszny pogląd, że wyeliminowanie tzw. "słabych ogniw" jest gwarancją otrzymania maszyn o dużej niezawodności. Jednakże wyeliminowanie najsłabszego ogniwa - w przypadku procesów technologicznych o dużej liczbie operacji elementarnych - daje znikome efekty.

Natomiast nawet stosunkowo niewielkie zwiększenie niezawodności wszystkich elementów drogą zastosowania odpowiednich procesów technologicznych, także bez eliminacji "słabych ogniw", daje duży przyrost niezawodności. Wynika to choćby z rysunku 1. Oznacza to, że warunkiem otrzymania wyrobów o dużej niezawodności jest systematyczne doskonalenie całego procesu technologicznego wszystkich elementów.



1.  $R_1 = \text{minimum}$
2.  $R_I = R_1$   
 $R_{II} = R^{n-1}$  } dla systemu z elementów  
jednorodnych
3.  $R_I = R_1$   
 $R_{II} = \prod_{i=2}^n R_i$  } dla systemu z elementów  
niejednorodnych
3.  $R_{I,II} = R_I R_{II}$
4. Oddziaływanie na  $R_{II}$  daje:  
 $R_{I,II}^{\pm} = R_I (R_{II} \pm k R_{II}) = (1 \pm k) R_{I,II}$
5. Oddziaływanie na  $R_I$  daje:  
 $R_{I,II}^{\pm} = R_{II} (R_I \pm k R_I) = (1 \pm k) R_{I,II}$   
gdzie  $k$  - względna zmiana niezawodności

Rys.1

## 2. Konstytuowanie się warstwy wierzchniej podczas operacji technologicznych i jej wpływ na trwałość i niezawodność elementów maszyn

Obecnie technologie produkcji elementów maszyn stwarzają możliwości zabezpieczenia odpowiedniego poziomu niezawodności w procesie produkcyjnym.

W procesie wytwarzania możliwość prawidłowego spełniania funkcji przewidzianych /a więc i niezawodności/ przez konstruktora nadaje się przedmiotowi obrabianemu nie tylko przez zrealizowanie wymagań narzuconych dokumentacją konstrukcyjną. Świadome konstytuowanie warstwy wierzchniej /*WW*/ nadaje jej określoną strukturę geometryczną powierzchni oraz szereg cech fizycznych, wpływających na własności użytkowe.

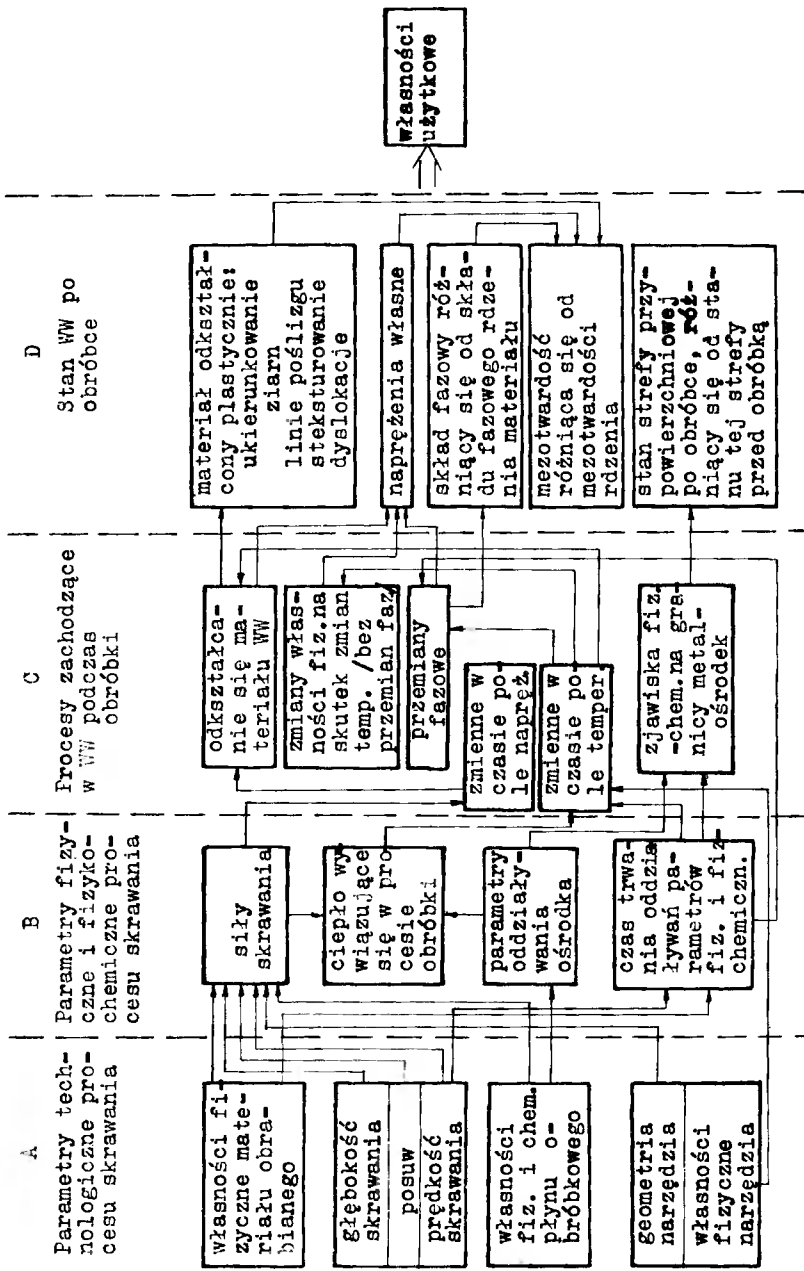
Najczęściej wymaga się jednej lub kilku własności użytkowych spośród niżej wymienionych [1] :

- odporność na zużycie,
- optymalny współczynnik tarcia,
- postaciowa i powierzchniowa wytrzymałość zmęczeniowa,
- odporność na powstawanie korozji.

Optymalny zespół własności użytkowych elementu maszyny jest niezbędny dla spełniania przez ten element funkcji przewidzianych przez konstruktora.

Rysunek 2 przedstawia kształtowanie własności użytkowych na przykładzie toczenia wykończającego. Podstawowe parametry procesu obróbki, mające wpływ na przebieg zjawisk zachodzących w zewnętrznej warstwie przedmiotu, są następujące /vide: "parametry fizyczne i fizykochemiczne procesu skrawania" - rys.2, kolumna B/:

- siły skrawania,
- ciepło wywiązujące się w procesie obróbki,
- parametry oddziaływania ośrodka, w którym odbywa się proces obróbki.



Rys.2. Schemat konstytuowania się warstwy wierzchniej podczas toczenia wykończającego

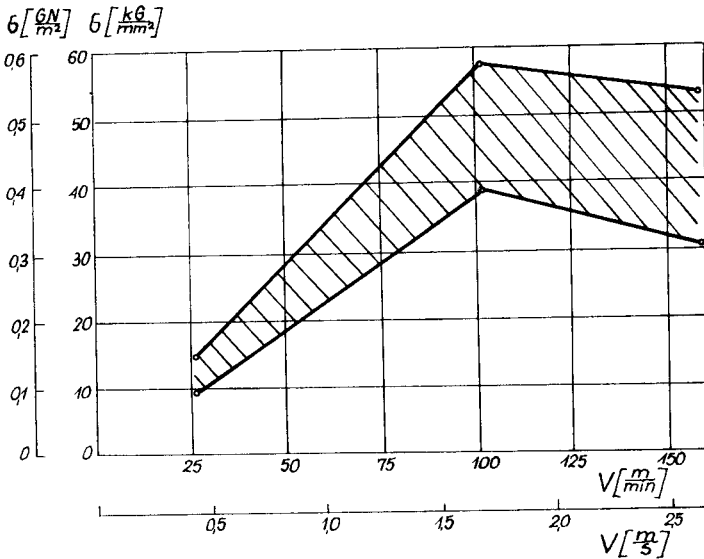
W wyniku działania wymienionych parametrów w zewnętrznej warstwie przedmiotu konstituuje się warstwa wierzchnia. Istotnym czynnikiem procesu obróbki jest również czas trwania oddziaływań parametrów fizycznych i fizykochemicznych. Czas ten wpływa na efekty działania parametrów. Przebieg procesów konstituujących WW jest bardzo złożony. Wynika to z następujących przyczyn:

- równoczesnego działania kilku parametrów fizycznych na zewnętrzną warstwę przedmiotu,
- współoddziaływania tych parametrów na siebie,
- oddziaływania procesów zachodzących w WW podczas obróbki na wartość parametrów fizycznych procesu /wtórne oddziaływanie skutków na przyczyny/.

O przebiegu procesów zachodzących w WW podczas obróbki /kolumna C/wniosujemy przede wszystkim na podstawie pomiaru własności określających stan WW po obróbce /kolumna D/. Pomiar parametrów w czasie procesu skrawania, a nawet tylko obserwacje zachodzących procesów są na obecnym etapie rozwoju techniki pomiarowej na ogół utrudnione. Dotyczy to na przykład pomiarów pola naprężeń, pola temperatur lub ilościowego opisywania przemian fazowych.

W Instytucie Obróbki Skrawaniem przeprowadzono badania WW po toczeniu wykończającym stali 15 i 55 w stanie normalizowanym, stali 55 i 40H w stanie ulepszonym do twardości 35<sup>o</sup> HRC oraz stali 1H18N9T w stanie przesyconym [5]. W badaniach stref WW mierzono mezotwardość, naprężenia własne pierwszego rodzaju oraz stekstrowanie. W rezultacie toczenia badanych stali uzyskano WW, której stan charakteryzuje się występowaniem naprężeń rozciągających. Świadczy to o tym, że podczas konstituuwania się WW przeważa wpływ czynników, powodujących powstawanie naprężeń według modelu cieplnego. W przebadanych zakresach parametrów zmiennych, dotyczących warunków skrawania, największy wpływ na wartość i rozkład naprężeń własnych wywiera prędkość skrawania /rys.3,4/. Jest to uzasadnione, bowiem zmiana prędkości skrawania powoduje największe zmiany pola tempe-

ratur w WW.



Rys.3. Naprężenia własne na głębokości WW równej 10 um w funkcji prędkości skrawania v. Materiał obrabiany: stal 1H18N9T w stanie przesyconym,  $g = 0,6$  mm,  $p = 0,08 \frac{\text{mm}}{\text{obr}}$ ,  $\delta = + 0,262$  rad,  $\alpha = \alpha_1 = 0,140$  rad,  $\mathcal{H} = 1,05$  rad,  $\mathcal{H}_1 = 0,175$  rad,  $\lambda = 0,087$  rad,  $r = 1$  mm,  $\rho \approx 30 \mu\text{m}$ ,

płyn obróbkowy: olej wrzecionowy 2 + 10% koncentratu ACP /  $\delta = + 15^\circ$ ,  $\alpha = \alpha_1 = 3^\circ$ ,  $\mathcal{H} = 60^\circ$ ,  $\mathcal{H}_1 = 10^\circ$ ,  $\lambda = + 5^\circ$ .

Maksymalnym naprężeniom rozciągającym towarzyszą zazwyczaj maksymalne gradienty naprężeń, bowiem grubość strefy zalegania naprężeń własnych zmienia się nieznacznie ze zmianą parametrów skrawania.

Przebieg mezotwardości w WW normalizowanych stali 15 i 55 jest degresywnie malejący, niezależnie od stosowanych w badaniach warunków skrawania i geometrii ostrza. Przez zmianę warunków skrawania i geometrii ostrza narzędzia można w pierwszym rzędzie zmieniać wartość maksymalnych utwardzeń oraz gradientów utwardzeń, natomiast w znacznie mniejszym stopniu głębokość utwardzenia. Istotny wpływ na głębokość oraz stopień utwardzenia  $S^*$  wywiera rodzaj materiału obrabianego.

$$* \quad S = \frac{mHV_{\max} - mHV_{\text{trz}}}{mHV_{\text{trz}}} \cdot 100 \text{ \% / ,}$$

gdzie:  $mHV_{\max}$  - maksymalna mezotwardość w WW,

$mHV_{\text{trz}}$  - mezotwardość trzonu materiału.

Rys. 4. Naprężenia własne na głębokości VW równej 10 μm oraz stopień utwardzenia S warstwy wierzchniej w funkcji głębokości skrawania g.

Materiały obrabiane: stale 15 i 55 w stanie normalizowanym,

$p = 0,043 \frac{\text{mm}}{\text{obr}}$ ,

$\gamma = 0,087 \text{ rad}$ ,

$\alpha = \alpha_1 = 0,140 \text{ rad}$ ,

$\alpha_2 = 1,05 \text{ rad}$ ,

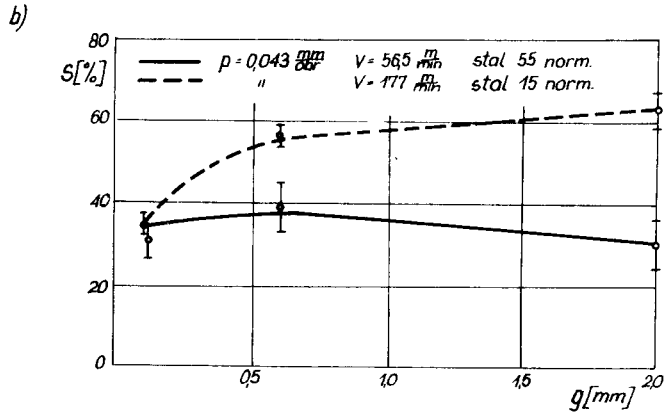
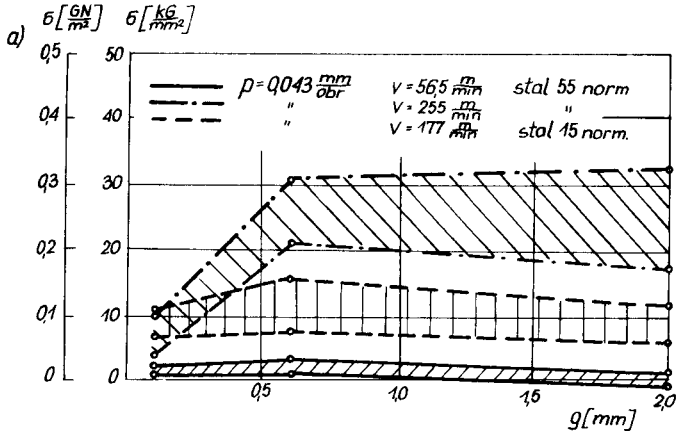
$\alpha_3 = 0,175 \text{ rad}$ ,

$\lambda = + 0,037 \text{ rad}$ ,

$r = 1 \text{ mm}, \rho \approx 30 \mu\text{m}$ , skrawanie bez płynu obróbkowego:

$\gamma = + 5^\circ, \alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ ,

$\alpha_2 = 60^\circ, \alpha_3 = 10^\circ, \lambda = + 5^\circ$



Stale ulepszone wykazały odmienny przebieg mezotwardości. Strefa podpowierzchniowa o grubości około 20 μm wykazała niewielki wzrost mezotwardości w stosunku do twardości trzonu materiału. Strefa znajdująca się poniżej, o grubości około 30 μm, posiada mezotwardość mniejszą od mezotwardości trzonu o  $0,02 \dots 0,18 \frac{\text{GN}}{\text{m}^2} / 2 \dots 18 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} /$ .

Na skutek działania sił skrawania powstaje w przypowierzchniowej strefie normalizowanej stali 55 oraz przesyconej stali 1H18N9T tekstura deformacyjna. Steksturowanie stwierdzono między innymi na figurach biegunowych płaszczyzn  $\{111\}$  austenitu w stali 1H18N9T. Maleje ono ze wzrostem prędkości skrawania od  $0,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  do  $2,67 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 22,5 - 160 \frac{\text{m}}{\text{min}} /$ .

Badania przeprowadzone dla płaszczyzn  $\{110\}$  ferrytu normalizowanej stali 55 wykazały, że zmniejszenie się kąta natarcia od  $+15 \dots - 25^\circ/+0,262 \dots - 0,436$  rad/ powoduje wzrost steksturowania.

Jeśli stan WW, uzyskany po toczeniu wykończającym, nie zapewnia optymalnego zespołu własności użytkowych elementu, w procesie technologicznym przewiduje się dalsze operacje obróbkowe. Operacjom tym towarzyszy usunięcie w całości lub częściowo WW konstytuowanej podczas toczenia /szlifowanie, docieranie, dogładzanie oscylacyjne/. Może też nastąpić całkowita lub częściowa zmiana charakterystyki WW ukonstytuowanej podczas toczenia, bez usuwania nadatku obróbkowego /rolowanie, przenychanie, kulowanie odśrodkowe itd./.

W IOS wykonano również badania dotyczące rolowania stali [6]. Wadziwa wierzchnia, uzyskana rolowaniem, cechuje się występowaniem naprężeń ściskających oraz utwardzeniem. Przy właściwie dobranych parametrach rolowania otrzymuje się szczególnie korzystny zespół własności użytkowych, a mianowicie postaciową wytrzymałość zmęczeniową oraz odporność na zużycie ściernie. Trwałość elementów rolowanych jest 1,5 do 2,5 raza większa w stosunku do elementów nierolowanych o takiej samej gładkości powierzchni.

Projektując proces technologiczny elementu maszyny z uwzględnieniem postulatu niezawodności, należy pamiętać, że w trakcie operacji obróbki wykończającej lub obróbki powierzchniowej powstaje w WW pewien stan nadający oprócz własności korzystnych również własności uboczne, które mogą być niepożądane. Na przykład przy elektropolerowaniu następuje przywrócenie połączeń między powierzchnią WW a mikronieciągłościami i wadami struktury materiału [3]. Wobec losowego charakteru tych wad struktury zmniejsza się niezawodność elementu. W tym przypadku należy zastosować następną, kolejną operację obróbki powierzchniowej, która usuwa własności niepożądane.

Stan WW nadany obróbką zmienia się w trakcie eksploatacji na skutek działania elementu współpracującego lub ośrodka. Są one nośnikami ene-

rgii mechanicznej, cieplnej, chemicznej i elektrycznej, powodujących obniżanie własności użytkowych WW. Producent, wytwarzający element maszyny i nadający mu określoną WW, nie zawsze może dokładnie przewidzieć warunki jego użytkowania, zatem nadaje mu tylko jakość technologiczną, określając potencjalną przydatność użytkową, potencjalną trwałość i niezawodność. Na przykład przez konstytuowanie strefy utwardzenia w WW nadaje się przedmiotowi odporność na zużycie. W zależności od rzeczywistych warunków pracy może zachodzić przewaga jednego lub kilku spośród następujących rodzajów zużywania: zużywanie adhezyjne, utlenianie, cieplne, ściernie, zużywanie zmęczeniowe powierzchni /łuszczenie i potting/ [3].

Potencjalna odporność WW na zużywanie stanie się odpornością rzeczywistą, gdy nastąpi zużywanie adhezyjne, ściernie lub zmęczeniowe. Bowiem utwardzenie WW w małym stopniu wpływa na trwałość i niezawodność elementu przy zużyciu utlenianiem. Wynika stąd, że dla nadania w procesie technologicznym wymaganej niezawodności elementom maszyn należy ustalić z określonym prawdopodobieństwem przewidywane warunki ich pracy.

### 3. Uwagi końcowe

Z przeprowadzonych wyżej rozważań i badań wynika, że znaczną poprawę niezawodności maszyn osiągnąć można metodami technologicznymi. Jednakże z uwagi na to, że możliwości każdej technologii są ograniczone przez tzw. "bariery technologiczne" oraz względy ekonomiczne, również i niezawodność wytwarzanych maszyn jest ograniczona.

W tej sytuacji, tzn. wówczas, gdy zachodzi konieczność budowy maszyn o niezawodności znacznie większej niż na to pozwalają stosowane aktualnie metody technologiczne, możliwości zwiększenia tej niezawodności leżą często na drodze rozbudowy maszyny. Ponieważ wiąże się to także z zagadnieniami technologicznymi, podaje się kilka uwag.

Rozbudowa maszyny może być dokonana na wiele sposobów i niekiedy



nie przynosi spodziewanych efektów niezawodnościowych. Stąd każda decyzja dotycząca rozbudowy bądź przekonstruowania powinna być poprzedzona odpowiednią analizą i syntezą niezawodnościową.

Jeżeli przez  $R_N$  oznaczymy niezawodność maszyny N-elementowej, a przez  $R_{N+D}$  niezawodność maszyny N + D-elementowej /przekonstruowanej/, wówczas w wyniku przeprowadzenia rozbudowy, przy założeniu, że obie maszyny wykonywane są w takich samych warunkach, możemy otrzymać następujące relacje:

$$R_{N+D} > R_N \quad ,$$

$$R_{N+D} = R_N \quad ,$$

$$R_{N+D} < R_N \quad .$$

Dla oceny efektywności rozbudowy wygodnie jest przyjąć następujący wskaźnik:

$$\gamma = \frac{R_{N+D}}{R_N} \quad ; \quad 0 \leq \gamma < \infty \quad .$$

Kiedy  $\gamma > 1$ , rozbudowa jest celowa, natomiast w pozostałych przypadkach - chybiona.

W szczególnym przypadku, gdy  $\gamma = 1$ , rozbudowa maszyny może mieć sens, gdy prowadzi do poprawy innych wskaźników jakościowych.

Podane uwagi pozwalają również na porównywanie efektywności przedsięwzięć konstrukcyjnych i technologicznych w podstawowych obecnie zagadnieniach poprawy niezawodności maszyn i urządzeń mechanicznych.

#### Literatura

1. Kaczmarek J.: Podstawy obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej. WNT, Warszawa 1970.
2. Migdałski J.: Niektóre zagadnienia analizy i syntezy niezawodności układów elektrycznych. Rozprawy Elektrotechniczne Nr 4, 1969.

3. Nowicki B., Stefko A., Szulc S.: Obróbka powierzchniowa. PWN, Warszawa 1970
4. Oprzędkiewicz J.: Podstawowe zagadnienia niezawodności narzędzi zmechanizowanych. Zeszyty Naukowe AGH, Nr 48, 1972.
5. Pakosiewicz B.: Możliwości podwyższenia technologicznej jakości w drodze utworzenia warstwy wierzchniej przy wybranych sposobach obróbki mechanicznej. Konferencja naukowa. Postępy w rozwoju badań z zakresu obróbki materiałów. Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Metaloznawstwa. Kraków, kwiecień 1972.
6. Polowski W.: Dogniatanie teczne - wydajna metoda obróbki cylindrycznych powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych. Biuletyn Informacyjny Przemysłu Obrabiarek i Narzędzi Nr 2, 1972.

SOME PROBLEMS OF FORMATION OF RELIABILITY  
OF ELEMENTS OF MACHINES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

/Summary/

In the work the opinion has been set forth that a relatively small increase of reliability of all the elements of a machine, obtained by means of application of suitable technological processes, gives gain of reliability.

On the example of cutting treatment there have been presented possibilities of obtaining definite state of surface layer by the choice of parameters of treatment. The attention has also been drawn to the difference between the potential and the real durability and reliability of elements.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ  
МАШИН В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

/ Резюме /

В работе представлено воззрение, что относительно небольшое увеличение надёжности всех деталей машины путём применения соответственных технологических процессов, даёт большой возраст надёжности.

На примере обработки резанием подано возможности получения определённого состояния поверхностного слоя подбором режимов обработки.

Обращено тоже внимание на различие между формированием потенциальной и реальной долговечности и надёжности деталей.

Jan Wojdak

ANALIZA METOD ODNOWY ELEMENTÓW MASZYNOWYCH  
W ASPEKTCIE OPTIMALIZACJI TRWAŁOŚCI

We wstępie scharakteryzowano i poddano krytyce aktualny stan techniki odnowy elementów maszynowych. Problematyka ta została ujęta w odniesieniu do projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Następnie przedstawiono czynniki warunkujące jakość odnowy elementów maszynowych oraz podano wyniki badań w tym zakresie. Z kolei wymieniono kryteria optymalizacji odnowy i na zakończenie przedstawiono przykład obliczeniowy z praktyki.

Wstęp

1.1. Miejsce napraw w eksploatacji

W procesie eksploatacji każda maszyna znajduje się w odrębnej sytuacji w zależności od tego, czy jest użytkowana, czy obsługiwana.

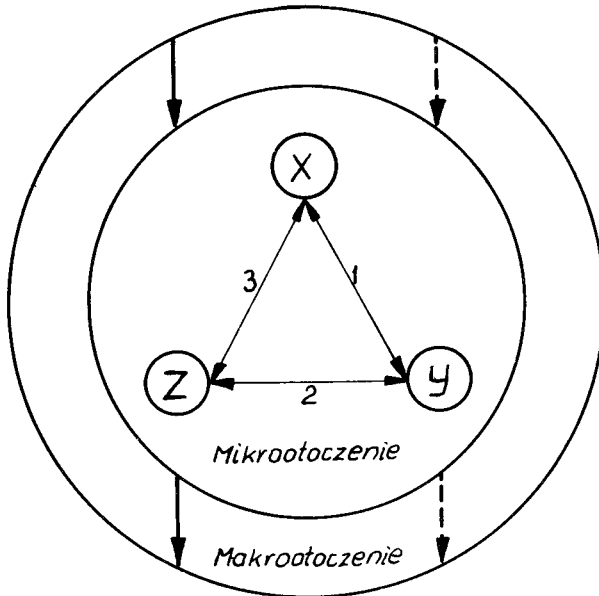
Maszyna będąca w stanie obsługi technicznej jest przechowywana, konserwowana lub naprawiana. Technikę naprawy przedstawia się w postaci łańcucha działania, w którym wyróżnia się trzy ogniwa:

- podmiot /człowiek naprawiający maszynę/,
- pośrednik /pomoce, wyposażenie i obiekty warsztatowe używane do naprawy/,

- przedmiot /maszyna będąca w naprawie/.

Traktując maszynę w technice naprawy jako przedmiot działania, należy uwzględnić wszystkie pozostałe człony /ogniwa/ i więzi między nimi /sprzężenia zwrotne/.

Zależności te przedstawia rysunek 1.



Rys.1

Kompleksowy układ, w jakim występuje wyrób naprawiany: x - podmiot; y - pośrednik; z - przedmiot /rozpatrywany wyrób lub element/; 1, 2, 3 - sprzężenie zwrotne między poszczególnymi ogniwami /strzałki przerywane oznaczają łącza zasileniowe/.

Wynika stąd, że problem naprawy należy rozpatrywać kompleksowo, uwzględniając kwalifikacje kadry, wyposażenie warsztatowe oraz stan techniczny maszyny podlegającej odnowie.

## 1.2. Krytyczna ocena stanu istniejącego

Wystarczy dokonać analizy statystycznej na przestrzeni ostatnich 15 lat, aby stwierdzić, że koszty działalności konserwacyjno-remontowej w kraju wzrosły 4-krotnie /w roku 1957 wynosiły 25 mld zł, zaś w roku 1972 osiągnęły wartość 100 mld zł/. Stan tych kosztów jest niewspółmiernie wysoki do wzrostu produkcji wyrobów finalnych. Analizując składniki kosztów

gospodarki remontowej za podstawowy uznać należy składnik materiałowy wynoszący 40 - 60% nakładów. Tak wysokie nakłady finansowe na materiały w gospodarce remontowej wydatkowane są na elementy i zespoły wymienne. Świadczy to wyraźnie, iż regeneracja elementów i zespołów w procesie remontowym nie spełnia swego zadania.

W dziedzinie wytwarzania nowych wyrobów osiągnięto na przestrzeni ostatnich lat dynamiczny rozwój. Wdrożono do procesów wytwarzania nowoczesne technologie, które w efekcie pozwoliły na:

- kilkakrotne zmniejszenie pracochłonności wyrobów,
- poważne zmniejszenie zużycia materiałów,
- zwiększenie jakości produkowanych urządzeń, przy jednoczesnym zmniejszeniu jednostkowych kosztów wytwarzania.

Tych pozytywnych zjawisk nie obserwuje się w zakresie techniki odnowy wyrobów, a w szczególności odnowy elementów. Technika odnowy wyrobów jest nadal w wielu przypadkach dość prymitywna i postęp w tej dziedzinie jest niewystarczający. Na potwierdzenie tego można przytoczyć następujące przykłady:

- pracochłonność odnowy elementu jest częstokroć kilkakrotnie wyższa od pracochłonności jego wytworzenia,
- koszty odnowy są najczęściej wyższe od kosztów wytwarzania tego samego elementu,
- trwałość elementów odnawianych jest niska i - z nielicznymi wyjątkami - nie przekracza 30 - 70% trwałości nowych elementów,
- elementy odnawiane często nie gwarantują funkcjonalności zakładanej przez konstrukcję.

## 2. Etapy optymalizacji odnowy elementów

### 2.1. Projektowanie nowych wyrobów

Nowoczesny system projektowania ma do spełnienia dwa podstawowe zadania: stworzenie modelu wyrobu i modelu eksploatacji tego wyrobu. Projek-

towanie nowych wyrobów jest najważniejszym etapem pełnego cyklu komponowania, realizacji i eksploatacji wyrobu. Na etapie projektowania decyduje się bowiem zarówno o jakości wyrobu nowego, jak i odnawianego.™ praktyce działa takie prawo, że jeśli podczas projektowania popełni się  $n$  błędów, to w wytwarzaniu jest już tych błędów symbolicznie  $n^n$ , natomiast w eksploatacji symbolicznie  $n^{n^1}$ . Im więc doskonalszy i precyzyjniejszy system projektowania, tym doskonalsze są wyroby nowe i tym mniejsze straty ponosi się na technikę obsługi. W wadliwym systemie projektowania uszkodzenia awaryjne i zużycia naturalne wyrobów stają się powszechne, a nawet zaliczane są do planowej działalności gospodarczej. Od systemu projektowania żąda się, ażeby tworzył modele wyrobów niezawodnych i trwałych.

## 2.2. Wytwarzanie nowych wyrobów

Jakość nowych wyrobów zależy głównie od jakości projektowania, jakości materiałów, poziomu technologii i organizacji oraz poziomu technicznego producenta. Na etapie wytwarzania należy uwzględnić nie tylko technologiczność produkcyjną, ale również technologiczność eksploatacyjną, a w szczególności technologiczność naprawczą. Nieuwzględnianie i niedostrzeganie technologiczności naprawczej przez producenta powoduje utrudnienie lub wykluczenie naprawy elementów i wyrobów ze względów techniczno - ekonomicznych. Przez technologiczność naprawczą /zdolność naprawczą/ rozumie się w niniejszej pracy przystosowanie wyrobu do zapobiegania, wykrywania i usuwania uszkodzeń w trakcie eksploatacji.

Jest oczywistym faktem, że nie kto inny, jak wytwórca powinien decydować o tym, które elementy przewiduje się do odnowy i jakie warunki powinna spełniać ich odnowa. Realizowanie zasady, że pierwszy odnowa - działny jest za organizację i technikę odnowy wyrobów, charakteryzują się następującymi korzyściami:

- w procesie eksploatacji wykrywa się na bieżąco wady konstrukcyjne i technologiczne sygnalizowane przez użytkowników,
- organizacja i technologia odnowy są zbliżone do technologii wytwarzania,
- gospodarka częściami wymiennymi jest prowadzona racjonalnie,
- następuje wykorzystanie w procesie odnowy oprzyrządowania technologicznego i wyposażenia technologicznego z procesu produkcyjnego,
- poziom techniki odnowy zbliżony jest do poziomu techniki wytwarzania,
- usługi naprawcze mogą być realizowane szybko i jakościowo dobrze.

### 2.3. Eksploatacja urządzeń

Na etapie eksploatacji użytkuje się i utrzymuje urządzenia w pełnej sprawności technicznej. Ponadto na etapie tym przeprowadza się dodatkowe projektowanie /np. procesu naprawczego/ i wykonawstwo /np. zużytych elementów/. Koncepcja ta nie daje pozytywnych efektów gospodarczych gdyż na etapie eksploatacji nie jest się w stanie dobrze realizować programu odnowy wyrobów w oderwaniu od systemów projektowania i wytwarzania. Toza tym projektowanie naprawy wyrobów na trzecim etapie /to znaczy, gdy wyrób jest użytkowany/ jest już spóźnione i bywa najczęściej zrealizowane w fazie modernizacji lub kasacji wyrobu. Trzeba również zauważyć, że realizowanie naprawy wyrobów przez poszczególnych użytkowników /różnych branż/ indywidualnie stanowi rozproszenie sił i środków bez gwarancji zwrotu poniesionych nakładów. Jakość naprawianych wyrobów jest wówczas tym niższa, im branża eksploatacyjna posiada mniejszy związek z techniką wytwarzania urządzeń mechanicznych. Z tych też względów jakość naprawy obrabiarek jest wyższa u użytkowników przemysłu obrabiarkowego niż u użytkowników obrabiarek w rolnictwie, czy w budownictwie. Zjawisko to widać wyraźnie na porównywalnym wyrobie, np. samochodzie, który - będąc

odnawiany w różnych branżach gospodarczych - wykazuje odmienne cechy użytkowe w zakresie trwałości, niezawodności, funkcjonalności przy różnych nieproporcjonalnych kosztach odnowy. W związku z tym wyroby odnawiane mają jednocześnie nieznaną i bardzo różną trwałość i niezawodność.

### 3. Czynniki warunkujące jakość odnowy elementów maszynowych

#### 3.1. Jakość oceny procesów zużycia

Znajomość podstawowych procesów zużycia i ocena ich stopnia decyduje o racjonalnej odnowie elementów. Obecnie jednak opracowywana przez przemysł dokumentacja eksploatacyjna w formie instrukcji obsługi, instrukcji naprawczej lub dokumentacji techniczno - ruchowej jest na ogół niskiej jakości i nie daje odpowiedzi na szereg istotnych problemów. Dokumentacja ta najczęściej opracowywana jest według szacunkowych ocen projektanta lub producenta, w związku z czym podawane informacje są niewystarczające, często też przypadkowe. Na podstawie tych materiałów w systemie eksploatacji nie jest się w stanie prawidłowo oceniać procesów zużycia. Producent nie określa wielu ważnych parametrów do oceny stanu technicznego i stopnia zużycia wyrobów. Stosowanie diagnostyki do oceny stanu technicznego zespołów maszynowych uzależnione jest od określania parametrów diagnostycznych i techniki pomiarów. W tym zakresie producent nie zapewnia wyczerpującej informacji, jak również niezbędnych przyrządów i urządzeń do badań diagnostycznych. Dlatego też dogodnie do oceny stopnia zużycia wyrobów bez demontażu metody diagnostyczne nie mogą być stosowane w praktyce.

Ponadto w eksploatacji zachodzi konieczność dokonywania bezpośredniej oceny stopnia zużycia elementów zdemontowanych. Ocena bezpośrednia /weryfikacja/ ma na celu ustalenie stopni zużycia elementów, tj. zużycie dopuszczalne /elementy zdadne do użytkowania/, zużycie graniczne /elementy niezdatne do użytkowania, a zdadne do odnowy/, zużycie niszczące /elementy niezdatne do użytkowania i odnowy/. W tym zakresie nie istnieją,



jak dotychczas, jednoznaczne, naukowe kryteria ani też uporządkowane zasady techniczne. Zachodzi więc pilna potrzeba opracowania ścisłych norm oceny stopni zużycia elementów /dopuszczalne, graniczne, niszczące/ dla techniki remontowej, np. w postaci zbliżonej do norm zawartych w tolerancjach i pasowaniach dla elementów nowych. Przy czym wydaje się, że dla elementów znormalizowanych i powtarzalnych powinny powstać normy o zasięgu Polskich Norm i Branżowych Norm, a w odniesieniu do innych elementów - o zasięgu Zakładowych Norm. Dopóki zagadnienia oceny procesów zużycia nie będą uporządkowane na zasadach normalizacyjnych, dopóty będzie występowało z jednej strony przedwczesne złomowanie elementów o zużyciu dopuszczalnym i granicznym, z drugiej zaś strony będą występowały awarie maszyn na skutek montowania do ich zespołów elementów niesprawnych.

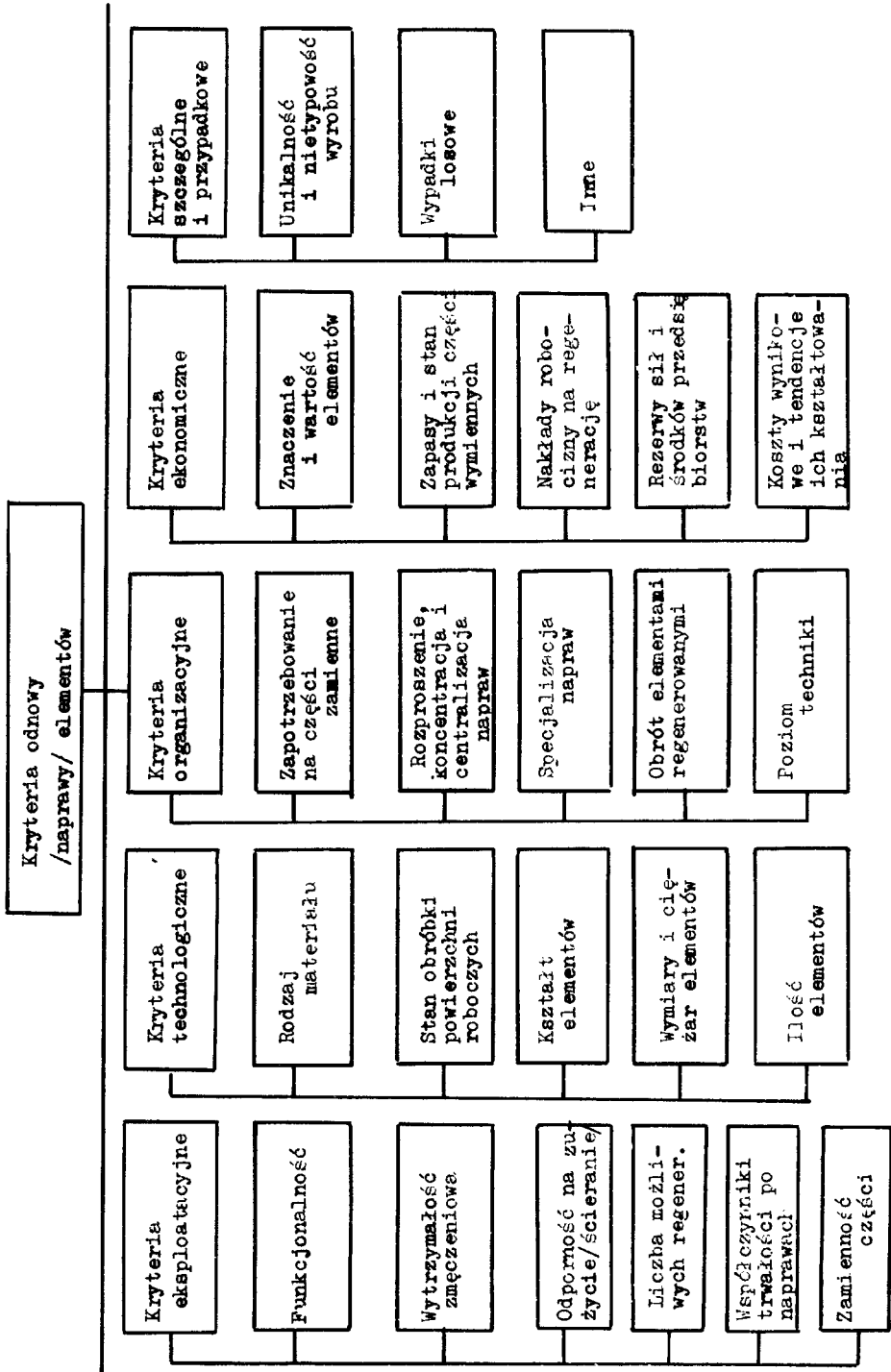
Badania w zakresie oceny procesów zużycia są najbardziej zaawansowane w branży obrabiarkowej, w której istnieją już normy do oceny stanu technicznego wyrobów. Tymi też względami można wytłumaczyć fakt, że - w porównaniu do innych urządzeń - do obrabiarek produkuje się najmniej części zamiennych w stosunku do wyrobów finalnych.

### 3.2. Kryteria kwalifikowania do naprawy

Podejmowanie decyzji, dotyczącej naprawy zużytych wyrobów zespołów i elementów, powinno być poprzedzone analizą celowości oraz analizą techniczno - ekonomiczną. Zestawienie kryteriów i czynników, mających wpływ na celowość odnowy elementów, przedstawiono na rysunku 2. Z wymienionych w schemacie /rys.2/ do najważniejszych należy zaliczyć kryteria eksploatacyjne i ekonomiczne.

Funkcjonalność elementów odnawianych porównuje się z funkcjonalnością elementów nowych, przyjmowanych jako wzorzec. Za miernik funkcjonalności przyjęć można wskaźnik T, zgodnie z zależnością:

$$T = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n .Z_i \quad ,$$



Rys. 2. Zestawienie kryteriów i czynników mających wpływ na celowość odnowy elementów

gdzie :

$n$  - liczba cech składających się na funkcjonalność elementu /wyrobu/,  
 $Z_i$  - zgodność  $i$ -tej cechy z zakładanymi wymaganiami /gdy  $T = 1$ ,  
 wtedy funkcjonalność elementu lub wyrobu jest prawidłowa/.

Każdy element odnowiony powinien zachowywać pierwotną funkcjonalność. Odstępstwo od tej zasady jest dopuszczalne w przypadku przekwalifikowania elementu /wyrobu/ po odnowie o klasę niżej, bądź też dokonania zmian w pierwotnej funkcji wyrobu /np. obniżenia klasy dokładności obrabiarki po naprawie, lub zmiany zastosowania przewodu hydraulicznego ze względu na skrócenie w procesie naprawy/.

Elementy, których zapas trwałości zmęczeniowej nie gwarantuje pełnego przebiegu międzyremontowego, nie powinny być odnawiane. W związku z tym odnowa elementów obciążonych dynamicznie może być dokonana, jeśli spełniony jest warunek:

$$n \leq \frac{K / N_{\max} - N_w}{N_r} ,$$

gdzie :

$n$  - maksymalna liczba odnowy elementu / $n > 1$ /,

$N_{\max}$  - maksymalna liczba obciążeń zmiennych części nowej /wynikająca z obliczeń konstrukcyjnych i badań/,

$N_w$  - wyczerpana liczba obciążeń zmiennych od początku użytkowania do ostatniej utraty zdolności eksploatacyjnej z restrykcji pracy maszyny,

$N_r$  - wymagana liczba obciążeń zmiennych, jaką część regenerowana powinna wykonać w okresie międzyremontowym,

$K$  - współczynnik zmieniający sztywność i wytrzymałość zmęczeniową elementu na skutek odnowy /w zasadzie  $K < 1$ /.

Miarą trwałości elementów odnawianych jest współczynnik:

$$W_t = \frac{T_r}{T_n} ,$$

gdzie:

$T_r$  - trwałość elementu odnowionego;

$T_n$  - trwałość elementu nowego.

Niektóre współczynniki trwałości w zależności od rodzaju części i metody odnowy podano w tabelicy 1. Problem kosztów odnowy elementów powinien być rozpatrywany kompleksowo. Należy tu uwzględnić takie parametry, jak: koszt wytwarzania części nowych, koszt regeneracji części zużytych, nakłady inwestycyjne na zwiększenie produkcji, nakłady inwestycyjne na uruchomienie regeneracji. Analizie powinny również podlegnąć ceny części nowych, które nie zawsze odzwierciedlają koszty wytwarzania. Graniczne koszty odnowy /regeneracji/ elementu nie powinny przekraczać wartości podanej według poniższej nierówności:

$$K_r \leq \left( \frac{T_r}{T_n} - 1 \right) \cdot (S_w + S_p) \pm \left( \frac{T_r}{T_n} K_n - Z \right) \mp /,$$

gdzie:

$K_r$  - koszt odnowy części zużytej,

$K_n$  - koszt zakupu lub wykonania części nowej,

$T_r$  - trwałość części regenerowanej,

$T_n$  - trwałość części nowej,

$S_w$  - straty na prace demontażowo-montażowe i ewentualnie na dodatkową wymianę części pracujących parami /przy braku zamienności/ w okresie międzyremontowym,

$S_p$  - straty wynikłe z przestojów spowodowanych nieplanowaną naprawą maszyny w okresie eksploatacji,

$Z$  - wartość złomu części zużytej.

Z przedstawionej nierówności wynika, że przy określaniu rentowności odnowy należy znać trwałość części regenerowanych.

---

$\mp$  "+" gdy  $T_r > T_n$ , a "-" gdy  $T_r < T_n$ .

Tablica 1

Rodzaj pary roboczej połączenia	Rodzaj powierzchni części regenerowanej	Materiał elementu współpracującego	Współczynniki trwałości elementów regenerowanych metoda:						
			chromowa- wania	żelazo- wania	metali- zacji	napawania			niklowania chemicz- nego
						elektro- wibra- cyjnego	pod- topni- kian	ręcz- nego	
Para ślizgo- wo-obrotowa obciążenia statyczne	czopy wałów	biały stop łożyskowy brąz	1,5	0,75	0,90	0,95	0,85-0,50	-	-
			0,95	0,83	0,85	0,95	-	-	-
Para ślizgo- wo-obrotowa obciążenia zmienne	czopy wałów	biały stop łożyskowy brąz	1,25	0,65	0,6-1,0	0,80	0,85	-	-
			1,0	0,80	-	-	-	-	-
Para ślizgo- wo-obrotowa	czop osi i wałów	brąz /tulejka/	-	-	-	1,0	0,8-0,9	0,7	-
Para ślizgo- wo-posuwista- zwrotna	cylintrycz- ne powierzch- nie trzpie- ni /Sworzni/	żeliwo szare	2,5	0,83	-	-	-	-	-
Para ślizgowa wahadłowa lub obrotowa	powierzchnie cylin- dryczne sworzni stalych	żeliwo brąz	1,5	0,90	-	-	-	-	-
			0,64	0,57	-	-	-	-	-
Para toczna /igiełkowa/	bieżnia czopów pod igieł- ki	stal łożyskowa igiełek	-	-	-	0,87	-	-	-
Połączenie spoczynkowe	czopy pod łożyska	stal łożyskowa	1,3-1,6	0,5-0,74	-	0,85-1,0	-	-	-
Para ślizgowa wielowypustowa	powierzchnie robo- cze wałów wielowypus- towych	stal sto- powa plast wielowy- pustow- ych	-	-	-	-	0,8-1,0	0,85	-
Połączenia gwintowe	powierzchnia gwintowa wałka	stal węglowa nakrętki	-	-	-	-	0,8-1,0	0,85	-
Para ślizgowa pompy wtryskowej	powierzchnia cylin- dryczna tłoczka	LH15 cylind- derka	1,2-1,6	-	-	-	-	-	1,3-2,0



### 3.3. Dobór metod odnowy i poziom techniki remontowej

Różnorodność znanych technologii pozwala na wybór metod regeneracji w zależności od rodzaju elementów, charakteru ich eksploatacji, rodzaju i rozległości zużycia /rys.3/. Rachunek ekonomiczny stanowi podstawę do stosowania metody najkorzystniejszej w przypadku, gdy względy techniczne pozwalają na dowolność w wyborze metody regeneracji. Poszczególne metody odnowy /regeneracji/ charakteryzują się określonymi cechami i parametrami, które przedstawiono w tabelicy 2.

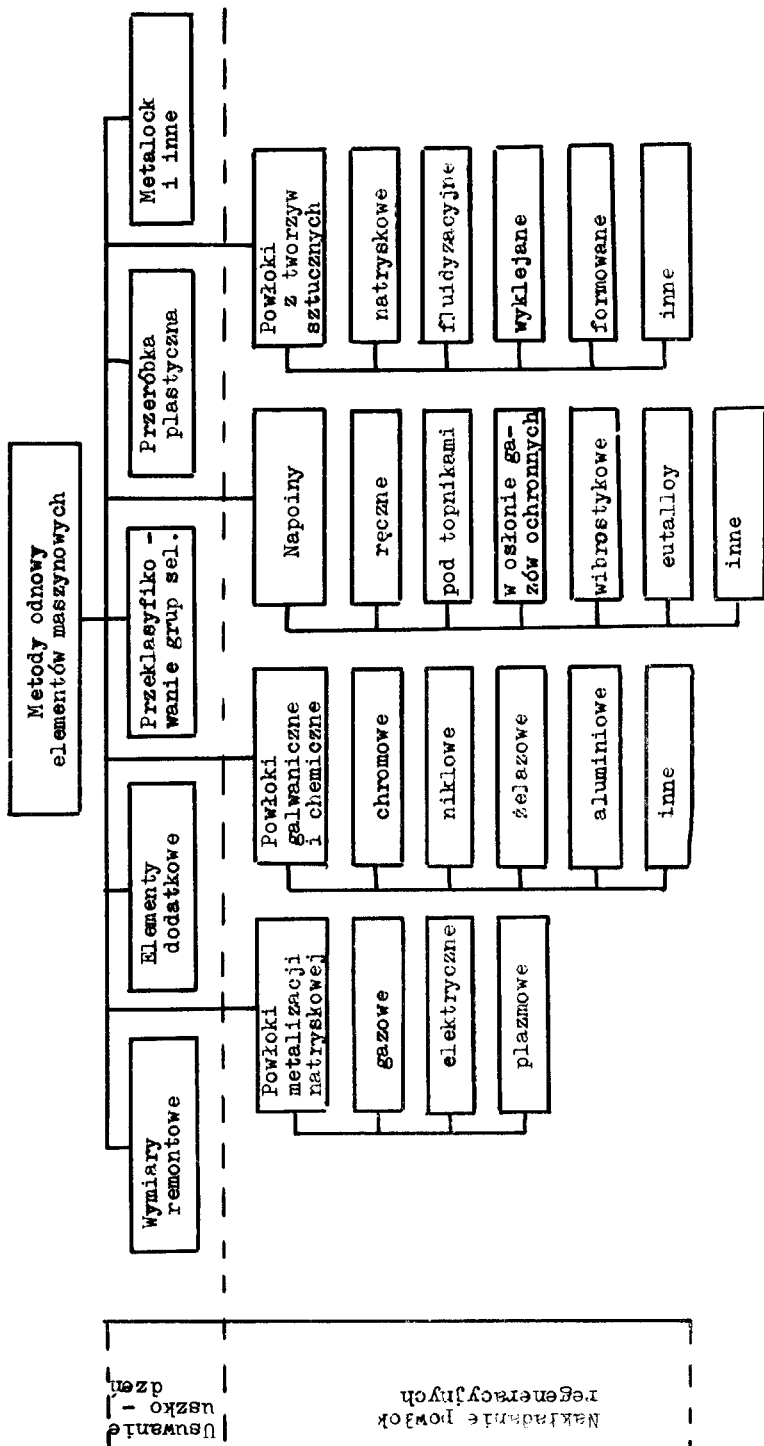
### 3.4. Stan badań w zakresie techniki obsługi

Wyniki badań dotyczące techniki obsługi są bardzo skromne, wycinkowe, najczęściej opierają się na analizie statystycznej. Z wyników tych można jednak wyciągnąć pewne wnioski, z których najistotniejsze wydaje się to, że trwałość faktyczna /rzeczywista/ w eksploatacji jest znacznie niższa od trwałości zakładanej przez konstruktorów.

Podstawowymi przyczynami stosunkowo niskiej trwałości elementów są, jak wykazują przeprowadzone badania, uszkodzenia przypadkowe /awaryjne/ spowodowane następującymi okolicznościami:

- niewłaściwym użytkowaniem - ilość uszkodzeń 22 %,
- wadliwą obsługą bieżącą i naprawą - 44 %,
- wadami konstrukcyjnymi i materiałowymi - 19 %,
- przekroczeniem normalnego zużycia granicznego - 10 %,
- wypadkami losowymi i innymi - 5 %.

Donańto nieprawidłowe kwalifikowanie maszyn do remontów kapitalnych ma również poważny wpływ na obniżenie trwałości eksploatacyjnej. Wyniki odnośnych badań przedstawiono poniżej /liczby podają procentowe obniżenie trwałości w stosunku do trwałości zakładanej przez konstruktora/:



Uszwanie -  
dzeń

Nakładanie powłok  
regeneracyjnych

Rys. 3. Klasyfikacja podstawowych metod odnowy elementów



Tablica 2

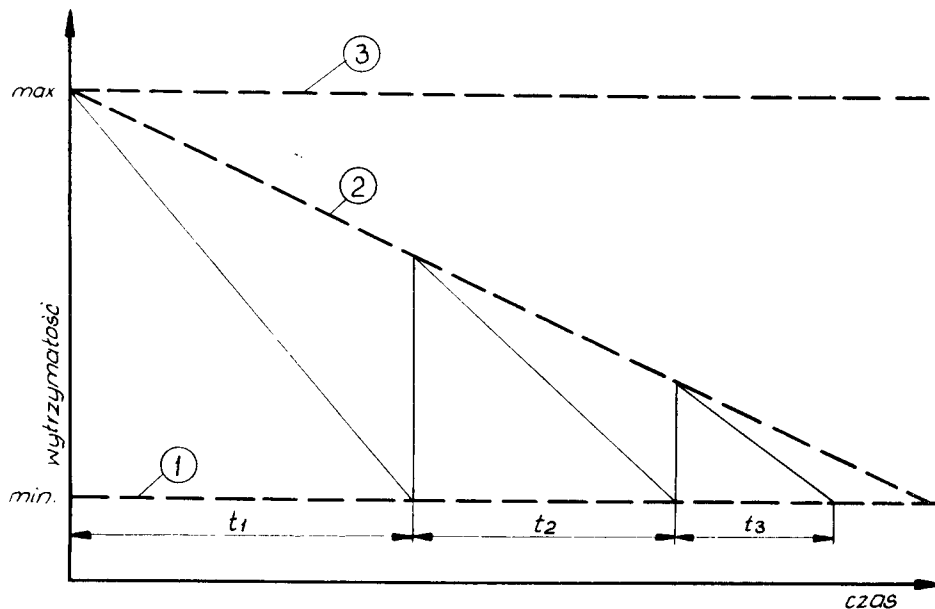
## Charakterystyka porównawcza metod odnowy /regeneracji/

Nazwa metody	Twardość powłoki RRC	Grubość powłoki brutto mm	Wymiary detalu /średnica grubość/ mm	Wydajność metody	Przyczepność do podłoża	Rodzaj obciążenia elementu	Rodzaj materiału podłoża	Rodzaj zastosowania ze względu na charakter zużycia	Uwagi
	Mikro-twardość kg/mm <sup>2</sup>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Napawanie i spawanie ręczne	$\frac{18-60}{356}$	w szerokim zakresie	znaczna rozpiętość wymiarów	1-2 kg/godz	dobra do 70 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne dynamiczne	ograniczone	b.szeroki zakres	
Napawanie w osłonie CO <sub>2</sub>	30-45	0,5-4	grubość min. 40	2-8 kg/godz	dobrze do 60 kg/mm <sup>2</sup>	j.w.	j.w.	znaczne ubytki materiałowe	
Napawanie pod topnikiem	$\frac{28-50}{352-572}$	8	grubość min. 60	3-80 kg/godz	dobra do 70 kg/mm <sup>2</sup>	j.w.	j.w.	b. duże ubytki materiałowe	
Napawanie wibrostykowe	$\frac{60}{765}$	0,7-5	czopy 25-300 otw. 150	- 18 kg/godz	dobra do 50 kg/mm <sup>2</sup>	j.w.	j.w.	duże ubytki materiałowe	
Metalizacja natryskowa	20-45	0,6-4	czopy min. 15 otw. min. 120	10-14 kg/godz.	słaba do 5 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne	szeroki zakres	duże ubytki materiałowe	duże straty materiału 40-70%
Chromowanie galwaniczne	20-45	-0,3	od gabarytów wanny	0,005 mm/godz.	dobra do 50 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne i dynamiczne	częściowo ograniczony	b. małe ubytki materiałowe	powierzchnie symetrycznie proste
Niklowanie galwaniczne	$\frac{50}{900}$	0,01-0,8	od gabarytów wanny	0,1 mm/godz.	dobra do 50 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne i dynamiczne	częściowo ograniczony	średnie ubytki materiałowe	
Żelazowanie galwaniczne	$\frac{45}{655}$	0,01-1	od gabarytów wanny otwory $\varnothing$ 70-120	0-12 mm/godz.	średnia do 20 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne i dynamiczne	j.w.	średnie ubytki materiałowe	nakłada się dobrze na stале miękkie -
Niklowanie chemiczne /bezprądowe/	$\frac{65}{1100}$	0,001-0,05	od gabarytów wanny	0,02 mm/godz.	dobra do 50 kg/mm <sup>2</sup>	statyczne i dynamiczne	j.w.	b. małe ubytki materiałowe	nie wymaga obróbki wykończającej pow. lustrzaną
Klejanie metali	-	-	dowolna	3 dcm <sup>2</sup> /godz.	średnia	statyczne	szeroki zakres	pęknięcia nieszczelności	metoda b. prosta w zastosowaniu
Metalock	-	-	b.szeroki zakres	-	wytrzymałość b.dobra	dowolny	dowolny	pęknięcia wybicia nieszczelności	metoda skuteczna i nieszkodna



- maszyny nie wymagające remontu - 25 %,
- maszyny wymagające remontu o mniejszym zakresie - 35 %,
- maszyny zakwalifikowane do remontu kapitalnego prawidłowo - 26%,
- maszyny zakwalifikowane do remontu za późno - 14 %.

Podane wartości są orientacyjne i dotyczą ciągników oraz maszyn rolniczych.



Rys.4. Przykładowe przedstawienie spadku wartości użytkowej wyrobu na skutek kolejnych napraw:

- 1 - dolna granica, przy której konieczna jest naprawa,
- 2 - charakterystyka spadku wartości użytkowej na skutek kolejnych napraw,
- 3 - maksymalna wartość użytkowa wyrobu nowego,  $t_1, t_2, t_3, t_n$  - okresy trwałości po naprawie /gdzie  $t_1 > t_2 > t_3$ ; przecięcie się linii 1-2 eliminuje całkowicie możliwość przywrócenia przez kolejną naprawę wartości użytkowej maszynie.

Metody regeneracji na obecnym etapie rozwoju są poznane w stopniu zadowalającym, a wskaźniki tych metod - dość ścisłe i wystarczające, jak to na przykład podaje tabela dotycząca metod regeneracji. Natomiast ze względu na stosunkowo niski poziom technologii i organizacji zakładów na-

Tablica 3

## Analiza doboru metod odnowy elementów tłocznych pomp wtryskowych silników spalinowych

Wstępny dobór metody	Analiza przydatności metod według kryteriów				Wskaźnik techniczno-ekonomiczny $\frac{Kr}{Tr}$	Wynik analizy
	eksploatacyjnych	technologicznych	organizacyjnych	ekonomicznych /koszty w zł./		
1/Przeklasyfikowanie grup selekcyjnych i dotarcie	trwałość i funkcjonalność zapewniona	przy małych zużyciach odzyskuje się 45% elementów	najprostsza metoda ograniczająca się do selekcji i docierania	22	0,0088	Na podstawie analizy poszczególnych kryteriów i wskaźników, należy przyjąć za metody optymalne
2/Chromowanie galwaniczne tłoczka i obróbka części współpracujących	trwałość i funkcjonalność zapewniona	proces utrudniony - rozwinięta powierzchnia i ostre krawędzie powstawanie braków	proces skomplikowany, wysokie kwalifikacje kadry	50	0,020	1-jako podstawową, 4-jako uzupełniającą, ponieważ metoda 1 nie może objąć wszystkich elementów
3/Niklowanie galwaniczne tłoczka i obróbka części współpracujących	trwałość nie dostateczna ze względu na osiągniętą twardość 55 HRC	trudności mniejsze niż przy chromowaniu	jak wyżej	46	0,018	
4/Niklowanie chemiczne bezprądowe tłoczka i obróbka części współpracujących	trwałość i funkcjonalność gwarantowane	proces technologiczny uproszczony, bez sprężyny i elementów trących	średnie kwalifikacje kadry - skromne wyposażenie technologiczne	35	0,014	

prawczych, trwałość części regenerowanych jest znacznie mniejsza niż to wynika z możliwości metod regeneracji. Badane rozmaite odnawiane zespoły i maszyny wykazały różne, a jednocześnie na ogół niskie lub bardzo niskie, wskaźniki trwałości w stosunku do odpowiednich wyrobów nowych. Każda naprawa wprowadza do wyrobu nowe lub odnowione ogniwa w miejsce ogniw niesprawnych lub zagrażających uszkodzeniem. Prócz tego cechą charakterystyczną naprawy jest to, że każde ogniwo odnawiane ma inną trwałość w porównaniu z ogniwem już pracującym, a ponadto każda kolejna naprawa powoduje również zmianę trwałości tego samego ogniwa z tendencją zniżkową wraz ze wzrostem liczby napraw /rys.4/.

#### 4. Kryteria optymalizacji odnowy elementów

Jako kryteria optymalizacji odnowy elementów maszynowych przyjmuje się trwałość, niezawodność i koszty. Z punktu widzenia techniki eksploatacji odnowa elementów powinna zapewniać optymalną trwałość, maksymalną niezawodność i minimalne koszty. Przez koszty rozumie się łączne nakłady, a mianowicie:

- koszty zakupu nowych elementów,
- koszty użytkowania elementów,
- koszty odnowy elementów,
- koszty przestoju, wynikające z uszkodzenia elementów odnowionych.

Na zakończenie tej pracy przedstawia się zrealizowany w praktyce przykład, który uwzględnia czynniki optymalizacji odnowy elementów tłoczonych pomp wtryskowych silników spalinowych.

Dane wyjściowe do przykładu:

- charakter zużycia: wytarcia i rysy na powierzchniach roboczych cylinderek i tłoczka,
- rozległość zużycia: ubytki niesymetryczne rzędu 3 - 8  $\mu\text{m}$ ,

- ilość elementów do regeneracji w skali rocznej: 100.000 szt.,
- trwałość elementów nowych:  $T_n = 2500$  r.godz,
- żądana trwałość elementów odnawianych:  $T_r = T_n = 2500$  r-godz,
- koszt zakupu elementu nowego:  $K_n = 130$  zł,
- materiał elementów tłocznych: stal kołyskowa EN15 hartowana do twardości 62 - 65 HRC,
- elementy w procesie produkcyjnym pasowane selekcyjnie w 10-ciu grupach.

Na podstawie wyżej wymienionych danych wstępnie dokonano doboru metod regeneracji i przeprowadzono ich analizę w oparciu o badania laboratoryjne. Wyniki analizy zestawiono w tabelicy 3. Podstawowy warunek celowości regeneracji uwzględnia nierówność:

$$\frac{K_n}{T_n} \geq \frac{K_r}{T_r} ,$$

gdzie w powyższym przykładzie :

$$\frac{K_n}{T_n} = \frac{130}{2500} \cong 0,05$$

warunek ten jest spełniony.

Przyjęte, jako optymalne metody regeneracji, tj. 1 i 4 /według tabelicy/, poddano dodatkowo badaniom eksploatacyjnym, które potwierdziły w całej rozciągłości założenia.

#### Literatura

1. Babiński C.: Elementy nauki o projektowaniu. WNT, Warszawa 1969.
2. Gniedenko B...i in.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1972.
3. Haviland R.P.: Niezawodność urządzeń technicznych. PWN, Warszawa 1968.
4. Konieczny J.i in.: Elementy nauki o eksploatacji. WNT, Warszawa 1969.
5. Oprzędkiewicz J.: Podstawowe zagadnienia niezawodności i narzędzi zmechanizowanych. Zeszyty Naukowe AGH Nr 48, Kraków 1970.

6. Piasecki S.: Optymalizacja systemów obsługi technicznej. WNT, Warszawa 1972.
7. Wojdak J.: Naprawy elementów maszynowych. WNT, Warszawa 1973.
8. Wojdak J.: Zużycie i weryfikacja elementów maszynowych. WNT, Warszawa 1969.

ANALYSIS OF MACHINE ELEMENTS REGENERATION METHODS  
IN THE BEARING OF MOST FAVOURABLE CONSTANCY

/Summary/

In the introduction there has been characterized and subjected to critique the actual state of machine elements regeneration technique. These problems have been enclosed according to process and exploitation. Next there have been presented factors, which condition the quality of machine elements regeneration and results of researches in this capacity have been shown.

Then the test of most favourable regeneration have been presented. At the end there has been produced an computational example out of practice.

АНАЛИЗ МЕТОДА РЕГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН В АСПЕКТЕ  
ОПТИМАЛИЗАЦИИ ПРОЧНОСТИ

/ Резюме /

Во введении охарактеризовано и подвергнуто критике сегодняшнее положение техники регенерации элементов машин. Эта проблема представлена с точки зрения производства и эксплуатации.

Дальше представлены факторы обуславливающие качество регенерации элементов машин, а также даны результаты исследований в этой области. В свою очередь представлены критерии оптимизации регенерации. В конце дан расчётный пример из практики.





Andrzej Jazdon  
Ryszard Jedliński  
Piotr Jeziernski

### OCENA NIEZAWODNOŚCI SILNIKA S-38.B4

W artykule dokonano oceny niezawodności silnika S-38.B4 w oparciu o uzyskane wskaźniki niezawodnościowe. Przeprowadzono również analizę postaci i przyczyn uszkodzeń elementów silnika.

Uzyskane wyniki badań stanowią dla wwtwórcy wytyczne dla doskonalenia wytworu.

#### Wstęp

W artykule podjęto próbę oceny niezawodności silnika S-38.B4, który stanowi jednostkę napędową motorowerów KOMAR typ 2330. Zespół ten obejmuje także sprzęgło cierne oraz dwubiegową skrzynię biegów, znajdujące się we wspólnej z silnikiem obudowie.

Ocenę niezawodności silników S-38.B4 opracowano w oparciu o dane dotyczące tego zespołu, a uzyskane podczas dwuletnich badań eksploatacyjnych motorowerów KOMAR 2330. Przebieg badań oraz podstawowe wyniki, charakteryzujące niezawodność badanych motorowerów, przedstawiono w opracowaniu [2].

Silnik S-38.B4 stanowi podstawowy oraz najbardziej skomplikowany zespół badanych pojazdów. Jego uszkodzenia są dla użytkowników motorowerów, posiadających najczęściej niskie kwalifikacje techniczne, bardzo kłopotliwe do usunięcia. Ponadto trwałość silnika ma decydujący wpływ na trwa-

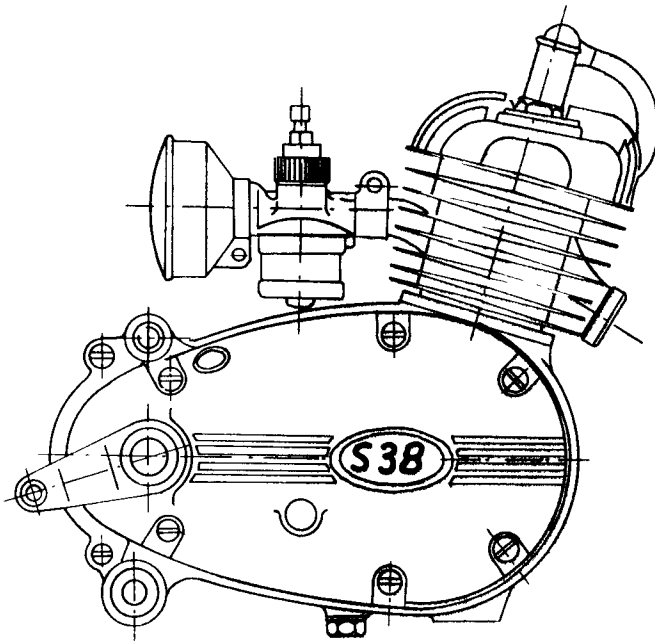
łość motoroweru. Z tych powodów uznano za celowe dokonanie oceny niezawodności silnika i przedstawienie jej na tle wyników dotyczących niezawodności motorowerów.

### 1. Charakterystyka obiektu badań

Tablica 1

Dane techniczne silnika S-38.B4

Charakteryzowana wielkość	Jedn.miary	Wartość
Rodzaj silnika	-	dwusuw, z przepłukaniem zwrotnym
Pojemność skokowa	cm <sup>3</sup>	49,8
Średnica/skok tłoka	mm	38/44
Moc nominalna	kM	1,4
Obroty	obr/min	4000
Stopień sprężania	-	6,5
Instalacja elektryczna	-	iskrownik-pradnica 6V, 17W
Gaźnik	-	GM 12 F
Rodzaj sprzęgła	-	mokre, dwutarczowe
Skrzynia biegów	-	2 - biegowa



Rys.1  
Silnik S-38.B4

Na rysunku 1 przedstawiono badany obiekt - dwusuwowy silnik S-38. B4, natomiast w tablicy 1 zestawiono podstawowe dane techniczne.

## 2. Przebieg i charakterystyka badań

Ekspluatacyjne badania niezawodności zostały przeprowadzone w latach 1970-71, jako nadzorowane badania przyspieszone. Badaniami objęto próbę składającą się z 11 losowo wybranych silników.

W omawianym okresie pojazdy z badanymi silnikami osiągnęły przebiegi wynoszące około 17.000 km.

Warunki badań, sposoby zbierania i rejestrowania danych, zasady weryfikacji danych oraz opracowywania i przedstawiania wyników badań realizowane były według ustaleń zawartych we wstępnej metodyce badań niezawodności motorowerów. Ustalenia te przedstawione w opracowaniach [2] i [3] dotyczyły także badanych silników.

Silnik i jego elementy traktowane były jako obiekty dwustanowe, mogące znajdować się w stanie zdatności lub niezdatności. Przejście obiektu ze stanu zdatności do stanu niezdatności uznawano za uszkodzenie, natomiast proces odwrotny - za odnowę obiektu. Ponieważ podczas badań występowały uszkodzenia o bardzo zróżnicowanym charakterze, dokonano ich podziału na:

- a/ uszkodzenia powodujące niezdatność /Nz/,
- b/ uszkodzenia wywołujące niesprawność /Np/,
- c/ uszkodzenia awaryjne /A/.

Celem dokonanego podziału było wykluczenie dowolności w interpretowaniu pojęcia uszkodzenia, które doprowadzało badany obiekt do stanu niezdatności, a tym samym zapewnienie większej jednorodności rejestrowanych danych. Przy wyznaczaniu parametrów niezawodności uwzględniono tylko pierwszy typ uszkodzeń /Nz/. Przez uszkodzenia powodujące niezdatność rozumiano uszkodzenia uniemożliwiające wykonywanie przez silnik funkcji określonych w dokumentacji technicznej.

Przyjęto również, że ponadto powinny być spełnione następujące warunki /lub tylko jeden z nich/:

- a/ czas usunięcia uszkodzenia wyniesie powyżej 0,25 godz.,
- b/ usunięcie uszkodzenia wymagać będzie wymiany elementu.

Dla jednoznacznego przyjęcia planu badań i dalszego toku obliczeń założono, że silnik traktowany będzie jako obiekt odnawialny, przystosowany do usuwania uszkodzeń na drodze obsługi technicznych, natomiast jego elementy uznano za nienaprawialne /wymieniane każdorazowo po uszkodzeniu/.

### 3. Wskaźniki niezawodności silników

Dla oceny niezawodności badanych silników dobrano następujące wskaźniki:

- przebieg między uszkodzeniami L:

$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m lp_i \quad /km/$$

gdzie:

$lp_i$  - wielkość pracy (przebiegu) wykonanej przez silnik między i-tym a  $i + 1$  uszkodzeniem,

m - ogólna liczba uszkodzeń silników jakie wystąpiły w okresie badań;

- techniczny czas odnowy Tot:

$$Tot = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_i \quad /godz/$$

$$\tau_i = \tau_i' + \tau_i'' + \tau_i''' \quad /godz/$$

gdzie:

i - suma czasów zużytych na wykrycie  $\tau_i'$ ,  
 lokalizację  $\tau_i''$  i likwidację  $\tau_i'''$  i-tego uszkodzenia.

Ocenę statystyczną wskaźników L oraz Tot przeprowadzono przy wykorzystaniu elektronicznej techniki obliczeniowej. Program na EMC obejmował wyznaczenie następujących charakterystyk statystycznych [4]:

- wartości średniej  $\bar{L}$ ,  $\bar{t}$ ,
- średniego odchylenia kwadratowego S,
- współczynnika zmienności  $\psi$ ,

jak również weryfikację hipotezy co do typu rozkładu oraz wyznaczenie estymatorów parametrów rozkładu.

W tabelicy 2 zestawiono wyniki dotyczące przebiegu pomiędzy uszkodzeniami. Dla porównania podano także wartości charakterystyk wyznaczone dla motorowerów.

Na rysunku 2 przedstawiono histogram i krzywą gęstości rozkładu dla przebiegu między uszkodzeniami.

Tablica 2

Informacje dotyczące przebiegu między uszkodzeniami /L/

Charakteryzowana wielkość	Jedn. miary	Silnik	Motorower
Ilość danych	-	121	298
Średni przebieg / $\bar{L}$ /	km	1.109,83	424,16
Średnie odchylenia kwadratowe / $S$ /	km	1.195,57	322,68
Współczynnik zmienności / $\psi$ /	-	1.077	0,761
Przedział ufności	km	$1331,8 < \bar{L} < 9546$	$385,98 < \bar{L} < 466,57$
Typ rozkładu	-	wykładniczy	gamma
Parametry rozkładu	-	$\lambda = 0,00099$	$\lambda = 0,0041,$ $p = 1,7279$

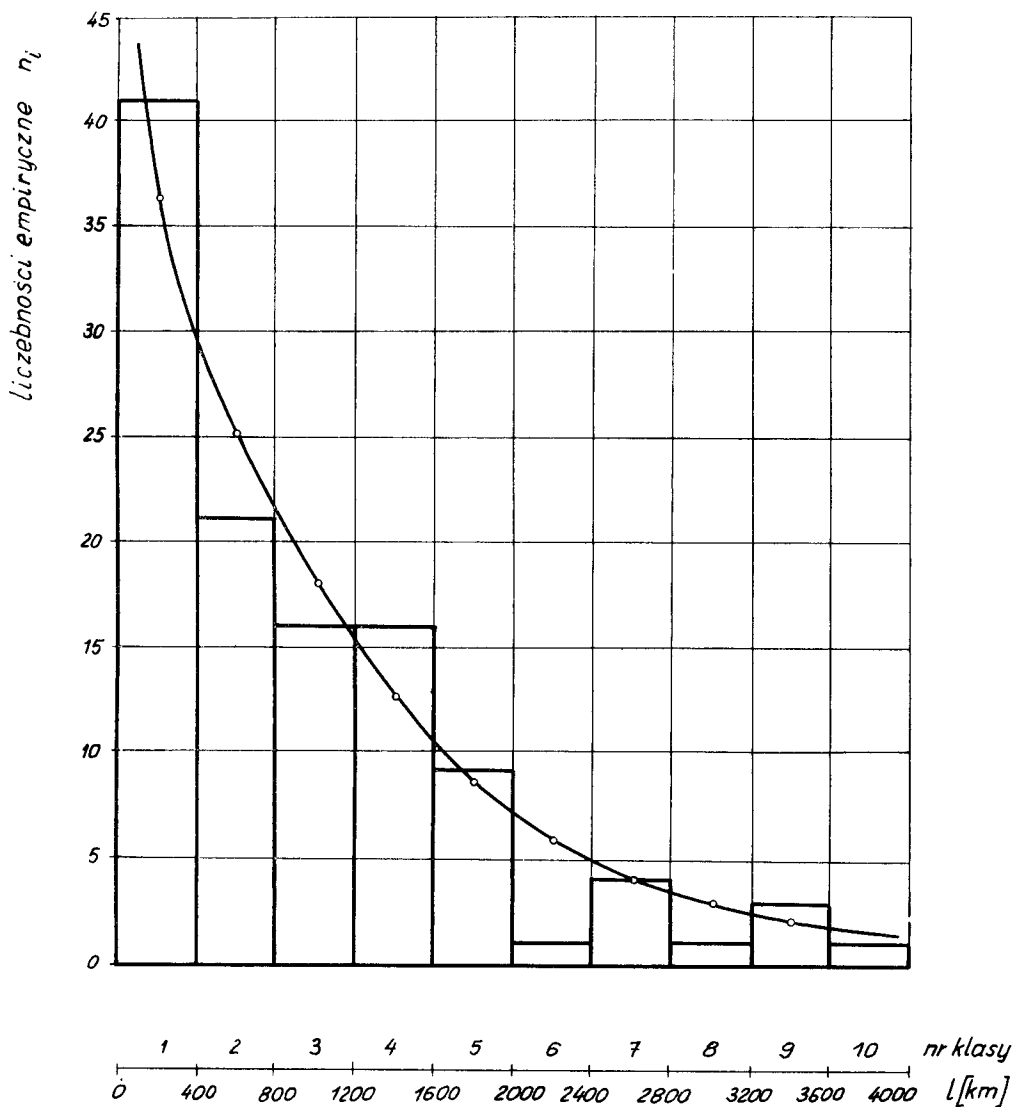
Tablica 3

Informacje dotyczące technicznego czasu odnowy /Tot/

Charakteryzowane wielkości	Jedn. miary	Silnik	Motorower
Ilość danych	-	124	305
Wartość średnia / $\bar{t}$ /	godz.	0,771	0,810
Średnie odchylenie kwadratowe / $S$ /	godz.	0,621	0,642
Współczynnik zmienności / $\psi$ /	-	0,803	0,794
Typ rozkładu	-	logarytmiczno-normalny	wykładniczy
Parametry rozkładu	-	$m = 0,595,$ $\sigma = 0,819$	$\lambda = 1,234$

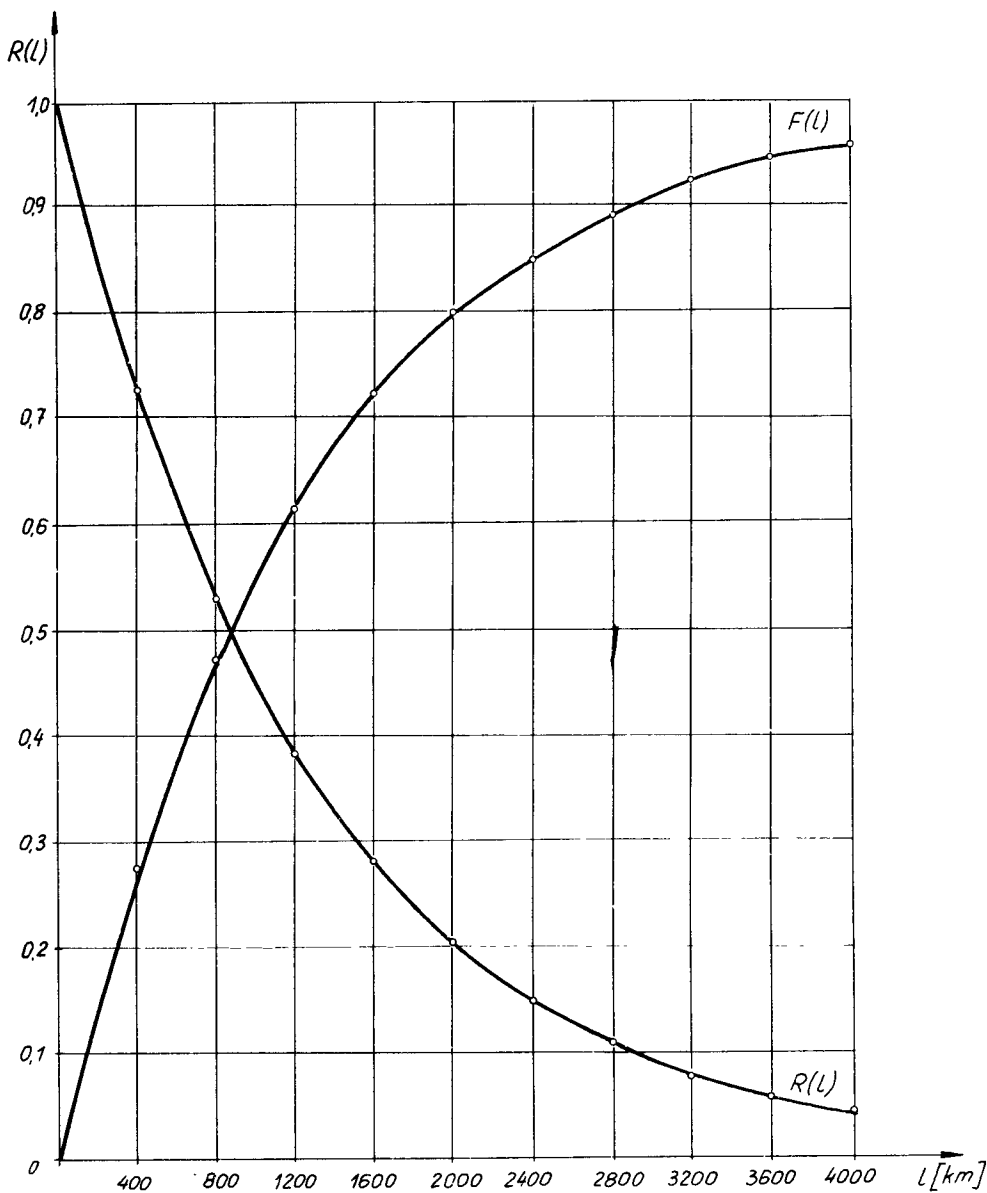
W wyniku weryfikacji hipotezy dotyczącej typu rozkładu za pomocą testu  $\chi^2$  stwierdzono, że zmienną losową L przybliża rozkład wykładniczy.

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg funkcji niezawodności R/l/ i dystrybuanty F/l/ w zależności od zakładanego bezawaryjnego przebiegu.



Rys.2. Histogram przebiegu między uszkodzeniami /L/ i krzywa gęstości rozkładu

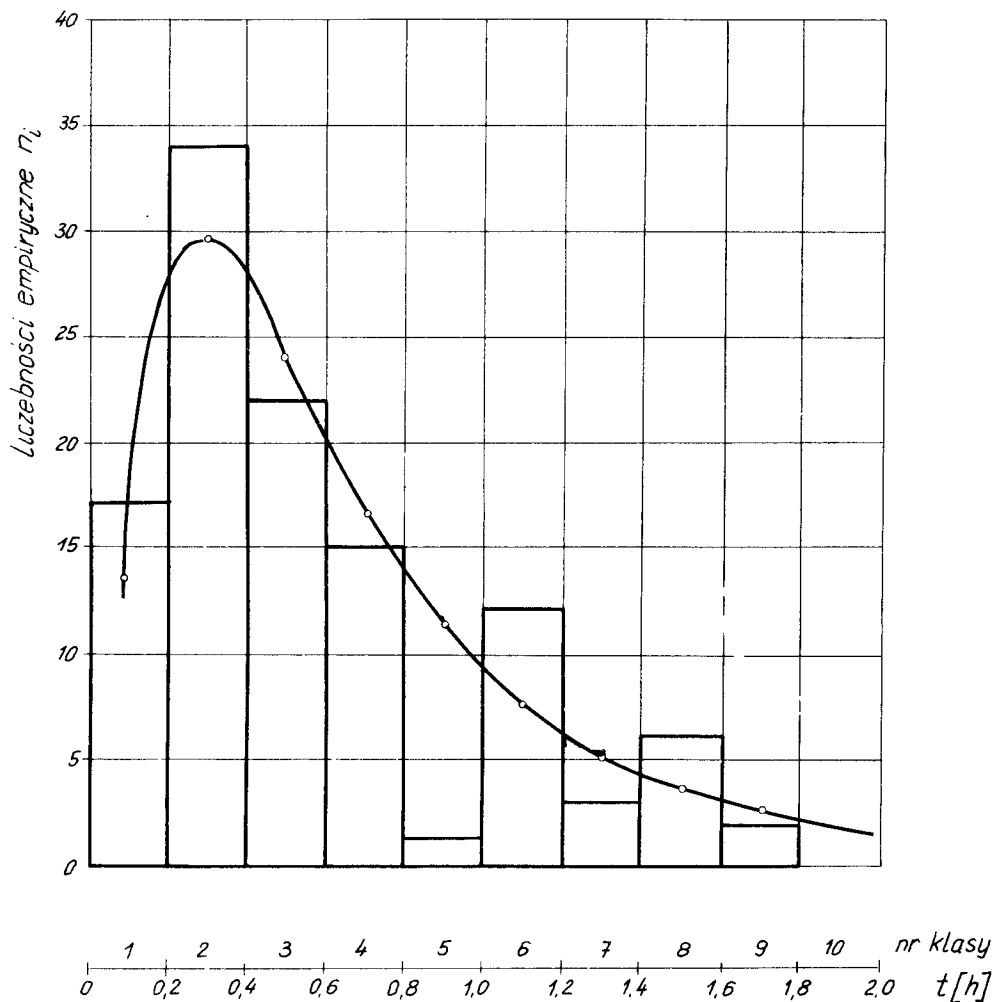
Techniczny czas odnowy /Tot/, informujący o przystosowaniu silników do przeprowadzenia napraw, scharakteryzowano przez wyznaczenie podobnych, jak powyżej, charakterystyk statystycznych. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelicy 3. Na podstawie tabeli rozkładu empirycznego próbki oraz liczebności hipotetycznych w klasach wykreślono histogram i krzywą gęstość



Rys.3. Przebieg funkcji niezawodności  $R(l)$  i dystrybuanty  $F(l)$

ci rozkładu  $f(t)$  technicznego czasu odnowy  $T_{ot}$  /rys.4/. Kształt histogramu oraz przeprowadzona weryfikacja statystyczna pozwalają na twierdzenie, że zmienną losową  $T_{ot}$  przybliża rozkład logarytmiczno-normalny. Obliczenia przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .





Kys.4. Histogram i krzywa gęstości rozkładu technicznego czasu odnowy /To+/

#### 4. Przybliżona ocena trwałości silnika

Dla oceny trwałości silnika przyjęto następujące kryteria:

- stopień zużycia wytypowanych elementów silnika,
- przebieg charakterystyk szybkościowych /pełnej mocy/.

Pomiarami objęto 9 silników S-38.B4 po przebiegu 10.000 oraz 17.000 km.

### Ocena zużycia elementów silnika

Dla oceny stopnia zużycia silnika wytypowano następujące elementy: cylinder, tłok, sworzeń tłokowy, korbowód. Pomiary powyższych elementów wykonano według przyjętej metodyki w miejscach najbardziej narażonych na zużycie.

Porównanie wyników pomiarów z wymiarami granicznymi, ustalonymi przez producenta, pozwoliło na ocenę stopnia zużycia silnika.

### Wyznaczenie charakterystyk szybkościowych /pełnej mocy/

Pomiaru danych do opracowania charakterystyk szybkościowych silników dokonano na hamulcu elektrycznym typu GPF3.

Dla każdego z badanych silników w zakresie obrotów od 2.400 do 4.200 obr/min w odstępach co 200 obr/min mierzono następujące wielkości:

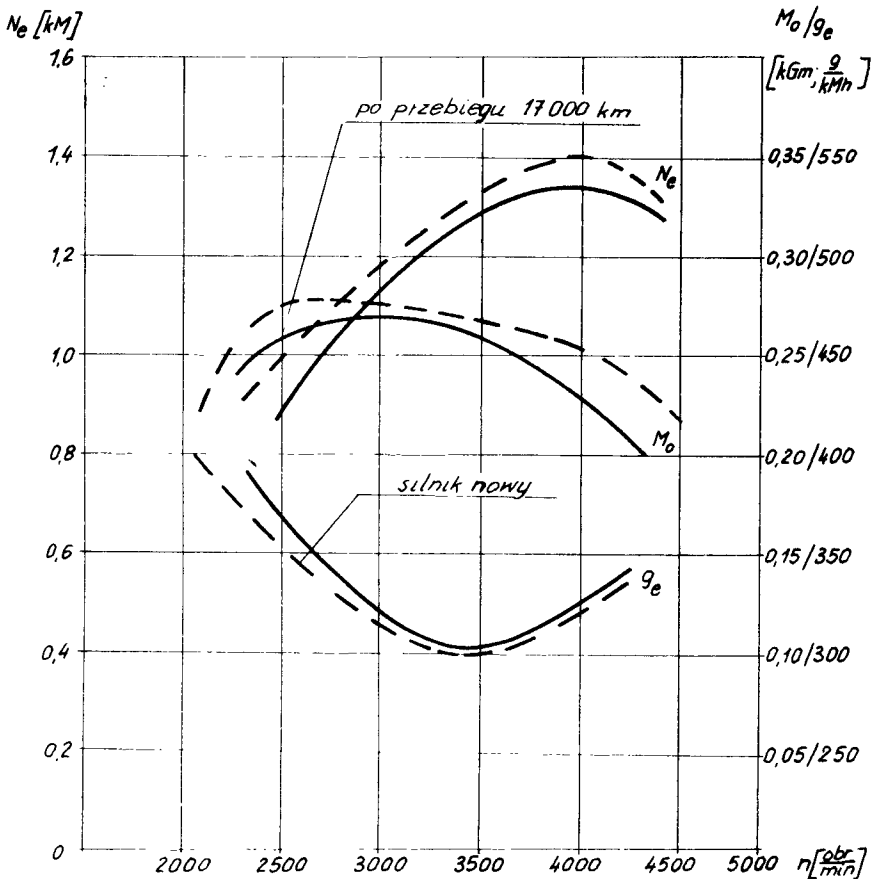
- obroty hamulca -  $n_h$   $\left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$
- obroty silnika -  $n_s$   $\left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$
- siłę równoważącą moment silnika -  $P$  [KG]
- czas zużycia 10 cm<sup>3</sup> paliwa -  $T_s$  [S]

Sporządzono dla każdego silnika wykresy  $N_e$ ,  $M_o$  i  $g_e$  porównywano z charakterystykami wzorcowymi. Przykład porównania przebiegu tych charakterystyk zilustrowano na rys.5.

Wyniki uzyskane z powyższych pomiarów zestawiono w tabelicy 4. W tabelicy tej elementy silnika, które nie osiągnęły jeszcze zużycia granicznego, podanego przez producenta w Instrukcji Napraw, oznaczono znakiem "+", zaś elementy, które osiągnęły zużycie graniczne - znakiem "-".

W przypadku oceny parametrów pracy silnika znak "-" oznacza spadek mocy  $N_e$  i momentu obrotowego  $M_o$  większy niż 10%, względnie wzrost jednostkowego zużycia paliwa powyżej 10% wartości podanej przez producenta.

Jak wynika z tabelicy 4 podstawowe elementy silnika, jak cylinder, tłok i sworzeń tłokowy, nie przekroczyły granicznego zużycia, które kwa-



Rys.5. Wykres charakterystyki pełnej mocy silnika

lifikowałyby silnik do naprawy głównej. Zużyciu granicznemu uległy tylko dwie tulejki korbowodowe. We wszystkich silnikach zaobserwowano jedynie znaczne zużycie pierścieni tłokowych.

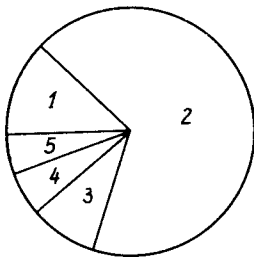
Producjent w Instrukcji Napraw określa przeciętny przebieg silnika do naprawy głównej na 14.000 - 18.000 km. Na podstawie pomiarów zużycia elementów silnika i przebiegu charakterystyk, a także oceny zużycia innych elementów zespołu napędowego, przeprowadzonej po ukończeniu badań, można wstępnie oszacować, że przebieg silnika do naprawy głównej będzie większy od zakładanego.



Powyższe stwierdzenie potwierdzają dane uzyskane od użytkowników motorowerów KOMAR 2330 podczas przeprowadzonych badań ankietowych.

## 5. Charakterystyka uszkodzeń silnika

Ilościową oraz jakościową charakterystykę uszkodzeń silnika opracowano przy uwzględnieniu wszystkich trzech wymienionych na wstępie grup uszkodzeń. Łączna liczba tych uszkodzeń, które wystąpiły podczas badań, wynosi 659. Na rysunku 6 przedstawiono rozkład tych uszkodzeń na poszczególne podzespoły silnika. Na dominującą rolę instalacji elektrycznej/zapłonowej/ w przedstawionym diagramie ma wpływ świeca zapłonowa, która uległa 261 uszkodzeniom. Należy jednak stwierdzić, że ilość uszkodzeń świec zapłonowych uległa gwałtownemu zmniejszeniu w II etapie badań, z chwilą zastosowania świec licencyjnych typu F 70, F 75 i F 80.



Rys.6. Diagram częstości uszkodzeń;

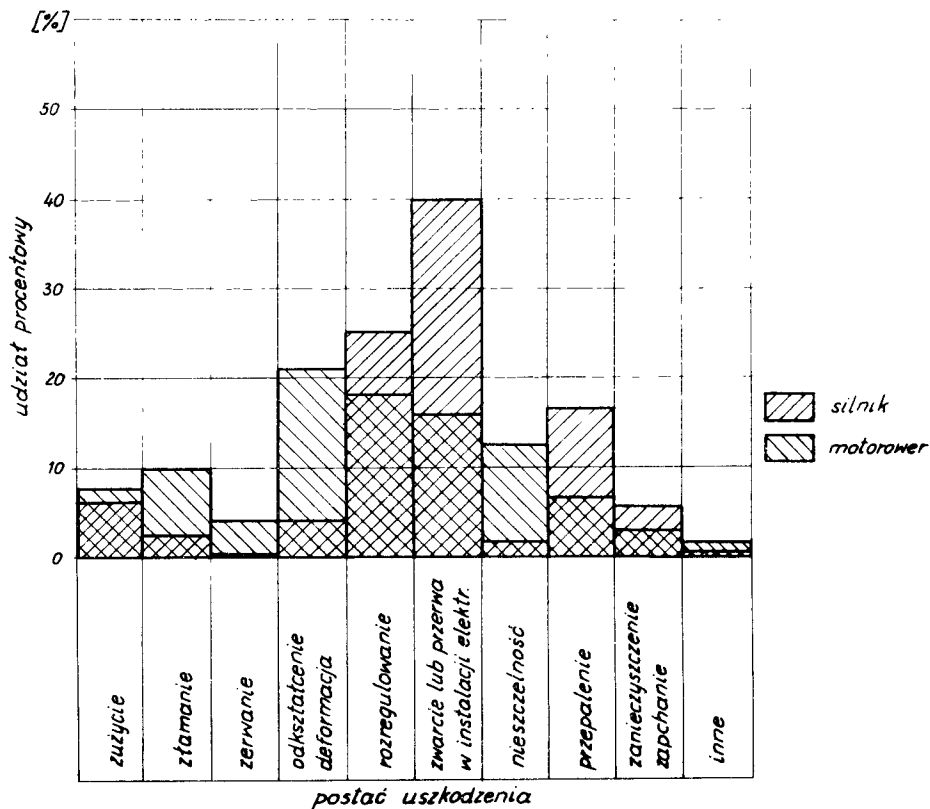
- 1 - układ zasilania - 12,6 %,
- 2 - instalacja elektryczna /zapłonowa/ - 69,0 %,
- 3 - układ korbowo-tłokowy - 8,8 %,
- 4 - sprzęgło i skrzynia biegów - 5,2 %,
- 5 - osprzęt i inne - 4,4 %;

Dla sprecyzowania szczegółowych zaleceń, dotyczących zmian konstrukcyjnych oraz technologicznych, mających na celu poprawę trwałości elementów, konieczna jest znajomość postaci i przyczyn uszkodzeń. Rysunek 7 obrazuje diagram postaci uszkodzeń silnika.

Przyczyny uszkodzeń podzielono na bezpośrednie i pierwotne. Spośród przyczyn bezpośrednich, powodujących uszkodzenia silnika, podstawowymi są: obciążenia cieplne /33,9 %/, zjawiska chemiczne /30,8 %/ oraz obciążenia zmienne /10,9 %/. Natomiast wpływ przyczyn pierwotnych na występowanie uszkodzeń jest następujący:

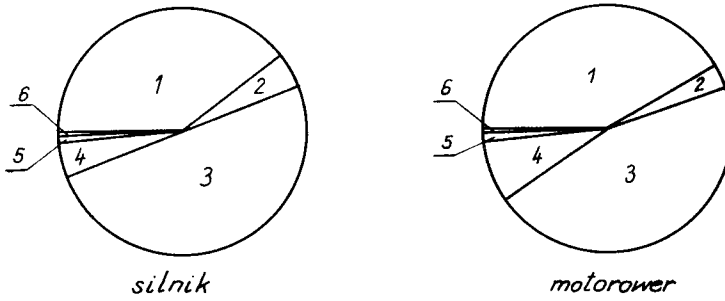
- przyczyny eksploatacyjne - 15,1 %,

- przyczyny konstrukcyjne - 5,5 %
- przyczyny produkcyjne - 34,2 %
- starzenie elementów oraz przyczyny nieustalone - 15,2 %.



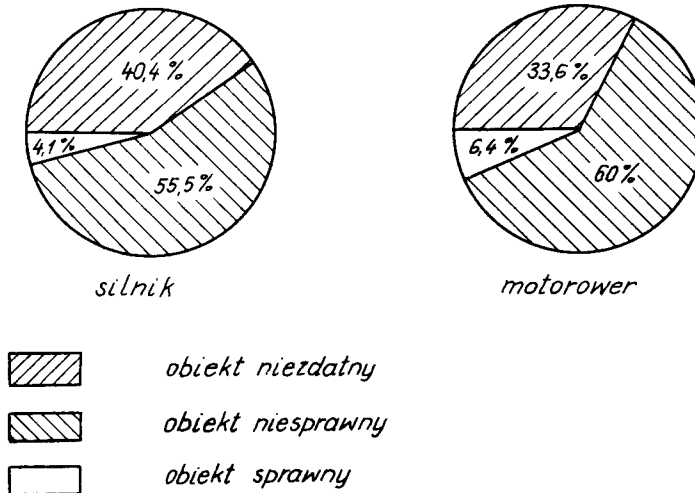
Rys.7. Diagram postaci uszkodzeń silnika i motoroweru

Interesujące wydaje się przedstawienie, w jaki sposób występujące uszkodzenia były przez użytkowników usuwane. Informacje na ten temat zestawiono na rysunku 8.



	<i>silnik</i>	<i>motorower</i>
1 - wymiana elementu	40,4 %	42,5 %
2 - spawanie, lutowanie, klejenie	4,1 %	3,2 %
3 - regulacja, czyszczenie	50 %	46 %
4 - dokręcenie	4,3 %	7,2 %
5 - brak naprawy	0,82 %	0,8 %
6 - inne	0,38 %	0,2 %

Rys.8. Diagram sposobów usuwania uszkodzeń



Rys.9. Diagram następstw uszkodzeń

Na rysunku 9 przedstawiono natomiast diagramy, obrazujące następstwa uszkodzeń silnika oraz całego pojazdu. Z porównania danych wynika, że uszkodzenia silnika częściej wywołują stan niezdatności niż uszkodzenia pozostałych zespołów motoroweru.

Przedstawiona analiza postaci, przyczyn i następstw uszkodzeń odnosi się do kompletnego silnika. Analizę taką przeprowadzić należy także dla poszczególnych podzespołów oraz elementów.

## 6. Zakończenie

Przedstawiona w opracowaniu ocena niezawodności silnika S-38.B4 pozwala na sprecyzowanie następujących wniosków:

a/ przeprowadzone dwuletnie eksploatacyjne badania niezawodności 11 silników umożliwiły zebranie danych, pozwalających na wyznaczenie podstawowych wskaźników niezawodności, wskazanie słabych ogniw, a także dokonanie przybliżonej oceny trwałości silników;

b/ z ogólnej liczby uszkodzeń motorowerów, które wystąpiły w okresie badań, 38,6% przypada na zespół napędowy;

c/ niezawodność silnika zależy od niskiej trwałości kilku elementów, które stanowią słabe ogniwa tego zespołu. Do elementów tych należą: świeca zapłonowa, końcówka kątowa z opornikiem, koło łańcuchowe zdawcze, przerywacz oraz kondensator. Od elementów tych winna rozpocząć się poprawa niezawodności badanych silników;

d/ uwaga powyższa jest tym bardziej słuszna, że niektóre z wymienionych elementów silnika, jak koło łańcuchowe zdawcze, przerywacz oraz kondensator, poza niedostateczną trwałością charakteryzują się także niską technologicznością naprawczą. Wymiana tych elementów pociąga za sobą konieczność demontażu pokrywy, koła magnesowego oraz statora, przy czym wymagane jest w tym celu stosowanie specjalnego ściągacza. Usunięcie tych uszkodzeń stanowi więc dla użytkowników motorowerów, posiadających naj-



częściej niskie kwalifikacje techniczne i nie dysponujących specjalistycznymi urządzeniami, poważną trudność;

e/ niezależnie od uszkodzeń, wywołujących niezdatność /Nz/ silnika, występują bardzo często uszkodzenia kwalifikowane jako niesprawność /NP/. Uszkodzenie te spowodowane są najczęściej takimi przyczynami, jak:

- mostkowanie świecy zapłonowej,
- rozregulowanie zapłonu w wyniku zużycia dźwigni oraz nadpalenia styków przerywacza,
- poluzowanie się kondensatora,
- odkręcenie się połączeń śrubowych /szczególnie w pierwszym okresie eksploatacji/ i in.

Stosunek uszkodzeń wywołujących niesprawności do uszkodzeń powodujących niezdatność silnika wynosi 4,5:1;

f/ ilościowa i jakościowa ocena występujących uszkodzeń elementów silnika winna umożliwić konstruktorom, a także producentowi, opracowanie szczegółowych zaleceń, mających na celu poprawę niezawodności omawianych silników.

#### Literatura

1. Hellwig Z.: Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1968.
2. Jazdon A.: Badania niezawodności motorowerów w warunkach eksploatacyjnych. Zeszyty Naukowe Nr 6, Mechanika-Eksploatacja /3/, Wyższa Szkoła Inżynierska, Bydgoszcz 1973.
3. Jazdon A., Wojciechowicz B., Zwierzchowski St.: Metodyka badania niezawodności motorowerów. Materiały na "Szkołę Zimową - 73" Zeszyt 6, PAN-OPT, Katowice 1973.
4. Jazdon A., Molski M., Urbanowicz I.: Przykłady zastosowania EMC w badaniach niezawodności [w:] Zeszyty Naukowe Nr 9, Mechanika-Eksploatacja /5/, Wyższa Szkoła Inżynierska, Bydgoszcz 1974.
5. Lenglois-Berthelot R.: Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów

- przemysłowych. WNT, Warszawa 1972.
6. Nisiewicz A.N.: Metodika obrabotki informacji o nadzieźności traktorow. Traktory i sielchozmasziny Nr 6/67.
  7. Projekt PN-69/N-04000. Niezawodność. Terminy, określenia i symbole. Warszawa 1969.
  8. Smirnow N.Wm, Dunin-Borkowski I.W.: Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWN, Warszawa 1966.
  9. Szor J.B., Kuźmin F.J.: Ocena niezawodności urządzeń. Tablice. WNT, Warszawa 1970.
  10. Wajand J.: Uszkodzenia trakcyjnych silników spalinowych. WNT, Warszawa 1969.

#### EVALUATION OF MOTOR S-38.B4 RELIABILITY

##### /Summary/

This work presents evaluation of motor S-38.B4 reliability based on the received reliability ratios. Motor elements damages forms and causes analysis have been carried out too. The received tests results may be treated as instructions for the Manufacturer for perfection of the product.

#### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С - 38 Б4

##### / Резюме /

В статье на основании показателей надёжности проведена оценка двигателя С-38 Б4. Проведён также анализ причин и видов повреждений элементов двигателя.

Результаты исследований становить могут для производителя материал для усовершенствований качества изделия.

Andrzej Jazdon  
Marian Molski  
Irena Urbanowicz

## PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA EMC W BADANIACH NIEZAWODNOŚCI

W opracowaniu wskazano na możliwości wykorzystania EMC przy opracowywaniu danych, uzyskanych podczas badań niezawodności urządzeń technicznych. Przedstawione w artykule przykłady zastosowania elektronicznej techniki obliczeniowej dotyczą opracowania danych, otrzymanych w trakcie dwuletnich eksploatacyjnych badań niezawodności motorowerów.

### Wstęp

Podstawowym celem badań niezawodności jest dostarczenie danych potrzebnych do obiektywnej, ilościowej oceny niezawodności badanych urządzeń technicznych. Ponieważ niezawodność urządzeń technicznych "buduje się" na etapie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, wyniki badań winny być kierowane do projektanta, producenta oraz użytkownika. Korzyści z przeprowadzonych badań staną się pełne, jeżeli:

- uzyskane informacje będą wiarygodne i reprezentatywne dla badanej populacji urządzeń,
- wyniki badań zostaną dostarczone zainteresowanym w jak najkrótszym czasie.

Pierwszy warunek decyduje o liczbie próbek, sposobie jej po-

bierania oraz okresie badań. Drugi natomiast, szczególnie istotny dla badań prototypów i serii próbnych - inspiruje badaczy do różnych metod skracania czasu badań. Skrócenie czasu badań można uzyskać na etapach:

- a/ przygotowania ~~bad~~dań,
- b/ przeprowadzania badań,
- c/ opracowania danych.

Nie kwestionując celowości opracowywania przyspieszonych metod badań niezawodności wydaje się, że nie wykorzystane są jeszcze "naturalne" możliwości skracania czasu badań. Możliwości te wynikają z właściwej organizacji każdego z trzech wymienionych powyżej etapów a także z szerszego włączenia elektronicznej techniki obliczeniowej do opracowywania danych otrzymywanych z badań. Ponieważ często w wyniku przeprowadzonych badań niezawodności uzyskuje się kilka tysięcy, a nawet i więcej danych, ich opracowanie metodami konwencjonalnymi jest bardzo pracochłonne, niekiedy zaś wręcz niemożliwe do przeprowadzenia. Długi okres opracowywania danych może także niweczyć wysiłek włożony w sprawne przygotowanie i przeprowadzenie badań.

W niniejszym artykule przedstawione zostaną niektóre przykłady zastosowania elektronicznej techniki obliczeniowej przy opracowywaniu danych otrzymanych z badań niezawodności motorowerów. Badania te przeprowadzono w latach 1970-1972.

## 1. Przykład zastosowania EMC przy opracowywaniu danych z badań niezawodności motorowerów

### 1.1. Zasady rejestrowania danych

Badania niezawodności przeprowadzono na 10-ciu seryjnie wyprodukowanych motorowerach. Program, organizację oraz przebieg badań przedstawiono w opracowaniach [4] i [5].

Uzyskane podczas prowadzonych badań dane rejestrowano w książkach

rejestracji pracy, uszkodzeń, przestojów i napraw. Dane te podzielić można na dwie zasadnicze grupy:

a/ dane dotyczące pracy pojazdu, takie jak: dzienny przebieg, warunki eksploatacji, charakteryzowane przez podanie rodzaju nawierzchni, topografii terenu, warunków klimatycznych itp.,

b/ dane dotyczące uszkodzeń i napraw, charakteryzowane przez chwilę wystąpienia uszkodzenia, rodzaj uszkodzenia, sposób i pracochłonność naprawy itp.

Przed przystąpieniem do opracowywania danych były one sprawdzane pod względem merytorycznym. Celem otrzymania wiarygodnych i kompletnych informacji badań wprowadzono system dwustopniowej kontroli zapisów, który obejmował:

a/ kontrolę bieżącą, prowadzoną w trakcie badań w ramach cotygodniowych spotkań z użytkownikami motorowerów,

b/ kontrolę ostateczną, przeprowadzoną na etapie opracowywania "zbiorczych kart informacyjnych"; kontrolę tę umożliwiał specjalnie zorganizowany podczas badań system wymiany uszkodzonych elementów.

Jedynymi dokumentami źródłowymi, z których czerpano dane do dalszych opracowań, były uporządkowane i sprawdzone "zbiorcze karty informacyjne".

## 1.2. Przetwarzanie danych z badań niezawodności na EMC

Zarówno dla motoroweru, jak i jego elementów, takie wielkości, jak przebieg pomiędzy uszkodzeniami, przebieg do uszkodzenia, techniczny czas odnowy i inne, są zmiennymi losowymi. Pełne informacje o szacowanej zmiennej losowej daje znajomość rozkładu. W związku z tym w trakcie opracowywania wyników badań dążono do ustalenia typu rozkładu ocenianej zmiennej losowej.

### 1.2.1. Weryfikacja hipotez statystycznych

Jednym z najstarszych testów statystycznych jest test zgodności  $\chi^2$ . Test zgodności pozwala na sprawdzenie hipotezy, że populacja ma określony typ rozkładu. Istotnym ograniczeniem w teście zgodności  $\chi^2$  jest to, że próbka musi być duża, bo wyniki jej dzielimy na pewne klasy wartości. Dla każdej klasy z rozkładu hipotetycznego oblicza się liczebności teoretyczne, które porównuje się z empirycznymi za pomocą odpowiedniej statystyki  $\chi^2$ . Jeśli rozbieżności między liczebnościami empirycznymi a teoretycznymi są zbyt duże, hipoteza, że populacja ma ten właśnie rozkład teoretyczny - musi być odrzucona. Należy pamiętać, że klasy, na jakie dzieli się wyniki w teście zgodności  $\chi^2$ , nie powinny być mało liczebne.

Ponieważ przeprowadzone metodami konwencjonalnymi weryfikowanie hipotez statystycznych o zgodności rozkładów jest bardzo pracochłonne, opracowano program na maszynę cyfrową, który weryfikuje na podstawie próbki  $n$  - elementowej hipotezę odnośnie typu rozkładu zmiennej losowej w populacji generalnej.

Możliwymi do sprawdzenia w programie hipotezami są następujące:

- populacja ma rozkład gamma,
- populacja ma rozkład wykładniczy.
- populacja ma rozkład logarytmiczno-normalny,
- populacja ma rozkład Weibulla.

#### 1.2.1.1. Funkcje gęstości rozkładów oraz ich wartości przeciętne i wariancje

/1/ Gamma

$$f(x) = \frac{a^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-ax} \quad \text{dla } x \geq 0$$

$a, p$  - rzeczywiste;

$a > 0, \quad p > 0$

$$E(\underline{x}) = \frac{p}{a} \quad ; \quad \sigma^2(\underline{x}) = \frac{p}{a^2} \quad .$$

/2/ Wykładniczy

$$f(x) = ae^{-ax} \quad \text{dla } x > 0$$

$$a > 0$$

$$E(\underline{x}) = \frac{1}{a} \quad ; \quad \sigma^2(\underline{x}) = \frac{1}{a^2} \quad .$$

/3/ Logarytmiczno-normalny

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\ln x - m}{\sigma}} \quad \text{dla } x > 0$$

$m$  - rzeczywiste;

$$\sigma > 0$$

$$E(\underline{x}) = e^m + \frac{1}{2}\sigma^2 \quad ; \quad \sigma^2(\underline{x}) = e^{2m} + \sigma^2(e^{\sigma^2} - 1) \quad .$$

/4/ Weibulla

$$f(x) = apx^{p-1} e^{-ax^p} \quad x > 0$$

$a, p$  - rzeczywiste;

$$a > 0, \quad p > 0$$

$$E(\underline{x}) = a^{-\frac{1}{p}} \Gamma\left(\frac{p+1}{p}\right) \quad ;$$

$$\sigma^2(\underline{x}) = a^{-\frac{2}{p}} \left[ \Gamma\left(\frac{p+2}{p}\right) - \Gamma^2\left(\frac{p+1}{p}\right) \right] \quad .$$

1.2.1.2. Oszacowanie parametrów rozkładów metodą największej wiarygodności

W statystyce  $\chi^2$  potrzebna jest znajomość liczebności hipotetycznych w poszczególnych klasach. Liczebności hipotetyczne nie będą możliwe do wyznaczenia, jeśli nie są oszacowane wszystkie parametry aktual-

nie weryfikowanego typu rozkładu.

Jedną z najbardziej popularnych metod ich określenia jest metoda opierająca się na tzw. funkcji wiarygodności:

$$L = f(x_1, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \cdot f(x_2, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \cdot \dots \cdot f(x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$$

gdzie:

$x_1, x_2, \dots, x_n$  - realizacje zmiennej losowej w próbie,

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  - szacowane parametry rozkładu o danej funkcji gęstości  $f$ .

Parametry  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  wyznacza się z układu równań:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \lambda_i} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Parametry opracowane za pomocą omówionej metody przedstawia tablica 1.

Tablica 1

Typ rozkładu	P a r a m e t r y	
Gamma	$\hat{a} = \frac{\bar{x}}{S^2}$	$\hat{p} = \frac{-2}{S^2}$
Wykładniczy	$\hat{a} = \frac{1}{\bar{x}}$	-
Logarytmiczno-normalny	$\hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$	$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{m})^2}$
Weibulla	$\hat{a} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{p}}}$	$\hat{b} = \frac{n}{\hat{a} \cdot \hat{a} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{p}-1} - \sum_{i=1}^n \ln x_i}$



We wszystkich wzorach występujące  $\bar{x}$  oraz  $s$  mają znaczenie, jak niżej:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 .$$

Można zauważyć, że wzory na parametry rozkładu Weibulla mają postać uwiłkaną, która jest podstawową trudnością natury obliczeniowej.

### 1.2.1.3. Skrócony opis programu weryfikacji hipotez statystycznych /"WE-RHISTA"/

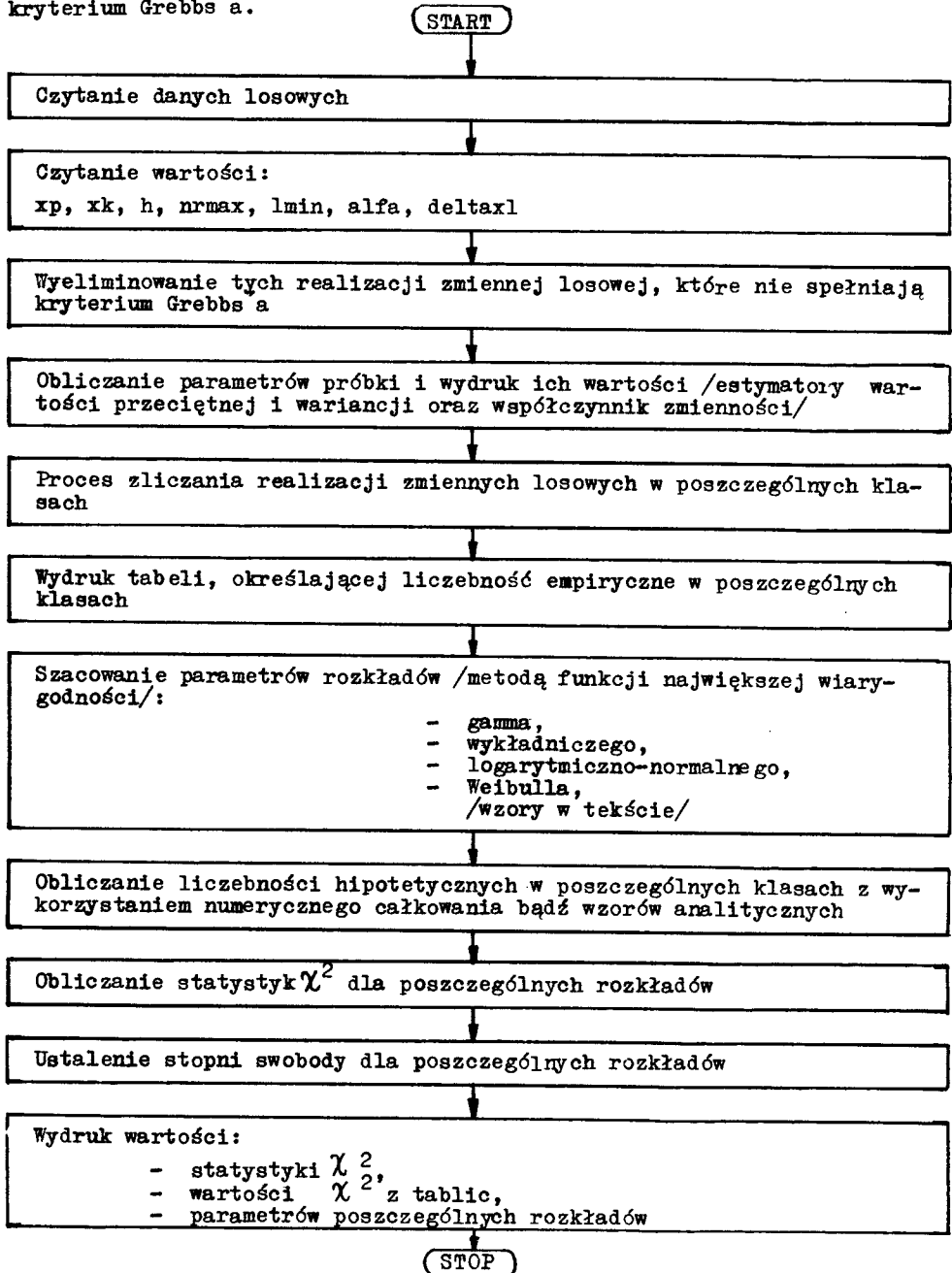
Danymi do programu "Werhista" są:

- $n$  - liczność próbki,
- $x_i$  - realizacje zmiennych losowych w próbie  $i=1,2,\dots,n$ ,
- $\left. \begin{matrix} x_p \\ x_k \end{matrix} \right\}$  - wartość początkowa i końcowa przedziału, w którym interesuje nas rozkład empiryczny zmiennej losowej,
- $h$  - długość przedziału klasowego,
- $nr_{max}$  - ilość klas,  $l_{min}$  - najmniejsza dopuszczalna liczebność w klasie,
- $\alpha$  - poziom istotności przy którym weryfikujemy hipotezę,
- $\delta$   $x_1$  - krok całkowania /potrzebna wartość przy numerycznym całkowaniu funkcji gęstości/.

Maszyną cyfrową na podstawie dostarczonych danych oblicza i drukuje następujące wielkości:

- estymator wartości przeciętnej,
- estymator średniego odchylenia kwadratowego,
- współczynnik zmienności,
- liczebności empiryczne w poszczególnych klasach /w postaci tabeli/,
- liczebności hipotetyczne w klasach dla poszczególnych rozkładów /w teźże tabeli/,
- statystykę  $\chi^2$  dla poszczególnych rozkładów oraz  $\chi^2$  z tablic,
- oszacowane parametry każdego z rozkładów.

Uwaga: ze zbioru realizacji zmiennych losowych są usuwane programowo te realizacje, które wyraźnie odbiegają od innych. Zastosowano w tym celu kryterium Grebbs'a.



Rys.1. Schemat opisowy programu

## 1.2.1.4. Zastosowanie

Program "WERHISTA" został wykorzystany do weryfikacji hipotez statystycznych, dotyczących typu rozkładu zmiennej losowej, którą był tzw. "przebieg" motoroweru między kolejnymi uszkodzeniami oraz techniczny czas odnowy.

Po nieznacznych modyfikacjach program zostanie włączony w formie procedury do biblioteki Ośrodka Obliczeniowego po to, by istniała możliwość jego wielokrotnego wykorzystania.

## 1.2.2. Tabelaryzowanie funkcji gęstości, dystrybuanty, funkcji niezawodności i funkcji intensywności uszkodzeń

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń programu "WERHISTA" przyjęto, że zmienną losową  $l$  /przebieg między uszkodzeniami/ przybliża rozkład gamma, natomiast zmienną losową  $t$  /czas odnowy/ - rozkład wykładniczy. W celu wykreślenia przebiegów funkcji gęstości  $f(l)$ , dystrybuanty  $F(l)$ , funkcji niezawodności  $R(l)$  i funkcji intensywności uszkodzeń  $I(l)$  opracowano odpowiednie programy tabelaryzujące. Wykorzystano następujące wzory:

- dla rozkładu gamma

$$f(l) = \frac{a^p}{\Gamma(p)} l^{p-1} e^{-al} \quad ,$$

$$F(l) = \frac{a^p}{\Gamma(p)} \int_0^l l^{p-1} e^{-al} dl$$

$$R(l) = 1 - F(l)$$

$$I(l) = \frac{f(l)}{1-F(l)}$$

gdzie:  $a, p$  są parametrami rozkładu;

- dla rozkładu wykładniczego

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-at}$$

$$R(t) = e^{-at} \quad ,$$

gdzie  $a$  jest parametrem rozkładu.

Danymi do programów są parametry rozkładów obliczane w programie "WERHISTA", krańce przedziałów oraz krok tabelaryzowania.

## 2. Zakończenie

Przedstawione przykłady zastosowania elektronicznej techniki obliczeniowej nie wyczerpują programów opracowanych i wykorzystanych przy przetwarzaniu danych z badań niezawodności pojazdów jednośladowych. Opracowane zostały ponadto programy dotyczące:

- oceny jednorodności danych statystycznych metodami nieparametrycznymi przy zastosowaniu testów Smirnowa oraz Wilcoxona-Manna-Whitneya,

- statystycznego opracowania danych otrzymanych ze schematyzacji oscylogramów,

- obliczania trwałości elementów badanych pojazdów.

Włączenie EMC do opracowywania danych z badań niezawodności pozwoliło na szybkie przedstawienie wyników oraz pełniejszą ich interpretację. Opracowany zestaw programów można wielokrotnie wykorzystywać przy opracowywaniu wyników z badań niezawodności pojazdów jednośladowych, a po jego niewielkiej modyfikacji także do opracowywania wyników z badań innych urządzeń technicznych. Celem dalszego skrócenia czasu opracowywania danych z badań niezawodności prowadzone są prace nad nowymi programami obliczeń.

## Literatura

1. Fisz M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN, Warszawa 1967.
2. Greń J.: Modele i zadania statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1968.

3. Hellwig Z.: Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1965.
4. Jazdon A., Wojciechowicz B., Zwierzchowski St.: Metodyka badania niezawodności motorowerów. Materiały na "Szkołę Zimową - 73". Zeszyt Nr 6, Sekcja Podstaw Eksploatacji Maszyn PAN, Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1973.
5. Jazdon A.: Badania niezawodności motorowerów w warunkach eksploatacyjnych. Zeszyty Naukowe Nr 6, Mechanika-Eksploatacja /3/, Wyższa Szkoła Inżynierska, Bydgoszcz 1973.
6. Smirnow N.W., Dunin-Borkowski J.W.: Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWN, Warszawa 1966.
7. Sobczak W.: Metody statystyczne w elektronice. WNT, Warszawa 1970.
8. Szor J.B., Kuźmin F.I.: Ocena niezawodności urządzeń. WNT, Warszawa 1970.

## EXAMPLES OF APPLICATION OF EMC IN THE RELIABILITY TESTS

## /Summary/

The authors show the possibilities of EMC utilization while the data handling received during technical installations reliability tests.

The examples of application of the electronic calculation technique presented in this work pertain to the data handling received in the motor-bicycles two-year exploitation reliability tests.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
МАШИН В ИССЛЕДОВАНИЯХ НАДЕЖНОСТИ

## / Резюме /

В работе показаны возможности применения ЭВМ для обработки результатов исследований надёжности механических устройств. Примеры касаются обработки результатов эксплуатационных исследований надёжности мотобусов.



Ryszard Jedliński

## PROBLEMATYKA TECHNOLOGICZNOŚCI ODNAWIANIA MASZYN

W artykule przedstawiono problematykę technologiczności odnawiania maszyn. Podano szereg kryteriów oceny i wskaźników charakteryzujących przystosowanie maszyn do wykonywania obsługi technicznych.

Rozważania poparto przykładem oceny technologiczności naprawczej elementów motoroweru KOMAR-2.

### Wstęp

Niezawodna praca jest jednym z najważniejszych wskaźników, charakteryzujących cechy eksploatacyjne obiektów technicznych. Dla użytkownika nie jest jednak obojętne przy pomocy jakich nakładów robocizny, elementów zamiennych i materiałów zabezpiecza się bezawaryjność pracy maszyny. Badania eksploatacyjne [6] wykazały, że nakłady na podtrzymanie maszyn w stanie gotowości eksploatacyjnej przewyższają wielokrotnie nakłady z tytułu ich wytwarzania. Dla wsparcia tego stwierdzenia można się posłużyć zestawieniem, przedstawiającym udział pracochłonności wyprodukowania ciągnika i samochodu, oraz pracochłonności podtrzymania tych pojazdów w stanie gotowości eksploatacyjnej:

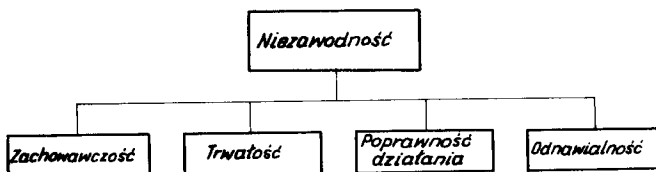
	<u>ciągnik</u>	<u>samochód</u>
Pracochłonność wytwarzania	3,5 %	1,4 %
Pracochłonność przeglądów i napraw bieżących	78,5 %	91,4 %
Pracochłonność napraw głównych	<u>18,0 %</u>	<u>7,2 %</u>
	100,0 %	100,0 %

Taka sytuacja jest przyczyną poważnych nakładów finansowych jednostek eksploatujących maszyny. Główną przyczyną tych nakładów jest duża pracochłonność zabiegów demontażowo-montażowych, czynności regeneracyjnych i innych czynności obsługowych, których pracochłonność określa między innymi technologiczność odnawiania maszyn.

Niniejszy artykuł ma na celu sprecyzowanie i omówienie pojęć związanych z przedstawionym zagadnieniem oraz zwrócenie uwagi na sposób oceny i możliwości poprawy wskaźników, charakteryzujących odnawialność maszyn.

### 1. Problematyka odnawialności, a niezawodność maszyny

Ocena niezawodności maszyny związana jest z szeregiem wskaźników, określających zdolność realizacji założonych funkcji. Specyfiką badań niezawodnościowych jest to, że pozwalają one ocenić w jakim stopniu i jak szybko następuje zmiana jakości maszyny w określonych warunkach eksploatacji i w określonym przedziale czasu. Elementami oceny jakości w ujęciu niezawodnościowym są wielkości przedstawione na rys.1.



Rys.1. Wielkości charakteryzujące niezawodność maszyn



O ile trzy pierwsze składniki znalazły dostateczne odzwierciedlenie w pracach naukowych [1, 2, 3, 5, 8, 11] , o tyle zagadnienia dotyczące odnawialności wymagają opracowania zarówno teoretycznego, jak i doświadczalnego.

## 2. Problematyka technologiczności odnawiania maszyn

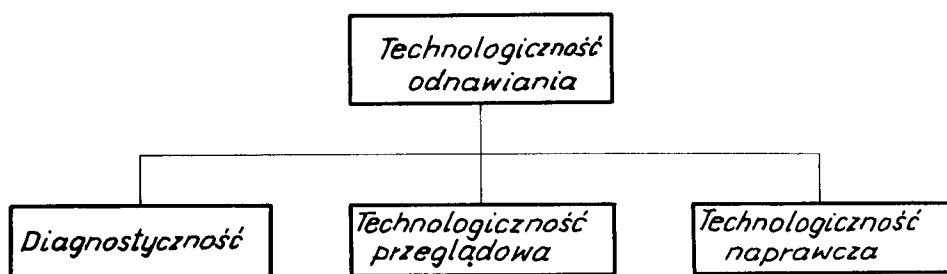
Technologiczność odnawiania /technologiczność naprawcza, podatność naprawcza/ oznacza własność maszyny, polegającą na utrzymaniu w dopuszczalnych granicach nakładów na zabiegi profilaktyczne i naprawy. Mówiąc inaczej - jest to własność charakteryzująca przystosowanie maszyn do stwierdzenia stanu niezdatności, lokalizacji uszkodzonych elementów i wykonywania pozostałych czynności obsługowych [9].

W konkretnej ocenie analitycznej parametrami technologiczności odnawiania są:

- prawdopodobieństwo trafności diagnozy /Pd/,
- oczekiwany czas lokalizacji uszkodzonego elementu /T<sub>L</sub> /,
- prawdopodobieństwo odnowy w przedziale  $\tau$  -  $P/T \leq \tau$  /,
- oczekiwany techniczny czas odnowy /Tot/,
- średni techniczny czas wymiany /Toj/,
- intensywność odnawiania / $\lambda_t$ /,
- współczynnik odtworzenia ресурсu po naprawie bieżącej lub głównej /Kod/.

Taki sposób oceny technologiczności odnawiania nie daje dostatecznego wglądu w istotę problemu, szczególnie zaś w zagadnienia konstrukcyjne maszyn, wpływające na poziom pracochłonności ich obsługiwanania.

W oparciu o podane wcześniej sformułowanie pojęcia technologiczności odnawiania maszyn proponuje się rozpatrzenie omawianej problematyki w układzie podanym na rys.2.



Rys.2. Problematyka technologiczności odnawiania maszyn

### 2.1. Diagnostyczność maszyn

Badania diagnostyczne maszyn mają na celu ujawnienie źródła i przyczyn niesprawności oraz konieczności stosowania zabiegów technicznych dla przywrócenia ресурсu /przy przeglądach technicznych i naprawach/.

Pod pojęciem diagnostyczności maszyny należy więc rozumieć cechy charakteryzujące jej przystosowanie do bezdemontażowego przewidywania i rozpoznawania przyczyn uszkodzeń, oceny pozostałego do wykorzystania ресурсu i in.

W perspektywie rozwój diagnostyki maszyn powinien pozwolić na automatyczne kontrolowanie ich stanu technicznego. Umożliwi to ostateczne przejście z systemu planowo-zapobiegawczych przeglądów i napraw na system obsługi według występujących potrzeb, bez ryzyka zmniejszenia niezawodności maszyny. Przyszłościowym sposobem wykonywania badań diagnostycznych wydaje się być diagnostyka komputerowa, stosowana aktualnie między innymi w stacjach diagnostycznych wobec samochodów, przystosowanych fabrycznie do tego typu badań /przetworniki sygnalizujące prawidłowość działania są wbudowane w podstawowe zespoły pojazdu/.

Ze względu na znaczenie zagadnienia, powinno być ono przedmiotem szczegółowej analizy w procesie powstawania maszyn /projektowania, wytwarzania/ i eksploatacji.



Tablica 2 zawiera dane dotyczące pracochłonności wymiany wyszczególnionych poprzednio elementów. W tablicy tej, dla wyraźnego podkreślenia udziału czasów podstawowych i dodatkowych w procesie wymiany elementów, wprowadzono odpowiednie zróżnicowanie w ich oznaczeniu.

Tablica 2

Diagram średniej pracochłonności wymiany elementów motoroweru KOMAR-2

Lp.	Nazwa elementu	Nr kat.	Średnia pracochłonność/godz			
			$T_{\text{śr}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$			
			0,25	0,5	0,75	1,0
1	Stożek tylny	MR230.16.14		▨		
2	Przerywacz kompletny	30-11W4		▨		
3	Stożek przedni	MR230.15.16		▨		
4	Dętka tylna	23"		▨		
5	Linka zmiany biegów	MR232.14.010		▨		
6	Dętka przednia	23"		▨		
7	Opona tylna	23" x 2,25		▨		
8	Opona przednia	23" x 2,25		▨		
9	Koło zdawcze łańcucha	S38.5.00		▨		
10	Linka sprzęgła	MR232.14	▨			
11	Kondensator	30.11W4-12	▨			
12	Łańcuch	ŁP2.00.0	▨			
13	Świeca zapłonowa	M14.1.25	▨			
14	Żarówka reflektora	BA15.01	▨			
15	Uszczelka rury wydechowej	S38B.1.0				
16	Żarówka rurkowa	S7-6V-3V				

miejsca diagramu zakreskowane przedstawiają średnie czasy podstawowe;

miejsca niezakreskowane przedstawiają średnie czasy dodatkowe/balastowe/.

Bazując na podanych diagramach można wyznaczyć wskaźniki technologiczności naprawczej, charakteryzujące nakłady robocizny związane z wymianą uszkodzonych elementów. Do obliczeń przyjęto trzy wybrane dowolnie

elementy. Rezultaty obliczeń zestawiono w tabelicy 3.

Oczywiście podane wyniki nie mogą stanowić podstawy do kompleksowej oceny technologiczności odnawiania motoroweru KOMAR-2, niemniej na ich podstawie możemy wyciągnąć pewne wnioski o charakterze ogólnym.

Analizując powyższe dane stwierdzić można, że wyliczone wskaźniki technologiczności naprawczej osiągają najkorzystniejsze wartości w przypadku linki sprzęgła. Dotyczy to zarówno wskaźnika technologiczności naprawczej  $K_n$ , zbliżonego do wartości obrazujących aktualną sytuację w budowie maszyn /wskaźnik ten w odniesieniu do kompletnych maszyn powinien się kształtować na poziomie 0,6 - 0,7 [10] /, jak również wskaźnika pracochłonności względnej.

Jak wynika z diagramów, zasadnicza poprawa wskaźników w stosunku do dwóch pozostałych elementów możliwa jest na drodze zmian konstrukcyjnych, które ułatwią dostęp do tych elementów /zmniejszenie  $t_d$ /.

### 3. Wnioski końcowe

Powyższe rozważania nasuwają wniosek, że ocena i planowanie poziomu technologiczności odnawiania maszyn winny stanowić ważny składnik procesu projektowania. Z tego wynika, że zespoły projektowe powinny zatrudniać również specjalistów z zakresu eksploatacji maszyn.

Prace w zakresie oceny poziomu technologiczności odnawiania maszyn powinny być prowadzone w następujących stadiach powstawania maszyn:

- etap opracowywania założeń konstrukcyjnych,
- etap opracowywania dokumentacji technicznej,
- etap badań prototypów maszyn,
- etap badań serii informacyjnej,
- etap badań serii produkcyjnej.

Na podstawie niniejszych rozważań można sprecyzować główne kierunki, mające na celu poprawę technologiczności odnawiania maszyn:

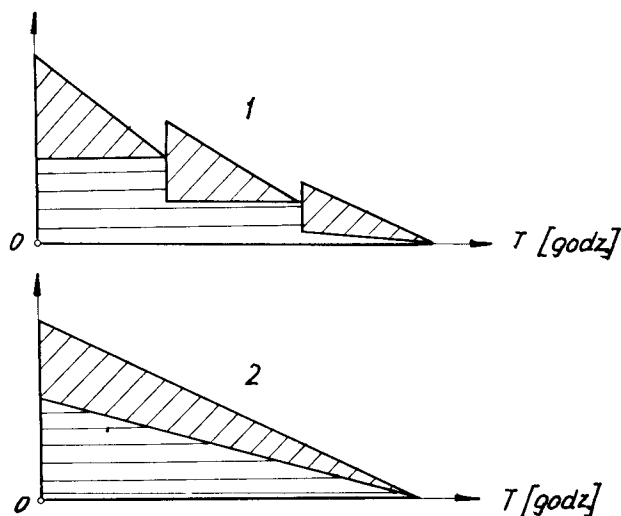
Tablica 3

Wskaźniki technologiczności naprawczej wybranych elementów motoroweru KOMAR-2

Lp.	Nazwa elementu	Pracochłonność wymiany rob. godz.			Średnia trwałość /Le/ km przebiegu	Wskaźniki technologiczności naprawczej	
		$t_n$	$t_p$	$t_d$		$k_n = \frac{t_p}{t_n}$	$tw^n = \frac{t_n}{Le} \cdot \frac{rob. godz.}{km}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Przerwywacz kompletny	0,460	0,052	0,408	6.500	0,113	$7,1 \cdot 10^{-5}$
2	Koło łańcuchowe zdawcze	0,337	0,071	0,266	5.800	0,190	$6,5 \cdot 10^{-5}$
3	Linka sprzęgła	0,219	0,103	0,116	7.500	0,470	$2,77 \cdot 10^{-5}$

a/ dopasowanie trwałości elementów maszyn do trwałości zespołów;  
ograniczy to pracochłonność naprawy do wymiany zespołu /rys.3/,

Zdatność



Rys.3 Przebieg zmiany zdatności zespołu:

- 1 - zespół z szybko zużywającymi się elementami,
- 2 - zespół z dopasowanej trwałości elementów

- b/ ułatwienie dostępu do miejsc obsługi,
- c/ ograniczenie ilości miejsc obsługi,
- d/ unifikacja stosowanych połączeń /rozłącznych i nierozłącznych/,
- e/ unifikacja oprzyrządowania obsługowego,
- f/ poprawa wygody obsługiwanian,
- g/ mechanizacja prac transportowych,
- h/ unifikacja materiałów smarnych,
- i/ stosowanie nowoczesnych tworzyw konstrukcyjnych,
- j/ danie użytkownikowi wyczerpującej instrukcji obsługi maszyny /obowiązkowo w rodzimym języku/.

Opracowanie niniejsze nie wyczerpuje w pełni poruszonej problematyki. Celem artykułu było głównie zwrócenie uwagi na problem technologiczności odnawiania maszyn.

#### Literatura

1. Dethoor J.M.: Trwałość urządzeń technicznych. WNT, Warszawa 1971.

2. Graut Ireson W.: Reliability handbook. New York 1966.
3. Jazdon A.: Badania niezawodności i trwałości motorowerów w warunkach eksploatacyjnych. Zeszyty Naukowe Nr 6, Mechanika-Eksploatacja /3/, WSInż., Bydgoszcz, 1973.
4. Konieczny J.: Elementy nauki o eksploatacji, WNT, Warszawa 1969.
5. Kugel R.W.: Trwałość samochodów, WKŁ, Warszawa 1965.
6. Kugel R.W.: O nadiożności i dołgowieczności traktorow. Traktory i siełohozmasziny 7/1964.
7. Kuzniecowa J.S.: Techniczieskoje obsłuziwanije i nadiożnost awtomobiliej Transport, Moskwa 1972.
8. Lehglois R.: Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych. WNT, Warszawa 1972.
9. Projekt Polskiej Normy - Niezawodność. Terminy. Określenia. Symbole.
10. Seliwanow A.J.: Osnowy teoriji starienija maszin. Moskwa 1972.
11. Smalko Z.: Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych. PWN, Warszawa 1972.
12. Smirnow N.N.: Eksploatacionnaja tiehnologicznost' samoliotnych konstrukcji. Moskwa 1963.
13. Wojciechowicz B.: Sformułowanie problemów niezawodności występujących w pracach projektowo-konstrukcyjnych, technologii i eksploatacji urządzeń mechanicznych. Referat na zebraniu Sekcji Podst.Ekspł.Maszyn, Politechnika Poznańska, 9.V.1972.

#### MACHINE RECONDITIONING TECHNOLOGICAL PRODUCTIVITY PROBLEMS

##### /Summary/

This article presents the machine reconditioning technological productivity problems.

The author gives some evaluation criteria and ratios characterizing the machine adaptation for performing technical services.

The consideration has been supported by an example of motor-bicycle Komar-2 elements repair technological productivity evaluation.



## ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИН

### / Резюме /

Вопрос рассматривается в отношении к следующим составляющим:

- технологичность диагностики,
- технологичность технических уходов,
- ремонтная технологичность.

Одновременно даётся пример оценки ремонтной технологичности элементов мотовелосипеда Комар-2.



Witold Łoś  
Kazimierz Zawisłak

TRWAŁOŚĆ ORAZ PRZEBIEG ZUŻYCIA ŁAŃCUCHA ROLKOWEGO  
083-1-110 pz PN-67/M-84168

W artykule przedstawiono średnią trwałość oraz przebieg zużycia łańcucha rolkowego, stosowanego w zespole napędowym motoroweru Komar.

Wielkości te określono na podstawie wyników otrzymanych z badań eksploatacyjnych motorowerów, które prowadzono w ramach pracy naukowo-badawczej na temat: "Badania niezawodności i trwałości motorowerów i rowerów" [3].

Wstęp

Trwałość łańcucha [4] określa się jako okres pracy od stanu początkowego do chwili uzyskania przez łańcuch dopuszczalnego wydłużenia, które nie powinno przekroczyć 3 % długości nominalnej łańcucha.

Wartość dopuszczalnego wydłużenia dla łańcuchów stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym [4] ustalono na 2,5 % długości nominalnej łańcucha. W przypadku badanych łańcuchów [5] o ilości 110 ogniw i podziałce nominalnej  $t_n = 12,7$  mm, wartość dopuszczalnego wydłużenia wynosi  $l=35$  mm.

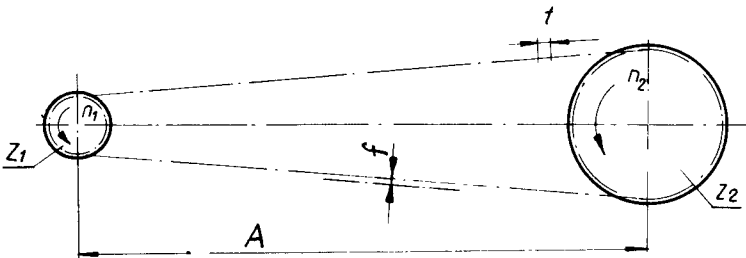
Wielkość zużycia łańcucha określa się na podstawie doświadczalnego przebiegu zużycia  $\Delta t = f/T/$  [1],

gdzie:

$\Delta t$  - średni wzrost podziałki łańcucha w mm,

$T$  - okres pracy wyrażony przebiegiem motoroweru w km.

1. Charakterystyka zespołu napędowego motoroweru KOMAR /rys.1/



Rys.1. Schemat zespołu napędowego motoroweru KOMAR

Łańcuch rolkowy 083-1-110 pz PN-67/M-84168;

Podziałka nominalna łańcucha  $t_n = 12,7$  mm;

Ilość zębów koła zdawczego  $z_1 = 12$  ;

Ilość zębów koła napędzanego  $z_2 = 35$  ;

Przełożenie  $i = 2,92$  ;

Rozstaw osi kół  $A \cong 545$  mm ;

Strzałka zwisu łańcucha  $f = 25$  mm;

Maksymalna ilość obrotów koła zdawczego przy prędkości jazdy 40 km/godz.

$n_1 = 1035$  obr/min. ;

Maksymalny moment na osi koła zdawczego mierzony w czasie badań tensometrycznych w warunkach eksploatacji  $M_0 = 4,6$  kGm [3] ;

Smarowanie - smarem półpłynnym SPL wyłącznie podczas przeglądów okresowych.

## 2. Metodyka badań

Dla określenia średniej trwałości oraz doświadczalnego przebiegu zużycia, dokonano rejestracji okresu pracy i pomiarów rzeczywistej długości łańcuchów. Pomiary łańcuchów przeprowadzono w stanie początkowym, w czasie eksploatacji oraz po osiągnięciu przez łańcuch stanu granicznego. Łańcuchy /w stanie czystym, suche i nienasmarowane/ mierzono specjalnym przyrządem z dokładnością do 0,05 mm, pod obciążeniem pomiarowym 13 kg. Odcinek pomiarowy łańcucha składał się z 109 ogniw, a więc nie przekraczał dopuszczalnego maksymalnego odcinka pomiarowego 1524 mm [4].

Kryterium oceny stanu granicznego łańcucha stanowiło dopuszczalne wydłużenie lub uszkodzenia nagłe /w postaci pęknięć, odłamów itp./ elementów łańcucha.

Wyniki pomiarów zestawiono w specjalnych kartach pomiarów, w których rejestrowano okres pracy, rzeczywistą długość oraz uszkodzenia nagłe łańcucha.

Średni wzrost podziałki łańcucha określono z zależności:

$$\Delta t = \frac{l}{m} - t_n \quad \text{mm} \quad ,$$

gdzie:

$l$  - rzeczywista długość łańcucha w mm,

$m$  - ilość ogniw,

$t_n$  - podziałka nominalna łańcucha w mm.

Średni wzrost podziałki łańcucha wyrażony w % określono z zależności:

$$\Delta = \frac{\Delta t}{t_n} \cdot 100 \% \quad .$$

## 3. Określenie średniej trwałości łańcucha

Zakłada się, że trwałość badanych łańcuchów wyrażona w km przebie-

gu motoroweru jest zmienną losową o rozkładzie normalnym  $N/m, \sigma/$ .

W celu oszacowania nieznannej średniej trwałości dokonano badań eksploatacyjnych na próbkę, składającej się z  $n = 30$  łańcuchów. Łańcuchy eksploatowano od stanu początkowego do osiągnięcia przez nie stanu granicznego. Na podstawie danych z badań /trwałości poszczególnych łańcuchów/ obliczono średnią arytmetyczną trwałość:

$$\bar{x} = 5340 \text{ km}$$

oraz wartość średniego kwadratowego odchylenia:

$$s = 1380 \text{ km.}$$

Przyjmując współczynnik ufności  $1 - \alpha = 0,95$  określono przedział ufności dla średniej trwałości w oparciu o rozkład  $t$  Studenta [2] z zależności:

$$\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} < m < \bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} .$$

Z tablicy rozkładu  $t$  Studenta [2] dla przyjętego współczynnika ufności  $1 - \alpha = 0,95$  oraz dla  $n-1 = 30 - 1 = 29$  stopni swobody odczytujemy wartość:

$$t_{\alpha} = 2,045 .$$

Podstawiając obliczone wartości do wzoru na przedział ufności, otrzymamy:

$$4775 \text{ km} < m < 5905 \text{ km} .$$

Zatem przedział liczbowy o końcach 4775 km i 5905 km z prawdopodobieństwem 95 % pokrywa nieznaną średnią trwałość łańcucha [5] w warunkach eksploatacji.

Dokonując oceny jakości badanych łańcuchów należy wziąć pod uwagę nawet tak niską trwałość, jak 4775 km, co odpowiada około 160 godzinom jazdy motorowerem przy średniej prędkości 30 km/godz.

Chcąc sprawdzić stopień słuszności założenia, że średnia trwałość łańcucha jest zmienną losową o rozkładzie normalnym, dokonano weryfikacji hipotezy przy pomocy testu zgodności A. Kołmogorowa, a więc testu  $\lambda$  [2], na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  weryfikując hipotezę:

$$H_0 : F(x) = F_0(x) .$$

W celu uzyskania wartości empirycznej i teoretycznej dystrybuanty dla końców przedziałów, obliczenia przeprowadzono tabelarycznie. Z obliczeń tych otrzymano wartość statystyki:

$$D_{\max} = 0,136$$

oraz wartość empiryczną statystyki  $\lambda$  Kołmogorowa:

$$\lambda = 0,732 .$$

Z tablicy rozkładu  $\lambda$  Kołmogorowa [2] odczytano dla przyjętego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  krytyczną wartość:

$$\lambda_{\alpha} = 1,358 .$$

Ponieważ:

$$\lambda = 0,732 < 1,358 = \lambda_{\alpha}$$

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ , że rozkład trwałości łańcuchów jest normalny.

#### 4. Przebieg zużycia łańcucha $\Delta t = f / T$

Celem wyznaczenia doświadczalnego przebiegu zużycia  $\Delta t = f / T$  przeprowadzono pomiary rzeczywistej długości łańcuchów. Pomiary te prowadzono zgodnie z metodyką badań - w okresie docierania w odstępach co 50 km, w czasie normalnej eksploatacji co 500 km. Ze względu na znaczny rozrzut wyników, otrzymanych z badań, nie jest możliwe bezpośrednio ustalenie współzależności wydłużenia łańcucha od okresu pracy wyrażonego w km prze-

biegu motoroweru. Rozważania teoretyczne wskazują na możliwość istnienia zależności liniowej po okresie docierania [1]. Na podstawie wstępnie przeprowadzonych badań można przyjąć, że okres docierania łańcucha wynosi około 800 km. Dlatego też, dla oszacowania liniowej funkcji regresji

$\Delta t = f/T$ , przyjęto tylko te wydłużenia, które odpowiadają przebiegowi powyżej 800 km.

Na podstawie  $n = 56$  wyników z próby, oszacowano metodą najmniejszych kwadratów prostą regresji:

$$\Delta t = 0,11 + 0,03 T .$$

Chcąc sprawdzić, czy w rozważanej populacji /obejmującej nieskończoną ilość prób/ istnieje rzeczywiście współzależność  $\Delta t = f/T$ , określono na podstawie danych z badań współczynnik korelacji:

$$r = 0,64 .$$

Obliczony współczynnik korelacji świadczy o wzajemnej zależności między badanymi parametrami, ale wniosek taki nie musi być prawdziwy, jako że współczynnik korelacji może być różny od zera jedynie na skutek wahań próby. Dla stwierdzenia istotności korelacji zweryfikowano hipotezę zerową:

$$H_0 : \rho = 0 ,$$

na podstawie wyników z próby obliczając funkcję testową [2]:

$$t = 6,13 .$$

Dla założonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  oraz  $n-2 = 56-2 = 54$  stopni swobody odczytano z tablic  $t$  Studenta [2] wartość krytyczną:

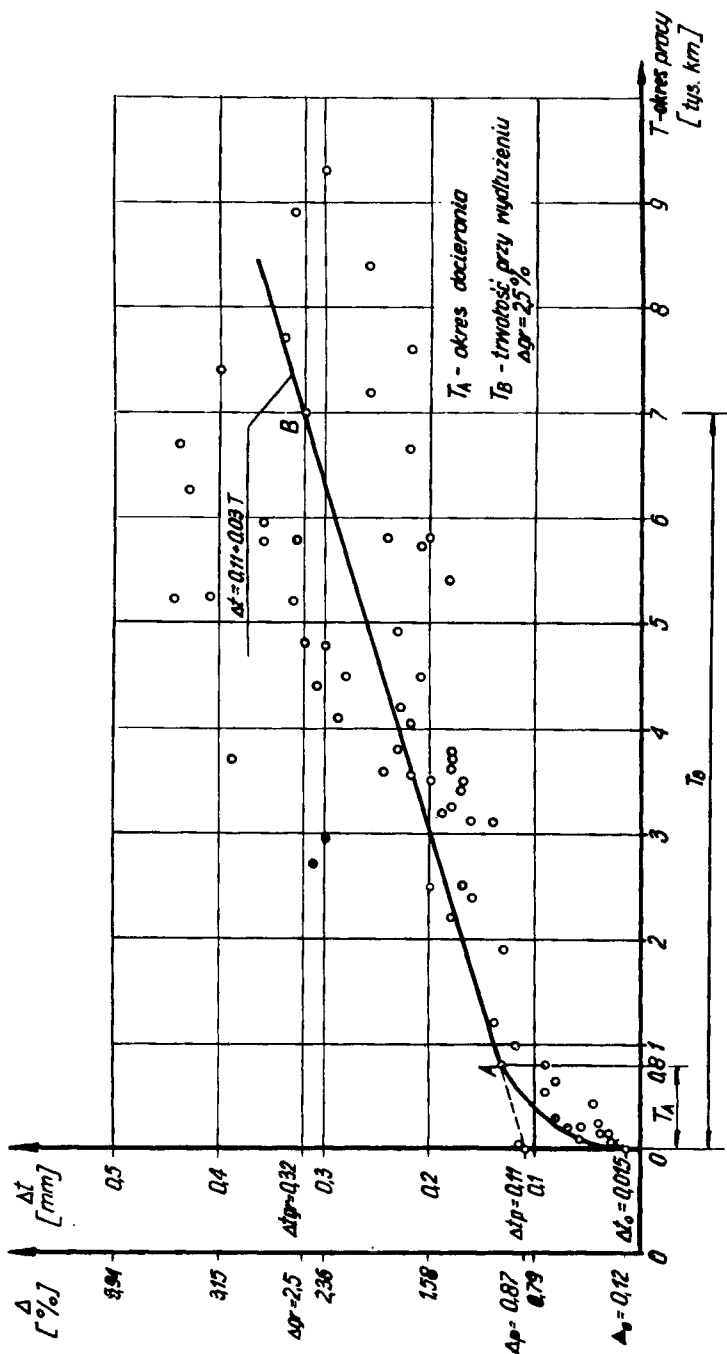
$$t_{\alpha} = 2,0 .$$

Ponieważ:

$$t = 6,13 > t_{\alpha} = 2,0 ,$$

zatem hipotezę  $H_0$  należy odrzucić. Wobec tego przyjmujemy hipotezę alternatywną  $H_1 : \rho \neq 0$ , co dowodzi istotności korelacji z 5 % ryzy-





Rys.2. Przebieg zużycia łańcucha w zależności od okresu pracy

kiem błędu.

Na podstawie otrzymanych wyników i przeprowadzonej analizy skonstruowano wykres wzrostu podziałki łańcucha [5] w zależności od okresu pracy - przebiegu motoroweru w km /rys.2/.

## 5. Wnioski

Przedstawiona w artykule analiza wyników z badań eksploatacyjnych wykazała:

- a/ niską średnią trwałość łańcucha [5], odbiegającą znacznie od normy zakładowej, równej 8000 km;
- b/ największy średni dodatni błąd podziałki łańcucha [5]  $\Delta_0 = 0,12\%$ ;
- c/ ponadnormalny wzrost podziałki łańcucha [5] w okresie docierania  $\Delta_p = 0,87\%$ ;
- d/ różnicę między obliczoną średnią trwałością łańcucha, wynoszącą 5340 km, a odczytaną z rysunku 2, równą 7000 km - pochodzącą stąd, że przebieg zużycia na rysunku 2 nie uwzględnia uszkodzeń nagłych.

## Literatura

1. Dietrych J., Korewa W., Kornberger Z., Zygmunt K.: Podstawy konstrukcji maszyn, cz.III. WNT, Warszawa 1966.
2. Greń J.: Modele i zadania statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1968.
3. Jazdon A., Szala J.: Badania niezawodności i trwałości motorowerów i rowerów Cz.1. Zeszyty Naukowe Nr 2. Mechanika-Konstrukcje Zeszyt 1 WSI - Bydgoszcz 1971.
4. PN-67/M-84160; Łańcuchy napędowe tulejkowe i rolkowe precyzyjne. Ogólne wymagania i badania.
5. PN-67/M-84168; Łańcuchy napędowe rolkowe precyzyjne.

## DURABILITY AND COURSE OF ROLLER CHAIN 083-1-110 WEAR

## /Summary/

It has been calculated in this work an average durability and course of roller chain wear applied in the motor-bicycle KOMAR power unit.

The value has been defined on the basis of the results received from motor-bicycles exploitation tests performed in the scope of the scientific research work: "Motor-bicycles and bicycles reliability and durability tests".

## ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ПРОТЕКАНИЕ ИЗНОСА РОЛИКОВОЙ ЦЕПИ

083 - I - 110

## / Резюме /

В статье даётся описание долговечности и протекания износа роликовой цепи применяемой в узле привода мотовелосипеда Комар - 2. Эти величины определены на основании результатов полученных во время эксплуатационных исследований мотовелосипедов, которые то исследования являются частью научно-исследовательской работы: - "Исследование надёжности и долговечности мотовелосипедов и велосипедов".



Robert Sikora

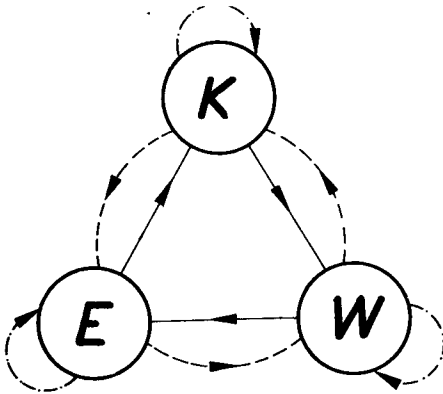
KIERUNKI I MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA TWORZYW SZTUCZNYCH  
W ODNOWIE MASZYN

W pracy przedstawiono kierunki, możliwości, zalety i wady stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn. Podano również metody przetwórstwa tych materiałów w odniesieniu do odnowy maszyn. Opracowanie wykonano na podstawie wieloletnich badań i doświadczeń własnych z uwzględnieniem stanu dostępnej literatury.

Wstęp

Problematykę stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn można ująć z dwóch pozycji, tj. z pozycji eksploatacji maszyn oraz z pozycji przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Jak wiadomo, każda maszyna w toku swego istnienia przechodzi zasadniczo trzy stadia /fazy/: stadium konstruowania K, stadium wytwarzania W i stadium eksploatacji E /rys.1/. Wiadomo dalej, iż eksploatacja obejmuje użytkowanie i obsługiwanie maszyn. Otóż tworzywa sztuczne można stosować w systemie obsługiwania w celu jego polepszenia, a także usprawnienia. Stanowi to istotę ujęcia problematyki stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn z punktu widzenia eksploatacji maszyn. W obsługiwaniu bowiem istotnym elementem składowym jest odnowa maszyn. Z kolei w proce-



Rys.1. Stadia istnienia maszyny:  
 K-konstruowanie, W-wytwarzanie,  
 E-eksploatacja [10]

się odnowy integralnym składnikiem jest regeneracja [7].

Takie metody przetwórstwa tworzyw sztucznych, jak klejenie, laminowanie, kitowanie, nanoszenie powłok, odlewanie i wtryskiwanie stosuje się bez większych zmian zarówno w wytwarzaniu maszyn, jak i ich odnowie. Przyjąć można, że to jest istotą ujęcia problematyki stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn z pozycji przetwórstwa tych materiałów.

Niniejsze opracowanie stanowi próbę zwięzłego przedstawienia przede wszystkim kierunków i możliwości stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn z obu wspomnianych pozycji.

## 1. Zalety i wady stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn

Dotychczasowe stosowanie tworzyw sztucznych w odnowie maszyn wykazuje szereg zalet, główne z nich można zgrupować następująco:

### a/ zalety natury konstrukcyjnej:

- uniknięcie naprężeń wstępnych, powstających podczas niektórych sposobów odnowy, np. przez często stosowane spawanie, napawanie lub zgrzewanie,

- brak wyraźnych spiętrzeń naprężeń w materiale przedmiotu odnawianego w miejscu łączenia z tworzywem oraz w tworzywie, pochodzących od sił zewnętrznych, głównie dzięki wykorzystaniu pełnej wytrzymałości elementów łączonych /np. nie występują otwory na nity, śruby, kołki itp./,

### b/ zalety natury technologicznej:

- z reguły bardzo prosta technologia stosowania tworzyw sztucznych, na ogół nie wymagająca specjalnego oprzyrządowania,

- często mająca miejsce możliwość przeprowadzania odnowy bez demontażu lub przy częściowym demontażu maszyn i bez specjalnych urządzeń np. podnośników,

- możliwość przeprowadzania odnowy awaryjnej w miejscu wystąpienia awarii, np. na morzu /okrętownictwo/, w drodze /motoryzacja/, w polu /rolnictwo/, na budowie /budownictwo/, na poligonie /wojskowość/,

- możliwość przeprowadzania odnowy bardzo uciążliwej lub wręcz niemożliwej do przeprowadzenia innymi sposobami /wspomnianą niemożliwość wyznikać może na przykład z braku odpowiedniego dojścia do miejsca odnowy, koniecznego w przypadku innych sposobów/,

- względna łatwość obróbki wykańczającej przedmiotów podlegających odnowie /z reguły jest to obróbka za pomocą skrawania/,

c/ zalety natury eksploatacyjnej:

- nieprzepuszczanie płynu przez połączenia /szczelność połączeń/tworzyw sztucznych z materiałem przedmiotu odnawianego w zakresie przeciętnie występujących w maszynach wartości ciśnień,

- znaczna odporność tworzyw sztucznych na działanie czynników chemicznych, najczęściej występujących w warunkach eksploatacji maszyn,

- estetyczny wygląd części naprawianych, ze względu na brak szwów spawalniczych lub wystających łbów śrub, nitów,

d/ zalety ekonomiczne:

- małe koszty naprawy,

- możliwość zatrudnienia pracowników o niższych kwalifikacjach zawodowych lub tylko przyuczonych /nie kojarzyć z pracownikami o niższej etyce zawodowej/.

Stosowanie tworzyw sztucznych w odnowie maszyn ma również wady, z których najistotniejsze są następujące: stosunkowo mała odporność tworzyw

sztucznych na działanie wysokich temperatur, obciążeń silnie uderowych, długotrwałe działanie wody oraz konieczność ścisłego przestrzegania przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, ze względu na szkodliwe dla zdrowia działanie większości materiałów używanych przy przetwórstwie tworzyw. Wady te mają jednak coraz mniejsze znaczenie w miarę postępu naukowo-technicznego głównie w zakresie eksploatacji maszyn oraz przetwórstwa tworzyw sztucznych. Niektóre z nich już obecnie są niemal bez znaczenia.

## 2. Podstawowe kierunki stosowania i metody przetwórstwa

Wspólną cechą charakterystyczną sposobów stosowania tworzyw sztucznych do odnowy maszyn jest proces trwałego łączenia tworzyw z różnymi materiałami. Teza ta, mająca charakter podstawowy, determinuje zarówno kierunki stosowania, jak i metody przetwórstwa tworzyw sztucznych w odnowie maszyn.

Na podstawie głównego przeznaczenia tworzyw sztucznych w odnowie maszyn oraz specyficznych warunków przeprowadzania odnowy, dają się wyodrębnić następujące podstawowe kierunki stosowania i metody przetwórstwa tych materiałów /rys.2/:

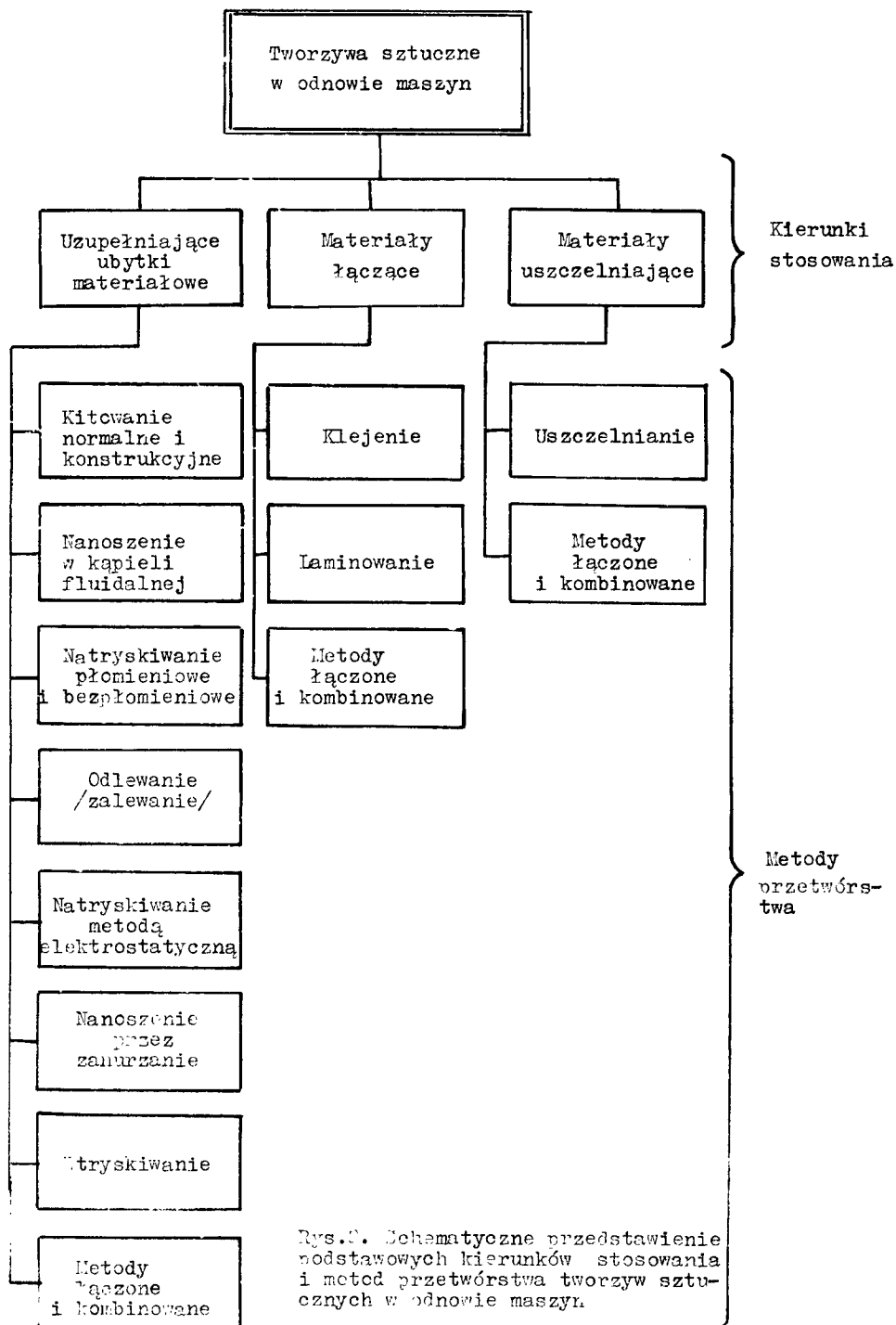
a/ Wykorzystanie tworzyw sztucznych jako materiałów konstrukcyjnych, uzupełniających ubytki materiałowe powstałe wskutek zużycia i uszkodzenia,

- w wyniku odnowy zmieniają się materiały części współpracujących; przed odnową była współpraca pary materiałowej: metal-metal lub metal-niemetal, a po odnowie jest współpraca pary materiałowej: metal - tworzywo sztuczne,

- w wyniku odnowy nie zmieniają się materiały części współpracujących; w dalszym ciągu istnieje współpraca tej samej pary materiałowej: tworzywo sztuczne-tworzywo sztuczne.

Stosować można głównie następujące metody przetwórstwa tworzyw sztucznych, uzupełniających ubytki materiałowe: kitowanie normalne i





Rys. 9. Schematyczne przedstawienie podstawowych kierunków stosowania i metod przetwórstwa tworzyw sztucznych w odnowie maszyn.

konstrukcyjne, nanoszenie w kąpielach fluidalnych, natryskiwanie płomieniowe i bezpłomieniowe /napyłanie/, odlewanie /zalewanie/, natryskiwanie metodą elektrostatyczną, nanoszenie przez zanurzanie, wtryskiwanie, łączone metody przetwórstwa i metody kombinowane, np. kitowanie połączone ze ślusarskimi metodami odnowy.

b/ Wykorzystanie tworzyw sztucznych, jako materiałów łączących, głównie przy takich metodach przetwórstwa, jak klejenie, laminowanie, łączone metody przetwórstwa i metody kombinowane.

c/ Wykorzystanie tworzyw sztucznych, jako materiałów uszczelniających. W zakresie tym stosować można głównie następujące metody przetwórstwa: uszczelnianie, metody łączone i kombinowane.

Wymienione metody przetwórstwa tworzyw sztucznych traktowane są, z pozycji eksploatacji maszyn, jako sposoby regeneracji, podobnie jak napawanie, metalizacja lub szycie Metalock. Oczywiście nie wszystkie metody są aktualnie stosowane, nie wszystkie mają też jednakowe perspektywy rozwojowe. Obecnie najczęściej stosowanymi metodami są: klejenie, kitowanie, laminowanie i metody łączone, np. klejenie z laminowaniem. Wydaje się, iż metody te będą również najczęściej stosowane w najbliższej przyszłości, aczkolwiek obserwuje się duże zainteresowanie pokrywaniem w kąpielach fluidalnych i odlewaniem. Można przypuszczać, że nie należy oczekiwać szerszego wprowadzenia wtryskiwania, mimo doniesień [1][2] o jego dawałających wynikach. Proces regeneracji jest bowiem dość złożony i wymaga specjalnego oprzyrządowania, a może być z powodzeniem zastąpiony przez inne, prostsze metody, np. kitowanie lub odlewanie.

Pośród wielu rodzajów tworzyw sztucznych w odnowie maszyn, jak dotychczas, stosuje się przede wszystkim tworzywa epoksydowe, poliestrowe, fenolowe, silikonowe, poliamidy, polimetalrylany metylu i poliuretany. Najszerzej stosuje się jednak tworzywa epoksydowe. Jest to spowodowane korzystnym zespołem własności tworzyw epoksydowych, szczególnie dużą adhezją do innych materiałów, łatwością modyfikacji własności przez użyt-

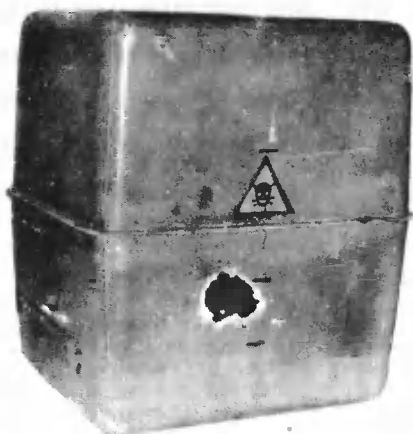
kownika tworzyw w czasie ich przetwarzania z reguły prostą technologią przetwórstwa i wreszcie dostępnością na rynku krajowym oraz przystępną ceną. Przed tworzywami epoksydowymi stoją jeszcze ciągle duże możliwości ich dalszego, szybkiego i szerokiego stosowania.

### 3. Możliwości stosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn

Biorąc pod uwagę własności tworzyw sztucznych z jednej strony i cechy specyficzne przeprowadzania regeneracji/odnowy/- z drugiej, można podjąć próbę podania typowych elementów maszynowych, które mogą być regenerowane przy pomocy tworzyw sztucznych. Otóż typowe elementy maszynowe, co do których stosowanie tworzyw sztucznych jest technicznie uzasadnione i ekonomicznie opłacalne, obecnie i w perspektywie wydają się następujące:

- 1/ korpusy maszyn, np. silników spalinowych, przekładni zębatych, sprzęgieł,
- 2/ wanny maszynowe /miski/ np. olejowe, wodne,
- 3/ zbiorniki, np. paliwa ciekłego, chemikaliów /rys.3/, wody, powietrza,
- 4/ pokrywy, np. prądnic, silników spalinowych, zbiorników,
- 5/ rurociągi, np. oleju smarnego, paliwa ciekłego, wody,
- 6/ elementy blaszane, np. elementy nadwozi pojazdów mechanicznych,
- 7/ naczynia, np. akumulatorów,
- 8/ łożyska ślizgowe i prowadnice,
- 9/ elementy wirujące: np. wirniki pomp, okrętowe śruby napędowe,
- 10/ narzędzia skrzawające, np. wiertła, rozwiertaki, ściernice,
- 11/ dźwignie, np. przełączników, włączników,
- 12/ drobne elementy, np. pokrętła, przyciski, zaciski, uchwyty, osłony.

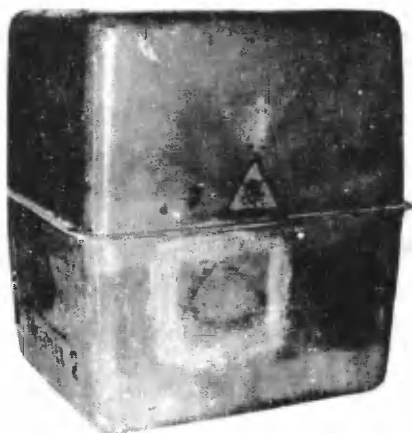
Rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne w procesie odnowy przy stosowaniu tworzyw sztucznych muszą zapewniać żądaną funkcjonalność, nie-



Rys. 3a



Rys. 3b



Rys. 3c



Rys. 3d

Rys. 3. Zbiornik "Termit 2" urządzenia do opryskiwania roślin, wykonany z laminatu poliestrowo-szklanego, regenerowany przez jednostronne klejenie z laminowaniem: a/ ogólny wygląd zbiornika przed odnową; b/ fragment zbiornika z uszkodzeniem przed odnową; c/ ogólny wygląd zbiornika po odnowie; d/ ten sam fragment zbiornika po odnowie.

zawodność i trwałość elementów maszynowych w czasie eksploatacji. Na rozwiązania te wpływają przede wszystkim:

1/ kształt i rozległość zużycia lub uszkodzenia, ich umiejscowienie na elemencie, jak również ich struktura,

2/ rodzaj i wartość przenoszonych obciążeń zewnętrznych w miejscu zużycia lub uszkodzenia w czasie eksploatacji maszyn,

3/ rodzaj i intensywność działania czynników cieplnych i chemicznych w miejscu zużycia lub uszkodzenia w czasie eksploatacji,

4/ możliwości organizacyjne i wykonawcze.

Zasady odnowy maszyn przy stosowaniu tworzyw sztucznych, zwłaszcza epoksydowych, wraz z innymi danymi potrzebnymi do jej wykonania, można znaleźć m.in. w pracach oznaczonych następującymi numerami porządkowymi wykazu literatury [3], [4], [5], [8], [9].

Dalszy rozwój wprowadzania tworzyw sztucznych do naprawy maszyn hamuje w dużym stopniu m.in. zbyt skromny stan wiedzy trybologicznej i wiedzy o fizyce współdziałania pod obciążeniem złączonej pary materiałowej: tworzywo sztuczne - materiał klasyczny. Dla przykładu można podać, że istniejące wzory obliczeniowe, dotyczące połączeń klejowych materiałów klasycznych, nie mogą być stosowane do obliczeń występujących przy połączeniach: metal - epoksydowy laminat szklany, charakterystycznych w odnowie maszyn. Występują również poważne trudności przy formułowaniu warunków pracy elementów maszyn w miejscu zużycia lub uszkodzenia. Znajomość tych warunków jest z kolei niezbędna do prawidłowego rozwiązania konstrukcyjnego i technologicznego odnowy.

#### 4. Wnioski i zakończenie

Tworzywa sztuczne stosuje się już powszechnie w produkcji nowych maszyn na elementy obsługowe, np. na rękojeści, dźwignie, kółka ręczne, przyciski itp., bardzo często na różnego rodzaju osłony, pokrywy, obu-

dowy itp. i coraz częściej na elementy ruchowe maszyn, np. łożyska, prowadnice, koła zębate, pierścienie tłokowe, zawory, sprężyny oraz elementy sprężyste i inne.

Na tym tle stosowanie tworzyw sztucznych w odnowie maszyn przedstawia się, jak dotychczas, bardzo skromnie. Nie wchodząc w przyczyny tego stanu /zostały one w zarysie omówione w pracach oznaczonych numerami [4], [5] / można stwierdzić, że zakres i ilość stosowanych tworzyw sztucznych w odnowie maszyn są znacznie niższe od aktualnych możliwości.

Podane w tej pracy wiadomości, studia literatury, jak również badania i doświadczenia własne pozwalają wnioskować, że w najbliższych latach nie tylko zwiększy się zakres wykorzystania i ilość stosowanych w odnowie maszyn tworzyw sztucznych, ale stanowić one już będą niezbędnym materiałem do przeprowadzania tej odnowy. Dotyczy to szczególnie odnowy powłokowej, wykonywanej w warunkach polowych, morskich itp. Poprzez stosowanie tworzyw sztucznych otwierają się ciągle dalsze, nowe możliwości odnowy technicznie uzasadnionej i ekonomicznie opłacalnej.

Dotychczasowe zastosowania tworzyw sztucznych w odnowie maszyn wskazują na to, iż dalsze zastosowania mogą być niezwykle postępowe w porównaniu z tradycyjnymi sposobami odnowy, a nawet - w dużym stopniu - w porównaniu z nowoczesnymi sposobami odnowy /oczywiście w nielicznych porównywalnych przypadkach/takimi, jak specjalne spawanie i napawanie proszkami metali /szwajcarska firma Castolin, zachodniemieckie firmy Metallit i Messer Griesheim, angielska firma Wall Colmonoy oraz inne/, jak również szycie Metalock /brytyjska firma Metalock/. Nastąpi to jednak pod warunkiem dokładniejszego poznania zjawisk zachodzących pod obciążeniem w elementach z tworzyw sztucznych, stosowanych w miejscu zużycia lub uszkodzenia przedmiotu, w celu jego odnowy oraz pod warunkiem podania charakterystyki współdziałania pod obciążeniem złączonej trwale pary materiałowej: tworzywo sztuczne - materiał klasyczny. Chodzi o zjawiska i charakterystyki w czasie oraz różnych środowiskach.

Należy oczekiwać, że prowadzone w kraju prace naukowe, rozwojowe, wdrożeniowe i inne już niedługo dadzą częściowe rozwiązanie tych zagadnień. Istotne przyczynki do niektórych z nich zostały już rozwiązane.

#### Literatura

1. Bierieznikow W., Kriczewskij M., Makariew A., Snopkow A.: Riemont die-taliej litium polimerow pod dawlaniem. Technika w sielskom cho-zjajstwie 9/1969.
2. Bierieznikow W.W., Kriczewskij M.E., Makariew A.P.: Primienienije tie-rmoplastow dlja riemonta sielskochozjajastwiennych maszin. Plastik-czeskije Massy 11/1969.
3. Heitz E.: Reperaturen am Kunststoff-Sandwichelementen. Konststoff-Rundschau Heft 2, 1971.
4. Sikora R.: Tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn. WNT, Warszawa 1971.
5. Sikora R.: Badania nad wprowadzeniem niektórych tworzyw epoksydowych do naprawy maszyn. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Bydgoszczy nr 3, Mechanika z.2, Bydgoszcz 1972.
6. Surowiak W.: Charakterystyka żywic sztucznych używanych do naprawy elementów maszyn i narzędzi. Mechanik 5/1971.
7. Wojdak J.: Naprawy elementów maszynowych. WNT, Warszawa 1973.
8. Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej. Instrukcja tym - czasowa - naprawa elementów pojazdów mechanicznych żywicami epo-ksydowymi. 1969.
9. Zaczek Z.: Możliwości stosowania żywic epoksydowych przy awaryjnych naprawach okrętowych urządzeń technicznych. Przegląd Morski 12/1968.
10. Ziemia S.: Podstawowe problemy naukowo-badawcze w dziedzinie eksplo-atacji urządzeń technicznych. Materiały III Krajowego Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych, tom I. Gdańsk - Cetniewo 6÷9, IX. 1972.

DIRECTIONS AND POSSIBILITIES OF PLASTIC USE  
IN MACHINE REGENERATION

In the work there have been presented directions, possibilities, advantages and faults of plastic use in machines regeneration. There have been also presented methods of processing of those materials, as far as regeneration of machines is concerned.

The elaboration has been carried out according to many years reseaches and own experiments with regard to the state of attainable literature.

НАПРАВЛЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ

ПЛАСТМАСС В РЕГЕНЕРАЦИИ МАШИН

/ Резюме /

В работе даны направления, возможности, достоинства и недостатки применения искусственных пластмасс в регенерации машин. Даны также методы переработки этих материалов относительно регенерации машин. Работа была выполнена на основании проведённых многолетних исследований и собственных опытов, принимая во внимание данные доступной литературы.



Józef Szala

OBLICZENIA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ UKŁADÓW  
W OPARCIU O WYBRANE HIPOTEZY KUMULACJI USZKODZEŃ ZMĘCZENIOWYCH  
I ICH DOŚWIADCZALNA WERYFIKACJA

W artykule przedstawiono analizę zgodności metod obliczeniowych wyznaczania trwałości zmęczeniowej, opartych o wybrane hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych, z wynikami stanowiskowych badań.

Do analizy przyjęto hipotezę Minera - Palmgrena, Corten-  
- Dolana i Serensena.

Wstęp

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej układów, których obciążenie eksploatacyjne jest realizacją procesu losowego, konieczna jest znajomość:

- krzywej zmęczeniowej /reprezentującej wytrzymałość zmęczeniową materiału lub układu/,

- przebiegu zmian naprężeń w miejscu ich koncentracji w postaci zastępczego widma naprężeń,

- hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych.

Przedmiotem analizy przedstawionej w artykule są wybrane hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych.

Ogólny przegląd hipotez podany jest w pracach [12] i [13]. Wynika z nich duża różnorodność postaci związków określających kumulację uszkodzeń zmęczeniowych. Powstaje zatem pytanie, obliczenia według której ze znanych hipotez wykazują największą zgodność obliczonej trwałości zmęczeniowej z wynikami stanowiskowych badań zmęczeniowych.

Celem przedstawionej pracy jest ocena tej zgodności. Do analizy przyjęto hipotezę Minera - Palmgren, Corten - Dolana i Serensena.

### 1. Metoda i program badań

Analizę zgodności przeprowadzono w oparciu o wykonane obliczenia /z wykorzystaniem przyjętych hipotez/ i wyniki stanowiskowych badań trwałości zmęczeniowej węzła konstrukcyjnego.

W tym celu przyjęto zastępcze widmo naprężeń, obracowane na podstawie rzeczywistego widma naprężeń eksploatacyjnych, występujących w układzie nośnym roweru w miejscu ich koncentracji. Obliczenia i stanowiskowe badania trwałości zmęczeniowej przeprowadzono na podstawie zastępczych widm różniących się wartością naprężenia maksymalnego w widmie:

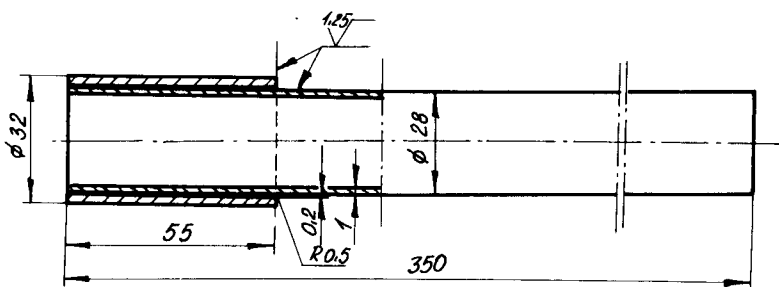
$$\begin{aligned} \sigma_{\max I} &= 24 \text{ kg/mm}^2, & \sigma_{\max II} &= 20 \text{ kg/mm}^2, \\ \sigma_{\max III} &= 16 \text{ kg/mm}^2, & \sigma_{\max IV} &= 12 \text{ kg/mm}^2. \end{aligned}$$

Program badań obejmował:

- wyznaczenie krzywej zmęczeniowej,
- przyjęcie zastępczego widma naprężeń,
- wyznaczenie trwałości zmęczeniowej węzła konstrukcyjnego na drodze obliczeń,
- wyznaczenie trwałości zmęczeniowej węzła konstrukcyjnego w programowanych stanowiskowych badaniach zmęczeniowych,
- wyznaczenie współczynnika korekcyjnego "a" - dla wybranych hi-

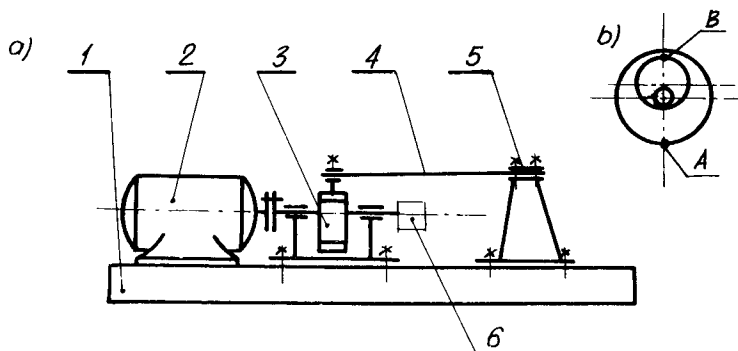
potrzebie kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych.

Obiektem badań był węzeł o cechach konstrukcyjnych /geometrycznych i materiałowych/ zbliżonych do cech węzła ramy rowerowej, stanowiącej słabe ogniwo układu /rys.1/. Węzeł ten składa się z rury o wymiarach  $\phi 28$  mm, wykonanej ze stali 10 BX/PN-64/H-84024/, rury  $\phi 32$  x 2mm, wykonanej ze stali St 1/PN-61/H-84020/ - połączonych za pomocą lutu miedziowego LM 63/PN-70/H-69413/, w postaci folii o grubości 0,15 mm /temperatura topnienia spoiwa  $910^{\circ}\text{C}$ /.



Rys.1. Węzeł konstrukcyjny

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego schemat podano na rysunku 2. Zasadniczy zespół stanowiska to układ wałka mimośrodowego - 3, który napędzany jest silnikiem elektrycznym - 2. Ilość cykli zlicza licznik obrotów - 6. Węzeł konstrukcyjny - 4 mocowany jest w głowicy nastawnej - 5, umożliwiającej uzyskanieżądanego naprężenia średnie-

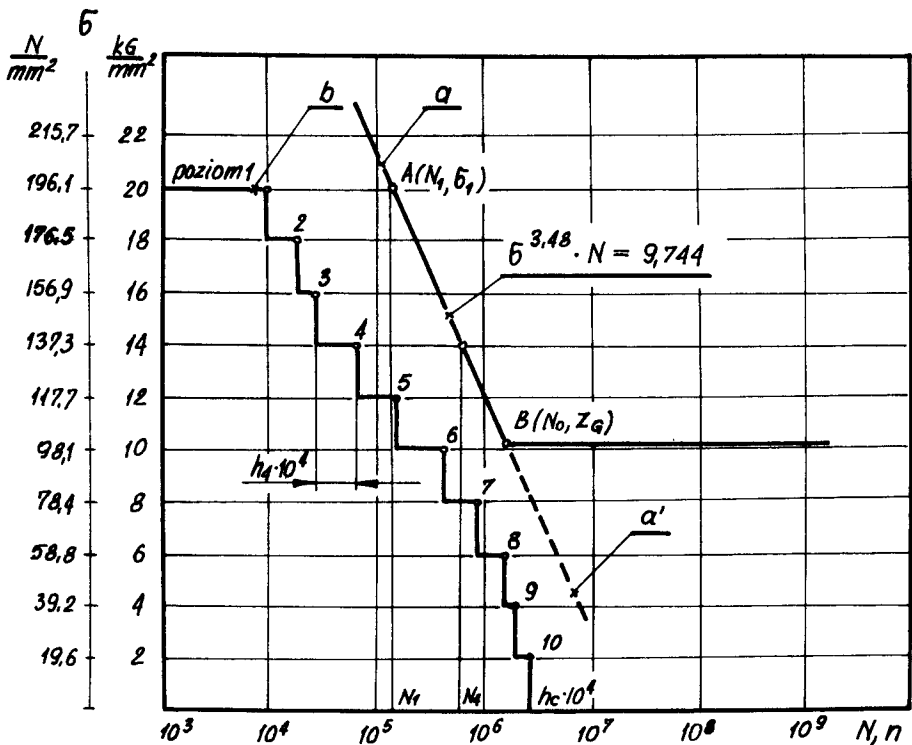


Rys.2. Schemat urządzenia do badań zmęczeniowych

go. Zmienne - według przyjętego programu - naprężenia gnące uzyskano poprzez wymuszenie odkształcenia próbki jednostronnie utwardzonej, wywołanego odpowiednio regulowaną mimośrodowością wałka wibratora /rys.2b/.

Krzywa zmęczeniowa, wykorzystana w obliczeniowych metodach wyznaczania trwałości zmęczeniowej, opracowana została na podstawie 20 prób w zakresie ograniczonej i 10 prób w zakresie trwałej wytrzymałości zmęczeniowej.

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg jej średniej wartości, w zestawieniu z zastępczym widmem naprężeń, o maksymalnym naprężeniu w widmie  $\bar{\sigma}_{\max II} = 20 \text{ kG/mm}^2$ . Wyniki próby zmęczeniowej dla zakresu ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej i obliczone metodą najmniejszych kwadratów dane do wyznaczenia prostej regresji, podano w tabelicy 1.



Rys.3. Krzywa zmęczeniowa i zastępcze widmo naprężeń

Tablica 1

Krzywa zmęczeniowa

Prosta w układzie półlogarytmicznym

m = 0,098 C = 7,154 Poziom ufnosci dla XN (i) alfa = 0,950

I	Y(i)	X(i)	Lg X(i)	Lg xw(i)	xw(i)	Lg LK	LK	Lg PK	PK
1	22.0	6.299 <sub>0</sub> 04	4.7993	4.9930	9.976 <sub>0</sub> 04	4.9757	9.456 <sub>0</sub> 04	5.0222	1.052 <sub>0</sub> 05
2	20.0	1.270 <sub>0</sub> 05	5.1038	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
3	20.0	1.460 <sub>0</sub> 05	5.1643	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
4	20.0	1.610 <sub>0</sub> 05	5.2068	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
5	20.0	1.750 <sub>0</sub> 05	5.2380	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
6	20.0	1.850 <sub>0</sub> 05	5.2624	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
7	20.0	2.080 <sub>0</sub> 05	5.3180	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
8	16.0	2.810 <sub>0</sub> 05	5.4487	5.1949	1.566 <sub>0</sub> 05	5.1735	1.491 <sub>0</sub> 05	5.2163	1.646 <sub>0</sub> 05
9	16.0	3.000 <sub>0</sub> 05	5.4771	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
10	16.0	3.380 <sub>0</sub> 05	5.5289	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
11	16.0	3.450 <sub>0</sub> 05	5.5352	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
12	16.0	4.270 <sub>0</sub> 05	5.6214	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
13	16.0	4.300 <sub>0</sub> 05	5.6214	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
14	16.0	5.189 <sub>0</sub> 05	5.7151	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
15	16.0	5.519 <sub>0</sub> 05	5.7419	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
16	16.0	5.759 <sub>0</sub> 05	5.7634	5.5868	3.862 <sub>0</sub> 05	5.5665	3.686 <sub>0</sub> 05	5.6070	4.046 <sub>0</sub> 05
17	12.0	7.469 <sub>0</sub> 05	5.8733	5.9787	9.521 <sub>0</sub> 05	5.9560	9.037 <sub>0</sub> 05	6.0013	1.003 <sub>0</sub> 06
18	12.0	7.899 <sub>0</sub> 05	5.8976	5.9787	9.521 <sub>0</sub> 05	5.9560	9.037 <sub>0</sub> 05	6.0013	1.003 <sub>0</sub> 06
19	12.0	8.449 <sub>0</sub> 05	5.9268	5.9787	9.521 <sub>0</sub> 05	5.9560	9.037 <sub>0</sub> 05	6.0013	1.003 <sub>0</sub> 06
20	12.0	1.100 <sub>0</sub> 06	6.0413	5.9787	9.521 <sub>0</sub> 05	5.9560	9.037 <sub>0</sub> 05	6.0013	1.003 <sub>0</sub> 06

Pięd aproksymacji = 0.106 824

Objasnienia:

Y/i/ - poziom naprężenia

X/i/ - liczba cyklów do pęknięcia  
zenia Y/i/

xw/i/ - liczba cyklów do pęknięcia zmęczeniowego odpowiadająca prostej regresji

LK - lewy kraniec, PK - prawy kraniec przedziału ufnosci na poziomie 0,95

probie jednostopniowej na poziomie naprę-

Wyznaczoną krzywą zmęczeniową w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej opisuje równanie:

$$\sigma^{3,48} \cdot N = 9,744. \quad /1/$$

Granica zmęczenia  $Z_G = 10,3 \text{ kg/mm}^2$  wyznaczona została przy granicznej  $N_G = 2 \cdot 10^6$  cykli.

Charakterystykę zastępczego widma naprężeń, odpowiadającego odcinkowi pomiarowemu w warunkach eksploatacji o długości  $l = 84 \text{ m}$ , przedstawiono w tabelicy 2, /1,2,3,4,5,6,7 /.

### 3. Wyznaczenie trwałości zmęczeniowej na drodze obliczeń

#### 3.1. Obliczenia w oparciu o hipotezę Minera - Palmgrena /MP/

W przypadku działania naprężeń o stałej amplitudzie przyjmuje się, że proces kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych opisany jest pewną funkcją [2]

$$D_n = f / n, \text{ dla której } D_0 = f / 0 = 0, \\ D_N = f / N = 1, \quad /2/$$

gdzie:

- $D_n$  - miara uszkodzenia zmęczeniowego,
- $n$  - ilość cykli obciążenia zmiennego,
- $N$  - ilość cykli obciążenia zmiennego, powodująca całkowite pęknięcie zmęczeniowe.

Według Minera - Palmgrena hipoteza kumulacji przyjmuje postać:

$$D_n = \frac{n}{N} \quad /3/$$

Wynika z niej stała szybkość przebiegu procesu kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych:

$$\frac{d D_n}{d n} = \text{const}, \quad /4/$$

Table 2

Pozlom napr. w widnie	Program Nr.				Ilosc cykli p <sub>1</sub>	Wzrostowa Ilosc cykli	$\alpha = \frac{p_1}{p_0}$	$\left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^m$	$\left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^p$	$\sum \left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^m$	$\sum \left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^p$	$\sum \left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^m$	$\sum \left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^p$	$\left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^m$	$\left(\frac{g}{g_1}\right)_{max}^p$
	I 6 <sub>1</sub>	II 6 <sub>1</sub>	III 6 <sub>1</sub>	IV 6 <sub>1</sub>											
1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
			kg/m <sup>2</sup>												
1 1	24,0	20,0	16,0	12,0	1	0,00433	1,00	1,00	0,00433	0,00433	0,00433	0,00433	0,00433	0,00433	
2 0,9	21,6	18,0	14,4	10,8	1	0,00433	0,693	0,742	0,00300	0,00733	0,00322	0,00755	0,00390	0,00823	
3 0,8	19,2	16,0	12,8	9,6	1	0,00433	0,460	0,538	0,00199	0,00932	0,00233	0,00988	0,00346	0,01169	
4 0,7	16,8	14,0	11,2	8,4	4	0,01735	0,289	0,372	0,00500	0,01432	0,00642	0,01630	0,01215	0,02384	
5 0,6	14,4	12,0	9,6	7,2	9	0,0391	0,169	0,241	0,00658	0,02090	0,00941	0,02571	0,02446	0,04830	
6 0,5	12,0	10,0	8,0	6,0	27	0,117	0,0896	0,143	0,0105	0,03137	0,01670	0,04241	0,05850	0,10680	
7 0,4	9,6	8,0	6,4	4,8	49	0,213	0,0412	0,0762	0,00874	0,04012	0,01640	0,05881	0,08520	0,1920	
8 0,3	7,2	6,0	4,8	3,6	51	0,221	0,0152	0,0344	0,00336	0,04348	0,00761	0,06642	0,06630	0,2583	
9 0,2	4,8	4,0	3,2	2,4	60	0,261	0,0038	0,0112	0,000990	0,04447	0,00292	0,06934	0,0522	0,3105	
10 0,1	2,4	2,0	1,6	1,2	28	0,121	0,00033	0,0016	0,000040	0,04451	0,00019	0,06953	0,0121	0,3226	





co jest niezgodne z przebiegiem procesu zmęczenia.

W przypadku widma naprężeń wzór /3/ przyjmuje postać:

- dla widma ciągłego

$$Z_G \int_{\sigma}^{\sigma_{\max}} \frac{dn/\sigma}{N/\sigma} = 1 \quad /5/$$

- dla widma stopniowego

$$\sum_{i=1}^K \frac{n_i}{N_i} = 1 . \quad /6/$$

Hipoteza ta zakłada znaczne uproszczenia i wykazuje pewną niezgodność trwałości zmęczeniowej, obliczonej na podstawie wzoru /6/, z wyznaczoną na drodze doświadczeń. Przyjęto zatem skorygowaną postać wzoru:

$$\int_{Z_G}^{\sigma_{\max}} \frac{dn/\sigma}{N/\sigma} = a \quad \text{lub} \quad \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = a . \quad /7/$$

Współczynnik korekcyjny "a" zależny jest od parametrów zastępczego widma naprężeń i własności materiału, równa się:

$$a = \frac{n_c \text{ dośw.}}{n_c \text{ obl.}} \quad /8/$$

Przeprowadzone liczne badania - /3/, /4/, /5/, /6/, /7/- nad wyznaczeniem wartości współczynnika "a" wykazały, że wartość ta zawarta jest w szerokich granicach /od 0,08 do 4,27 i więcej/.

Dokonując pewnych przekształceń wzorów /5/, /6/ otrzymujemy funkcję trwałości zmęczeniowej, ujmującej zasadnicze parametry obciążenia i wytrzymałości zmęczeniowej układu [12];

- dla widma ciągłego:

$$n_c = \frac{N_1}{\int_{Z_G}^{\sigma_{\max}} \left( \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} \right)^m \cdot f/\sigma/d\sigma} , \quad /9/$$

- dla widma stopniowego:

$$n_c = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m \cdot \alpha_i} , \quad /10/$$

gdzie:

$f/\sigma/$  - gęstość rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia amplitudy zmian naprężenia o wartości  $\sigma$ ,

$\sigma_{\max} = \sigma_1$  - maksymalne naprężenie w widmie naprężeń,

$N_1$  - liczba cykli powodująca zniszczenie zmęczeniowe, odpowiadająca naprężeniu  $\sigma_1$  /wzięta z krzywej zmęczeniowej/,

$\sigma_i$  - naprężenie i-tego stopnia,

$\alpha_i = \frac{h_i}{h_c}$  względna częstość występowania amplitud zmian naprężeń o wartości  $\sigma_i$ ,

$h_i$  - ilość cykli w zastępczym widmie, odpowiadająca wartości naprężenia  $\sigma_i$ , wynikająca z długości odcinka pomiarowego

$h_c$  - całkowita ilość cykli w zastępczym widmie, wynikająca z przyjętego odcinka pomiarowego.

Mając dane widmo naprężeń i krzywą zmęczeniową, z wzoru /10/ wyznacza się trwałość zmęczeniową, wyrażoną ilością cykli do zniszczenia  $n_c$ . Znając liczbę cykli przypadającą na przyjęty odcinek pomiarowy, wyznacza się przecbieg eksploatacyjny układu w jednostkach drogi z wzoru:

$$L = \frac{n_c}{h_c} \cdot l \quad /km/ \quad /11/$$

gdzie:

$n_c$  - ilość cykli w widmie naprężeń, powodująca zniszczenie zmęczeniowe,

1 - długość odcinka pomiarowego w km.

W hipotezie Minera - Palmgrena przyjmuje się do obliczeń jedynie te poziomy naprężenia  $\sigma_i$ , które przewyższają wartość granicy zmęczenia  $\sigma_{iZG}$

Dla przypadku krzywej zmęczeniowej i widma naprężeń przedstawionego w punkcie 2, wyniki obliczeń według wzoru /10/ przedstawiono w tabelicy 3 kol.4.

Tablica 3

Nr programu	Wartość $\sigma_{max i}$ w widmie		Ilość cykli $N_i$ z krzywej zmęczeniowej odpowiadająca naprężeniu $\sigma_{max i}$	Trwałość zmęczeniowa $n_c$ w milionach cykli obliczona w oparciu o hipotezę			
	$\frac{kG}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$		MP	CD	CD'	S
1	2	2a	3	4	5	6	7
I	24	235,4	$5,95 \cdot 10^4$	1,48	1,34	0,86	0,148
II	20	196,1	$1,56 \cdot 10^5$	4,97	3,51	2,24	0,497
III	16	156,9	$3,86 \cdot 10^5$	18,47	8,67	5,55	1,847
IV	12	117,7	$9,52 \cdot 10^5$	102,15	22,29	13,69	10,215

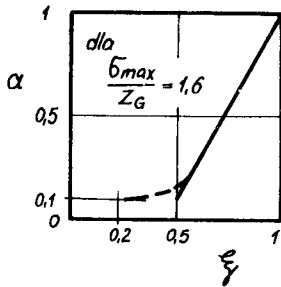
3.2. Obliczenia w oparciu o hipotezę S.W. Serensena

Część badaczy, przyjmując postać hipotezy opisaną wzorem /7/ w pracach swych wysiłki skierowała na wyznaczenie wartości współczynnika "a". Większość prac dotyczyła obciążenia dwustopniowego. W pracy [1], S.W. Serensen na podstawie analizy większej ilości wyników badań z programowanym obciążeniem podaje następującą postać wzoru:

$$a = \frac{\sum \sigma_i \cdot \alpha_i - k Z_G}{\sigma_{max} - k \cdot Z_G} = \frac{\frac{\sigma_{max}}{Z_G} \int - k}{\frac{\sigma_{max}}{Z_G} - k} \quad ./12/$$

Wartość tę można określić z wykresu przedstawionego na rysunku 4. Wartość współczynnika wypełnienia  $\xi$  obliczamy z wzoru:

$$\xi = \frac{1}{\sigma_{\max}} \sum_{i=1}^r \sigma_i \cdot \alpha_i \quad /13/$$



rys.4. Zależność współczynnika korekcyjnego "a" od współczynnika wypełnienia widma [11]

We wzorach /12/ i /13/ uwzględniane są naprężenia o wartościach niższych od granicy zmęczenia, które jak wykazały przeprowadzone badania [10], mają wpływ na trwałość zmęczeniową układów.

S.W. Serensen [11] proponuje uwzględniać tylko te naprężenia, które przekraczają wartość  $k \cdot Z_G$ . Liczba  $k$  określa dolną granicę naprężeń, mających wpływ na trwałość zmęczeniową i zawarta jest w granicach od 0 do 1  $0 < k < 1$ . W pierwszym przybliżeniu przyjmuje się  $k = 0,6$ . Wartość współczynnika "a" oblicza się z wzoru /12/ pod warunkiem, że:

$$\frac{\sigma_{\max}}{Z_G} > 1 \quad \text{i} \quad \xi > 0,5 .$$

W przypadku, gdy  $\xi < 0,45$  z równania /12/ otrzymujemy wartość  $a < 0,1$ , co nie odpowiada eksperymentalnym danym. Dla  $0,2 \leq \xi \leq 0,45$  w pierwszym przybliżeniu przyjmuje się  $a = 0,1$ .

Postać liniowej hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych podana przez S.W. Serensena ujmuje wpływ różnych wartości naprężeń i czasów ich trwania w widmie.

W rozważonym przypadku, przyjmując zgodnie z zaleceniem zawartym w pracy [11], że  $k = 0,6$  otrzymamy dla programu:

I i II - wartość współczynnika wypełnienia  $\xi = 0,258$ , a zatem

zgodnie z zaleceniami [3] wartość współczynnika korekcyjnego  $a = 0,1$ .  
/tabl.2 kol.16/;

III - wartość współczynnika  $\xi = 0,192$ . Przyjmując ją jako bliską  
0,2 - wartość współczynnika  $a = 0,1$ ;

IV - wartość współczynnika  $\xi = 0,107$  leży poza przedziałem war -  
tości, dla których zachowują ważność wzory /12/.

Wyniki otrzymane na podstawie wzoru:

$$n_c = \frac{a \cdot N_1}{\sum_{i=1}^k \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \right)^m \cdot \alpha_i} \quad /10a/$$

i wartości podanych w tablicy 2 podano w tablicy 3 kol.7.

### 3.3. obliczenia w oparciu o hipotezę Corten - Dolana /CD/

Dla obciążenia jednostopniowego ogólna postać hipotezy Corten - Do -  
lana wyraża się wzorem [12] :

$$D_n = \left( \frac{n}{N} \right)^{b(\sigma)} \quad /14/$$

gdzie:

$b / \sigma /$  - wykładnik potęgi zależny od wartości naprężeń. Funkcja  
trwałości zmęczeniowej układu podobnie, jak w poprzednich przypadkach, wy -  
raża się wzorem:

- dla widma ciągłego:

$$n_c = \frac{N_1}{\int_{\sigma_{min}}^{\sigma_{max}} \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \right) \cdot f / \sigma / \cdot d\sigma} \quad /15/$$

- dla widma stopniowego:

$$n_c = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^b} \cdot \alpha_i \quad /16/$$

Wartość wykładnika potęgi "b" wyznacza się na drodze doświadczeń. W myśl hipotezy Corten - Dolana zmienia się ona w zależności od wartości naprężenia. Ze względu na brak praktycznego wykorzystania tego faktu, w przypadku widma obciążeń przyjmuje się pewną wartość średnią  $b = \text{const.}$  [5], [2]. Wykładnik ten ogólnie może przyjmować wartości różne od wartości wykładnika "m" krzywej zmęczeniowej  $b \leq m$  [9].

W obliczeniach opartych na tej hipotezie uwzględnia się wszystkie stopnie wartości naprężeń w widmie.

Przyjmując  $b = m$ , na podstawie tablicy 2 i wzoru/16/ wyznaczono trwałość zmęczeniową, wyniki podano w tablicy 3 kol.5. Przyjmując zgodnie z zaleceniami podanymi w pracy [5]  $b = 0,8 \cdot m = 0,8 \cdot 3,48 = 2,79$ , obliczoną trwałość zmęczeniową według hipotezy Corten - Dolana podano w tablicy 3 kol.6 - oznaczenie CD'. W obliczeniach uwzględniono wszystkie poziomy naprężeń w widmie.

#### 4. Wyznaczenie trwałości zmęczeniowej układu na drodze przyspieszonych badań stanowiskowych

Aby uniknąć wpływu szeregu czynników na trwałość zmęczeniową, wyznaczoną w stanowiskowych badaniach zmęczeniowych, należy na podstawie zastępczego widma naprężeń opracować odpowiedni program. Informacje na temat opracowywania programów zawarte są między innymi w pracach [3],[7]. Program przyjęty w omawianych badaniach przedstawiony jest na rysunku 5, a charakterystyka programu - w tablicy 4.

Podobnie, jak w obliczeniach, przyjęto cztery programy obciążeń o różnej wartości naprężenia maksymalnego w programie:

Tablica 4

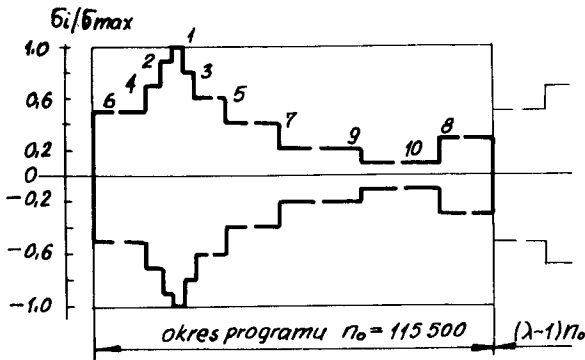
Poziom naprężen:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Względna wartość naprężenia $\sigma_i / \sigma_{max}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ilość cykli $n_{oi}$	500	500	500	2000	4500	13500	24500	25500	30000	15000

Tablica 5

Wyniki badań trwałości zmęczeniowej węzła konstrukcyjnego

Numer programu	Wartość maksymalnego naprężenia w programie $\sigma_{max}$		Ilość cykli	n <sub>o</sub> dośw. zmęczeniowego do pęknięcia		
	KG/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		PROBA 1	PROBA 2	PROBA 3
I	24	235,4	$1,94 \cdot 10^5$	$4,08 \cdot 10^5$	$6,63 \cdot 10^5$	
II	20	196,1	$9,15 \cdot 10^5$	$9,86 \cdot 10^5$	$2,43 \cdot 10^6$	
III	16	156,9	$4,48 \cdot 10^6$	$8,25 \cdot 10^6$	$9,55 \cdot 10^6$	
IV	12	117,7	$1,52 \cdot 10^8$	$2,75 \cdot 10^8$	$5,34 \cdot 10^8$	

$$\begin{aligned} \sigma_{\max I} &= 24 \text{ kG/mm}^2; & \sigma_{\max II} &= 20 \text{ kG/mm}^2; \\ \sigma_{\max III} &= 16 \text{ kG/mm}^2; & \sigma_{\max IV} &= 12 \text{ kG/mm}^2. \end{aligned}$$



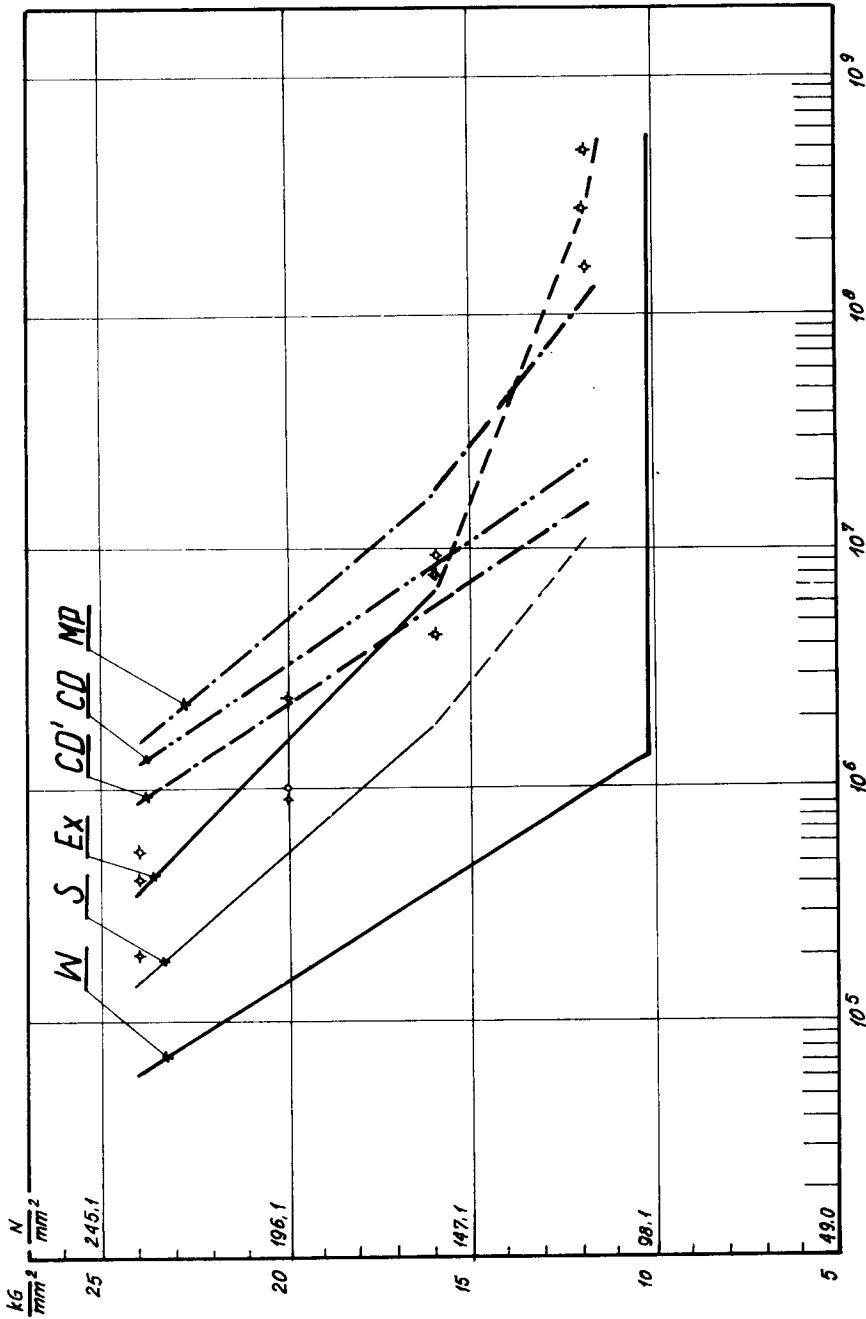
Rys.5. Schemat programu naprężeń

Z wykorzystaniem tak opracowanych programów wykonano badania. Zestawienie wyników badań podano w tabelicy 5. Okres programu obejmował  $n_0 = 115500$  cykli, jedynie w badaniach według programu I na poziomie  $\sigma_{\max I} = 24 \text{ kG/mm}^2$ , przyjęto  $n'_0 = \frac{n_0}{3} = 38500$  cykli.

## 5. Analiza wyników

Jak wynika z szeregu publikacji, między innymi [3], [4], krzywe trwałości w układach logarytmicznych  $\lg \sigma$ ,  $\lg n_c$  / i półlogarytmicznym  $\lg n_c / \sigma$ ,  $\lg n_c$  / przyjmuje się jako proste. Dane z tabelicy 5, naniesione na siatkę półlogarytmiczną /rys.6/, wykazują dużą zgodność tego założenia w zakresie maksymalnych naprężeń w widmie  $\sigma_{\max I}$ , zdecydowanie przewyższających granicę zmęczenia  $Z_G$  /poziomy 24,20 i 16 kG/mm<sup>2</sup>/. Punkty odpowiadające trwałości zmęczeniowej węzła konstrukcyjnego uzyskane przy realizacji programu o maksymalnym naprężeniu w widmie  $\sigma_{\max IV} = 12 \text{ kG/mm}^2$  znacznie odbiegają od prostej. Fakt ten spowodowany jest tym, że odpowiadająca temu programowi znaczna część poziomów naprężeń w widmie leży poniżej granicy zmęczenia. Ze względu na małe przeciążenia  $\sigma_{\max IV} = 12 \text{ kG/mm}^2$ , granica zmęczenia  $Z_G = 10,3 \text{ kG/mm}^2$  / i brak wpływu szeregu poziomów naprężeń





Nys. 6. Krzywe trwałości zmęczeniowej: Ex - uzyskana doświadczalnie; s - obliczona na podstawie hipotezy S. W. Serensena; CD - obliczona w oparciu o hipotezę Corten - Dolana przy założeniu  $b = 0,8$  m; CD' - obliczona w oparciu o hipotezę Corten - Dolana przy założeniu  $b = m$ ; MP - obliczona na podstawie hipotezy Miner - Palmgrena; W - krzywa zmęczeniowa;

/poziomy 7, 8, 9 i 10 według tablicy 2, kol.6/ na kumulację uszkodzeń zmęczeniowych, uzyskana trwałość zmęczeniowa jest bardzo wysoka. Zatem do wyznaczenia prostej regresji wzięto jedynie wyniki badań na poziomach 24, 20 i 16  $\text{kG/mm}^2$  /  $\bar{\sigma}_{\max_1}/Z_G$  w przedziale od około 1,5 do 2,4/. Wyniki obliczeń przeprowadzone metodą najmniejszych kwadratów, na maszynie cyfrowej, podano w tablicy 6. Rysunek 6 przedstawia prostą regresji oznaczoną symbolem  $E_x$ .

Do dalszej analizy zgodności obliczeń z danymi eksperymentalnymi, wzięto wartość z krzywej trwałości wyznaczonej na podstawie badań za wyjątkiem wartości dla poziomu naprężenia maksymalnego w widmie  $\bar{\sigma}_{\max IV} = 12\text{kG/mm}^2$ , dla którego przyjęto średnią wartość z trzech uzyskanych wartości trwałości zmęczeniowej. W zależności od przyjętej hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych uzyskano różne wartości trwałości zmęczeniowej, wyraźnie odbiegające od wartości uzyskanych na drodze badań zmęczeniowych.

Zgodność wyników obliczeń z doświadczeniem wyrażono poprzez wyznaczone współczynniki korygujące "a", obliczone na podstawie wzoru /8/ i przedstawione w tablicy 7 /kol.9,10,11,12/.

Całkowita zgodność wyników obliczeń i badań zachodzi przy wartości współczynnika  $a = 1$ . Dla  $a > 1$  otrzymujemy w wyniku obliczeń mniejszą, a dla  $a < 1$  większą obliczeniową trwałość zmęczeniową układu. Z tablicy 7 wynika, że w miarę zmniejszenia się wartości naprężenia maksymalnego w widmie /  $\bar{\sigma}_{\max_1}$  / i zbliżania się do wartości granicy zmęczenia rośnie wartość współczynnika "a" /dla wszystkich omawianych hipotez/.

Graficzne porównanie przebiegów krzywych trwałości zmęczeniowej uzyskanych na drodze doświadczalnej  $E_x$  i obliczeniowej według hipotez Minnera - Palmgren'a /MP/, Corten - Dolana z przyjęciem wykładnika potęgi  $b = m / CD$  / i  $b = 0,8 m / CD$  / oraz hipotezy Serensena /S/ podano na rys.6. Z rysunku wynika, że hipotezy MP, CD i  $CD'$  posiadają całkowitą zgodność z doświadczeniem na poziomie naprężenia maksymalnego w widmie, mieszczącego się w zakresie około 14 do 17  $\text{kG/mm}^2$  lub dla względnej wartości  $\bar{\sigma}_{\max_1}/Z_G$

Tablica 6

Krzywa trwałości zmęczeniowej

Prosta w układzie półlogarytmicznym

$m = 0.159$   $c = 9.368$  Poziom ufnosci dla  $XW(i)$   $\alpha = 0.950$

I	$y(i)$	$x(i)$	$Lg\ x(i)$	$Lg\ xw(i)$	$xw(i)$	$Lg\ LK$	LK	$Lg\ PK$	PK
1	24.0	1.940 <sub>0</sub> 05	5.2877	5.5407	3.473 <sub>0</sub> 05	5.4773	3.001 <sub>0</sub> 05	5.6041	4.019 <sub>0</sub> 05
2	24.0	4.079 <sub>0</sub> 05	5.6106	5.5407	3.473 <sub>0</sub> 05	5.4773	3.001 <sub>0</sub> 05	5.6041	4.019 <sub>0</sub> 05
3	24.0	6.629 <sub>0</sub> 05	5.8215	5.5407	3.473 <sub>0</sub> 05	5.4773	3.001 <sub>0</sub> 05	5.6041	4.019 <sub>0</sub> 05
4	20.0	9.149 <sub>0</sub> 05	5.9614	6.1787	1.509 <sub>0</sub> 06	6.1193	1.316 <sub>0</sub> 06	6.2380	1.730 <sub>0</sub> 06
5	20.0	9.859 <sub>0</sub> 05	5.9938	6.1787	1.509 <sub>0</sub> 06	6.1193	1.316 <sub>0</sub> 06	6.2380	1.730 <sub>0</sub> 06
6	20.0	2.430 <sub>0</sub> 06	6.3855	6.1787	1.509 <sub>0</sub> 06	6.1193	1.316 <sub>0</sub> 06	6.2380	1.730 <sub>0</sub> 06
7	16.0	4.479 <sub>0</sub> 06	6.6512	6.8166	6.556 <sub>0</sub> 06	6.7532	5.665 <sub>0</sub> 06	6.8800	7.586 <sub>0</sub> 06
8	16.0	8.249 <sub>0</sub> 06	6.9164	6.8166	6.556 <sub>0</sub> 06	6.7532	5.665 <sub>0</sub> 06	6.8800	7.586 <sub>0</sub> 06
9	16.0	9.548 <sub>0</sub> 06	6.9799	6.8166	6.556 <sub>0</sub> 06	6.7532	5.665 <sub>0</sub> 06	6.8800	7.586 <sub>0</sub> 06

Błąd aprksymacji= 0.204 898

Objaśnienia:

$y/i/$  - poziom maksymalnego naprężenia w widmie naprężeń

$x/i/$  - liczba cykli do pęknięcia zmęczeniowego w próbie wielostopniowej na poziomie maksymalnego naprężenia w widmie  $y/i/$

$xw/i/$  - liczba cykli do pęknięcia zmęczeniowego odpowiadająca prostej regresji

LK - lewy kraniec, PK - prawy kraniec przedziału ufnosci dla prostej regresji

Tablica 7

Zestawienie wyników wyznaczania trwałości zmęczeniowej badanego obiektu

Numer programu	Wartość naprężenia maksymalnego w programie $\sigma_{max}$		Trwałość zmęczeniowa $n_c$ w milionach cykli							Wartość współczynnika korekcyjnego "a"				
	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	MP	CD b=cm	CD' b=2,79	S	$E_x$	MP	CD	CD'	S			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
I	24	235,4	1,48	1,34	0,86	0,148	0,3473	0,235	0,259	0,404	2,35			
II	20	196,1	4,97	3,51	2,24	0,497	1,509	0,304	0,431	0,675	3,04			
III	16	156,9	18,47	8,67	5,55	1,847	6,556	0,353	0,758	1,18	3,53			
IV	12	117,7	102,15	22,29	13,69	-	320,3	3,13	14,4	23,3	-			

z przedziału 1,4 do 1,7. Najbardziej zawyżoną trwałość zmęczeniową uzyskuje się w wyniku obliczeń opartych o hipotezę Minera - Palmgrena /MP/, najniższą zaś w wyniku zastosowania hipotezy Serensena /S/. Najbliższe rzeczywistym wynikom doświadczalnym są wyniki obliczeń według Corten-Dolana /CD/ jednakże w znacznym obszarze naprężeń  $\bar{\sigma}_{\max_1}$  trwałość obliczona przewyższa wyznaczoną doświadczalnie,  $n_c \text{ obl} > n_c \text{ dośw.}$  Biorąc ponadto pod uwagę znaczny rozrzut wyników badań trwałości zmęczeniowej, w technicznych /praktycznych/ obliczeniach największą pewność wykazują obliczenia oparte na hipotezie Serensena; odnosi się to szczególnie do obliczeń w przypadku widm naprężeń o  $\bar{\sigma}_{\max_1} / Z_G > 1,3$ .

Przedstawiona analiza ściśle dotyczy przyjętego do badań węzła układu nośnego roweru, a przede wszystkim przyjętej postaci widma naprężeń, charakteryzującej się małą wartością współczynnika wypełnienia  $\xi$ .

## 6. Wnioski

A/ Z analizy tablicy 7 i rysunku 6 wynika, że obliczenia trwałości zmęczeniowej, oparte o przyjęte do rozważań hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych, wykazują zasadnicze rozbieżności w stosunku do wyników stanowiskowych badań.

B/ Istnieją zakresy wartości naprężenia maksymalnego w widmie, w których wyniki obliczeń i badań wykazują całkowitą zgodność /punkty przecięcia krzywych obliczeniowych z krzywą trwałości zmęczeniowej wyznaczoną doświadczalnie/.

C/ Największą pewność obliczeń w całym rozważanym obszarze wartości  $\bar{\sigma}_{\max_1} / n_c \text{ obl.} < n_c \text{ dośw.}$  /zapewnia stosowanie hipotezy Serensena.

D/ Stosowanie w obliczeniach hipotez Minera - Palmgrena i Corten-Dolana, dla względnych wartości naprężenia maksymalnego w widmie  $\bar{\sigma}_{\max_1} / Z_G > 1,5$ , daje wyniki obliczeń zawyżone w stosunku do trwałości zmęczeniowej.

niowej, uzyskanej na drodze doświadczalnej.

E/ Na podstawie poprzednich wniosków stwierdza się, że każda z omawianych hipotez może być wykorzystana do obliczeń, pod warunkiem uwzględnienia we wzorach: /9/, /10/, /12/, /13/, /15/, /16/, współczynnika "a" według tablicy 7. Dla przykładu wzór /16/ przyjąłby postać:

$$n_c = \frac{a_{CD} \cdot N_1}{\sum_{i=1}^k \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^b \cdot \alpha_i} \quad /16'/$$

#### Literatura

1. Bielianin A.J.: Wynosliwost raboczich powierchnostiej zubiew ori pieriemnykh nagruzkach. Wiestnik Maszinstrojenia 12/1957.
2. Corten H.T., Dolan T.J.: Cumulative fatigue damage. Proceedings of the International Conference on Fatigue of Metals London /New York 1956.
3. Gassner E., Griese F.W., Haibach E.: Ertragbare Spannungen und Lebensdauer einer Schweissverbindung aus Stahl St 37 bei verschiedenen Formen des Beanspruchungskollektirs. Archiv für Eisenhüttenwesen 35, 1964.
4. Hertel H.: Ermüdungsfestigkeit der Konstruktionen Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1969.
5. Hofmeister W.F.: Application of the Cumulative Fatigue Damage Theory to practical problems SAE TRANSACTIONS, Volume 68, 1960.
6. Lehmann R.: Eine Indikationsfunktion zur Korrektur der Hypothese der Hypothese der linearen Schädigung JFL - Mitt. 3/1969. Heft 6.
7. Łapiński Z.: Programowe badania zmęczeniowe. Wybrane materiały II Krajowej Konferencji Wytrzymałościowej SIMP - WAT, 1961.
8. Małoletew A.J.: Udaranaia ustaloost stali pri mnogostupiennozatom nagrużenii. Wiestnik Maszinstrojenia 6/1964.
9. Rehlich G.: Eine Möglichkeit der Zusammenfassung Verschiedener Formeln zur Lebensdauerberechnung. Maschinenbautechnik Nr 6, 1972.

10. Redkowec N.P.: Wlijanije napriazienii nižie priediela ustałosti na dolgowiecznost dietaliei, rabotaiuszczich pri pieriemennyh nagruzkach. Wiestnik Maszinstroienia 6/1964.
11. Serensen S.W., Kogaew W.P.: Dolgowiecznost dietaliei maszin s uczie - tom wicroiatnosti razruszienia pri niestacionarnom nagruženii. Wiestnik Maszinstroienia 1/1966.
12. Serensen S.W., Kozłow L.A.: Raschiety na procnost pri niestacionar - noj pieriemiennoj napriaziennosti. Wiestnik Maszinstroienia 1 1962 str. 11-17.
13. Sobczykiewicz W.: Wrażliwość zmęczeniowa spawalnych stali o podwyż - szonej wytrzymałości na statystyczne widmo obciążeń występujące w wysięgnikach kratowych żurawi jezdniowych. Rozprawa doktorska, Po - litechnika Warszawska, 1972.

CALCULATION OF THE SYSTEMS FATIGUE DURABILITY ON THE BASIS  
OF FATIGUE DAMAGES CUMULATION CHOSEN HYPOTHESES AND THEIR  
EXPERIMENTAL REVISION

*/Summary/*

The author presents an analysis of the conformity of the calculated durability determined by calculation methods based on the fatigue damages cumulation chosen hypotheses, and the stand experiments results.

The analysis was based on the Miner-Palmgren, Corten-Dolan, and Sienielsen hypothesis.

РАСЧЁТ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СИСТЕМ НА ОСНОВАНИИ  
ГИПОТЕЗ КУМУЛЯЦИИ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ИХ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

*/ Резюме /*

Статья содержит анализ совпадения расчётных методов определения усталостной прочности на основании гипотез куммуляции усталостных повреждений с результатами стендовых исследований.

Для анализа приняты гипотезы Минера-Пальмгрена, Кортен-Долана и Серенсена.





Biblioteka Główna ATR  
w Bydgoszczy

1006

Cz

9/5

1996

Cena zł 9,50



BYDGOSZCZ